

ESTUDIO AERODINÁMICO PARA DETERMINAR LAS CARGAS DE VIENTO EN PANELES FOTOVOLTAICOS DE GRANJAS SOLARES

AERODYNAMIC STUDY TO DETERMINE THE WIND LOADS ON PHOTOVOLTAIC PANELS IN SOLAR FARMS

Marcelo F. Valdez^{a,b}, Silvana E. Flores Larsen^a y Sergio Preidikman^c

^a*Instituto de Investigaciones en Energía no Convencional (INENCO), Univ. Nac. de Salta – CONICET, Av. Bolivia 5150, 4400 Salta, Argentina, mfvaldez82@gmail.com*

^b*Facultad de Ingeniería, Univ. Nac. de Salta, Av. Bolivia 5150, 4400 Salta, Argentina*

^c*Instituto de Estudios Avanzados en Ingeniería y Tecnología (IDIT), Univ. Nac. de Córdoba – CONICET, Av. Vélez Sarsfield 1611, 5000 Córdoba, Argentina, spreidikman@unc.edu.ar*

Palabras clave: Interacción Aerodinámica, Viento, Ráfagas, Efecto Suelo, Panel Fotovoltaico

Resumen. En este trabajo se presenta un estudio aerodinámico de un sistema prototípico de generación de energía solar fotovoltaico. Los paneles fotovoltaicos de un parque solar son estructuras planas con ángulos de ataque elevados. El viento constante y las ráfagas, puede producir deformaciones y voladuras de los módulos fotovoltaicos, y también inducir vibraciones que pueden dañar los sistemas de soporte y de seguimiento. Por esto, las cargas de viento son un aspecto fundamental en el diseño de los estos sistemas. El efecto del viento sobre los paneles no sólo depende de sus dimensiones y geometría, sino también del espaciamiento entre las filas de paneles y de la altura de los mismos respecto al suelo. Estos aspectos serán estudiados en este trabajo usando un modelo aerodinámico computacional basado en el método de red de vórtices inestacionario. Este método permite estimar las cargas aerodinámicas y el flujo alrededor de los paneles fotovoltaicos. Esta investigación permite avanzar el conocimiento sobre los efectos de interacción aerodinámicos presentes en parques fotovoltaicos a pequeña y gran escala.

Keywords: Aerodynamic Interaction, Wind, Gusts, Ground Effect, Photovoltaic Panel.

Abstract. In this effort, an aerodynamic study of a prototypical photovoltaic solar energy generation system is presented. Photovoltaic panels within a solar farm are planar structures with high angles of attack. Persistent wind and gusts may produce deformations and detachment of photovoltaic modules, and also induce vibrations that could damage the supporting and tracking systems. For this reason, wind loading is a fundamental aspect in the design of this type of systems. Wind loads on the panels not only depend on their dimensions and geometry, but also on the spacing between rows of panels and their height above the ground. These aspects will be analyzed in this article through a computational aerodynamic model based on the Unsteady Vortex Lattice Method (UVLM). This method allows the estimation of the aerodynamic wind loads and of the flow field around photovoltaic panels in a solar farm. This effort is a step towards the understanding of aerodynamic interaction and interference effects that play a role in the design of large and small scale solar photovoltaic farms.

1. INTRODUCCIÓN

Según el disuelto Ministerio de Energía y Minería, hasta mediados del 2016 Argentina contaba con una capacidad instalada cercana a los 800 MW (1.8 % de la demanda energética nacional) para la generación de energía renovable¹. La Ley 27.191 “Régimen de Fomento Nacional para el uso de Fuentes Renovables de Energía”, sancionada y promulgada en 2015, establece como objetivo lograr una contribución de fuentes de energía renovables del 8 % del consumo eléctrico nacional a fines del 2017 y del 20 % a fines del 2025. Esto supone la incorporación de aproximadamente 10 GW de capacidad renovable en un período de 10 años. En el marco del programa RenovAr, a fines de 2016 y 2017, se adjudicaron 24 y 19 proyectos de energía solar fotovoltaica totalizando 916 MW y 816 MW de generación, respectivamente. Los proyectos de mayor envergadura alcanzan los 100 MW en las provincias de Jujuy (Cauchari Solar I, II y III), Salta (La Puna y Altiplano I), Catamarca (La Pirka), San Juan (Ullum X y Guañizuil II A) y Mendoza (Verano Capital Solar One) (Yaneva et al., 2018). La ronda 3 del programa Renovar MinRen² en 2018 ofreció 400 MW renovables, de los cuales 350 MW corresponden a las tecnologías solar y eólica.

La principal preocupación en la instalaciones de paneles fotovoltaicos es la vulnerabilidad a vientos altamente turbulentos y ráfagas intensas (Aly, 2016). Por citar un ejemplo, a fines de agosto de 2018 fuertes ráfagas de viento Zonda destruyeron alrededor 2000 paneles fotovoltaicos de la planta en construcción en la provincia de San Juan³. La reglamentación vigente en Argentina para la determinación de la acción del viento sobre construcciones civiles, CIRSOC 102, puede dar lugar a variadas interpretaciones ya que éstas no se refieren específicamente a la construcción de instalaciones fotovoltaicas. Ésta propone tres métodos para la determinación de las cargas de viento: simplificado, analítico y ensayos en túnel de viento. Los primeros dos son de aplicación limitada mientras que el último no es siempre viable.

1.1. Antecedentes y Estado del Arte

El desarrollo de estándares de diseño de parques solares a nivel mundial se encuentra todavía en estado incipiente. Las reglamentaciones y lineamientos actuales para edificios no se aplican específicamente para este tipo de instalaciones. De hecho, la gran mayoría de los países aún no posee códigos y reglamentaciones (Stathopoulos et al., 2012). Esto conlleva a que los ingenieros realicen predicciones gruesas que pueden resultar en la sobrestimación y sobredimensionamiento de las estructuras de soporte o en la subestimación, con el consecuente riesgo de falla de las estructuras. Una excepción son los Países Bajos, cuyo estándar NEN7250 presenta reglas para la integración de sistemas de energía solar en techos y fachadas de edificios (Geurts y van Bentum, 2014).

Las cargas de viento sobre paneles fotovoltaicos dependen de la velocidad del viento, de las características del terreno, de la geometría del parque (ángulos de inclinación de los paneles, separación entre los mismos, entre otros). Un gran número de estudios, entre los que se mencionan los estudios en túnel de viento de Warsido et al. (2014) y de Stathopoulos et al. (2014), se concentraron en las cargas de viento sobre paneles fotovoltaicos sobre techos de edificios. En menor cantidad son los estudios para paneles solares montados sobre el suelo, siendo algunos de los más recientes los de Shademan et al. (2014a), Jubayer y Hangan (2014); todos ellos estudios computacionales para un único panel fotovoltaico. Shademan y Hangan (2009)

¹https://www.minem.gob.ar/servicios/archivos/6548/AS_14695676441.pdf

²https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/20180906_miniren_sk_2.pdf

³<http://www.energiaestrategica.com>

estimaron las cargas de viento en arreglos rectangulares de paneles fotovoltaicos y observaron que la resistencia aerodinámica de los paneles corriente abajo alcanzan un mínimo para un valor determinado de separación entre los paneles. Por medio de CFD [Bitsuamlak et al. \(2010\)](#) estudiaron las características aerodinámicas de paneles fotovoltaicos montados sobre el suelo bajo la acción de la capa límite atmosférica. Si bien estas simulaciones capturan los fenómenos de separación de flujo y de sombra aerodinámica, y las características de las distribuciones de presiones, en general los resultados subestiman las mediciones en túnel de viento. [Schellenberg et al. \(2013\)](#) estudió la respuesta dinámica de arreglos de paneles solares montados en techos mediante ensayos en túnel de viento. Los resultados muestran que las esquinas del arreglo son las más críticas debido a las mayores fuerzas verticales hacia arriba. También, esos autores sugieren que los estudios estáticos equivalentes tienden a sobrestimar las cargas dinámicas.

[Shademan et al. \(2014b\)](#) realizó simulaciones CFD para analizar la influencia del suelo en paneles FV aislados y en arreglos de paneles. El estudio concluye que la mayor separación del suelo produce una carga de viento mayor en los paneles y que la selección adecuada del espaciamiento entre paneles puede significativamente reducir la carga vertical por el efecto de sombra aerodinámica. Mediante estudios de CFD, [Aly \(2016\)](#) identificó a la escala geométrica de los modelos de túnel de viento como la principal fuente de discrepancia entre las cargas de viento pico experimentales reportadas por distintas fuentes.

En este trabajo se presenta un estudio de las cargas aerodinámicas que experimentan los paneles FV de un parque solar bajo la influencia de un viento uniforme. Empleando el método de Red de Vórtices, se estudia la influencia que tienen sobre las cargas el espaciamiento entre los paneles fotovoltaicos y la altura de los mismos para distintos ángulos de incidencia. En este primer estudio se analizan únicamente las cargas aerodinámicas en el estado estacionario.

2. MÉTODO DE RED DE VÓRTICES INESTACIONARIO

En este trabajo se emplea el método de red de vórtices. El fundamento matemático, detalles de la aplicación del método para sistemas de múltiples cuerpos y verificación del método pueden consultarse en artículos previos de los autores ([Valdez et al., 2017, 2018](#)). El método se basa en la hipótesis de que el espesor de las regiones del flujo donde los efectos viscosos son importantes (capa límite y estelas) se vuelve infinitesimal cuando el número de Reynolds tiende a infinito; en consecuencia, estas regiones pueden modelarse como sábanas vorticosas, las cuales producen una discontinuidad en la velocidad tangencial a través de ellas.

Las sábanas vorticosas adheridas a los cuerpos sólidos se discretizan con redes de vórtices cuyas intensidades Γ_i son tales que en cada instante de tiempo garantizan que el fluido no penetre las superficies sólidas en un número finito de puntos de control y que la condición de conservación de la circulación de Kelvin se satisfaga. Esto conduce a la resolución, en cada instante de tiempo, de un sistema algebraico de ecuaciones del tipo:

$$[A(t)] \{\Gamma_{\mathcal{B}}(t)\} = \{\text{RHS}(t)\}, \quad (1)$$

donde: $[A(t)] \in \mathbb{R}^{(M+\mathcal{N}_{\mathcal{B}}) \times N}$, $\{\Gamma_{\mathcal{B}}(t)\} \in \mathbb{R}^N$, $\{\text{RHS}(t)\} \in \mathbb{R}^{M+\mathcal{N}_{\mathcal{B}}}$ con $\mathcal{N}_{\mathcal{B}}$, el número total de cuerpos inmersos, N , el número total de vórtices adheridos y M , el número total de puntos de control. Las incógnitas $\Gamma_{j\mathcal{B}}(t)$ son las intensidades de todos los vórtices adheridos a los cuerpos. Los coeficientes $A_{ij}(t)$ son las componentes normales a los puntos de control j de las velocidades inducidas por vórtices unitarios situados en las posiciones i . La matriz $[A(t)]$ es constante si los cuerpos son rígidos y sin movimiento relativo entre ellos. Los términos RHS_i son las componentes normales de las contribuciones conocidas de la velocidad total del

fluido en el punto de control i (corriente libre, movimiento del cuerpo, velocidad inducida por las estelas). Conocidas las intensidades de los vórtices adheridos por medio de la Ec. (1), se procede a la generación de las estelas desde los bordes afilados de los cuerpos. La generación de vorticidad desde estos puntos permite garantizar la condición de continuidad de la presión (condición de Kutta no estacionaria). Las estelas se generan convectando con la velocidad local del flujo los vórtices ubicados en los puntos de separación. Una vez en la estela, la circulación de estos vórtices permanece constante. La determinación de las cargas aerodinámicas se realiza por medio de la versión no-estacionaria de la ecuación de Bernoulli.

3. GEOMETRÍA DE UN ARREGLO DE PANELES FOTOVOLTAICOS

La vista lateral de un arreglo de paneles fotovoltaicos se muestra en la Fig. 1. Cada panel fotovoltaico tiene un ancho c el cual se considera la longitud de referencia para parametrizar el sistema. La separación uniforme entre los paneles, el ángulo de inclinación uniforme de todos los paneles, y la altura de los paneles con respecto al suelo se denotan Δx , α y h , respectivamente. El ángulo β es el ángulo que la proyección de la radiación solar directa sobre el plano transversal a los paneles forma con la dirección horizontal. Éste depende de la ubicación y orientación del parque solar, a través de los ángulos azimutal ϕ y cenital θ del Sol (Fig. 1.) como sigue:

$$\tan \beta = \tan \theta \cos(\gamma - \phi) \quad (2)$$

donde γ es el ángulo azimutal (medido desde el Sur) de la dirección normal a los paneles fotovoltaicos (Fig. 1). Durante el día, tanto el azimut como el cenit del Sol varían. La posición azimutal γ de los paneles fotovoltaicos es en general constante, a menos que éstos tengan seguimiento a eje vertical. Para el caso de seguimiento a eje horizontal, la inclinación α de los paneles varía para optimizar el ángulo de incidencia de la radiación solar directa sobre los paneles. La “mejor” orientación de los paneles FV es con normal apuntando hacia el Norte ($\gamma = 180^\circ$) en el hemisferio Sur o hacia el Sur ($\gamma = 0^\circ$) en el hemisferio Norte, ya que así los paneles reciben radiación solar directa durante todo el día.

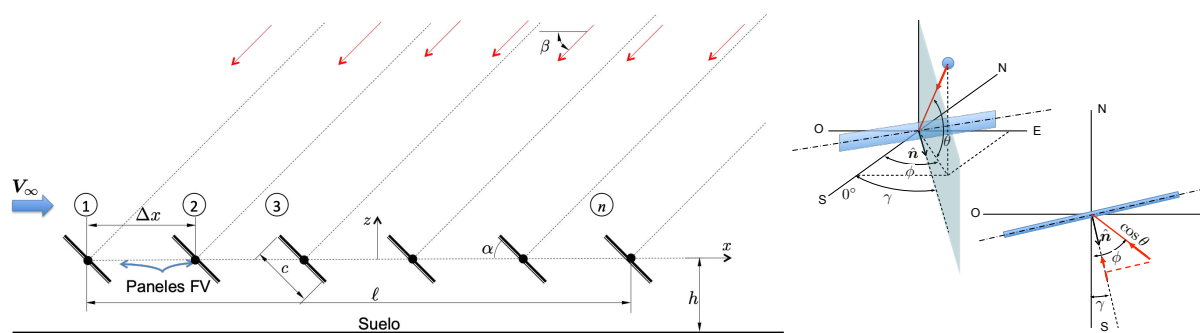


Figura 1: Izquierda: Geometría de un arreglo de paneles fotovoltaicos. Los paneles FV se numeran de izquierda a derecha. Derecha: Detalle de los ángulos cenital θ y azimutal ϕ del Sol y ángulo azimutal γ de un panel.

4. ESTUDIO AERODINÁMICO DE UN ARREGLO FOTOVOLTAICO

En este trabajo se consideran los siguientes parámetros: cantidad de paneles fotovoltaicos N_P , separación entre los paneles Δx , altura de los paneles h , e inclinación de los mismos α . En este trabajo, se considera solamente la componente horizontal U_∞ del viento. Los valores de los parámetros analizados se resumen en la Tabla 1. En total, se analizaron las 882 combinaciones posibles de los parámetros en el estado estacionario.

$\text{sgn}(U_\infty)$	\mathcal{N}_p	α	$\Delta x/c$	h/c
+1	2	40°	1,25	0,5
	4	-20°	1,50	0,75
	8	-10°	1,75	1,00
		10°	2,00	1,25
		20°	2,50	1,50
		40°	4,00	3,00
		8,00	4,00	

Tabla 1: Espacio de parámetros analizados.

Para el modelo aerodinámico, se emplean 129 vórtices uniformemente espaciados (espaciamiento de $c/128$) en cada panel FV. El suelo se modela como una superficie plana de longitud igual a $100c$. Esta longitud es lo suficientemente grande como para minimizar la influencia de los puntos extremos sobre los paneles FV. Para el suelo se distribuyen uniformemente 2049 vórtices (con espaciamiento $100c/2048$). Teniendo en cuenta lo anterior, el modelo aerodinámico cuenta con $\mathcal{N}_B = \mathcal{N}_p + 1 = 3, 5$ y 9 cuerpos y un total de $N = 2307, 2565$ y 3081 vórtices (incógnitas) para los casos de arreglos de 2, 4 y 8 paneles fotovoltaicos respectivamente.

A modo ilustrativo de los resultados de las simulaciones no estacionarias (no analizadas en el presente artículo), en las Figs. 2 y 3 se muestra la evolución de las estelas generadas por un arreglo de 8 paneles fotovoltaicos con separación $\Delta x/c = 1,5$, altura $h/c = 0,75$ y ángulos de ataque de 40° y -40° , respectivamente. Las simulaciones tienen un tiempo total de $tU_\infty/c = 12$, con paso de tiempo $\Delta t = 0,0078125$. En total, se generaron 12288 vórtices en las estelas.

Para las simulaciones se empleó una computadora tipo laptop de prestaciones moderadas (procesador 2.9 GHz Intel Core i5) sin implementación de cálculo paralelo. El tiempo de cálculo es aproximadamente 11 h para las simulaciones no estacionarias y entre 2 y 5 s para cada caso estacionario, dependiendo de la cantidad de paneles fotovoltaicos empleados.

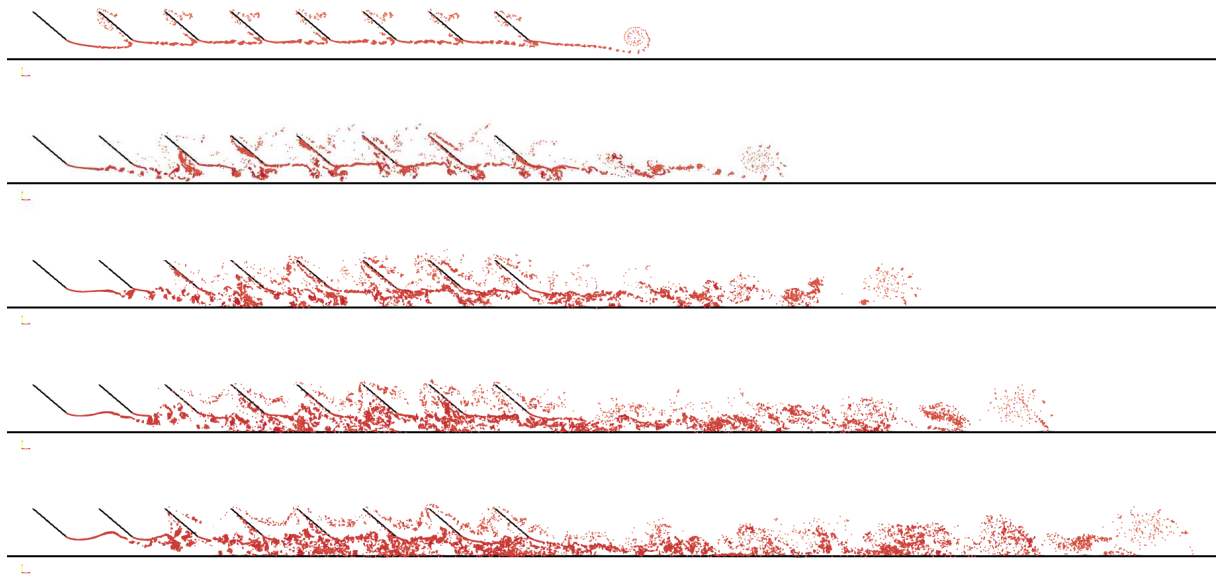


Figura 2: Evolución de las estelas generadas por $\mathcal{N}_p = 8$ paneles fotovoltaicos con ángulo de ataque de 40° . La dirección del viento es de izquierda a derecha. Los instantes mostrados corresponden a $tU_\infty/c = 2,36, 4,70, 7,05, 9,39$, y $11,73$, respectivamente.

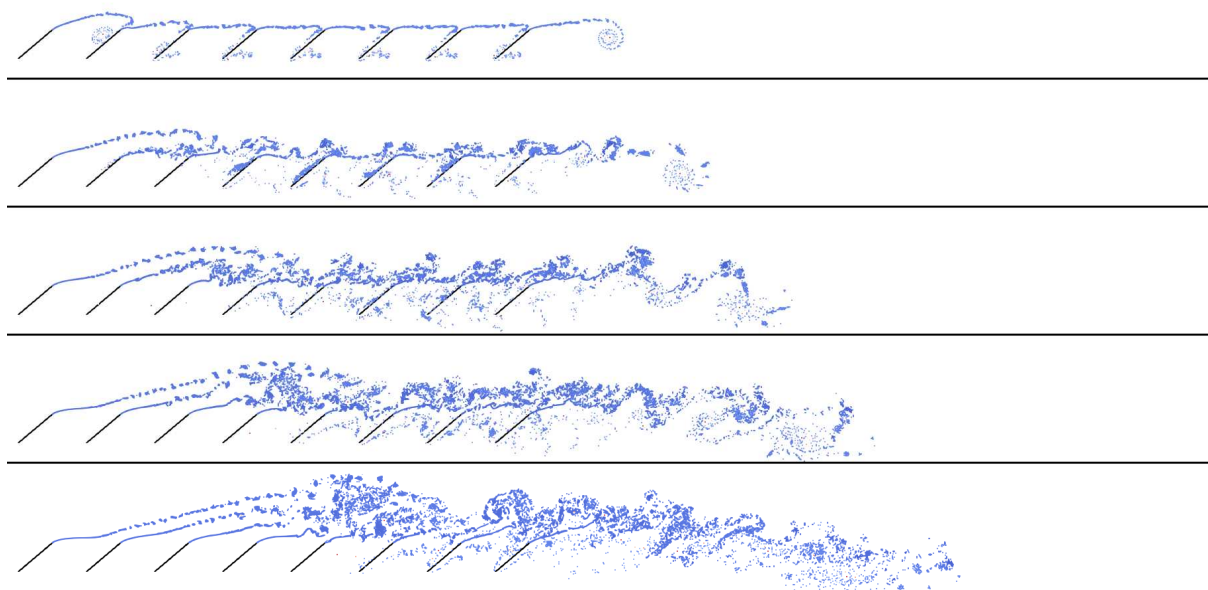


Figura 3: Evolución de las estelas generadas por $N_p = 8$ paneles fotovoltaicos con ángulo de ataque de -40° . Descripción adicional en Fig. 2

4.1. Influencia de la Separación entre Paneles FV y Efecto Suelo

Las componente vertical de la fuerza aerodinámica estacionaria y el momento estacionario alrededor del pivote (centro del panel) obtenidos para una configuración de 8 paneles fotovoltaicos con separación uniforme se presentan en las Figs. 4 y 5. En estas figuras se resume la influencia de la separación entre los paneles Δx y de la altura h de los mismos con respecto al suelo para cada panel fotovoltaico del arreglo y para diferentes ángulos de ataque α de los mismos respecto al viento. Los ángulos de ataque positivos corresponden a situaciones en la que el viento proviene del sentido opuesto al que proviene la radiación solar directa.

Se puede apreciar que la influencia de la separación Δx de los paneles FV es más importante para Δx pequeños, inferiores a las $2c$. Por encima de $4c$, la separación de los paneles tiene una influencia débil sobre las cargas aerodinámicas, siendo estas prácticamente iguales en todos los paneles del arreglo y a su vez próximas a las cargas de un único panel FV aislado en presencia del suelo. La influencia de la separación de los paneles es más pronunciada para ángulos de ataque negativos, en los cuales, la magnitud de la fuerza aerodinámica vertical y del momento en cada panel disminuyen al aumentar la separación entre ellos. Para ángulos de ataque positivos, las magnitud de las cargas aerodinámicas aumenta levemente al aumentar la separación.

La altura del plano de los paneles respecto al suelo tiene influencia más significativa para valores pequeños h , menores a $1,5c$. Asimismo, esta influencia es más importante cuando el ángulo de ataque es negativo. Para éstos ángulos, el aumento de la altura de los paneles produce la disminución de la magnitud de las cargas aerodinámicas. Para ángulos de ataque positivos, por el contrario, la magnitud de la carga aerodinámica en cada panel aumenta levemente al aumentar la altura.

4.2. Influencia de la Cantidad de Filas de Paneles Fotovoltaicos

En las Figs. 6 y 7 se presenta la distribución de la componente vertical de la fuerza aerodinámica estacionaria y el momento estacionario alrededor del pivote en un arreglo de 4 paneles

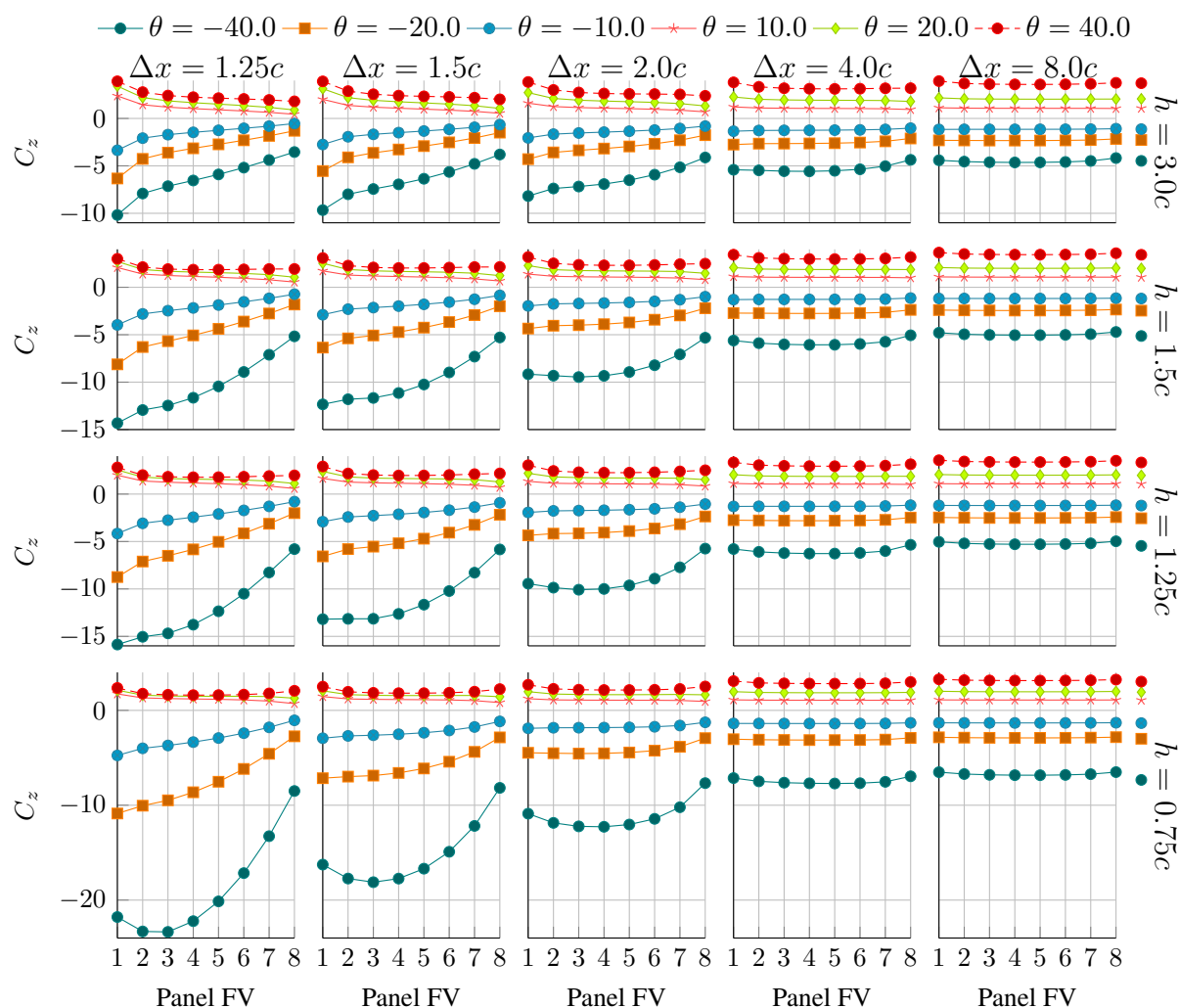


Figura 4: Coeficientes estacionarios de fuerza vertical en los paneles fotovoltaicos de un arreglo de $\mathcal{N}_p = 8$ paneles. De derecha a izquierda aumenta la separación Δx entre los paneles. De abajo hacia arriba aumenta la altura de los paneles respecto del suelo. Cada línea representa un ángulo de ataque uniforme de todos los paneles. Los puntos a la derecha, fuera de los límites del gráfico, son los valores para el caso límite $\Delta x \rightarrow \infty$ equivalente a un único panel FV en presencia del suelo.

fotovoltaicos. Las figuras resumen la influencia de la separación Δx entre los paneles y de la altura h respecto al suelo. Comparando estos resultados con los de las Figs. 4 y 5, se observa que en general, el uso de arreglos de menor cantidad de paneles produce una reducción en magnitud de las cargas aerodinámicas sobre los paneles más críticos, en especial, cuando la separación entre paneles y del suelo es pequeña. Se observa que para el arreglo de 4 paneles con separaciones y alturas menores a $2c$ la fila más crítica respecto al momento es siempre la segunda, mientras que con respecto a la carga vertical es siempre la primera fila. En el arreglo de 8 paneles con separaciones y alturas menores a $2c$ la fila más crítica respecto al momento es siempre la tercera fila, mientras que respecto a la carga vertical, las filas críticas son la primera y la tercera, dependiendo de h y Δx .

5. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se realizó un estudio aerodinámico de arreglos de paneles fotovoltaicos en presencia de viento uniforme y continuo. Este estudio incluye únicamente las cargas

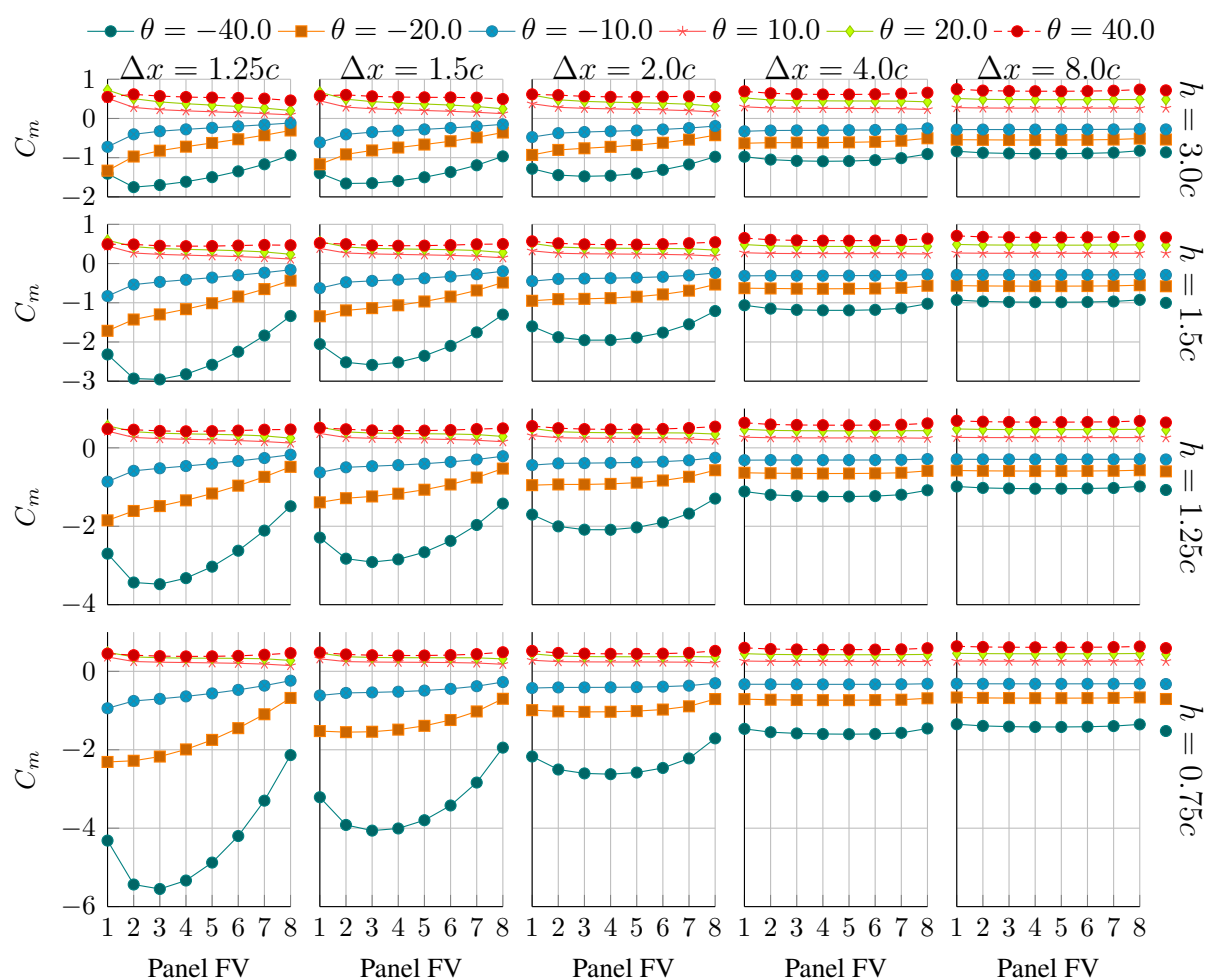


Figura 5: Coeficientes estacionarios de momento en los paneles fotovoltaicos de un arreglo de $\mathcal{N}_{\mathcal{P}} = 8$ paneles. Descripción adicional en Fig. 4.

aerodinámicas estacionarias. Las cargas no estacionarias serán analizadas en trabajos futuros. Se estudió la influencia del diseño del arreglo fotovoltaico —cantidad y altura de los paneles y separación entre ellos— sobre las cargas aerodinámicas para distintos ángulos de inclinación de los paneles. Para estos estudios se empleó el método de red de vórtices, el cual permitió explorar un amplio espacio de parámetros en un tiempo computacional reducido.

Los resultados obtenidos sugieren lo siguiente: *i*) Para separaciones entre paneles menores a $2c$ la magnitud de las cargas aerodinámicas que experimenta cada panel disminuye al emplear una menor cantidad de paneles. *ii*) El aumento, tanto de la separación de los paneles como de la altura de los mismos, produce la disminución de la magnitud de las cargas aerodinámicas en los paneles fotovoltaicos más críticos del arreglo para ángulos de ataque negativos. Para ángulos de ataque positivos, ocurre lo contrario, siendo la sensibilidad de las cargas mucho menor. La influencia de la altura y la separación es más significativa para valores relativamente pequeños de separación y altura.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo y financiación del Consejo de Investigación de la Universidad Nacional de Salta (CIUNSa) a través del proyecto CIUNSa 2658.

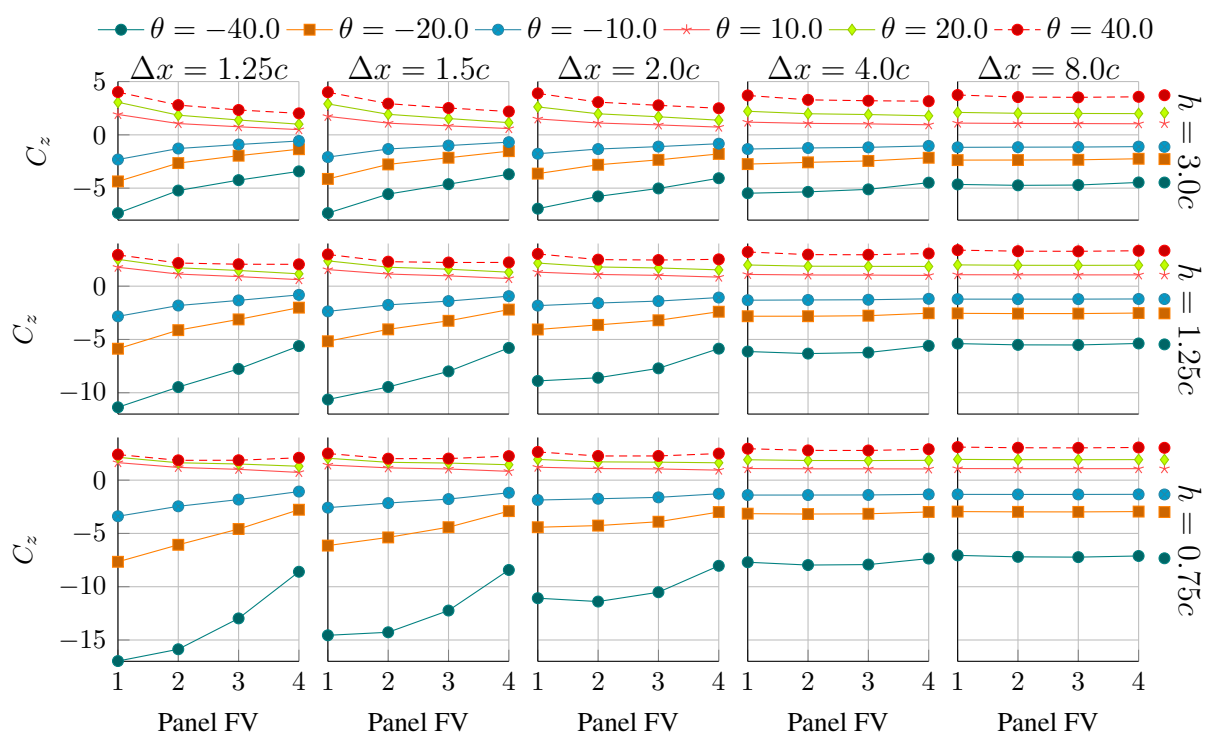


Figura 6: Coeficientes estacionarios de fuerza vertical en los paneles fotovoltaicos de un arreglo de $\mathcal{N}_P = 4$ paneles. Descripción adicional en Fig. 4.

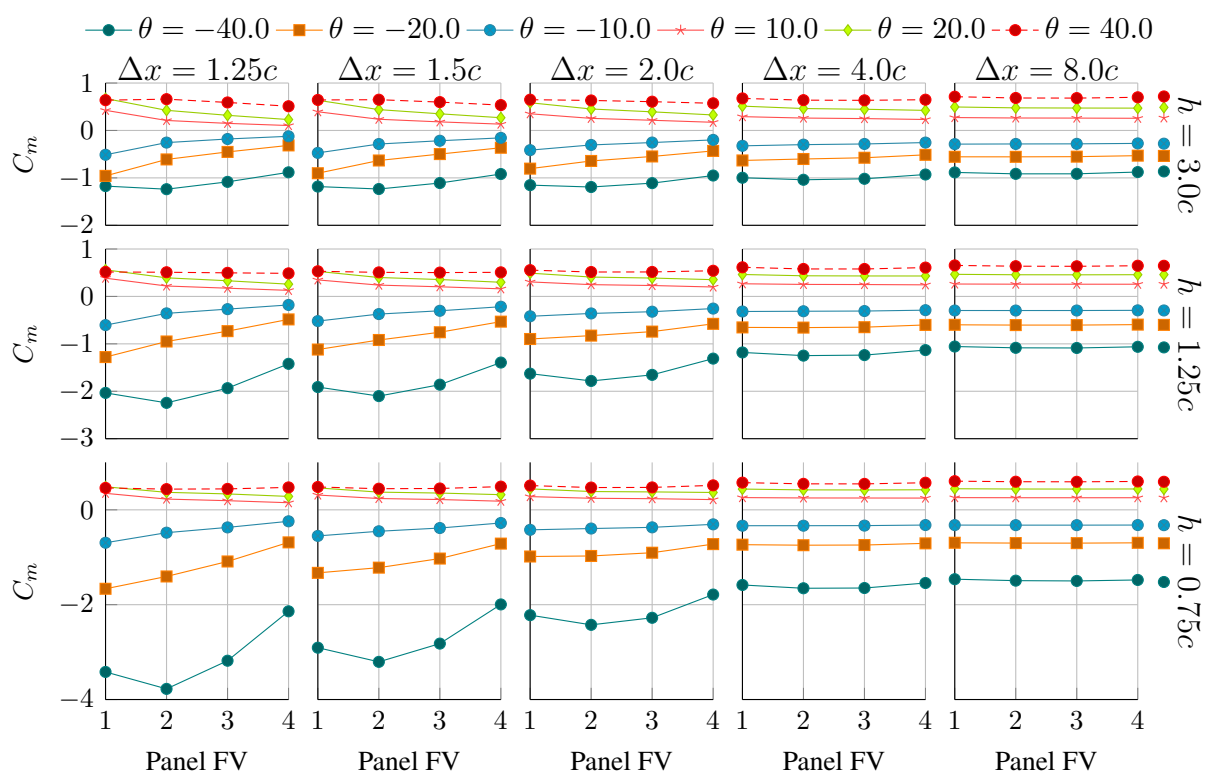


Figura 7: Coeficientes estacionarios de momento en los paneles fotovoltaicos de un arreglo de $\mathcal{N}_P = 4$ paneles. Descripción adicional en Fig. 4.

REFERENCIAS

- Aly A.M. On the evaluation of wind loads on solar panels: The scale issue. *Solar Energy*, 135:423–434, 2016.
- Bitsuamlak G.T., Dagnev A.K., y Erwin J. Evaluation of wind loads on solar panel modules using cfd. En *Fifth International Symposium on Computational Wind Engineering (CWE)*, Chapel Hill, NC, May, páginas 23–27. 2010.
- Geurts C.P. y van Bentum C.A. A novel guideline for wind loads on solar energy systems. *ICBEST 2014*, páginas 9–12, 2014.
- Jubayer C.M. y Hangan H. Numerical simulation of wind effects on a stand-alone ground mounted photovoltaic (pv) system. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 134:56–64, 2014.
- Schellenberg A., Maffei J., Telleen K., y Ward R. Structural analysis and application of wind loads to solar arrays. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 123:261–272, 2013.
- Shademan M., Balachandar R., y Barron R. Detached eddy simulation of flow past an isolated inclined solar panel. *Journal of fluids and structures*, 50:217–230, 2014a.
- Shademan M., Barron R., Balachandar R., y Hangan H. Numerical simulation of wind loading on ground-mounted solar panels at different flow configurations. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 41(8):728–738, 2014b.
- Shademan M. y Hangan H. Wind loading on solar panels at different inclination angles. En *11th Americas Conference on Wind Engineering, San Juan, PR, Jun*, páginas 22–26. 2009.
- Stathopoulos T., Zisis I., y Xypnitou E. Wind loads on solar collectors: a review. En *Structures Congress 2012*, páginas 1169–1179. 2012.
- Stathopoulos T., Zisis I., y Xypnitou E. Local and overall wind pressure and force coefficients for solar panels. *Journal of wind engineering and industrial aerodynamics*, 125:195–206, 2014.
- Valdez M., Preidikman S., y Flores Larsen S. Análisis aerodinámico de perfiles con múltiples superficies para control y redirección de flujo. *Mecánica Computacional*, XXXV(26):1517–1539, 2017.
- Valdez M.F., Preidikman S., y Flores Larsen S.E. Aerodinámica de perfiles con múltiples superficies de control de flujo. *Revista de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Salta.*, 5(1):31, 2018.
- Warsido W.P., Bitsuamlak G.T., Barata J., y Chowdhury A.G. Influence of spacing parameters on the wind loading of solar array. *Journal of fluids and structures*, 48:295–315, 2014.
- Yaneva M., Tisheva P., y Tsanova T. Informe sobre las energías renovables en Argentina 2018. 2018.