



Revista Facultad Nacional de Agronomía -
Medellín

ISSN: 0304-2847

rfnagron_med@unal.edu.co

Universidad Nacional de Colombia
Colombia

Osorio Hernández, Robinson; Ferreira Tinôco, Ilda de Fátima; Osorio Saraz, Jairo Alexander; Oliveira
Rocha, Keller Sullivan; Guerra Garcia, Lina Marcela

Modelamiento del Ambiente Térmico y Aéreo de un Galpón de Presión Negativa Tipo Túnel para
Pollitos

Revista Facultad Nacional de Agronomía - Medellín, vol. 66, núm. 2, julio-diciembre, 2013, pp. 7085-
7093

Universidad Nacional de Colombia
Medellín, Colombia

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=179930031009>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Modelamiento del Ambiente Térmico y Aéreo de un Galpón de Presión Negativa Tipo Túnel para Pollitos

Modeling of the Thermal Environments in Shed Negative Pressure Tunnel Type of Chicks

Robinson Osorio Hernández¹; Ilda de Fátima Ferreira Tinôco²; Jairo Alexander Osorio Saraz³; Keller Sullivan Oliveira Rocha⁴ y Lina Marcela Guerra García⁵

Resumen: La optimización de los procesos productivos tiene gran importancia en el mundo actual debido al continuo desarrollo y avance. Con la finalidad de evaluar el desempeño productivo en el sector avícola, se hace necesaria la adecuación del ambiente interno de las instalaciones avícolas con técnicas que atiendan las exigencias de confort térmico con mayor eficiencia energética. En este trabajo, se evaluó el ambiente térmico interno de un galpón de presión negativa tipo túnel durante la primera fase de crecimiento de pollos de engorde. La evaluación de comportamiento térmico en este período fue realizada utilizando la dinámica de fluidos computacionales (CFD). El modelo computacional demostró ser una herramienta eficaz para el entendimiento y mejora de diseños bioclimáticos de ambientes internos de galpones avícolas.

Palabras clave: Confort térmico, dinámica de fluidos computacional, producción avícola.

Abstract: The optimization of production processes has great importance in the world due to the development and advancement. In order to evaluate the productive performance in poultry production, it becomes necessary the indoor environmental adequacy of the poultry buildings by technologies that attend the requirements of thermal comfort with major energy efficiency. This study evaluated the thermal environment of a domestic shed of negative pressure tunnel type, during the first growth phase of broilers. The evaluation of the thermal behavior model during this period was made using the computational fluid dynamics (CFD). The computational model proved to be an effective tool for understanding and improving of bioclimatic designs of indoor environments to create this kind of sheds.

Key words: Thermal comfort, computational fluid dynamics, poultry production.

El estudio de la bioclimática y bioclimatología animal y humana, analiza e instituye las condiciones necesarias para la evaluación y concepción de un ambiente térmico adecuado para las actividades y ocupación; también, establece métodos y principios para un análisis detallado de las condiciones térmicas de una instalación (Croney *et al.*, 2007). Estos aspectos tienen que ver con las nuevas exigencias del mercado consumidor de productos de origen animal como el tema ambiental, la seguridad alimentaria y el bienestar animal.

Dentro de los factores del ambiente, los térmicos son los que afectan más directamente a los pollitos cuando se crían en condiciones de clima frío. La fase inicial de crecimiento de los pollitos es la que demanda más cuidado y atención por parte del productor porque

los errores cometidos no podrán ser corregidos posteriormente, afectando así el peso final de las aves (Cordeiro, 2007; Butcher *et al.*, 2002). En los periodos de frío, como en el invierno o en las noches, este aspecto merece mayor atención (Cordeiro, 2007), debido a que se incrementa la necesidad energética para suplir la diferencia entre la temperatura ideal de los pollitos y la temperatura del ambiente externo (Cordeiro *et al.*, 2010). De esta forma, en confinamiento, la calefacción es fundamental en esta etapa y de ella depende el buen desarrollo del animal (Tinôco, 2001), por lo que su conocimiento y control son fundamentales.

Dentro de las herramientas que han sido usadas para caracterizar el ambiente térmico dentro de las instalaciones están: los índices de confort (Baêta *et al.*, 2010), los mapas de distribución de variables

¹ Investigador a distancia. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Agrícola. Campus UFV 36570-000 - Viçosa, MG, Brasil. Docente Ocasional. Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín - Facultad de Ciencias Agrarias - Departamento de Ingeniería Agrícola y Alimentos. A.A. 1779, Medellín, Colombia. <rosorio0@unal.edu.co>

² Profesora. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Agrícola. Campus UFV 36570-000 - Viçosa, MG, Brasil. <iftinoco@ufv.br>

³ Profesor Asociado. Facultad de Ciencias Agrarias - Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín. A.A. 1779, Medellín, Colombia. <aosorio@unal.edu.co>

⁴ Investigador. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Agrícola. Campus UFV 36570-000 - Viçosa, MG, Brasil. <keller.rocha@ufv.br>

⁵ Investigadora a distancia. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Agrícola. Campus UFV 36570-000 - Viçosa, MG, Brasil. <lina.garcia@ufv.br>

Recibido: Marzo 27 de 2013; aceptado: Septiembre 10 de 2013.

climáticas, y los modelos de intercambio de calor y masa basados en CFD (Norton *et al.*, 2009). Estos últimos han sido usados ampliamente en estudios para evaluar el comportamiento de algunas variables climáticas en el interior de estructuras vegetales y animales (Osorio *et al.*, 2012; Norton *et al.*, 2009), mostrando ser una herramienta interesante para el entendimiento de los ambientes internos de las construcciones rurales. En el caso de la aplicación al sector avícola, esta herramienta se ha utilizado sobre todo para el análisis de la ventilación mecánica, de la emisión de gases y calidad del aire (Bustamante *et al.*, 2013; Zajicek *et al.*, 2012; Osorio *et al.* 2012), más no se tiene registro de trabajos sobre el ambiente térmico de galpones durante la primera fase de crecimiento utilizando esta técnica.

Aunque la escala natural (1:1) ofrezca mayor dificultad para el análisis en CFD, por la gran cantidad de nudos (dominio) de la malla computacional, con ayuda de los computadores modernos, los cuales ofrecen mayores capacidades computacionales, este tipo de modelamiento es completamente viable y ofrece mayores detalles para el análisis.

Este trabajo tuvo como objetivos realizar la evaluación, el modelamiento y la simulación computacional a escala real del comportamiento térmico dentro de un galpón de presión negativa tipo túnel, típico en países de América Latina de climas tropicales y subtropicales, durante la fase inicial de desarrollo de pollos de engorde.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización. Las observaciones de campo se desarrollaron durante tres semanas de la primavera de 2011, en una granja comercial de una empresa integrada

del Estado de Minas Gerais Brasil, localizada en el municipio de São Geraldo-MG, situada en la latitud 20° 55' S, y longitud 42° 50' W, y altitud de 380 msnm.

Características del galpón experimental. La instalación utilizada fue un galpón de presión negativa tipo túnel, orientado en sentido oriente – occidente, con dimensiones de 14 m de ancho por 110 m de largo, altura del cielo raso de 2,5 m. El sistema de calefacción fue un calentador externo (TERMOAVES® CAC 30.000)¹, con sistema de tubería doble para calefacción interna con caudal de aproximadamente 6800 m³ h⁻¹, temperatura del aire de salida de 75 °C, el sistema de calefacción fue accionado durante las dos primeras semanas. La población aproximada de pollitos fue de 23.000 aves de linaje Cobb, la cama fue de cisco de café de primer uso. La Figura 1 muestra un esquema del galpón utilizado en este experimento.

Adquisición de datos experimentales. Para coleccionar los datos experimentales del ambiente térmico, una red de sensores de temperatura fue instalada de manera uniforme y equidistante dentro del galpón a la altura de las aves. Los sensores fueron distribuidos en forma de malla, con un espaciado aproximado entre ellos de 10,5 m a lo largo y 4 m a lo ancho. Fue instalado un sensor de temperatura dentro de una estación meteorológica localizada cerca del galpón para el monitoreo de las condiciones ambientales externas. Los sensores fueron conectados entre sí por una red de transmisión de datos con tecnología 1-Wire®. El conjunto de sensores fue conectado a un computador, y administrado con ayuda del programa computacional STRADA, desarrollado por Rocha *et al.* (2008). Fueron

¹ Las marcas o empresas nombradas no son mencionadas con fines comerciales, solo son nombradas para dar mayor claridad en el texto y por lo tanto no comprometen a los autores.

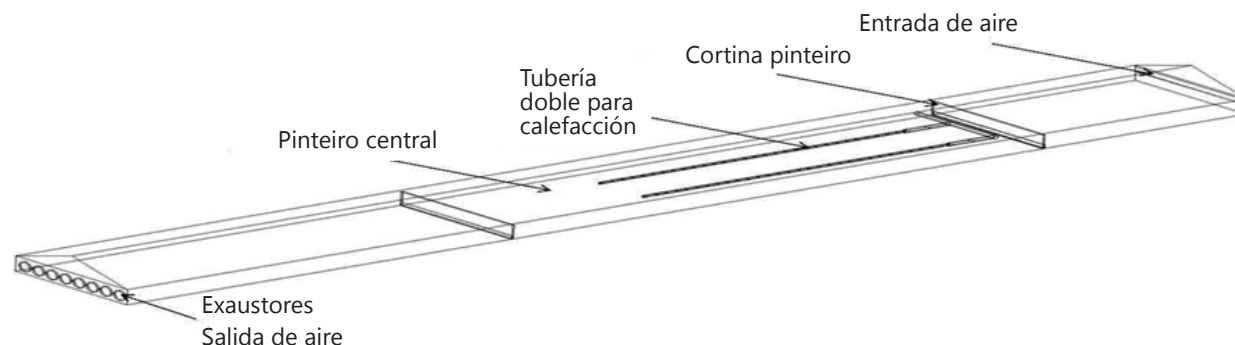


Figura 1. Esquema del galpón experimental de presión negativa tipo túnel empleado para la cría de pollitos.

colectados datos de temperatura de bulbo seco del aire en tiempo real, utilizando sensores DS18B20 y DS2438 conectados al computador por medio de un adaptador USB DS9490, la humedad relativa fue medida con ayuda de sensores HIH400 conectados a los sensores DS2438. Las temperaturas superficiales de los animales, de las cortinas, de los tubos de calefacción y del cielo raso fueron medidas con un sensor de temperatura infrarrojo Testo modelo 830-t1; además, la velocidad del aire fue medida con anemómetro digital anemómetro de hilo caliente marca Testo, modelo 425. Las temperaturas superficiales de los animales, cortinas, calefactor y cielo raso fueron medidas con un sensor de temperatura infrarrojo modelo testo 830-t1.

Para realizar el balance de energía fue preciso determinar el flujo de calor generado por los pollitos. Para esto fueron considerados despreciables los intercambios de calor por conducción y radiación, ya que las áreas de intercambio de calor son pequeñas (Norton *et al.*, 2009; Norton *et al.*, 2007); por tal razón, se consideró el intercambio de calor por vía convectiva utilizando la ecuación 1, presentada por Ingram (1975). Estos mismos autores sugieren calcular el coeficiente convectivo en función de la conductividad térmica del aire (K), la dimensión característica del animal (d) y el número de Nusselt (Nu), que es calculado en función del número de Reynolds (Re), que a su vez depende de la velocidad del aire, de la viscosidad cinemática del aire y de la longitud característica del animal. El área efectiva (superficial) del animal fue calculada por medio de la ecuación 2, propuesta por Curtis (1983).

$$Q_{cc} = Acc \ h(T_s - T_{ar}) \quad (1)$$

Donde:

Q_{cc} : Flujo convectivo (W).

Acc : Área efectiva superficial animal (m^2).

h : Coeficiente convectivo ($W \ m^{-2} \ ^\circ C^{-1}$).

T_s : Temperatura superficial animal ($^\circ C$).

T_{ar} : Temperatura de bulbo seco ($^\circ C$).

$$As = 8,2 \cdot P^{0,71} \quad (2)$$

Donde:

As : Área superficial animal (cm^2).

P : Masa del pollito (kg).

Para las condiciones de contorno, se utilizaron las medias de mediciones experimentales realizadas tales como: velocidad del aire en el interior del galpón, temperatura externa, cantidad de calor generado por los animales y por la calefacción, la presión estática, además de la resistencia térmica de las cortinas. La densidad de ocupación de los pollitos fue disminuyendo en la medida en que el espacio destinado para ellos (pinteiro en portugués) dentro del galpón fue aumentando en área, siendo 31 pollitos m^{-2} para la primera semana experimental, 18 para la segunda semana y 15 para a tercera semana, cuando toda el área del aviario fue ocupada.

Modelamiento computacional. Para el modelo y simulación computacional se consideró una geometría sólida en 3D del galpón a escala real, que fue utilizada con ayuda del programa computacional ANSYS ICEM CFD 13, para la construcción de una malla computacional tetraédrica de 118.989 nodos, y 622.827 elementos tetraédricos, obtenida después de varios refinamientos y test de mallas, la cual es presentada en la Figura 2.

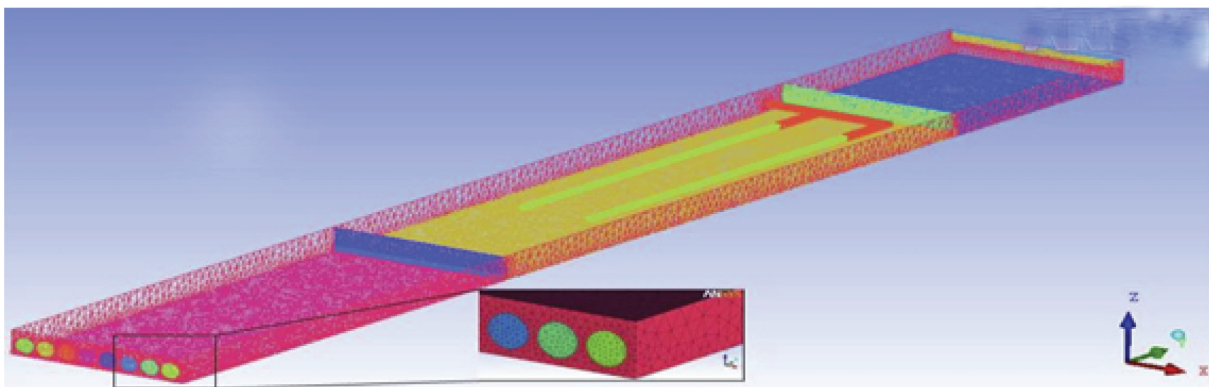


Figura 2. Galpón con malla computacional tetraédrica construida con el programa computacional ANSYS ICEM CFD 13.

Avances recientes de programas computacionales basados en CFD facilitan el estudio de los campos escalares y vectoriales presentes en el microclima de las instalaciones por medio de la solución de las ecuaciones que describen el flujo de fluidos, comúnmente conocidas como ecuaciones de Navier-Stokes (Molina *et al.*, 2004):

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho U) = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial(\rho U)}{\partial t} + \nabla(\rho U U) = \nabla \rho o + [\mu_r(\nabla U + \nabla U^T)] \quad (4)$$

$$\frac{\partial(C\rho T)}{\partial t} + \nabla(-k\nabla T + \rho C_p T U) = 0 \quad (5)$$

Donde:

- C_p : Calor específico ($\text{J kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}$)
- k : Conductividad térmica ($\text{W m}^{-1} \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}$)
- p : Presión (N m^{-2})
- U : Vector velocidad (m s^{-1})
- ρ : Densidad (kg m^{-3})
- μ : Viscosidad dinámica ($\text{kg m}^{-1}\text{s}^{-1}$)
- T : Temperatura ($^\circ\text{K}$)

El movimiento turbulento fue modelado por medio del modelo k - ϵ estándar, que evalúa la viscosidad (μ_t) a partir de una relación entre la energía cinética turbulenta (k) y la disipación de energía cinética turbulenta (ϵ). El criterio de convergencia fue el valor del error cuadrático medio (RMS) de la solución

menor de 10^{-4} para las ecuaciones de conservación de momento, energía y de continuidad. Debido a que durante el tiempo de la colecta de datos experimentales el calefactor permaneció encendido durante 90 segundos, y se desactivó hasta que las condiciones ambientales lo requirieran, las simulaciones fueron hechas para un tiempo de 90 segundos en régimen transitorio para cada una de las condiciones. Para comparar los datos experimentales con el del modelo, se realizó un análisis estadístico con delineamiento en bloques casualizados para cada caso, comparando la temperatura de diferentes puntos por medio de test de medias de Tukey (9 para la primera semana y 24 para las semanas 2 y 3) dentro del "pinteiro", a partir de los datos experimentales con los datos simulados para los mismos puntos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 3 muestra la temperatura media diurna y nocturna durante las tres semanas experimentales. Se puede observar la proximidad entre temperaturas medias reales y las simuladas por el modelo en CFD.

En las Tablas 1 y 2 se aprecia el análisis de variancia (ANOVA) y el test de medias para la primera semana en condición nocturna, que es el periodo de tiempo de mayor cuidado para las aves. El análisis de variancia y la prueba de Tukey mostraron que aunque exista diferencia entre la temperatura en algunos puntos dentro del galpón, no existe diferencia significativa entre las temperaturas medias del modelo CFD y los datos experimentales, tanto para la condición diurna

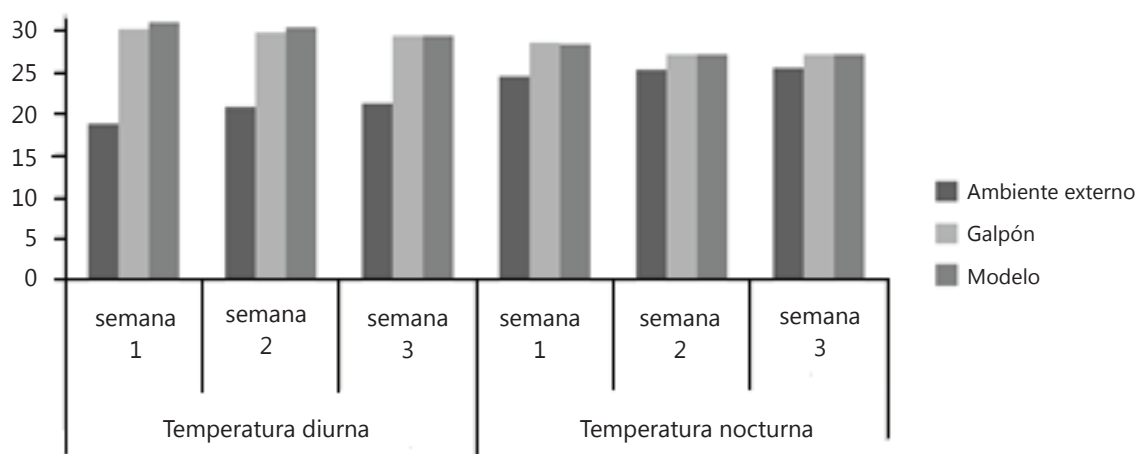


Figura 3. Temperatura media ambiental dentro del "pinteiro" y la temperatura del "pinteiro" simulada por el modelo en CFD.