

## Análisis del desempeño energético de la ventilación en galpones tipo granja avícola mediante simulación por computadora

### Analysis of the energy performance of ventilation system in poultry farms through computer simulation

Franco Hernandez<sup>1</sup>, M. Cecilia Demarchi<sup>1,2</sup>, Alejandro E. Albanesi<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Fe

<sup>2</sup> Centro de Investigación de Métodos Computacionales, UNL

Dirección de correo electrónico de cada autor.

#### Resumen

La ventilación y renovación del aire juega un papel crucial en el control de la temperatura, humedad y la contaminación del aire dentro de las granjas avícolas. Este trabajo presenta los resultados preliminares de la valoración energética de granjas avícolas a través de la simulación computacional. El objetivo es minimizar el consumo energético de las granjas. El desempeño energético se mide a partir del consumo de energía necesaria para mantener la temperatura en el rango aceptable que demanda la producción, a partir de un modelo que simboliza las condiciones reales de operación del galpón.

#### Palabras claves

Eficiencia energética, granjas avícolas, ventilación natural, ventilación forzada, simulación por computadora.

#### Abstract

Ventilation and air renewal play a crucial role in controlling temperature, humidity and air pollution within poultry farms. This work presents the preliminary results of the energy assessment of poultry farms through computational simulation. The objective is to minimize the energy consumption of the farms. Energy performance is measured based on the energy consumption necessary to maintain the temperature in the acceptable range demanded by production, based on a model that symbolizes the actual operating conditions of the shed.

#### Keywords

Energy efficiency, Poultry farms, natural ventilation, forced ventilation, computer simulation.

## 1. Introducción

Con el aumento de la población mundial, la producción de carne se ha multiplicado casi por cinco desde la segunda mitad del siglo XX, y la cantidad consumida por persona se ha duplicado (según estadísticas de la FAO). En este contexto, la producción avícola es de suma importancia, no solo porque sus productos tanto carne como el huevo son alimentos ricos en proteínas, sino también porque tienen un ciclo de producción corto (30 días aproximadamente), altos coeficientes de conversión de forraje en carne, y bajos costos de producción. Por estas razones, la producción avícola es la principal impulsora del crecimiento de la producción mundial de carne, alcanzando los 145 millones de toneladas para el período 2020-2029 [REFOCDE2020].

Dentro de las granjas avícolas, la renovación del aire es fundamental para reducir la temperatura y la humedad a límites tolerables para la salud de las aves, y además permite disminuir las enfermedades transmitidas por el aire, los gases nocivos y los olores indeseables. REF[TEITEL2008953].

El rango aceptable de temperatura del aire interior varía dependiendo de la etapa de crecimiento de las aves, y son valores que oscilan entre 15°C y 25°C. Para eso se utilizan distintas formas de calefacción, refrigeración y ventilación que constituyen una parte significativa de los costos operativos de las granjas avícolas. Para reducir dichos costos, hay varios aspectos a tener en cuenta, como el diseño del galpón, la materialidad de la envolvente, la orientación de la edificación, la ventilación y el diseño de sistemas de enfriamiento y calentamiento [1].

Este trabajo presenta los resultados preliminares de la valoración energética de granjas avícolas a través de la simulación computacional. El primer paso será evaluar el comportamiento energético de dos tipos de galpones granja sin ningún tipo de acondicionamiento bajo condiciones ambientales dadas por el año meteorológico típico. Posteriormente se incorporará la carga térmica debido al metabolismo de las aves, luces y equipos auxiliares funcionando dentro de la edificación. Se evaluará la energía necesaria para mantener la temperatura dentro del rango especificado. Luego, se incorporará ventanas en todo el cerramiento para ventilación natural. Se procederá a evaluar el comportamiento energético para distintas orientaciones y se compararán resultados. En las figuras 1 y 2 se muestran los dos tipos de galpones granja analizados.

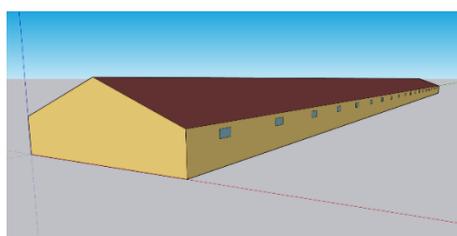


Figura 1: Nave avícola modelo 1

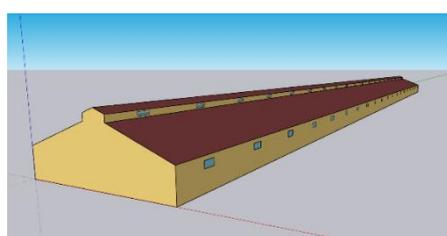


Figure 2: Nave avícola modelo 2

## 2. Caso de Estudio

En este trabajo se analizan dos galpones avícolas cuya producción es de 10 aves/m<sup>2</sup>. Dichos galpones poseen las mismas dimensiones y materiales, y se diferencian entre sí por el tipo de ventilación.

Las dimensiones de planta son 12 m de ancho y 120 m de largo, lo que proporciona una superficie de 1440 m<sup>2</sup> para la producción. En cuanto a la cubierta, en ambos casos la pendiente es del 38%, con altura de pared de 2.30 m. Cuentan con 20 aberturas de 1m de ancho y 0.5 m de alto distribuidas de uniformemente en las paredes laterales, y una de las naves, 20 aberturas de 1m de ancho y 0.30 m de alto colocadas en la cumbre de la cubierta. En la figura 3 y 4 se muestran el detalle las dimensiones de las naves.

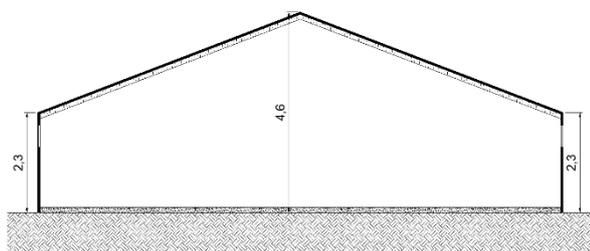


Figura 3: Corte nave 1

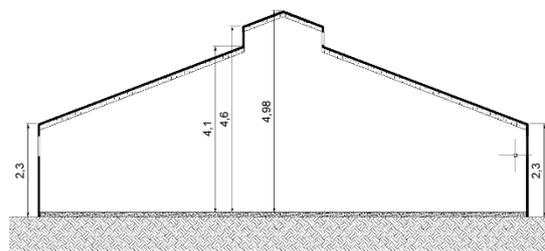


Figura 4: Corte nave 2

En cuanto a materialidad, la cubierta está constituida por chapa galvanizada acanalada nº 25 y aislada con lana de vidrio de 10 cm. El cerramiento lateral está formado solo por chapa galvanizada acanalada nº 25. Las aberturas son de chapa acanalada de policarbonato para permitir el ingreso de luz natural. Todas las aberturas pueden abrirse en un 100% para garantizar el flujo de aire dentro de la nave. En la tabla 1 se detallan las propiedades de cada material y en la tabla 2 los paquetes constructivos asociados a cada parte del galpón.

Material	Espesor (m)	Conductividad (W/mK)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Calor Específico (J/kgK)	Resistencia Térmica (m <sup>2</sup> -K/W)
Hormigón LLaneado	0.12	2.3	2400	1000	
Lana De Vidrio	0.1	0.00016	11	1000	
Chapa Acanalada Galvanizada N° 25					0.001

Tabla 1: Características térmicas de los materiales

Parte del galpón	Paquete constructivo	Materiales
Cubierta	Cubierta de chapa galvanizada con aislación térmica	<ul style="list-style-type: none"> <li>Chapa Acanalada Galvanizada N° 25</li> <li>Lana De Vidrio</li> </ul>
Paredes	Cerramiento de chapa galvanizada	<ul style="list-style-type: none"> <li>Chapa Acanalada Galvanizada N° 25</li> </ul>
Piso	Hormigón llaneado	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hormigón llaneado</li> </ul>
Ventanas	Cerramiento de chapa de policarbonato	<ul style="list-style-type: none"> <li>Chapa Acanalada Policarbonato N° 25</li> </ul>

Tabla 2: Paquetes constructivos

## 2. Modelado numérico: EnergyPlus

El modelado energético realizará con el programa EnergyPlus V.22.0, programa de simulación térmica libre y de código abierto desarrollado por el Departamento de Energía de los Estados Unidos (DOE). Actualmente, es el programa más avanzado para el análisis de eficiencia energética.

El programa toma a la edificación como un volumen de control al que cual se le deben definir zonas térmicas a las que le aplica distintos tipos de algoritmos para el balance de calor en el interior y la conducción, convección y radiación de calor en superficies. Devuelve resultados como la distribución de temperatura promedio de la zona hora a hora o la energía necesaria para mantener el confort dentro de la zona, entre otras variables [6].

### 2.1. Ubicación y año meteorológico típico

Para realizar la simulación es necesario conocer las condiciones climáticas del lugar de emplazamiento del edificio. Estas características se obtienen a partir del año meteorológico típico del lugar. Este es una recopilación de datos climatológicos representativos del clima de un determinado lugar. Se obtiene a partir de la selección de datos históricos registrados, selección que busca representar de las características

principales del clima en cuestión. Las naves se evaluarán con el clima de Paraná, Paraná, Argentina. [7]

### 3. Modelos de acondicionamiento de aire

Existen 3 modelos de ventilación para las granjas cuyos usos son los más populares:

- **Ventilación convencional:** El acondicionamiento se logra mediante la combinación de ventiladores colgados de la cumbrera de la nave, el funcionamiento de sistemas de enfriamiento y la apertura de cortinas laterales. En este caso, las paredes de la nave son de lona o material similar. Este sistema es el más ineficiente en cuanto a cantidad y calidad de producción, ya que se pueden criar entre 6 a 8 aves/m<sup>2</sup> y es ineficiente en cuanto a genética.
- **Ventilación tipo túnel:** La nave está compuesta por cortinas laterales y en cumbrera (babero). Posee también ventiladores y paneles evaporativos de enfriamiento en los frontis de la nave. En invierno se abren las cortinas para realizar el cambio de aire (ventilación mínima para limpiar la nave de los gases de producción) y en verano se utilizan los ventiladores y paneles para bajar la temperatura interior.
- **Sistema Inlet:** Estos sistemas están compuestos por inlets en los frontis de la nave conectados mediante una manga que distribuye el flujo de aire en la nave según se necesite y paneles evaporativos para el enfriamiento del mismo. En invierno se realizan ventilaciones mínimas para la expulsión de gases a través de los inlets y en verano se cierran y se enfría el aire con los paneles evaporativos solamente. Este es el sistema más eficiente de los tres, ya que es un sistema estanco con más control que el resto.

En la región del Litoral de Argentina, particularmente en las provincias de Santa Fe y Entre Ríos, predomina el sistema inlet. Por esta razón, se modelará de forma numérica este sistema con el objetivo de minimizar el consumo energético de las granjas.

### 4. Metodología de trabajo

La metodología de trabajo se puede resumir en los siguientes pasos:

- a) Estudio de casos reales de granjas avícolas

El primer paso es la recopilación de datos de los casos reales: dimensiones y materiales, ubicación, especie y cantidad de aves, uso de luminarias, uso de dispositivos auxiliares para la producción y condiciones de temperatura y humedad límite de confort.

- b) Construcción del modelo numérico

El paso siguiente es transformar todos los datos recopilados en datos de entrada a EnergyPlus y definir las hipótesis de cálculo. Esto se configura en un archivo .idf que es la entrada al programa [5].

- c) Simulación por computadora

En el presente estado de avance del trabajo se corre EnergyPlus en forma secuencial en un solo núcleo de una PC de escritorio tipo Intel i7. La valoración energética de un año completo del funcionamiento de la granja demanda entre 15 y 60 min por simulación, dependiendo de la complejidad de la misma.

- d) Análisis de resultados

Del modelo corrido en EnergyPlus obtendremos curvas de temperatura, humedad, energía consumida y flujo de cambio de aire hora a hora durante el periodo de cálculo (1 año, año meteorológico típico). Estos se comparan y analizan para obtener conclusiones.

- e) Propuestas de mejora

A futuro, se pretende modelar la ventilación forzada con ventiladores en los frontis [4] y acoplar el modelo de la nave en EnergyPlus al modelado numérico con CFD para obtener el perfil de temperatura y humedad en distintos puntos de la nave [3], luego incorporar un modelo de optimización que permite determinar la mejor condición para que el consumo de energía se el mínimo [1].

#### 4.1 Modelos numéricos

A continuación, se describe la secuencia de modelos a correr en EnergyPlus y el objetivo de cada una de ellas.

- Modelo 1

Este modelo consta de la nave avícola completamente cerrada (sin aberturas) y sin cargas internas. El objetivo de este modelo es determinar la temperatura y humedad interior a lo largo del año meteorológico típico.

- Modelo 2

Este modelo consta de la nave avícola completamente cerrada (sin aberturas), con cargas internas (pollos, luces y equipamiento). El objetivo de este modelo es determinar la diferencia de temperatura entre el modelo sin carga térmica y el modelo con carga térmica.

- Modelo 3

En este paso se modela la nave avícola completamente cerrada (sin aberturas) con la carga térmica correspondiente y se limita el rango de temperatura entre 15 y 25 °C. Aquí medimos la energía que se necesita para mantener el rango de temperatura de confort.

- Modelo 4

Se incorpora al modelo la ventilación natural y se evalúa la temperatura interior a lo largo del año y en distintas orientaciones. Este paso obtenemos la temperatura interior de la nave a lo largo del año y en distintas orientaciones aplicando solamente ventilación natural para determinar. Podemos saber cuál es la mejor orientación para la nave. En la figura 5 se muestran los modelos de naves con ventilación natural y las distintas orientaciones adoptadas.

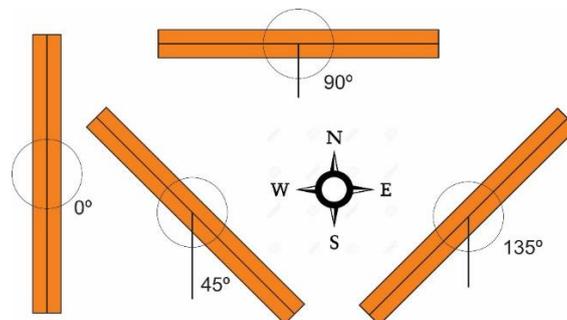


Figura 5: Orientaciones

## 5. Resultados

A continuación, se detallan y comparan los resultados obtenidos de cada modelo:

### 5.1. Comparación de temperatura interior y energía consumida de las naves sin ventilación

En la figura 6 y 7 se puede ver la comparación de temperaturas externas, temperaturas internas sin carga térmica y temperaturas internas con carga térmica, respecto a los límites de confort para cada nave. Se puede ver que las temperaturas de ambas naves en operación están por encima del rango de confort. La energía total para mantener el rango de confort en la nave 1 es de 24322 kWh cuando la nave no está operando, y

aumenta a 642638 kWh en operación, mientras que para la nave 2 es de 36612 kWh cuando la nave no está operando, y aumenta a 644351 kWh en operación.

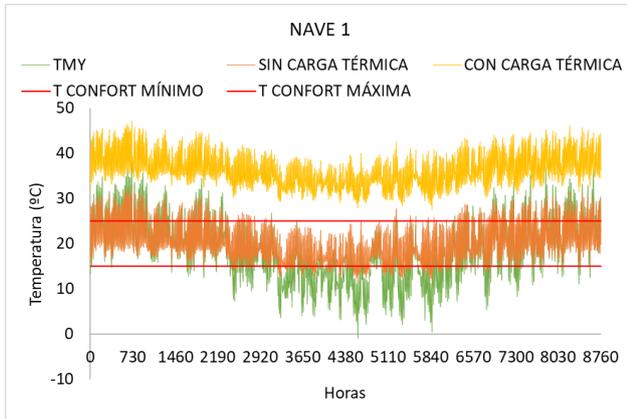


Figura 6: Temperatura exterior e interior NAVE 1

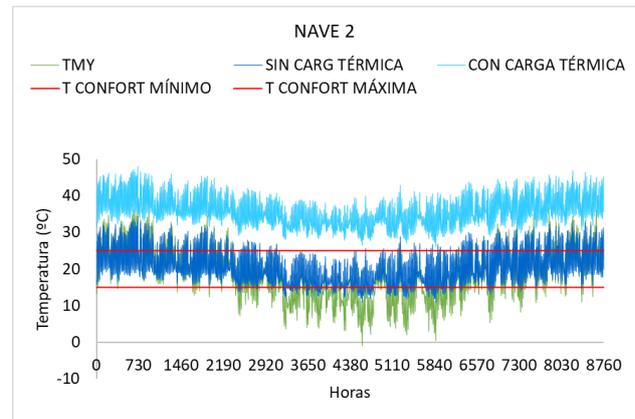


Figura 7: Temperatura exterior e interior NAVE 2

## 5.2. Comparación de temperatura interior de las naves con ventilación según la orientación

Las figuras 8 y 9 muestran las variaciones de temperatura para distintas orientaciones. La tabla 3 muestra los consumos de energía para mantener el confort. Las naves más eficientes tienen orientación Este-Oeste.

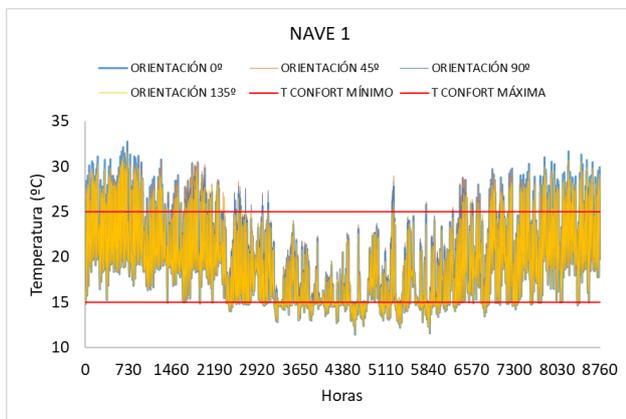


Figura 8: Temperatura interior NAVE 1

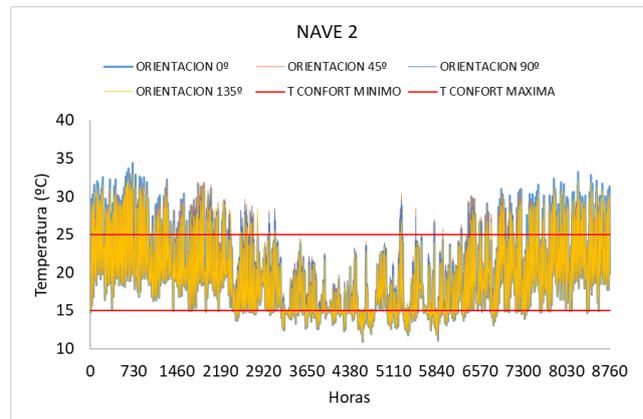


Figura 9: Temperatura interior NAVE 2

NAVE	ORIENTACIÓN	ENERGIA PARA CALEFACCIÓN (Kw)	ENERGIA PARA REFRIGERACIÓN (Kw)	ENERGIA TOTAL (kW)
1	0	143970.84	21789.04	165759.88
	45	144976.12	18150.77	163126.89
	90	144296.77	10208.10	154504.87
	135	144450.45	16757.37	161207.82
2	0	144675.40	31507.67	176183.07
	45	146712.59	26764.08	173476.67
	90	145531.61	16177.31	161708.92
	135	145378.29	24913.06	170291.35

Tabla 3: Consumo de energía de las naves en distintas orientaciones

## 6. Conclusiones

Se han presentado los resultados preliminares en cuanto a comportamiento energético, obtenidos del modelado computacional, de dos naves avícolas ubicadas en la ciudad de Paraná, con el fin de disminuir el consumo energético de las granjas avícolas.

El resultado obtenido de este trabajo nos proporciona el rango de temperatura y humedad a lo largo del año en función de la carga térmica de la nave. También se pudo obtener la orientación y el tipo de nave más eficiente, y se pudo observar que la ventilación natural no es suficiente para mantener las condiciones de confort exigidas. Estos resultados muestran que es necesario recurrir a sistemas de acondicionamientos de aire para cumplir dichas exigencias.

Con estos datos, se está trabajando en la incorporación de sistemas de acondicionamiento con ventiladores y paneles evaporativos para lograr las condiciones de confort.

## Bibliografía

- [1] Bre2016 (2016). Facundo Brea, Arthur Santos Silva, Enedir Ghisi, Víctor D. Fachinotti. "Residential building design optimisation using sensitivity analysis and genetic algorithm".
- [2] Zhou2017 (2017). Yu Zhou, Guillermo A Narsilio, Lu Aye. "Heating and cooling loads of a poultry house in Central Coast, NSW, Australia".
- [3] Zhang2013 (2013). Rui Zhang, Khee Poh Lam, Shi-chune Yao, Yongjie Zhang. "Coupled EnergyPlus and computational fluid dynamics simulation for natural ventilation".
- [4] Albanesi (poner el trabajo de los ventiladores)
- [5] EnergyPlus Documentation. Input Output Reference.
- [6] EnergyPlus Documentation. Engineering Reference.
- [7] <https://climate.onebuilding.org/>