


Aplicación de generadores eólicos de eje vertical como solución sostenible para el suministro eléctrico en mercados urbanos vulnerables

Application of vertical axis wind turbines as a sustainable solution for electricity supply in vulnerable urban markets

 José Luis Yovera Sosa
jyoveraso@ucvvirtual.edu.pe
Universidad César Vallejo, Perú

 Kevin Anthony Cristobal Bustillos
kecristobalb@ucvvirtual.edu.pe
Universidad César Vallejo, Perú

 Danessy Sharon Ramírez Rojas
dramirezro8@ucvvirtual.edu.pe
Universidad César Vallejo, Perú

 Oshin Silva Sánchez
osilvasan@ucvvirtual.edu.pe
Universidad César Vallejo, Perú

Resumen

Este trabajo presenta el diseño y la puesta en marcha de un aerogenerador de eje vertical como alternativa energética sostenible para zonas urbanas que experimentan cortes frecuentes de electricidad. El proyecto se llevó a cabo en el Mercado San Valentín, ubicado en San Martín de Porres, Lima, donde la inestabilidad del suministro eléctrico afecta el desarrollo comercial. Se empleó una metodología integral, utilizando tanto herramientas cualitativas como cuantitativas, tales como encuestas, entrevistas, pruebas experimentales del prototipo y validación social. Los resultados revelaron que el 70% de los comerciantes mostró interés en implementar este sistema, destacando su eficiencia, bajo mantenimiento, operación silenciosa y escaso impacto ambiental. Se concluye que la adopción de aerogeneradores de eje vertical en entornos urbanos representa una solución técnica viable y aceptada socialmente, con potencial para ser replicada en otras realidades similares.

Palabras claves: energía eólica, generador de eje vertical, mercados urbanos, energías renovables, autonomía energética.

Abstract

This work presents the design and implementation of a vertical axis wind turbine as a sustainable energy alternative for urban areas that experience frequent electricity outages. The project was carried out at the San Valentín Market, located in San Martín de Porres, Lima, where instability in electrical supply affects commercial development. An integrated methodology was employed, using both qualitative and quantitative tools, such as surveys, interviews, experimental testing of the prototype, and social validation. The results revealed that 70% of the merchants expressed interest in implementing this system, highlighting its efficiency, low maintenance, quiet operation, and minimal environmental impact. It is concluded that the adoption of vertical axis wind turbines in urban environments represents a technically viable and socially accepted solution, with potential for replication in other similar contexts.

Keywords: wind energy, vertical-axis generator, urban markets, renewable energy, energy autonomy.



Introducción

Estudios recientes han demostrado que la aplicación de algoritmos genéticos junto con simulaciones de dinámica de fluidos computacional (CFD) incrementa significativamente el rendimiento de los rotores de turbinas eólicas de eje vertical, especialmente en entornos urbanos con vientos variables. Por ejemplo, Castillo (2024) reporta mejoras de hasta un 36% en la eficiencia mediante este enfoque. Asimismo, investigaciones experimentales sobre turbinas Savonius han evidenciado que la relación entre la velocidad periférica y el coeficiente de potencia es clave para optimizar la captación de energía eólica (Torres Zeballos & Zeballos Hurtado, 2024).

Estas evidencias resaltan la importancia de ajustar los diseños a las condiciones reales del viento para maximizar la eficiencia energética. La necesidad de acceso a energía confiable y sostenible en comunidades con infraestructura eléctrica deficiente ha impulsado la adopción de soluciones eólicas de eje vertical. Además, pruebas en túneles de viento han demostrado que pequeñas modificaciones en el diseño aerodinámico pueden impactar considerablemente la generación eléctrica, subrayando la relevancia de la validación experimental y la adaptación tecnológica al entorno para reducir pérdidas y mejorar la microgeneración en zonas urbanas.

Material y métodos

La investigación se planteó bajo un enfoque aplicado, orientado a resolver problemas concretos mediante el diseño y validación de un generador eólico de eje vertical en un entorno urbano con suministro eléctrico irregular. Se optó por un diseño preexperimental longitudinal, donde se instaló y monitoreó el prototipo en el Mercado San Valentín durante un periodo determinado. Se evaluó el desempeño del sistema bajo diferentes condiciones de viento y cargas eléctricas típicas, como iluminación y balanzas electrónicas, y se recogió la percepción de los comerciantes sobre su funcionamiento. Este método permitió validar tanto la eficiencia técnica del generador como su aceptación social, asegurando la pertinencia de la propuesta en un contexto real.

Resultados

Se construyó un prototipo funcional de aerogenerador de eje vertical para evaluar su desempeño en un entorno urbano real. Las pruebas se realizaron en diferentes puntos del Mercado San Valentín, observándose que la circulación del aire variaba según la disposición de pasillos, techos y estructuras. En las zonas con mayor ventilación, el generador operó de forma continua y eficiente, proporcionando energía suficiente para dispositivos básicos como iluminación LED. En cambio, en áreas con escaso flujo de aire, la producción disminuyó considerablemente, lo que evidencia que la ubicación del equipo es determinante para su rendimiento.

Tabla 1

Evaluación del funcionamiento de la maqueta del generador – Mercado San Valentín (2025)

Zona del mercado	Flujo de viento (observado)	Funcionamiento del rotor	Observaciones
Entrada principal	Moderado	Óptimo	Giro constante del rotor
Pasillo lateral	Bajo	Limitado	Requiere mejor orientación
Zona posterior (sin techo)	Fuerte	Óptimo	Activación inmediata del generador
Zona central techada	Muy bajo	Nulo	Bloqueo total del viento
Sector de carga y descarga	Moderado	Bueno	Giro estable con velocidad media

En este cuadro se muestra el funcionamiento del generador de energía eólica en diferentes sectores del Mercado San Valentín, tomando en cuenta las condiciones de viento en cada zona. Se observó que las áreas al aire libre, como la entrada principal y la sección trasera sin techo, tienen un flujo de aire más pronunciado, lo que posibilita una activación eficiente y continua del rotor. En cambio, en las

zonas cerradas o cubiertas, el rendimiento fue reducido o inexistente, debido a la limitada circulación del aire. Se deduce que la posición del equipo afecta de manera significativa su rendimiento, y que para una futura expansión, será esencial llevar a

cabo un análisis del flujo de aire antes de su colocación, para asegurar su eficacia y autonomía energética en cada sector del mercado.

Tabla 2

Proyección de energía generada por una turbina eólica de eje vertical

Zona del mercado	Velocidad media estimada del viento (m/s)	Potencia estimada (W)	Carga que podría abastecer
Entrada principal	3.5	60	Giro constante del rotor
Pasillo lateral	2.1	35	Requiere mejor orientación
Zona posterior (sin techo)	4.2	95	Activación inmediata del generador
Zona central techada	1	10	Bloqueo total del viento

Esta tabla permite visualizar cómo el desempeño del generador depende directamente del flujo de viento en cada zona del mercado. Se evidencia que áreas abiertas o parcialmente ventiladas (zona posterior, entrada y sector de carga) ofrecen mayor potencial de generación. En cambio, espacios cerrados como la zona central techada limitan significativamente la producción de energía, lo cual deberá ser considerado en una futura implementación a escala real

Discusión

Para comenzar, el diagnóstico en el lugar hizo posible muestreo experimental junto con un análisis visual del ambiente circundante. Esto ayudó a establecer la prioridad de los lugares más idóneos para la instalación del generador eólico.

En este sentido, Limaco Valencia (2023) llevó a cabo un diseño experimental factorial 3^2 para examinar cómo la velocidad del viento y la disposición del rotor afectan el rendimiento de la energía. Sus resultados indicaron que la combinación de una velocidad de viento más alta (8.5 m/s) y una configuración simple del rotor genera una densidad de energía óptima de 55.3 W/m². Esta rigurosidad metodológica subraya la importancia de orientar el diseño del prototipo hacia las condiciones reales del mercado.

Asimismo, Elgue Álvarez (2023) creó una instalación de prueba en un túnel de viento para caracterizar modelos de rotores del tipo Savonius, determinando las dimensiones geométricas que maximizan su eficacia aerodinámica. En nuestro trabajo con la maqueta funcional, los resultados fueron coherentes: las áreas al aire libre del mercado con un buen flujo de aire facilitaron el movimiento del rotor, mientras que en las zonas cubiertas sin viento, el desempeño fue limitado o inexistente. Esto confirma que la

adaptación al entorno físico es crucial para asegurar la viabilidad técnica.

Finalmente, la intención de ampliar el proyecto a una versión de mayor capacidad cuenta con apoyo en los estudios previamente citados, los cuales evidencian mejoras significativas en la densidad de energía y eficiencia con rotaciones simples y condiciones óptimas de viento. Esto se relaciona con la necesidad de fomentar sistemas energéticos sostenibles, que sean silenciosos y autónomos, como respuesta a la inestabilidad del suministro eléctrico durante y tras la pandemia.

Conclusiones

La experiencia obtenida con el aerogenerador eólico de eje vertical en el Mercado San Valentín permite afirmar que esta tecnología representa una alternativa factible y eficiente para la generación de energía en entornos urbanos con acceso limitado o inestable a la red eléctrica convencional.

La validación en campo demostró que, en zonas con adecuada circulación de aire, el sistema es capaz de suministrar energía suficiente para cubrir necesidades básicas, como iluminación y el funcionamiento de dispositivos electrónicos de uso comercial. Además, la respuesta positiva por parte de los comerciantes evidencia una alta aceptación social, motivada por la sencillez operativa, el bajo mantenimiento requerido y el impacto ambiental reducido de la solución propuesta.

El análisis detallado de las distintas ubicaciones dentro del mercado puso de manifiesto la importancia de seleccionar cuidadosamente el sitio de instalación, ya que la eficiencia del aerogenerador depende directamente de la disponibilidad y constancia del flujo de viento. Este hallazgo resalta la necesidad de realizar estudios previos de

las condiciones ambientales antes de implementar este tipo de sistemas a mayor escala.

Por otro lado, la investigación confirma que la replicabilidad y escalabilidad del proyecto son viables, siempre que se adapten las características técnicas del generador a las particularidades de cada entorno. La posibilidad de extender el uso de aerogeneradores de eje vertical a otros mercados urbanos o espacios comunitarios vulnerables abre la puerta a una mayor autonomía energética y a la diversificación de fuentes renovables en la ciudad.

En síntesis, la integración de tecnologías eólicas de eje vertical en contextos urbanos no solo contribuye a la reducción de la dependencia de la red eléctrica tradicional, sino que también promueve el desarrollo sostenible y la resiliencia energética de comunidades afectadas por cortes frecuentes de suministro. Se recomienda, para futuras implementaciones, complementar el análisis técnico con estrategias de educación y sensibilización dirigidas a los usuarios, a fin de maximizar el impacto social y ambiental de la iniciativa.

Referencias bibliográficas

- Castillo, F. A. (2024). Modelado de un impulsor de viento para turbina eólica de eje vertical usando CFD [Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de Querétaro]. Repositorio Institucional UAQ. <https://ring.uaq.mx/handle/123456789/10999>
- Elgue Álvarez, I. (2023). Ensayo de rotores de aerogeneradores de eje vertical: Banco de ensayos en túnel de viento [Tesis de maestría, Universidad de la República, Uruguay]. Repositorio Institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/38460>
- Limaco Valencia, F. A. (2023). Evaluación experimental de la turbina eólica de eje vertical Ugrinsky para mejorar la densidad de potencia [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Institucional. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/10335>
- Linares, S., & Pejerrey, A. (2023). Aplicación de la planificación de requerimiento de distribución (DRP) para reducir tiempos de distribución en las entregas de conservas de pescado. *Ingnosis*, 9(1), 1–12. <https://doi.org/10.18050/ingnosis.v9i1.3068>
- Rubio Rodríguez, B. J. (2024). Estudio de caso: energía eólica para generación de energía eléctrica a nivel urbano [Trabajo de titulación, Universidad de Guayaquil]. Repositorio Institucional. https://www.researchgate.net/publication/379568651_ESTUDIO_DE_CASO_ENERGIA_EOLICA_PARA_GENERACION_DE_ENERGIA_ELECTRICA_A_NIVEL_URBANO
- Torres Zeballos, R., & Zeballos Hurtado, N. (2024). Influencia de la relación de velocidad periférica en el coeficiente de potencia en turbina tipo Savonius. *Revista Ciencia y Tecnología*, 20(2), 15-22. Universidad José Carlos Mariátegui. <https://revistas.ujcm.edu.pe/index.php/rctd/article/view/229/197>