

Propuesta de un Sistema Eólico con Ducto Direccional para el Aprovechamiento de la Energía Residual de una Avícola

Ana Carolina Souto Etchamendi ¹, Jiam Pires Frigo ¹, Oswaldo Hideo Ando Junior ^{1*}

¹ Grupo de Investigación de Energía y Sostenibilidad Energética (GPEnSE), ILATIT, UNILA, Av. Sílvio Américo Sasdelli, 1842, 85866-000, Foz do Iguacu, Paraná, Brasil.

*E-mail autor correspondente: oswaldo.junior@unila.edu.br
Artigo enviado em 11/02/2020, aceito em 09/02/2021.

Resumen: El artículo presenta una propuesta para contribuir a la eficiencia energética de una avícola localizada en Cascavel, ciudad situada en el Estado de Paraná, Brasil. La propiedad agroindustrial consta de dos galpones donde se realiza la crianza de pollos y para ello requiere un alto consumo energético, por lo tanto, se propone aprovechar la energía residual disponible en el viento proveniente de los extractores encargados de llevar a cabo la ventilación del lugar generando energía eléctrica a partir de dicho recurso. Además, este trabajo se destaca por proponer una optimización del sistema eólico mediante la modificación de los tubos direccionadores de los extractores de aire, colocando tubos de Venturi con geometría modificada y determinando una distribución específica de dichos equipos que optimiza el sistema. Logrando de esta forma obtener reducciones considerables en el consumo eléctrico de los establecimientos de hasta el 22% del consumo en ventilación e iluminación y el 12 % del consumo total y consecuentemente, de los costos operacionales a partir de un sistema eólico.

Palabras clave: Eficiencia Energética, Energía Eólica, Energía Residual, Energía Limpia

Proposal for a Wind Generator System with Ducto Router for the use of Energy Harvesting in Poultry

Abstract: The paper presents a proposal to contribute to the energy efficiency of a poultry located in Cascavel, a city located in the State of Paraná, Brazil. The agroindustrial property consists of two sheds where the raising of chickens is carried out and for this it requires a high energy consumption, therefore, it is proposed to take advantage of the residual energy available in the wind from the extractors responsible for carrying out the ventilation of the place generating electricity from said resource. In addition, this work stands out for proposing an optimization of the wind system by modifying the pipes of the air extractors, placing Venturi tubes with modified geometry and determining a specific distribution of said equipment that optimizes the system. Achieving in this way obtain considerable reductions in the electrical consumption of the establishments of up to 22% of the consumption in ventilation and lighting and 12% of the total consumption and consequently, of the operational costs from an wind system.

Keywords: Energy Efficiency, Wind Energy, Energy Harvest, Green Energy.

Introducción

La producción de pollos de corte es una de las actividades económicas de gran importancia en Brasil, especialmente en el Estado de Paraná, donde se desarrolla dicha actividad con un rol fundamental en su economía, esta región tiene gran relevancia en la avicultura en Brasil (Godoy, 2011).

A lo largo de los años, la avicultura se ha desarrollado de forma tal que ha alcanzado un gran nivel de producción industrial, gracias a una adecuada climatización e iluminación que tienen como objetivo el confort de las aves, obteniendo así el mayor crecimiento posible de las mismas (Godoy, 2011).

En lo que se refiere a climatización, uno de sus aspectos fundamentales en galpones avícolas es la adecuada ventilación de los mismos (De Abreu y Abreu, 2012), ya que no sólo promueve la obtención del rango de temperatura ideal para los pollos, sino que también disminuye la presencia de amoníaco en el ambiente que proviene de la descomposición de la denominada cama de aves (mezcla de excrementos, residuos de alimentos y plumas que se acumulan en el suelo y se descomponen) resulta tóxica para las aves (De Abreu y Abreu, 2012).

La avicultura es una actividad que depende del confort de las aves porque en los últimos años la industria pasó por el ya mencionado gran desarrollo, que se basa en investigar cuáles son las condiciones de vida óptimas de polos (De Abreu y Abreu, 2000), inclusive abarca investigaciones en la genética de las aves, logrando presentar así un elevado potencial productivo (Jos, 2007).

Sin embargo, el mencionado confort térmico, esencial para el crecimiento productivo de aves y su desarrollo industrial acarrea un elevado

costo energético. El costo de la energía para el sector industrial en Brasil se encuentra entre los más elevados a nivel mundial, sólo entre los años 2003 y 2010 la tarifa energética presentó un aumento del 95% (en dólares), continuando con ese perfil de crecimiento en los siguientes años (Oliveira et al., 2012).

El productor busca aumentar la producción de carne y así su venta, consecuentemente, en este proyecto se estudia cómo sería posible alcanzar dicho objetivo disminuyendo los mencionados gastos elevados en energía, es decir, apuntar a lo que se denomina producción sustentable como una herramienta de solución al problema de invertir mucho dinero en la necesaria energía. La producción sustentable es aquella que contribuye al equilibrio de la naturaleza, para lo que es necesario que exista un consumo consiente, lo que implica la reducción de productos y/o servicios consumidos (Oliveira et al., 2012).

Como la producción de pollos de corte depende directamente del consumo de energía eléctrica para alcanzar los niveles de producción y calidad deseados entonces es posible lograr que exista una producción sustentable en el ámbito de la avicultura en la medida que se reduzca el consumo energético líquido. Para ello, además de consumir energía también es posible generarla, logrando de esta forma reducir sus costos de operación y contribuir al equilibrio mencionado.

Sin embargo, al hablar de generación de energía, no cualquier tipo de fuente de energía es la más adecuada si el objetivo es alcanzar una producción sustentable, es decir, es adecuado buscar fuentes de baja emisión del gas de efecto invernadero (CO₂), como es el caso de la energía eólica.

Cada MWh producido mediante energía eólica introducida a la red para

sustituir la generación térmica permite evitar prácticamente todo el CO₂ de cada MWh térmico desplazado (Gutiérrez-Martín et al., 2013).

Para poder utilizar energía eólica de forma que pueda contribuir realmente a reducir los costos al lograr una menor demanda de energía de la red, resulta adecuado entender que existe energía residual que es desechada en muchos procesos de producción que puede ser aprovechada y reutilizada (Harvest Energy) (Ando Junior et al., 2013a; Ando Junior et al., 2018). De esta forma, en lugar de solamente consumir energía eléctrica, también es posible producirla a partir de una fuente que de otra forma sería desechada y considerada como pérdida energética del proceso (energía residual).

Así surge la propuesta de aprovechar la energía eólica residual que sale de los extractores para generar energía eléctrica y buscar aumentar la eficiencia del proceso avícola.

En este sentido, este trabajo busca aumentar los valores de energía eléctrica producida a través de un sistema eólico modificando el tubo direccionador de los extractores (tubo de Venturi), logrando de esta forma aumentar la velocidad del viento para generar energía a partir de dicha fuente. Además, se busca optimizar la distribución de dichos tubos y consecuentemente poder elegir aerogeneradores de calidad que serán dispuestos a la salida de los tubos, logrando así alcanzar la mayor producción de energía posible al aprovechar la energía residual de una corriente de viento que es constante debido a la inevitable y ya mencionada ventilación requerida en el proceso de producción.

Fundamentación teórica

Para contextualizar la investigación que se realiza y así brindar un mejor entendimiento sobre el tema, se presenta una breve explicación sobre el funcionamiento de los sistemas productivos avícolas seguido del estado del arte que contiene los más recientes avances tecnológicos en el ámbito avícola seguido de una búsqueda de patentes y productos sobre eficiencia energética, aprovechamiento energético y sistemas eólicos.

Sistema avícola

La producción de aves de corte es una actividad económica de gran importancia en la región del Estado de Paraná (Godoy, 2011), que no se desarrolló igual a otras actividades rurales (a cielo abierto) (De Abreu y Abreu, 2012), "sino que su desarrollo se ha dado en galpones de confinamiento, logrando así un producto de estrategia industrial de genética animal (Jos, 2007).

Por ese motivo esta actividad ha sido estudiada y desarrollada a tal punto que existen varios tipos de estructuras avícolas. Dentro de lo que es el interés de este trabajo, existen diferentes estructuras en función del tipo de ventilación, cada uno con sus respectivas tecnologías de producción (De Abreu y Abreu, 2000).

El primer tipo consiste en galpones de ventilación natural o espontánea (De Abreu y Abreu, 2000), que a su vez puede ser dinámica o térmica, que consisten en que el viento atraviese de forma natural promovido por una diferencia de presión (primer subtipo) o diferencia de temperatura (segundo subtipo) cuya ventilación se produce de forma natural.

Por otra parte, se ha desarrollado el tipo de avícolas de ventilación

artificial, ésta se da por mecanismos instalados que a su vez pueden ser de presión positiva (presurización) o de presión negativa (extracción) (De Abreu y Abreu, 2000).

Este último está compuesto por un galpón que posee determinadas aberturas en su parte superior y en la pared transversal opuesta grandes extractores de viento. La avícola situada en Cascavel, para la cual se realiza esta investigación posee galpones de este último tipo, denominados Darkhouse, de presión negativa. En la Fig. 1 se puede apreciar un diseño ilustrativo de la estructura de este tipo de galpones (De Abreu y Abreu, 2000).

En este tipo de sistemas el aire es forzado a fluir desde dentro hacia afuera por medio de la acción de extractores que crean un vacío parcial dentro de la instalación, provocando una diferencia de presión en relación al medio ambiente externo, condición suficiente para promover el movimiento del fluido (De Abreu y Abreu, 2000).

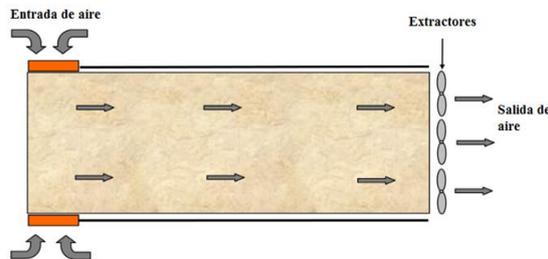


Figura 1. Representación de la ventilación de presión negativa (Godoy, 2011).

Cada uno de los sistemas mencionados están planeados para que sea posible criar a las aves dentro de un ambiente óptimo para su crecimiento. Los pollos tienen la necesidad de crecer en un rango de temperatura ideal (Jos, 2007), fuera del cual pueden someterse desde stress que perjudica su crecimiento hasta su propia muerte prematura. Por otra parte, la mala ventilación del galpón provoca que se

eleve el contenido de amoníaco que se produce en la propia cama de aves (residuos de excremento, plumas y comida desechada) la cual es altamente tóxica para los pollos (De Abreu y Abreu, 2000; Jos, 2007).

Este último tipo de cría de aves de corte es lo que ha permitido el desarrollo industrial del rubro, para el cual aún se sigue investigando para optimizarlo, ya que el aislamiento de las aves contribuye a aplicar mejoras tecnológicas, en lo que se refiere por ejemplo al ahorro energético para aumentar la producción promoviendo el confort del animal. Entre las mejoras que ya se aplican son para la climatización del lugar confinado. Dentro de lo cual se incluye los tipos de ventilación, sistemas informáticos, termostatos, reguladores (microprocesadores) y temporizadores que controlan temperatura y humedad del galpón, además de un adecuado aislamiento térmico y lumínico, esto último ha llevado a grandes avances en cuanto a iluminación desde el control de las horas adecuadas para iluminar hasta la sustitución de lámparas incandescentes (Oliveira et al., 2012).

Estado del arte

Al hablar de aprovechamiento energético y producción sustentable resulta evidente que este proyecto está completamente inmerso en la temática energética y por ende en sus problemáticas y sus avances para encontrar soluciones.

En ese sentido, el ámbito energético se enfrenta a grandes retos, entre ellos el poder desacoplar el aumento del consumo energético con el desarrollo económico, para el cual, en cualquiera de las soluciones estudiadas se encuentra la optimización del uso de la energía mediante la eficiencia energética y el ahorro energético, la

solución más inmediata y menos costosa de aplicar, porque reduce costos y se obtiene beneficio económico a corto plazo. Eso considerando que la eficiencia energética bien aplicada puede llegar a reducir hasta el 43% del consumo energético en los próximos 20 años (Carretero y García, 2012).

El avance de la economía abierta y globalizada fuerza a aumentar la competitividad de las empresas y, por ende, a elevar su producción, al mismo tiempo en que se reducen costos; así, la eficiencia energética es una de las principales áreas de oportunidad para reducir costos, proteger el medio ambiente e incrementar la competitividad de las empresas (Nordelo et al., 2005). Todos estos resultan ser los objetivos del proyecto propuesto en este artículo.

Como se ha mencionado, en este trabajo se busca alcanzar los objetivos anteriores aumentando una eficiencia energética que se promoverá a través del aprovechamiento energético de energía residual.

Un ejemplo muy utilizado a nivel mundial de aprovechamiento de energía residual es la utilización de residuos de las partes muertas de árboles o vegetación en general, restos de podas o el conocido aserrín para calefacción, cocción de alimentos e inclusive calderas industriales de pequeño porte (Salvador, 2010). En lugar de desforestar para dichos cometidos se aprovechan elementos que de otra forma resultan ser residuos, evitando también de esta forma utilizar fuentes de origen fósil.

Otro ejemplo de aprovechamiento energético se encuentra en la producción de café en la cual se estima que menos del 5% de la biomasa generada se aprovecha para hacer la bebida el resto es residuo que puede ser utilizado con fines energéticos (Valencia y Franco, 2010).

De esta forma, surge la idea de utilizar el viento que constantemente sale de los extractores de los galpones agrícolas. Éste contiene energía cinética (actualmente desechada y desperdiciada) que puede ser utilizada y transformada por molinos generadores de energía.

Se prevee que la energía eólica albergará la mitad de la capacidad eólica instalada a escala mundial en países en desarrollo con potencial Eolio-energético, como es el caso de Brasil (Juárez-Hernández y León, 2014). En promedio en el mundo se aprovechan vientos de 6,5 m/s para la generación de energía. Este dato resulta importantísimo como referencia para determinar si el potencial del viento que sale de los extractores acoplados al tubo direccionador modificado factiblemente puede generar energía (Cadena, 2006).

De esta forma, las fuentes energéticas que provienen de fuentes renovables se presentan como una alternativa a la problemática de países en vías de desarrollo sobre el acceso a la energía eléctrica, principalmente en zonas rurales, motivo por el cual se hace cada vez más factible su utilización en ámbitos rurales (Cadena, 2006).

Sin embargo, este proyecto apunta a la generación eólica a pequeña escala, considerando que las principales ventajas de emplazamientos eólicos de dicho porte en sectores rurales son la posibilidad de suministrar electricidad en lugares aislados y alejados de la red eléctrica o la posibilidad de sustituir o complementar la energía obtenida de la red eléctrica logrando así disminuir su demanda energética y por consiguiente, el costo del consumo (Almonacid y Nahuelhual, 2009).

La selección y aplicación de generación de energía a partir de una fuente eólica a pequeña escala es aún una alternativa tecnológica muy poco utilizada en Brasil (Araújo et al., 2009).

En una comparación de los potenciales mercados a atender entre generación a gran y pequeña escala resulta que el primero atendería el segmento de venta de las concesionarias y la segunda atendería el segmento de la autoproducción (Labandeira et al., 2012), coincidiendo con la utilización de este proyecto.

Por último, un futuro sustentable implica el ahorro energético apoyando las tecnologías con bajas emisiones de CO₂, escenario en el cual la energía eólica cumple un rol fundamental (Labandeira et al., 2012).

Desarrollo tecnológico e innovación

Es de vital importancia conocer que ya existe en términos de avance tecnológico en este rubro.

Dentro de las creaciones tecnológicas que resaltan en este sentido, el primer trabajo presenta una cámara de calentamiento alimentada a biomasa, utilizada para controlar el rango de temperatura, que a su vez es capaz de controlar la ceniza (Bueno y Rossi, 2006); el segundo crea un sistema de calefacción con una caldera encendida gracias al calor generado por biomasa como combustible (Dato y Radmilovic, 2010); continuando en el sentido de la calefacción de los galpones avícolas, el tercer trabajo aporta un dispositivo de suministro de calor que comprende tubos de aire caliente, chimenea y un canal de humo de tres vías, como resultado de la aplicación de este dispositivo se obtiene un tipo de gallinero eficiente, que conserva el calor ya que los dispositivos intercambiadores del mismo tienen alta eficiencia, es decir, poca pérdida y poco consumo de combustible (Catelan, 2007).

Como ya se ha visto, además de la calefacción también es de suma importancia el rol que cumple la ventilación en una instalación avícola,

que a su vez también demanda un alto consumo de energía eléctrica. En este sentido se realizan desarrollos tecnológicos para mejorar la ventilación del galpón de cría de aves creando, por ejemplo, una cubierta de retención temporal de aire, que no sólo trabaja con la ventilación del lugar, sino que también aporta a mantener un rango óptimo de temperatura (Araújo et al., 2007).

Por último, la iluminación es un factor fundamental en el proceso de cría de pollos y es aquí donde también la tecnología puede contribuir para su eficiencia energética. De ahí la importancia de crear controladores de iluminación para manejar la iluminación del galpón en la noche (Tinôco, 2001) y de proponer sistemas de control de la onda electromagnética de la luz que ilumina los galpones, para mantenerla dentro de los parámetros en los que promueve la maduración sexual de los pollos y evita su stress (Albuquerque et al., 2006).

En este proyecto se trabaja para el aprovechamiento energético en una avícola con generación de energía eólica a pequeña escala. En la actualidad existen investigaciones de generación de energía eólica de pequeño porte como, por ejemplo, un estudio sobre el desempeño de este tipo de turbinas a ser instaladas en Brasilia, que evaluó varios modelos llegando a la conclusión de que, en términos de generación de energía, aun cuando los valores obtenidos se encontraron por debajo de lo ideal, las turbinas respondieron a estímulos del ambiente provocando que sea factible su utilización, teniendo en cuenta que es de gran importancia el estudio previo de las condiciones del local (Power, 2005).

Otros estudios afirman la factibilidad de la micro generación eólica y presentan trabajos donde se propone la utilización de extractores

como fuente generadora de energía eléctrica, para obtener el mejor resultado para el proyecto de construcción de un generador eólico con bobinas e imanes permanentes, de baja potencia, que presentan un potencial de producción superior al de pequeñas generaciones de energía, además de ser de bajo costo y una alternativa sustentable (Lucyszyn-Suckow y Souza, 2017).

Por último, es necesario destacar que en otras investigaciones se propone generar energía eléctrica a partir de energía eólica, utilizando el viento que sale de los extractores, obteniendo como resultado el 20 % de ahorro de la energía consumida por el motor de 1 CV utilizado en el sistema de ventilación y un 13% para el motor de 1,5 CV (Carniato et al., 2012).

Contribución de la investigación

La energía residual es uno de los recursos más disponibles en el mundo y su potencial es de gran importancia fácilmente comparable a los otros tipos de recursos energéticos (Ando Junior et al., 2013b; Ando Junior et al., 2018). En este aspecto se sustenta la posibilidad de aprovechar la energía residual del viento para lograr el objetivo antes mencionado.

Para ello se plantea construir un sistema eólico a pequeña escala cuyos componentes son: aerogenerador de porte correspondiente, inversor de corriente continua a alternada y controlador de carga, como es posible observar en la Figura 2.

Pero para poder llevarlo a cabo en la realidad es necesario en primer lugar conocer teóricamente cómo se puede obtener y calcular la conversión de la energía cinética contenida en el viento en energía eléctrica (Pinto, 2012; Silva, 2015).

La energía cinética del viento puede ser convertida y aprovechada (Pinto, 2012; Silva 2015). Para cuantificar este procedimiento se define la potencia disponible del viento como:

$$P_{\text{disp}} = \frac{\rho A v^3}{2} \quad (1)$$

Donde, ρ es la masa específica del aire, A el área barrida por las palas del aerogenerador y v la velocidad del viento.

Sin embargo, no toda la potencia disponible en el viento es convertida en energía eléctrica, siendo la misma definida como:

$$P_{\text{ele}} = C_p P_{\text{disp}} \quad (2)$$

Donde, C_p es el coeficiente de potencia, muchos fabricantes de aerogeneradores lo comprenden dentro del concepto de rendimiento del generador eólico (Pinto, 2012; Silva 2015). Entre tanto, existe un límite teórico de C_p llamado coeficiente de Betz e igual a 0,593 el cual nunca será superado en la práctica, ya que cada caso tiene un C_p diferente.

Conociendo la teoría que sustenta esta investigación sólo resta entender si sería factible instalar lo propuesto en la avícola situada en Cascavel/PR – Brasil.

Resulta que efectivamente es posible utilizar este recurso debido a que las instalaciones ubicadas en Cascavel cuentan con el tipo de tecnología de ventilación de presión negativa, lo que significa que a través de los extractores fluye viento con un régimen constante.

Para lograr obtener el mejor aprovechamiento energético posible, es necesario evaluar tanto diferentes aerogeneradores que pueden ser utilizados, así como también evaluar la mejor geometría y disposición de los tubos direccionadores a colocar.

Por lo tanto, teniendo en cuenta las investigaciones existentes en el área específica y áreas de temas relevantes, la importancia de este trabajo radica en mejorar y optimizar los recursos utilizados para obtener un mayor ahorro de energía en la propiedad avícola.

Aquí se busca optimizar la propuesta de otros estudios (Carniato et al., 2012), a partir del análisis de la distribución de los extractores, proponiendo la utilización de tubos direccionadores del tipo Venturi, logrando de esta forma obtener un área venteada y una velocidad de viento óptimas para poder utilizar aerogeneradores de alta gama. Estas optimizaciones contribuyen a alcanzar índices de generación de energía que alcanzan a disminuir el consumo no sólo de los propios extractores, sino el consumo total de energía.

Metodología

La metodología de trabajo se describe en la Figura 2, cuyas etapas son descriptas a continuación.

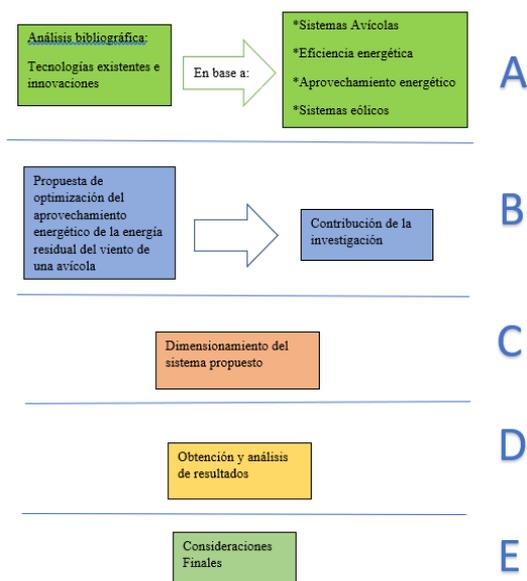


Figura 2. Esquema ilustrativo de la metodología utilizada.

En la Etapa A: En esta etapa se realizó el estudio bibliográfico y levantamiento de base de datos de innovaciones tecnológicas referentes a las áreas temáticas descriptas en el cuadro metodológico.

En la Etapa B: Se realizó la propuesta de implantar un sistema eólico conectado a la red que aproveche el viento proveniente de los extractores. Para ello se planea modificar el tubo direccionador de los extractores mencionados y armar otra una distribución conveniente de dichos extractores.

En la Etapa C: Por lo tanto, en esta etapa se modela matemáticamente la velocidad del viento resultante de la modificación y el área de viento disponible que sea óptima para instalar un aerogenerador de calidad. Datos de fundamental importancia para elegir un aerogenerador de calidad y mayor producción de energía eléctrica.

En la Etapa D: Se evaluó los resultados obtenidos de producción de energía a través del sistema y por consiguiente el ahorro en el consume eléctrico y económico.

En la Etapa E se consideran los resultados obtenidos para elaborar las conclusiones finales del trabajo.

Dimensionamiento del sistema

En esta sección se presenta la metodología adoptada para determinar los elementos que constituyen el sistema eólico modificado propuesto.

Con la intención de facilitar la comprensión del ecuacionamiento adoptado se presenta en la Figura 3 una ilustración de los pasos realizados para llevar a cabo el dimensionamiento y análisis de los resultados que otorga cada sistema.

Se destaca que las etapas A, B y C se refieren al dimensionamiento del Tubo Venturi y su optimización.

Mientras que D y E se refieren al dimensionamiento del sistema de generación.

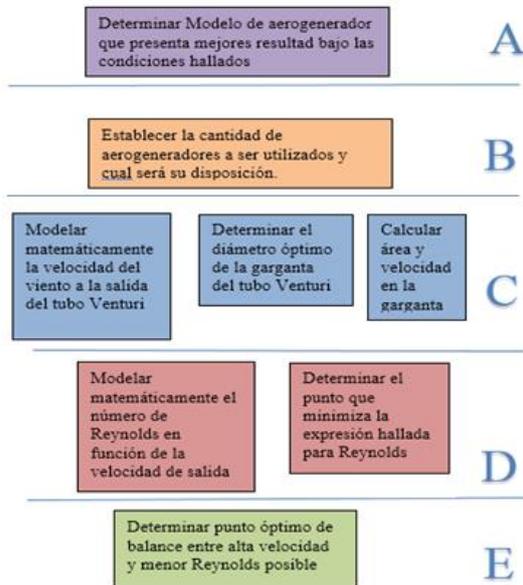


Figura 3. Esquema ilustrativo de etapas realizadas para el dimensionamiento.

Dimensionamiento del Aerogenerador

Para montar el sistema de generación eléctrica a partir de energía eólica es necesario determinar qué aerogenerador será utilizado, por lo tanto, se evalúan diferentes máquinas para conocer con cuál es posible atender la demanda energética del local.

Para ello, es necesario determinar la potencia que dichos modelos pueden generar, la misma puede ser calculada de forma teórica o como fue hecho en este caso, se recurre a la ficha técnica de los aerogeneradores disponibles en el mercado que

proporciona su curva de desempeño en función de la velocidad del viento.

En la Tabla 1 se especifican los modelos evaluados con sus respectivos datos para cada disposición de extractores. Para realizar una selección preliminar de los modelos se tuvo en cuenta que deben ser aerogeneradores de pequeño porte que logren funcionar bajo las condiciones de velocidad del viento calculadas anteriormente, es decir, que su velocidad mínima (conocida también como velocidad de cutin debe ser menor a la velocidad hallada.

Resulta evidente que los mejores resultados se obtienen con las turbinas de eje horizontal modelo Air 40 y Stealth Gen D400 ya que sin ser esos dos, los otros se posicionan con una potencia generada menor a 100 W.

A partir de este punto, los dos aerogeneradores de mayor desempeño serán evaluados en cuanto a cuál resulta ser la mejor máquina.

Ambos se adecuan en cuanto a sus dimensiones para la propuesta para que el generador eólico cumpla con el requisito de que su área de barrido quede comprendida dentro del área de viento disponible, sin embargo, con el Air 40 se puede utilizar un área de barrido un poco menor obteniendo mejores resultados, siendo ésta igual a $1,07 \text{ m}^2$.

Tabla 1. Modelos de aerogeneradores evaluados con sus respectivos datos principales.

Aerogenerador	Velocidad de Arranque	Potencia Producida por Generador	Área Barrida	Eje
Ampair Pacific 0,1 kW	3,50 m/s	34,00 W	0,68 m ²	Horizontal
Ampair Pacific 0,3 kW	3,00 m/s	62,50 W	1,13 m ²	Horizontal
Venturi Wind b.v	2,00 m/s	70,00 W	1,40 m ²	Vertical
Air 40	3,10 m/s	173,33 W	1,07 m ²	Horizontal
Stealth Gen D400	2,00 m/s	107,00 W	0,95 m ²	Horizontal
Rutland 910-3	2,00 m/s	12,00 W	0,20 m ²	Horizontal

Además, para decidir cuál de los dos modelos evaluados es el mejor para utilizar en este proyecto se recurrirá a las especificaciones de la máquina para entender cuál es mejor y tiene un mejor desempeño real (como se explicará con detenimiento más adelante).

En este último aspecto, según las características obtenidas en otras pesquisas (Silva, 2015; Pinto, 2012), y según lo que se puede apreciar en la Figura 4 (para los valores de velocidad que se maneja en este proyecto) el mejor aerogenerador resulta ser el modelo Air 40.

El modelo seleccionado tiene una potencia máxima de 400 W; el cual ante un viento con velocidad de salida de viento de 8,5 m/s genera una potencia eléctrica de 173 W, determinado a través de su curva de potencia, apreciada en gris en la Figura 4.

Siendo P.O el punto de operación y P.O.O el punto óptimo de operación. En la Tabla 2 se especifican los datos técnicos del aerogenerador seleccionado.

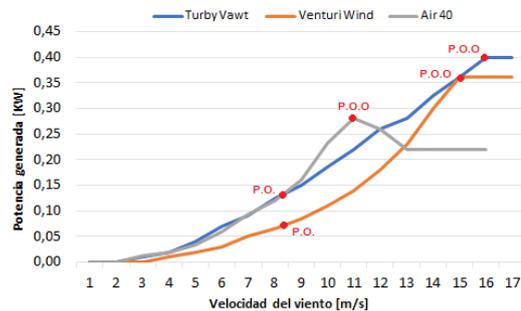


Figura 4. Curva de potencia de los aerogeneradores evaluados. Teniendo mejor desempeño la del aerogenerador Air 40.

A su vez, se propone instalar más de un aerogenerador. Será colocada una turbina delante de cada extractor que contiene cada galpón. Además, se establece que el segundo galpón también tendrá 8 extractores, pues se recomienda que las instalaciones que tienen dimensiones como las del mencionado local deben tener 8 extractores para asegurar el confort térmico (Jos, 2007). Por lo tanto, al realizar este cambio no sólo contribuye al ahorro energético, sino que también mejora el desempeño de los extractores en su función de ventilación. La potencia generada por los 16 extractores (8 para cada galpón) resulta ser entonces:

$$173,33 \times 16 = 2773,31 \text{ W.} \quad (3)$$

Tabla 2. Datos técnicos del aerogenerador

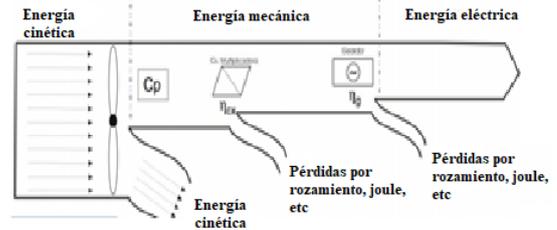
Datos del aerogenerador	Air 40
Potencia nominal	0,40 KW
Área de barrido	1,07 m ²
Diámetro de rotor	0,60 m
Altura rotor	1,17 m
Velocidad de corte	49,20 m/s
Velocidad nominal	17,00 m/s
Datos del aerogenerador	Stealth Gen D400
Potencia nominal	0,40 KW
Área de barrido	0,95 m ²
Diámetro de rotor	1,10 m
Altura rotor	-----
Velocidad de corte	Ninguna
Velocidad nominal	16,00

Los aerogeneradores serán dispuestos en fila hacia la dirección de donde proviene el viento, ya que cuando el terreno es llano y el viento tiene una dirección predominante, como es el caso en cuestión, los aerogeneradores se suelen disponer en filas alineadas (Silva, 2015). En este caso, como la instalación es de pequeño porte, sólo se dispondrá una única fila.

Por último, en lo que se refiere a la potencia eléctrica generada por este sistema eólico, lo que fue calculado son los valores teóricos, sin embargo, en la realidad es necesario tener en cuenta que el propio aerogenerador tiene su eficiencia, la cual no alcanza el 100 %. En la Figura 5 se aprecia un dibujo ilustrativo de cuáles son las pérdidas que se sufren dentro del aerogenerador.

$$P_{elect} = P_{teo} \cdot C_p \cdot \eta_x \cdot \eta_g \quad (4)$$

Donde P_{elect} es la potencia eléctrica real, P_{teo} es la potencia calculada anteriormente, C_p es el coeficiente de potencia de la turbina seleccionada, η_x es la eficiencia de la multiplicadora y η_g resulta ser la eficiencia del generador (Pinto, 2012).

**Figura 5.** Eficiencias del aerogenerador.

Por lo tanto, es necesario conocer tanto el C_p como las eficiencias del aerogenerador para obtener los resultados reales de generación, los cuales son el verdadero interés de este trabajo. En total el aerogenerador tiene un desempeño casi perfecto por lo tanto se asume que su eficiencia será por encima del 99% de la potencia teórica calculada (Nascimento, 2011).

Por lo tanto, para este trabajo se tomará como dato que como mínimo producirá el 99% de la potencia calculada teóricamente. Entonces la potencia eléctrica generada realmente será:

$$P_{ele} = 0,99P_{teo} = 2745,57 \text{ W} \quad (5)$$

Proyecto de tubos direccionadores

En este trabajo se propone un sistema eólico que funcione al aprovechar el viento proveniente de los extractores de aire de los galpones de crianza de pollos en el establecimiento agroindustrial. Para este fin, el presente estudio otorga la opción de análisis de un arreglo adaptado para 1 extractor por aerogenerador.

Sin embargo, es necesario realizar modificaciones adecuadas para optimizar dicho sistema y así lograr que la propuesta aporte la mejor solución posible al problema del elevado costo energético que tiene una avícola.

Se propone mejorar el diseño de los tubos direccionadores de los extractores para aumentar la disponibilidad de energía del viento que

los atraviesa. Para ello, se plantea sustituir el tubo direccionador recto por tubos que simulen un tubo de Venturi, como lo muestra la Fig. 4, logrando de esta forma aumentar la velocidad del viento que sale de estos equipos (Çengel et al., 2015; silva et al., 2010).

Para la construcción del mencionado tubo, se establece que el ángulo recomendado para el cono convergente es de 20° mientras que para el divergente no puede ser mayor a 7° . A su vez, se afirma que el ángulo recomendado para el cono convergente es de 20° y 6° para el divergente (Silva et al., 2010; Çengel et al., 2015).

Esta particularidad en la geometría permite, en primer lugar, un aumento de velocidad en la zona de la garganta y luego, debido al pequeño ángulo de inclinación de la sección divergente, provoca una disminución gradual de la velocidad a medida que aumenta la distancia, ayudando a disminuir la turbulencia del fluido (Silva et al., 2010; Çengel et al., 2015).

En la Figura 6b se puede apreciar el dibujo representativo propuesto donde se visualiza la disposición y geometría de los extractores acoplados a los tubos de Venturi que constituyen el sistema a ser dimensionado en esta propuesta de instalación.

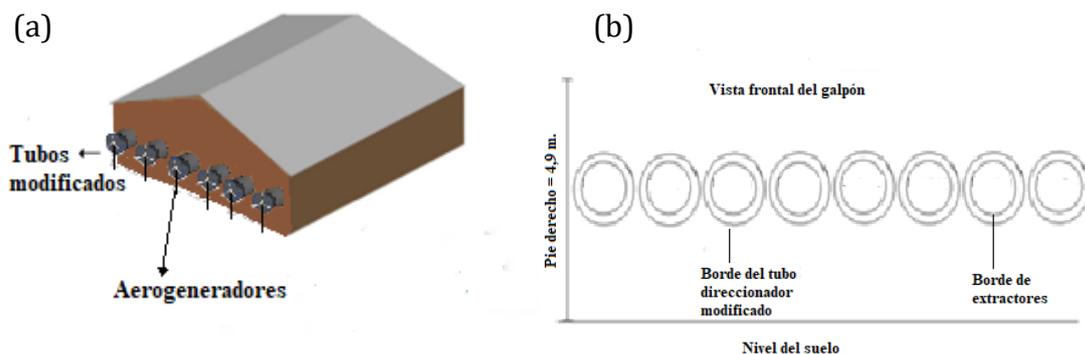


Figura 6. (a) Croquis del sistema propuesto instalado en el galpón pequeño y (b) Visualización frontal del sistema eólico en dos dimensiones.

La iniciativa de este trabajo se desprende de que además de realizar la modificación de los extractores para obtener mejores valores de velocidad también es fundamental determinar cuál es la mejor forma de montar el sistema de forma que se pueda obtener la mayor producción de energía posible, respetando los requerimientos de la instalación agroindustrial.

Al trabajar con la primera disposición propuesta surge el inconveniente de que el aumento de velocidad ocurre en la zona de la garganta del tubo cuya área transversal es muy pequeña, efecto negativo para la generación de energía eólica ya que el área barrida por el aerogenerador a

utilizar debe quedar completamente incluida en el área venteada.

Por lo tanto, se propone determinar la posición óptima en la cual se deben instalar los aerogeneradores donde se logra un balance entre velocidad y área venteada suficiente que posibilite colocar un aerogenerador de calidad, para que de esta forma la energía generada sea la máxima posible.

Como se puede apreciar en la Figura 7 el tubo de Venturi se caracteriza por estar compuesto por una primera sección en forma de cono convergente seguido por otra de cono divergente, formando entonces entre dichas secciones una garganta donde se estrangula el fluido y provoca un

aumento de velocidad (Çengel et al., 2015; Silva et al., 2010).

Por lo ya mencionado en este trabajo se propone instalar un sistema de generación de energía eléctrica a partir del recurso eólico. Como se mencionó que el objetivo principal es lograr producir la mayor cantidad de energía posible entonces la clave del trabajo es lograr utilizar aerogeneradores de calidad.

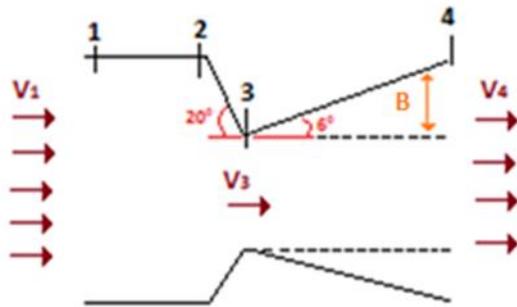


Figura 7. Dibujo esquemático del tubo direccionador a colocar con sus respectivas medidas y datos utilizados para el dimensionamiento.

En el presente capítulo se detallan los datos necesarios para desarrollar la propuesta de instalar un sistema eólico con modificaciones estratégicas y adecuadas para que aporte de la mejor manera posible al ahorro y eficiencia energética de la propiedad avícola.

Para mejor entendimiento por parte del lector en la Figura 6 (a) se aprecia un croquis del sistema mencionado ya instalado en tres dimensiones y un diseño frontal en dos dimensiones.

Inicialmente se presentan los datos utilizados para luego realizar dimensionamiento de dicho sistema, basados en una unidad industrial modelo.

Datos de la empresa - estudio de caso

La empresa agroindustrial ubicada en el municipio de Cascavel

consta con dos instalaciones donde son alojados los pollos durante todo el tiempo de crecimiento. Una de ellas tiene las dimensiones de 12m de ancho por 125 m de largo, la segunda mide 12 m por 100.

En dichas estructuras se lleva a la crianza de las aves, por lo tanto, son las que deben estar equipadas y acondicionadas para que las mismas puedan ser alimentadas, recibir agua y tener el confort térmico el cual es el consumo energético de dichas estructuras para determinar cuál es la potencia que debe ser atendida por el sistema eólico.

Los datos del consumo energético del primer galpón son los siguientes: En la Tabla 3 se muestran los datos correspondientes al consumo de potencia de los galpones de crianza.

Como se puede apreciar en la Tabla 3, en la granja avícola existen dos galpones donde se lleva a cabo la crianza de las aves.

El galpón 2 tiene menores dimensiones que el galpón 1 y por lo tanto su producción es menor, sin embargo, su consumo energético también es menor.

Luego, el total de potencia consumida por instalación y para toda la avícola puede apreciarse en los resultados de la Tabla 4.

Por otra parte, se debe conocer la velocidad con la cual el viento incide sobre los aerogeneradores, entonces se asume que el perfil de dicha velocidad del viento es uniforme.

Como la avícola posee un sistema de ventilación artificial con presión negativa, la presión es la responsable por la uniformidad de la velocidad del viento del sistema. De la presión que posee el ambiente de la estructura depende el funcionamiento de los extractores de forma que acaba influyendo sobre todo el sistema de climatización de la instalación y además

se convierte en un factor fundamental para el sistema eólico (Pinto, 2012).

Es posible determinar la presión del local en función del largo de la

estructura de la avícola por medio de una Tabla (Silva et al., 2010). Los datos se pueden visualizar en la Tabla 5, datos provenientes del gráfico de la Figura 8:

Tabla 3. Datos de consumo de potencia eléctrica del galpón 1 y 2.

Equipamento	Potencia por unidad [W]	Unidade	Pot. Cons. [W]
Galpón 1			
Lámparas	9	35	315
Extractores	736	8	5888
Sist. Alimentación (motor 1)	736	1	736
Sist. Alimentación (motor 2)	368	3	1104
Sist. Calefacción (motor 1)	1472	1	1472
Sist. Calefacción (motor 2)	2208	1	2208
Placa evaporativa	552	1	552
Cortina Automática	184	1	184
Galpón 2			
Lámparas	9	30	270
Extractores	736	6	4416
Sist. Alimentación (motor 1)	736	1	736
Sist. Alimentación (motor 2)	368	3	1104
Sist. Calefacción (motor 1)	1472	1	1472
Sist. Calefacción (motor 2)	2208	1	2208
Placa evaporativa	552	1	552
Cortina Automática	184	1	184
Potencia Galpón 1 [W]	12459		
Potencia Galpón 2	10942		

Tabla 4. Levantamiento de demanda de potencia total y parcial de la avícola

Datos	Potencial Consumida [W]
Consumo Parcial	
Instalación 1	6939
Instalación 2	5422
Subtotal	12361
Consumo Total	
Instalación 1	12459
Instalación 2	10942
Total	23401

Tabla 5. Datos de presión interna del galpón.

Largo [m]	Presión [Pa]
10,0	7,5
11,0	10,0
12,0	12,5

A partir de los datos anteriores es posible apreciar en la Figura 8 que existe una relación entre el flujo volumétrico del viento a través de los extractores y la variación de presión; a partir de la cual se deduce que para una variación de 12,5 Pa y 7,5 Pa los flujos volumétricos de aire son 35500 m³/h y 35000 m³/h respectivamente.

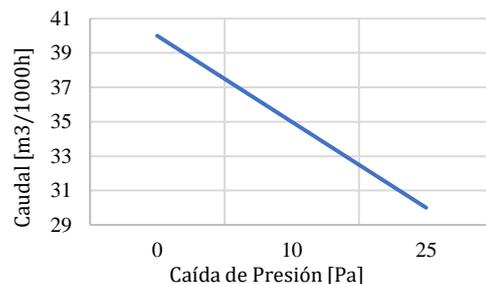


Figura 8. Gráfico de caudal del viento en función de la caída de presión.

Como se puede verificar en los datos de catálogo de extractores, el diámetro de cada uno es de 1,4 m. Luego el área de sección transversal por la que atraviesa el flujo de aire es 1.5 m².

Por lo tanto, es posible determinar la velocidad del viento que pasa a través de los extractores, la cual resulta ser 6,6 m/s en las instalaciones 1 y 2, ya que:

$$\frac{Q}{A \cdot 3600} = V \left[\frac{m}{s} \right] \quad (6)$$

Entonces:

$$\frac{35500}{(1,5)(3600)} = 6,6 \frac{m}{s} \quad (7)$$

Donde Q es el caudal del viento, A es el área por donde atraviesa el mismo y V es la velocidad del viento buscada.

Pérdida de carga

Los extractores están compuestos por tubos direccionadores del viento, por lo tanto, es necesario tener en cuenta que existe pérdida de carga cuando el viento atraviesa los mismos y la misma debe ser considerada.

Dicha pérdida de carga que se da en una sección de ducto recto puede ser calculada teóricamente (Çengel et al., 2015) sin embargo, algunos trabajos demuestran experimentalmente que en estas aplicaciones la pérdida de carga puede ser despreciada (Carniato et al., 2012). Por lo tanto, en este proyecto se la desprecia.

Dimensionamiento del ducto direccionador del viento

Para obtener la mayor producción de energía eléctrica posible, se determinaron la velocidad del viento luego de modificar el tubo direccionador, el área de viento

disponible, así como también se evalúa cuál es la mejor forma de ubicar los extractores para lograr, dadas las condiciones, el objetivo mencionado utilizando el aerogenerador seleccionado.

En este sentido se propone que los extractores tengan la disposición que se puede apreciar en la Figura 6, ya que en este estudio se analizó cuánto puede producir un sistema eólico instalado en dicha avícola, el sistema fue pensado según se muestra en la misma Figura.

En esta configuración se mantiene la ventilación adecuada de la instalación avícola y además su distribución continúa siendo uniforme en la sección transversal del galpón.

En este estudio, como se está haciendo un planteo teórico entonces se idealiza el aire como un fluido incompresible, por lo tanto, se utiliza la siguiente ecuación donde, v_3 y v_4 representan la velocidad del viento en la garganta del tubo y en la salida respectivamente. Análogamente A_3 y A_4 representan las áreas transversales de la garganta y en la salida del tubo.

$$v_4 = \frac{A_3 v_3}{A_4} \quad (8)$$

Para la cual se establece A_4 según la siguiente ecuación:

$$A_4 = (R_g + B)^2 \pi \quad (9)$$

Donde, A_3 y v_3 son el área del tubo y la velocidad del aire en la garganta, mientras que B es la distancia que puede apreciarse en la Figura 6. R_g es el tamaño del radio de la garganta que contribuyó a presentar mejores resultados (60% del radio de entrada), mostrados en la Tabla 6.

Tabla 6. Velocidad y área en la garganta del tubo direccionador del viento

Magnitud	Valor
v_3 [m/s]	18,43
A_3 [m ²]	0,55

La determinación de dicha velocidad está relacionada a la turbulencia del viento y se busca hallar el punto óptimo entre el aumento de v_4 y la disminución de la turbulencia, por lo tanto, se analiza el número de Reynolds de la siguiente forma:

$$\Re = \frac{\rho v_4 L}{\mu} \quad (10)$$

Siendo L la distancia longitudinal que recorre el fluido, μ es $1,849 \cdot 10^{-5}$ Kg/m.s la viscosidad dinámica del fluido y ρ es $1,184$ Kg/m³ la masa específica del aire (Dato e Radmilovic, 2010). Sustituyendo las ecuaciones (8) y (9) en (10) resulta:

$$\Re = \frac{\rho A_3 v_3 B}{\mu (Rg)^2 \pi \tan 6} \quad (11)$$

Derivando la ecuación (11) según B:

$$\frac{dRe}{dB} = \frac{\rho}{\tan 6} \left[\frac{-2BA_3 v_3 + A_3 v_3 (Rg+B)}{(Rg+B)^3 \pi} \right] \quad (12)$$

Resolviendo (11) resulta el valor de B para el montaje del sistema eólico, el mismo es igual a 0,414.

El punto B resulta ser donde cambia el comportamiento turbulento para luego hacerse laminar.

Sin embargo, la velocidad a dicha distancia resulta ser demasiado pequeña para utilización deseada, por lo tanto, fueron probados diferentes valores de B próximos al punto hallado para los diferentes diseños del sistema, los que arrojó los resultados de la Tabla 7.

Tabla 7. Variaciones de los valores de b y los respectivos valores de v_4 y A_4 .

B [m]	v_4 [m/s]	A_4 [m ²]
0,10	11,96	0,85
0,20	8,50	1,21
0,25	7,30	1,41
0,30	6,30	1,60

En la Tabla anterior se evidencia cada valor de B que arroja una determinada velocidad de viento. Se puede concluir que los valores apropiados de B y v_4 son los resaltados en la Tabla 8.

Por lo tanto, este dato permite deducir que la distribución denominada doble es la más adecuada para ser utilizada. Además, esta distribución también se destaca en cuanto a su mayor facilidad de implementación que la distribución cuádruple que es la que le compete a la distribución doble en cuanto a resultados.

En la Figura 7 se apreció un croquis simplificado de la vista en dos dimensiones del tubo modificado a instalar para que se logre entender e identificar cuáles son los parámetros esenciales en el desarrollo matemático que se han mencionado.

Resultados y discusiones

El sistema dimensionado presenta una potencia total generada de 2745,57 W, lo que equivale al 22,2 % de la mayor potencia consumida para llevar a cabo la ventilación e iluminación de los galpones avícolas.

Sin embargo, el consumo en una avícola no es constante, varía a lo largo del año y por lo tanto varía de lote a lote de crianza de pollos.

La Figura 9 muestra la variación del consumo de potencia eléctrica según los diferentes lotes para una avícola climatizada que presenta las mismas características constructivas y está

localizada en una zona muy próxima a la estudiada en este trabajo.

Por lo tanto, resulta indispensable para este trabajo adoptar el comportamiento presentado en la Figura 10 como válido para este caso de estudio.

Luego, respetando las proporciones de variación del gráfico de la Figura 9, se presentan análogos para el caso de estudio.

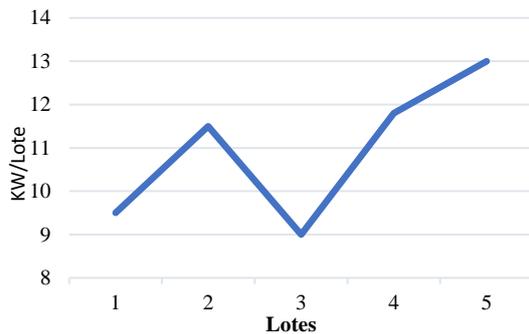


Figura 9. Adaptación propia del gráfico de variación de la potencia consumida para cada lote a lo largo del año.

En la Figura 10 la línea naranja representa el consumo eléctrico total sin la instalación del sistema eólico mientras que en gris se representa la demanda de consumo en iluminación y ventilación. Por último, en azul se aprecia la producción del sistema eólico.

Luego, es posible realizar una comparación entre el consumo eléctrico antes y después de la instalación. Dicha comparación puede apreciarse en el gráfico de la Figura 11 donde se hace evidente que el ahorro tras llevar a cabo las mencionadas instalaciones es de gran significancia.

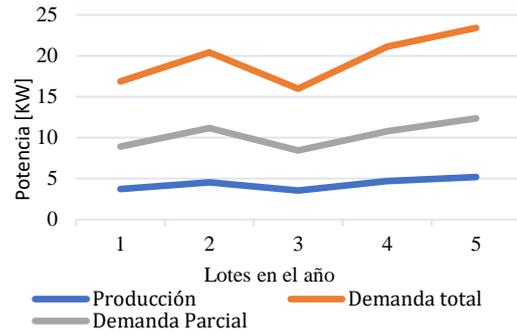


Figura 10. Comparación entre demanda y producción de Potencia eléctrica total.

En la misma Figura se presenta tanto el consumo anterior y posterior en ventilación e iluminación. Si se analiza este gráfico es posible notar que la demanda de energía disminuiría considerablemente de ser instalado el sistema propuesto.

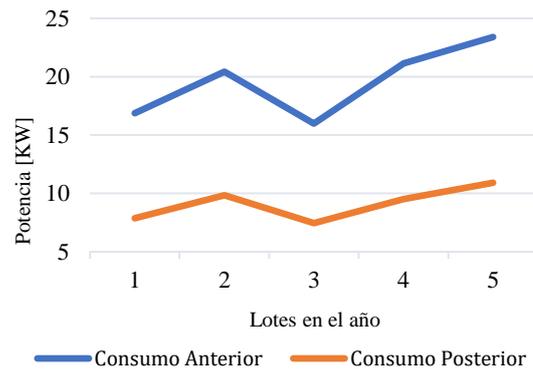


Figura 11. Gráficos comparativos entre el consumo eléctrico sin sistema instalado y con sistema instalado.

Por otra parte, también resulta interesante visualizar el ahorro que obtendría cada galpón de crianza de aves, ya sea total como sólo en iluminación y ventilación.

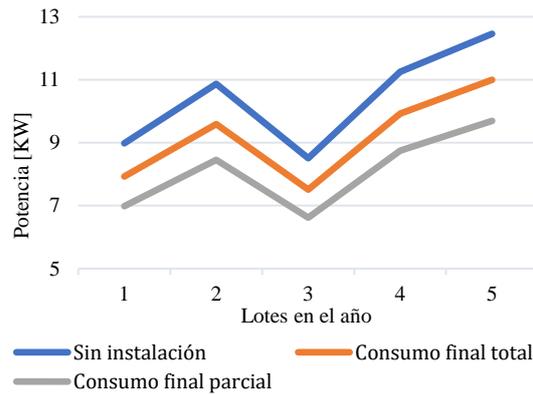


Figura 12. Gráficos comparativos entre el consumo antes y después del sistema eólico en el galpón 1.

En la Figura 13 se pueden apreciar las mismas comparaciones para el galpón 2.

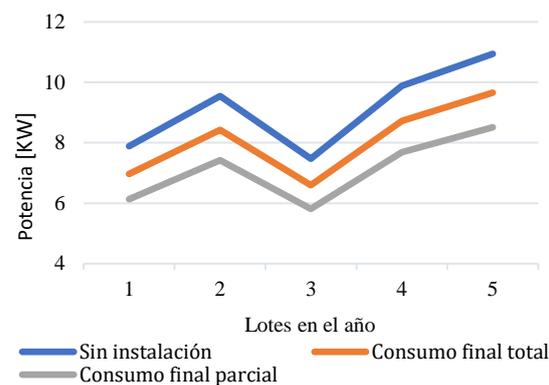


Figura 13. Gráficos comparativos entre el consumo antes y después del sistema eólico en el galpón 2.

Analizando los gráficos presentados es posible visualizar una evidente disminución del consumo energético en ambos predios avícolas, tanto en el consumo total como si se tiene en cuenta el consumo de iluminación y ventilación.

Si se hace énfasis en esto último, los gráficos nos evidencian que simplemente utilizando energía que sería desperdiciada de no ser instalado el sistema eólico se puede disminuir sustancialmente ese consumo. Lo cual marca el diferencial de este proyecto, utilizar el desperdicio de un sistema que

inevitablemente debe ser usado para disminuir su propio consumo.

Consideraciones finales

En esta investigación se pudo determinar que es posible generar energía eléctrica para disminuir el elevado consumo del emprendimiento agroindustrial utilizando generación eólica, cuyo recurso es el viento proveniente de los extractores que se encargan de la ventilación del establecimiento.

Se determinó que el caudal del viento que atraviesa los extractores puede alcanzar hasta 3500 m³/h, con una velocidad de 6,6 m/s.

Sin embargo, en este trabajo se propuso ir más allá y optimizar el tubo de salida de dichos extractores, logrando que la velocidad de salida del viento alcance el valor de 8,5 m/s.

El resultado alcanzado a partir de dicha propuesta fue ampliamente satisfactorio, lo que lo define como una solución innovadora y adecuada para disminuir los costos de generación eléctrica en el predio avícola.

Se logró determinar que el aerogenerador que mejor se adecua en este caso es el modelo Air 40 de eje horizontal con los cuales se constató un ahorro de consumo energético del sistema de ventilación e iluminación del 22,2%, lo que representa un 11,73% del consumo total.

Por lo tanto, se puede concluir que sí es posible utilizar como fuente de energía un recurso que en general no es tenido en cuenta, el viento que se encarga de mantener el confort térmico de las aves y mantener los niveles de oxígeno adecuados puede tener una última utilidad, la de ser fuente de energía.

Sin embargo, lo más importante radica en que fue posible pensar una forma estratégica y adecuada de cómo

montar el sistema eólico, logrando así optimizar los resultados que el mismo puede llegar a otorgar, resultando en una propuesta técnicamente viable para disminuir al mínimo posible el consumo energético de la avícola localizada en Cascavel/Pr- Brasil.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer al CNPq y a la Fundación Araucária por promover y apoyar el proyecto.

Referências

ALBUQUERQUE, R. D. *et al.* Efeito de Diferentes Densidades Populacionais e do Sexo Sobre o Desempenho e Uniformidade em Frangos de Corte. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science** - São Paulo, v. 43, n. 5, p. 581–587, 2006.

ALMONACID B., A.; NAHUELHUAL M., L. Estimación del Potencial Eólico y Costos de Producción de Energía Eólica en la Costa de Valdivida, Sur de Chile. **Agro Sur**, v. 37, n. 2, p. 103–109, 2009.

ANDO JUNIOR, O.H.; MARAN, A. L. O.; HENAO, N. C. A review of the development and applications of thermoelectric microgenerators for energy harvesting. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 91, p. 376–393, 2018.

ANDO JUNIOR, Oswaldo Hideo *et al.* Analyze the Potential of Use Thermoelectric Materials for Power Cogeneration by Energy Harvesting - Brazil. *In*: THE 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRICAL AND CONTROL ENGINEERING (ICECE 2013), 2013a, Hubei. Anais: The 3rd

International Conference on Electrical and Control Engineering (ICECE 2013).

ANDO JUNIOR, Oswaldo Hideo *et al.* Proposta de melhoria da eficiência energética através da captação de energia residual - Brasil. *In*: 3ª RENOMAT - CONFERÊNCIA INTERNACIONAL DE MATERIAIS E PROCESSOS PARA ENERGIAS RENOVÁVEIS, 2013b, Porto Alegre. Anais: 3ª RenoMat - Conferência Internacional de Materiais e Processos para Energias Renováveis.

ARAÚJO, A. *et al.* Simulation of the production of electricity with small size aerogenerators. **Informacion Tecnologica**, v. 20, n. 3, p. 37–44, 2009.

ARAÚJO, J. D. S.; OLIVEIRA, V. D.; BRAGA, E. G. C. Desempenho de Frangos de Corte Criados em Diferentes Tipos de Cama e Taxa de Lotação. **Ciência Animal Brasileira**, v. 8, n. 1, p. 59–64, 2007.

BUENO, L.; ROSSI, L. A. Comparação entre tecnologias de climatização para criação de frangos quanto a energia, ambiência e produtividade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 2, p. 497–504, 2006.

CADENA, C. ¿Electrificación o Energización? Mediante Energías Alternativas En Zonas Rurales. **Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente (AVERMA)**, v. 10, n. 2, p. 83–143, 2006.

CARNIATO, A. *et al.* Desenvolvimento de um Sistema Integrado de Geração de Energia Elétrica para Aumento da Eficiência Energética de Aviários. **VII**

- Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica- VII CITENEL**, p. 9, 2012.
- CARRETERO, A. P.; GARCÍA, J. M. S. **Gestión de la eficiencia energética cálculo del consumo, indicadores y mejora**. Aenor, 2012. *E-book*.
- CATELAN, F. **Sistemas de Aquecimento Automáticos na Produção de Frangos de Corte**. 64 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Parana - UNIOESTE, Cascavel, 2007.
- ÇENGEL, Y. A.; CIMBALA, J. M.; CAMPOS OLGUÍN, V. **Mecânica de fluidos: fundamentos y aplicaciones**. 3 ed. Porto Alegre: AMG, 2015. *E-book*.
- SILVA, A. G.; LEITE, P. A. B.; DOS SANTOS, R. R. Avaliação de Medição de Vazão para Baixas Vazões com Tudo de Venturi. Porto Alegre: Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul, 2010. Trabalho Final da Disciplina de Medições Térmicas.
- SILVA, N. F. **Energias Renováveis na expansão do setor elétrico brasileiro: o caso da energia eólica**. Rio de Janeiro: Synergia, 2015.
- DATO, A.; RADMILOVIC, V. Patent Application Publication. Depositante: Patent Application Publication. US 2010/0301212 A1. Depósito: 2010. Concessão: 2010.
- DE ABREU, P. G.; ABREU, V. M. N. Fontes Alternativas de Energia Na Avicultura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PRODUÇÃO ANIMAL SUSTENTÁVEL, 2012, Chapec - SC. II ANISUS. Chapec - SC: 2012. p. 54-56.
- DE ABREU, P. G.; ABREU, V. M. N. Ventilação Na Avicultura De Corte. **Embrapa suínos e Aves, Documentos**, 63, Concórdia, SC, 2000. p. 50.
- GODOY, P. A importância Econômica e Social da Avicultura. **Avicultura a mais social das atividades agropecuárias**, v. 5, n. 54, p. 32-34, 2011.
- GUTIÉRREZ-MARTÍN, F.; DA SILVA-ÁLVAREZ, R. A.; MONTORO-PINTADO, P. Effects of wind intermittency on reduction of CO2 emissions: The case of the Spanish power system. **Energy**, v. 61, p. 108-117, 2013.
- JOS, C. Dossiê Técnico. 2007.
- JUÁREZ-HERNÁNDEZ, S.; LEÓN, G. Energía eólica en el istmo de Tehuantepec: desarrollo, actores y oposición social. **Problemas del desarrollo**, v. 45, n. 178, p. 139-162, 2014.
- LABANDEIRA, X.; LINARES, P.; WÜRZBURG, K. Energías renovables y cambio climático. **Cuadernos Económicos de ICE**, n. 83, 2012.
- LUCYSZYN-SUCKOW, N.; DE SOUZA, C. F. Pedido nacional de Invenção, Modelo de Utilidade, Certificado de Adição de Invenção e entrada na fase nacional do PCT. **Instituto Nacional Da Propriedade Industrial - INPI**, p. 41, 2017.
- NASCIMENTO, L. A. B. do. **Análise energética na avicultura de corte: estudo de viabilidade econômica para um sistema de geração de energia elétrica eólico-fotovoltaico conectado**

a rede. 131 f. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2011.

NORDELO, A. B. *et al.* La gestión energética: una alternativa eficaz para mejorar la competitividad empresarial. **Energética**, v. 1, n. 33, p. 65–69, 2005.

OLIVEIRA, M. O. *et al.* Biomass Electricity Generation Using Industry Poultry Waste. **Renewable Energy and Power Quality Journal**, v. 1, n. 10, p. 1650–1654, 2012.

PINTO, M. de O. **Fundamentos de energia eólica**. Rio de Janeiro: Grupo Gen - LTC, 2012. *E-book*.

POWER, G. M. Patent Application Publication (10). Depositante: Patent Application Publication. US 2005 / 0046197 A1. Depósito: 2005. Concessão: 2005.

SALVADOR, A. R. Aproveitamiento de la Biomada como Fuente de Energía Alternativa a los Combustibles Fósiles. **XII Programa de Promoción de la Cultura Científica y Tecnológica**, v. 104, n. 2, p. 331–345, 2010.

TINÔCO, I. Avicultura Industrial: Novos Conceitos de Materiais, Concepções e Técnicas Construtivas Disponíveis para Galpões Avícolas Brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, v. 3, n. 1, p. 01–26, 2001.

VALENCIA, N. R.; FRANCO, D. A. Z. Los Subproductos del Café: Fuente de Energía Renovables. **Avances Técnicos Cenicafé**, n. 3, p. 8, 2010.