

CARACTERIZACIÓN DEL VIENTO EN AMBIENTES URBANOS COMPLEJOS: PROPUESTA DE UNA ACTIVIDAD DIDÁCTICA DE POSGRADO

Wind characterization in complex urban environments: proposal for a postgraduate teaching activity

Mag. Gastón César Saez de Arregui [gsaez218@gmail.com]

Dra. Sonia Beatriz Concari [sconcari@gmail.com]

*Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura – Universidad Nacional de Rosario
Av. Pellegrini 250 – Rosario – Santa Fe - Argentina*

Dr. Jorge Luis Lassig [lassigj@yahoo.com.ar]

*Facultad de Ingeniería – Universidad Nacional del Comahue
Buenos Aires 1400 – Neuquén - Argentina*

Recebido em: 06/09/2023

Aceito em: 25/11/2023

Resumen

El desarrollo sustentable resulta hoy, más que un anhelo, una necesidad a la que debe atenderse. Las crecientes demandas de energía, el incremento progresivo de los precios, junto con el deterioro progresivo del medio ambiente, nos obligan, como ciudadanos, a repensar nuestro modo de vida y, como tecnólogos, a desarrollar nuevas soluciones para esos problemas. En este contexto, el crecimiento de la demanda energética no puede ser sostenido sin integrar las fuentes renovables y las redes distribuidas de energía. La energía eólica es un recurso que no ha sido aun profusamente explorado en ambientes urbanos. Desde los aspectos de diseño y operación de las turbinas hasta la caracterización del recurso, se trata de cuestiones a estudiar en condiciones más complejas que las presentes en los parques eólicos de alta potencia debido a la rugosidad del terreno y la interacción del viento con este. Una evidencia de esta complejidad es la gran turbulencia que los techos de los edificios generan en el flujo de viento; se desarrollan fuertes vórtices, por lo que, para caracterizar dicho flujo, se requiere evaluar las tres componentes de la velocidad del viento y, además, registrarlas en varios puntos del lugar de emplazamiento del generador eólico, lo cual no es posible lograr con una estación meteorológica convencional. Por lo expuesto, resulta de interés desarrollar un método que permita escanear los vectores de viento en un volumen determinado sobre la terraza de un edificio, para poder estudiar la componente fluido-dinámica del mismo en condiciones urbanas reales. Se propone en este trabajo, identificar y comparar variables físicas intervinientes en el desempeño de aerogeneradores operados en edificios dentro de ciudades, desarrollar un método de medición tridimensional del viento en ambientes urbanos complejos y diseñar una actividad experimental afín, destinada a estudiantes de la carrera de Magister en Energía para el Desarrollo Sostenible.

Palabras clave: Energía renovable; Eólica; Medio ambiente.

Abstract

Sustainable development is today more than a desire, a need that must be addressed. The growing demands for energy, the progressive increase in prices, together with the progressive deterioration of the environment force us, as citizens, to rethink our way of life and, as technologists, to develop new solutions for these problems. In this context, the growth of energy demand cannot be sustained without integrating renewable sources and distributed energy networks.

Wind energy is a resource that has not yet been extensively explored in urban environments. From the design and operation aspects of the turbines to the characterization of the resource, these are issues to be studied in more complex conditions than those present in high-power wind farms due to the roughness of the terrain and the interaction of the wind with it. Evidence of this complexity is the great turbulence that the roofs of buildings generate in the wind flow; strong vortices develop, therefore, to characterize said flow, it is necessary to evaluate the three components of the wind speed and, in addition, record them at various points in the location of the wind generator, which is not possible to achieve with a conventional weather station. For these reasons, it is of interest to develop a method that allows the scanning of wind vectors in a given volume on the terrace of a building, in order to study its fluid-dynamic component in complex urban environments. It is proposed identify and compare physical variables involved in the performance of wind turbines operated in buildings within cities, develop a three-dimensional wind measurement method in complex urban environments and design a related experimental activity for students of the Master's degree in Energy for Sustainable Development.

Keywords: Renewable energy; Eolic; Environment.

Introducción

La formación de profesionales especializados en la gestión y explotación racional, eficiente y sustentable de los recursos energéticos constituye un requerimiento actual al que las instituciones universitarias deben atender.

Del amplio espectro de las energías renovables, la energía eólica es un recurso que no ha sido aun profusamente explorado en ambientes urbanos. Desde los aspectos de diseño y operación de las turbinas hasta la caracterización del recurso, se trata de cuestiones a estudiar en condiciones más complejas que las presentes en los parques eólicos de alta potencia debido a la rugosidad del terreno y la interacción del viento con este (perfil de edificaciones, corredores de aire en calles emplazados en terrenos desprovistos de edificaciones).

En este trabajo se presenta un método que permite evaluar los vectores de viento en un volumen determinado sobre la terraza de un edificio, para estudiar la componente fluido-dinámica del mismo sobre ambientes urbanos complejos. Se describe el método y se proporcionan pautas para el desarrollo de una actividad de aprendizaje destinada a estudiantes de una Maestría en Energía para el Desarrollo Sostenible.

Estado de conocimiento sobre el tema

El desarrollo sustentable resulta hoy más que un anhelo, una necesidad a la que debe atenderse, entre otras, el uso de la energía eólica juega un papel destacado en el espectro de las energías renovables que se emplean en la matriz de diversificación de fuentes energéticas sustentables. El viento es un recurso que existe en todo el mundo, y que, bajo ciertas condiciones orográficas, podría aumentar sensiblemente su potencial energético. Asimismo, los denominados “efectos concentradores” pueden mejorar significativamente la velocidad media del flujo del viento. Estos efectos no se dan sólo en la naturaleza, sino también en entornos urbanos, lo cual hace aconsejable su estudio como medio de optimización del recurso energético. Al respecto, los edificios producen que el viento se acelere por encima de ellos, aumentando su velocidad en el entorno urbano (X1) condición que a priori estimula para aprovecharlo como recurso energético.

La integración de turbinas eólicas en edificios se está transformando en una nueva posibilidad que ha comenzado a estudiarse en los centros de investigación universitarios en energía eólica -como la Universidad Técnica de Delft en Holanda- y también empieza a explorarse a pequeña escala en varias ciudades holandesas, como Amsterdam, La Haya, Tilburg y Twente, y también en el Reino Unido (Cace et al., 2007).

Como ejemplos nacionales podemos citar a la torre Cefira en Mar del Plata, donde sobre la terraza del edificio se instaló una turbina eólica de eje horizontal de 4,5 kW de potencia, capaz de suministrar el 15% del consumo eléctrico del edificio (La Nación, 2008), y el Pasaje 8 Bis en la ciudad de La Plata, donde se instalaron sobre el techo de dos edificios de 30 m de alto, dos aerogeneradores y paneles solares (Pasaje 8 Bis, 2016).

En este sentido, el Dr. Ignacio Cruz, destacado profesional dedicado al estudio e investigación de la energía eólica en ambientes urbanos en el centro Ciemat de España, declara que, basado en estudios preliminares, el potencial eólico sobre edificios puede convertirse en una importante fuente energética que ayude a satisfacer una demanda local y puntual, pero aún queda mucho camino por recorrer, tal como lo expresara en el Curso de “Principios de conversión de la Energía Eólica”, dictado en la ciudad de Getafe, España, en enero de 2012 en el capítulo sobre “La integración urbana de mini aerogeneradores” (Cruz, 2012).

Identificación de las variables físicas de interés

Dada la complejidad del ambiente urbano, y de los estudios relacionados con el recurso eólico y el desempeño de aerogeneradores operados en edificios dentro de ciudades, referidos en la sección anterior, se identificaron como aspectos relevantes a ser considerados en este estudio: la rugosidad del perfil urbano, la ubicación de turbulencias y vórtices en el flujo del viento sobre los techos y las variaciones temporales del viento en cada punto.

La densidad de los árboles, la ubicación y el tamaño de los lagos, ríos, colinas y edificios afectan en gran medida la distribución de la velocidad en la capa límite planetaria. El cambio en el espesor completo de la capa límite puede variar de unos cuantos cientos de metros hasta varios kilómetros y es más grande en condiciones inestables (por ejemplo, grandes urbes con fábricas) que en condiciones estables (zona rural).

La Figura 1 muestra el efecto general de la rugosidad del terreno en el perfil de la velocidad del viento. En este ejemplo, el cambio en el espesor completo de la capa límite va de unos 500 m hasta los 280 m, para rugosidad decreciente.

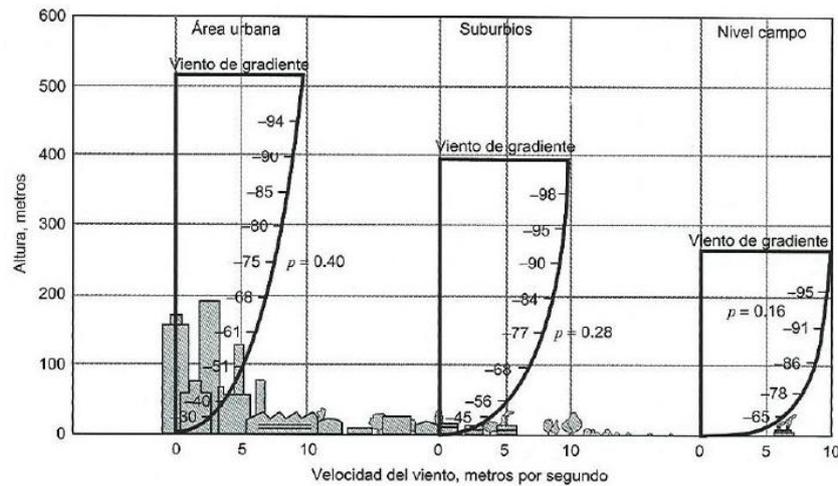


Figura 1: Efectos de la rugosidad del terreno sobre el perfil de velocidad de la capa límite atmosférica. Fuente: [Wark y Davis 1998](#).

El medio urbano está caracterizado en las normas de acción del viento en edificios (documento INTI Cirsoc - apartado 102), limitadas a cuatro tipos de ambientes: rural, semi rural, urbano y urbano con edificios altos. La ciudad de Rosario – Santa Fe – Argentina, presenta un ambiente urbano con edificios altos, como se ve en la Figura 2, por lo que el modelo de capa límite atmosférica está indicado en dichas normas y es el que se utilizó en los ensayos físicos.



Figura 2: Ciudad de Rosario - Santa Fe - Argentina

La rugosidad presente en el territorio es determinante y al ser infinitamente variada, vuelve complejo el análisis necesitando realizar un estudio puntual para cada situación. No obstante, es factible comenzar a estudiar qué sucede con el viento a medida que éste va experimentando encuentros con “obstáculos” en medio de su camino.

El flujo del viento y la intensidad de la turbulencia a nivel del techo dependen mayoritariamente de la forma que este tenga, y si bien la formas de los techos incide en el rendimiento de los aerogeneradores montados en ellos, han sido limitados los estudios previos en el campo

Como estudio complementario, se revisó el trabajo realizado por X1, en el año 2020 para especificar la forma óptima del techo para el montaje de turbinas eólicas con fines energéticos. Para llevar adelante esa tarea, se utilizó el software comercial de simulación computada específica ANSYS CFD Fluent 12.1 para simular el flujo del viento sobre seis formas diferentes de techo que cubren un edificio cúbico cuya altura de borde es de 6 m. Las formas de techo consideradas fueron: plana, semi esférica, a dos aguas, piramidal abovedado y con cuña que representan las formas de techo más utilizadas en zonas urbanas (Figura 3).

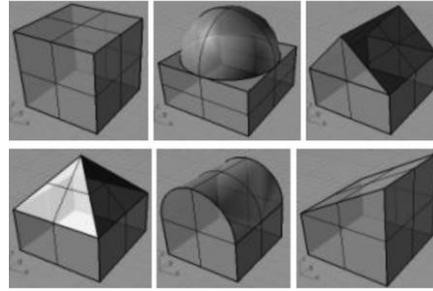


Figura 3: Formas de telhado modeladas, desde la parte superior izquierda: plana, abovedada, a dos aguas, piramidal, barril abovedado y acuñaado.

En Argentina los edificios en altura son mayoritariamente prismas de sección rectangular, y su telhado mayormente es plano con obstrucciones como compartimientos para los tanques de agua, departamento del conserje, entre otros (Figura 4).



Figura 4: Esquema típico de edificio de telhado plano.

La determinación de las áreas aptas y no aptas para la instalación de aerogeneradores, puede establecerse a priori mediante simulaciones físicas (túneles de viento) y/o simulaciones computacionales (CFD).

Todos los edificios producen una aceleración de flujo libre del viento en ciertos lugares cercanos a cada edificio, a medida que nos alejamos, la velocidad del viento se acerca a la velocidad del viento de la corriente libre. En un edificio con bordes afilados a barlovento del viento, la capa límite se separa en estos bordes formando burbujas de separación en los lados y en la parte superior del edificio. La corriente principal se desvía a su alrededor y se forma una gran estela a sotavento. La Figura 5 muestra un esquema parcial de la descripción anterior, ya que se trata de un estudio CFD 2D (X1, 2020), que reproduce parcialmente lo que sucede. Los resultados de esta separación son una región con bajas velocidades, un alto nivel de turbulencia y la recirculación del flujo en el telhado. La recirculación es un vórtice pegado a la superficie, en este caso al telhado, muy turbulento y de baja velocidad. El viento se desvía y pasa por arriba del mismo, por lo que esta región debe evitarse para la ubicación de aerogeneradores y de las torres de medición. Por lo tanto, es importante conocer el tamaño de esta región de recirculación. Por otro lado, existe una zona de aceleración del viento en el telhado, que en la Figura 5 se indica con los vectores de colores de amarillo a rojo. Esta es la zona con mayor potencia eólica disponible.

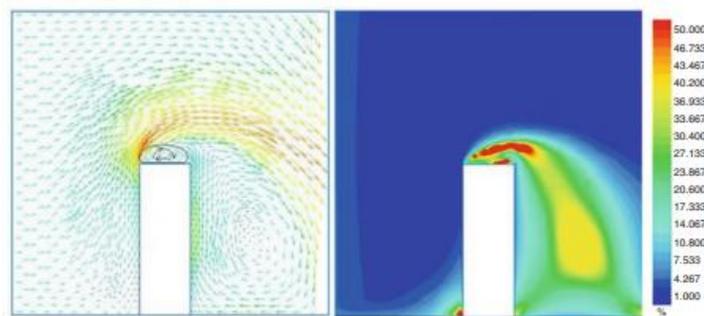


Figura 5: Resultado de simulaciones computacionales del viento sobre techo plano.

La forma geométrica del techo cambia el patrón de flujo del viento sobre él. En la Figura 6, el patrón de flujo visualizado con humo de las pruebas en el túnel de viento se ilustra con cuatro formas de techo plano. Se puede observar la zona de recirculación que marca el humo sobre el techo plano horizontal. Para cubiertas inclinadas y semi-inclinadas prácticamente no existen zonas de recirculación, por lo que las velocidades máximas del viento están más cerca de la cubierta.

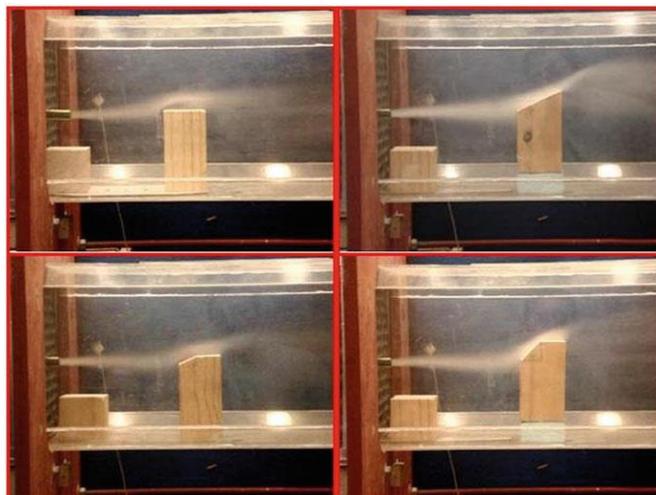


Figura 6: Flujo de viento sobre techos diferentes en túnel de viento.

Si el viento impacta desde la dirección opuesta, los patrones de flujo son diferentes y más perjudiciales para ubicar los aerogeneradores, como se ve en las Figuras 7 y 8.

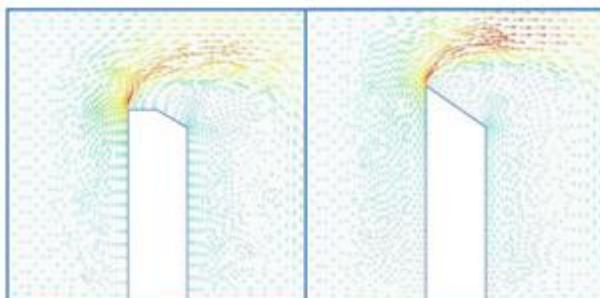


Figura 7: Distribución de velocidades sobre techos inclinados.

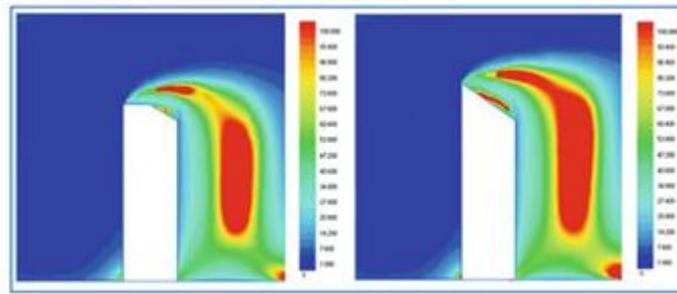


Figura 8: Intensidad de turbulencia sobre techos inclinados.

Por lo expuesto, podemos concluir que la geometría del techo y su ubicación con respecto al viento es relevante para la ubicación adecuada de los aerogeneradores sobre ellos. Lo mostrado hasta ahora corresponde a un edificio aislado. Si “sumergimos” este edificio dentro de una ciudad, el patrón del flujo incidente será más complejo debido a la interacción entre los edificios cercanos y al aumento de la intensidad de turbulencia en ese entorno.

Las viviendas con techos planos son muy comunes en los países de América Latina y Europa. En particular, los edificios altos dedican su techo para usarlo como terraza donde agregan construcciones adicionales como gimnasios, piscinas con solarium, tanques de agua, y cuartos de máquinas (como ascensores, y sistemas de aire acondicionado). Estos últimos son más voluminosos y pueden sobresalir del techo haciendo que pierda su forma “plana” y se convierta en el techo “escalonado”. Ejemplos de estos techos de edificios altos se indican en la Figura 9.



Figura 9: Edificios típicos de ciudades de Argentina.

En los casos en que las construcciones adicionales sobre el techo plano son bajas, el edificio se considera como de techo plano. Cuando las construcciones que sobresalen por encima de la cubierta son más importantes, debe ser considerado como plano escalonado.

En un túnel de viento, se estudió el efecto del viento en esas tres direcciones sobre un modelo construido a escala de 1:100.

La figura 10 (izquierda) muestra que el viento a barlovento sube y acelera a una altura de 5 m por encima del depósito de agua, rodeándolo, pero, a sotavento del tanque de agua, la depresión creada produce vórtices reduciendo la intensidad del viento y aumentando la intensidad de la turbulencia. Por lo tanto, esta área no es adecuada para la instalación de aerogeneradores.

A barlovento del tanque de agua (Figura 10 centro) aparece un vórtice determinando otra zona de gran intensidad de turbulencia. A ambos lados del tanque de agua el viento pasa y acelera sobre el techo del piso superior, y hay dos vórtices de barlovento y sotavento de esa estructura en la base de la terraza (Figura 10 derecha).

En la Figura 11 se observan las zonas de turbulencia por efecto de los vientos del Sur, menos intensos.



Figura 10: Flujo de viento sobre diferentes configuraciones del techo de un edificio.

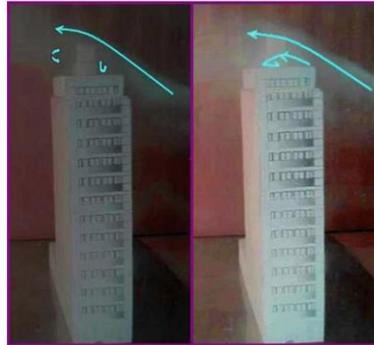


Figura 11: Patrón de flujo en el tanque de agua (izquierda) y en ambos lados (derecha).

A partir de las mediciones hechas en túnel de viento, se determinó de manera cualitativa las áreas con mayor turbulencia.

Para poder completar estos análisis con valores reales de campo, es necesario desarrollar un método de medición y evaluación tridimensional del viento en ambientes urbanos. Basado en los estudios previos expuestos, se propuso el siguiente método de evaluación 3D del viento.

Desarrollo del método de medición

El propósito es obtener información que permita caracterizar el viento en un ambiente urbano de rugosidad variada. El conocer el campo vectorial de velocidad posibilita determinar la intensidad de turbulencia, la presencia de vórtices, las aceleraciones puntuales del viento y los cambios repentinos que estos pueden sufrir.

Considerando tres planos ortogonales xz , xy , yz , y expresando el vector velocidad del viento en tres direcciones ortogonales x , y , z , por sus componentes μ , ω y σ , es posible obtener esos valores, a partir de la medición de la velocidad del viento en los tres planos V_{xz} , V_{xy} y V_{yz} , como sigue:

$$V_{xz}^2 = \mu^2 + \omega^2$$

$$V_{xy}^2 = \mu^2 + \sigma^2$$

$$V_{yz}^2 = \sigma^2 + \omega^2$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones obtenemos las velocidades en cada eje a partir de las velocidades en cada plano.

$$\mu = \sqrt{\frac{V_{xz}^2 + V_{xy}^2 - V_{yz}^2}{2}}$$

$$\omega = \sqrt{\frac{V_{xz}^2 + V_{yz}^2 - V_{xy}^2}{2}}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{V_{yz}^2 + V_{xy}^2 - V_{xz}^2}{2}}$$

Para la medición de las velocidades V_{xz} , V_{xy} y V_{yz} se diseñó un anemómetro de coperolas 3D, consistente en tres anemómetros de coperolas dispuestos en tres planos perpendiculares entre sí. Los mismos fueron construidos empleando una impresora 3D y montados en un eje a través de soportes construidos de igual manera, como se muestra en la Figura 14.



Figura 12: Izquierda: coperola individual. Derecha: Sistema de tres anemómetros montados en tres planos perpendiculares.

Cada anemómetro individual se conectó a un Microcontrolador ESP32 que lee el movimiento del dispositivo por medio de una señal de tensión eléctrica convertida a un valor digital. La calibración del sistema fue realizada en un túnel de viento (Figura 12). La curva de calibración, resultado de ese procedimiento se muestra en la Figura 13. La misma presenta linealidad en tres rangos de medidas: 0 – 8 m/s, 8 – 18 m/s y 18 – 32 m/s.

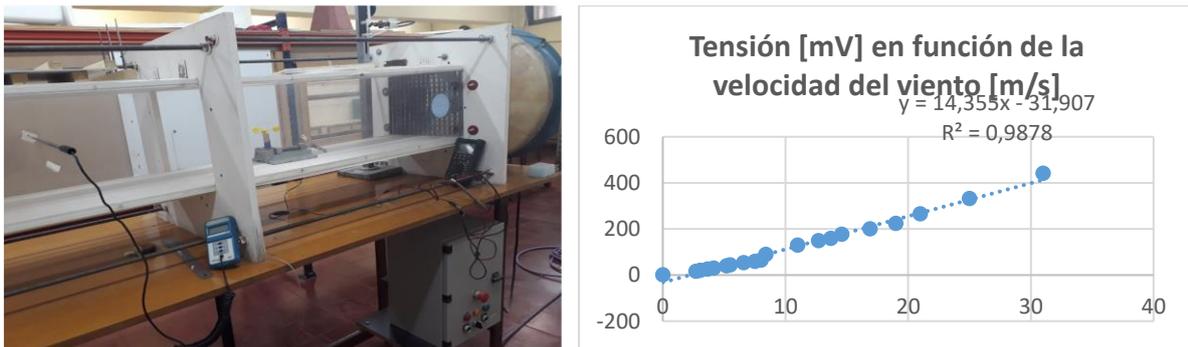


Figura 13: Izquierda: Anemómetro en túnel de viento. Derecha: Curva de calibración.

Con el procedimiento descrito, el sistema permite tomar nueve mil valores en diez minutos.

Diseño de la estrategia didáctica

La Maestría en Energía para el Desarrollo Sostenible de la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura (FCEIA) de la Universidad Nacional de Rosario (UNR) es una carrera semipresencial

que prepara profesionales para producir, gestionar y administrar energías renovables de manera eficiente.

Dentro del currículo, la asignatura obligatoria Laboratorio de Energías Renovables tiene como objetivo ofrecer a los alumnos formación de laboratorio en áreas de las energías renovables, a través de la realización de actividades experimentales empleando equipamiento propio del Laboratorio de Energía de la FCEIA. Se pretende que los estudiantes transfieran los conocimientos construidos en otras asignaturas para resolver nuevos problemas prácticos.

En el marco de dicha asignatura se propuso una actividad de aprendizaje que permitiera a los maestrands caracterizar experimentalmente el recurso eólico sobre el techo del edificio donde se aloja el Laboratorio de Energía, empleando el método descrito.

El objetivo didáctico que se persigue es enfrentar al estudiante a actividades que competen a su futuro desempeño profesional, tales como el diseño, el análisis crítico de resultados experimentales y la modelización. La actividad se plantea a través del siguiente esquema, respondiendo a las características de un trabajo práctico semi-estructurado, de modo que los estudiantes diseñen su propio camino de resolución del problema planteado.

Consigna: “Se desea instalar un aerogenerador en el techo del edificio de la FCEIA para cubrir sus requerimientos energéticos (datos disponibles). Diseñe una estrategia para evaluar la factibilidad y la ubicación más adecuada para el montaje del aerogenerador. Discuta con sus compañeros las alternativas consideradas. En cualquier momento, puede solicitar a la cátedra la información que considere necesaria. Así mismo, puede utilizar todo el equipamiento que conoce, disponible en este laboratorio.”

La tarea se plantea como un trabajo colaborativo en grupos de tres estudiantes, a ser desarrollado, en principio, durante tres clases de seis horas cada una.

Se espera que, a partir de las propuestas de cada estudiante y el posterior consenso alcanzado y, en función de las necesidades para resolver el problema, la actividad se realice a través de una secuencia conforme a la siguiente:

1. La observación del montaje y la conexión del anemómetro 3D al microprocesador.
2. El análisis crítico de los resultados de las simulaciones para proponer la ubicación de los anemómetros 3D sobre la terraza del Laboratorio de Energía Renovable de la FCEIA-UNR.
3. La ejecución del trabajo de campo realizando mediciones del flujo tridimensional de viento sobre esa terraza.
4. La aplicación de la curva de calibración obtenida en túnel de viento.
5. El modelado de los resultados experimentales.
6. La predicción de las posibilidades de montaje de aerogeneradores en el sitio conforme a los valores obtenidos que caracterizan el flujo de viento en el lugar.

Dado que la presente es una propuesta aún no implementada, no se dispone de datos para su evaluación.

Síntesis y perspectivas

Se ha presentado el proceso de investigación realizado y el método de medición propuesto para caracterizar el viento sobre el techo de un edificio en un ambiente urbano, así como la actividad de aprendizaje destinada a estudiantes de la carrera de Maestría en Energía para el Desarrollo Sostenible.

En el nivel de posgrado de una carrera con perfil tecnológico en temas de energía, es importante ofrecer actividades de aprendizaje que acerquen al estudiante a problemas reales a los que podrán enfrentarse una vez egresados. A través de la actividad propuesta, se enfrenta a los estudiantes a

situaciones que promoverían el desarrollo de habilidades experimentales (conexión eléctrico, montaje mecánico, etc.), de diseño, de análisis crítico y de modelado, fundamentales para su futuro desempeño profesional.

Como parte de una tesis de Doctorado en Ingeniería, este trabajo será completado con resultados experimentales obtenidos empleando el método de medición presentado, así como la aplicación de la propuesta didáctica. Dicho trabajo se encuentra en realización.

Referencias

Arraña, I., Chemes, J., Fernández F., Frattin, P., Zelaschi, F., Di Ruscio, N. (2014). Evaluación del recurso eólico de la localidad de Rufino para la generación de energía eléctrica. JIT 2014. http://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/secretarias/cyt/files/jit2014/actas/EE_36_ALM_RO.pdf

Cace, J., ter Horst, E., Syngellakis, K., Niel, M., Clement, P., Heppener, R. & Peirano, E. (2007). Urban wind turbines. Guidelines for small wind turbines in the built environment. Wind Energy Integration in the Urban Environment (WINEUR); February 2007; http://www.urbanwind.net/pdf/SMALL_WIND_TURBINES_GUIDE_final.pdf (Consultado 10/05/17).

Cruz, Ignacio. CIEMAT, 2012 https://o2o3.files.wordpress.com/2012/03/cruz_ciemat_2012-01-26_getafe_minieolica-entorno-urbano.pdf

Estabillo, F. (2015). Determinación del aprovechamiento eólico para un edificio sustentable en la ciudad de Rosario. Tesis de Maestría en Energía para el Desarrollo Sostenible, UNR, Agosto 2015.

Fenes, G. (2015). Santa Fe ya piensa en profundizar sus estudios de medición de vientos para desarrollar energía eólica. Energía Estratégica, 28 de mayo de 2015. <http://www.energiaestrategica.com/santa-fe-ya-piensa-en-profundizar-sus-estudios-de-medicion-de-vientos-para-desarrollar-energia-eolica/>

Grant, A., Johnstone, C., & Kelly, N. (2008). Urban wind energy conversion: the potential of ducted turbines. *Renewable Energy*, 33(6), 1157-1163.

La Nación (2008). Mar del Plata ya tiene su edificio ecológico. Lunes 21 de enero de 2008. <http://www.lanacion.com.ar/980582-mar-del-plata-ya-tiene-su-edificio-ecologico> (Consulta 10/05/17).

X1 (2020)

Lu, L. & Yan Ip, K. (2009). Investigation on the feasibility and enhancement methods of wind power utilization in high-rise buildings of Hong Kong, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(2), 450–461.

Luccini, E. y Pomar, J. (2012). Caracterización de vientos en Rosario, Argentina, a partir de mediciones 2008-2011. ASADES, <http://www.cricyt.edu.ar/asades/modulos/averma/trabajos/2012/2012-t011-a001.pdf> (Consulta 10/05/17).

Mithraratne, N. (2009). Roof-top wind turbines for microgeneration in urban houses in New Zealand. *Energy and Buildings*, 41, 1013–1018.

Pasaje 8 Bis (2016). <http://www.pasaje8bis.com.ar/> (Consulta 10/05/17).

Wang, F., Baia, L., Fletcher, J., Whiteford, J. & Cullen, D. (2008). The methodology for aerodynamic study on a small domestic wind turbine with scoop. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 96, 1–24, Ed. Elsevier. http://wind-energy.ucoz.com/works/The_methodology_for_aerodynamic_study_on_a_small_d.pdf