

# Estudio numérico del flujo de aire a través de una nariz electrónica usando técnicas CFD

## Numerical study of air flow through an electronic nose using CFD techniques

Freddy J. Rojas, Ph.D., Leonidas Rodriguez, Ing., María R. Sun-Kou, Ph.D., Celso De La Cruz, Dr., Angela Pinedo, M.Sc., Fabiola Bravo, M.Sc., Jorge Trevejo, M.Sc., Joseph Peña, Mtr.

<sup>1</sup>Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú, f.rojas@pucp.edu.pe, leonidas.rodriguez@pucp.edu.pe, msun@pucp.edu.pe, celso.delacruz@pucp.edu.pe, apinedo@pucp.edu.pe, f.bravoh@pucp.edu.pe, j.trevejo@pucp.edu.pe, joseph.pena@pucp.edu.pe

**Resumen**– En este trabajo se realizó el estudio numérico del flujo de aire a través de la nariz electrónica usada para realizar la diferenciación del pisco peruano. La nariz electrónica fue diseñada por el Grupo GICA-PUCP. Este estudio tuvo por objetivo evaluar las mejores condiciones (presión, temperatura y flujo) que garantice la reproducibilidad, repetitividad los resultados del sensado para lograr una buena diferenciación del Pisco peruano acorde a su denominación de origen. Para lograr esta meta se realizó el estudio del comportamiento de la dinámica del aire dentro de la cámara de sensado de la nariz electrónica. En esta investigación se usó la técnica de volúmenes finitos para resolver las ecuaciones de continuidad, momento y energía. Se consideró: (i) fluido con comportamiento de gas ideal con densidad variable, (ii) modelo de turbulencia  $k$ - $\epsilon$  Realizable. Para la simulación se consideró un flujo de entrada de 1.65 m/s a 27°C, una temperatura de operación de 260°C en los sensores ubicados en la parte interna de la nariz electrónica y un tiempo de sensado de 80 segundos. El análisis numérico se desarrolló con el software Ansys Workbench 2019 R3. Los resultados evidencian que la temperatura y la presión alcanzan un valor constante a partir de los 50 segundos. Además, muestran que el flujo rodea a los sensores en tiempos diferentes, lo cual influye en el tiempo de respuesta de los sensores en contacto con los componentes volátiles del pisco.

**Palabras clave**– CFD, nariz electrónica (EN), análisis numérico

**Abstract**– In this work, the numerical study of the air flow through the electronic nose used to differentiate the Peruvian pisco was carried out. The electronic nose was designed by the GICA-PUCP Group. The objective of this study was to evaluate the best conditions (pressure, temperature and flow) that guarantee the reproducibility, repeatability of the sensing results to achieve a good differentiation of Peruvian Pisco according to its designation of origin. To achieve this goal, a study of the behavior of air dynamics was carried out within the sensing chamber of the electronic nose. In this investigation, the finite volume technique was used to solve the continuity, momentum and energy equations. It was considered: (i) fluid with ideal gas behavior with variable density, (ii)  $k$   $\epsilon$  Realizable turbulence model. For the simulation, an inlet flow of 1.65 m / s at 27 ° C, an operating temperature of 260 ° C on the surface of the sensors located inside the electronic nose and a sensing time of 80 seconds were considered. The numerical analysis was developed with Ansys Workbench 2019 R3 software. The results show that the temperature and pressure reach a constant value after 50 seconds. In addition, they show that the flow surrounds the

sensors at different times, which influences the response time of the sensors in contact with the volatile components of the pisco.

**Keywords** - CFD, electronic nose (EN), numerical analysis

### I. INTRODUCCIÓN

La nariz electrónica (EN, del inglés Electronic Nose) es un equipo usado en el campo de la agroindustria y en el monitoreo medioambiental para la clasificación y detección de aromas [1]. Por ejemplo, Quicazán et al. detalló la importancia del uso de la nariz electrónica en el control de procesos y calidad de productos agroalimentarios [2]. Mildner-Szkudlarz y Jelén aplicaron la EN para detectar la adulteración de aceite de oliva con el aceite de avellana en concentraciones de 5, 10, 25 y 50% (v/v) [3]. En este último trabajo, los autores concluyeron que los resultados obtenidos de la detección de compuestos volátiles con la nariz electrónica en la adulteración del aceite de oliva presentaron resultados acordes con los métodos alternativos como los obtenidos mediante un espectrómetro de masa y la cromatografía de gases (SPME-MS/GC). Una aplicación similar fue desarrollada en la investigación realizada por Reinhard et al. donde se comparó los jugos cítricos comerciales con los jugos cítricos artesanales mediante la detección de determinados compuestos volátiles presentes [4]. Del mismo modo, estos investigadores evaluaron los resultados y la aplicabilidad de la nariz electrónica con los obtenidos utilizando los métodos alternativos mencionados (MS/GC) y concluyeron que el método por EN determina de manera fiable la inconsistencia en las indicaciones de las sustancias contenidas en los jugos cítricos comerciales. Otro trabajo fue reportado por Aleixandre et al. quienes diferenciaron las clases de vino elaborados por la comunidad de Madrid mediante el uso de una nariz electrónica [5]. Los autores mencionados estudiaron la influencia del material empleado en los sensores de la nariz electrónica con su capacidad para detectar los compuestos volátiles presentes en las muestras de vino y concluyeron que los sensores elaborados con polisilicio provee una clasificación más clara en comparación que los de platino. Asimismo, Paredes-Doig y otros autores elaboraron una nariz electrónica que sirvió para hacer la diferenciación de los vinos tintos por tipo y por la cepa empleada en la elaboración del vino [6].

Cabe indicar que la nariz electrónica está conformada por un conjunto de equipos e instrumentos muchos de ellos de costo elevado, por lo que en la gran mayoría de los casos el investigador elabora su propia nariz electrónica [7]. Uno de los principales componentes de la nariz electrónica es la matriz de sensores ya que permite la medición de los compuestos volátiles. Por esta razón es necesario realizar el análisis del comportamiento del flujo de gas dentro de la cámara, ya que la cámara debe asegurar el máximo contacto del flujo de los componentes volátiles gaseosos con los sensores.

El objetivo de este estudio fue garantizar la reproducibilidad, repetitividad de los resultados del sensado a fin de lograr una buena diferenciación del Pisco peruano acorde a su denominación de origen. En el presente trabajo se realizó la simulación numérica de un flujo de aire, para estudiar el comportamiento del gas en el interior de la cámara de sensado de una nariz electrónica diseñado y elaborado por el Grupo GICA-PUCP empleada para detectar y diferenciar la calidad del pisco peruano. En este estudio se determinó los valores de temperatura y presión dentro de la cámara. La simulación numérica se realizó bajo el enfoque del comportamiento de gas ideal para el aire, el modelo k-epsilon realizable para el estudio de la turbulencia y la teoría de transferencia de energía.

## II. DESCRIPCIÓN DE LA NARIZ ELECTRÓNICA UTILIZADA

La nariz electrónica empleada para detectar y diferenciar la calidad del pisco peruano diseñado y elaborado por el Grupo de Investigación GICA-PUCP consta de tres módulos. Primero, el módulo de alimentación que permite el ingreso tanto del gas portador (aire) como de la muestra gaseosa a analizar al módulo de detección. Esta unidad está conformada por electroválvulas, manómetros, termocuplas y una bomba de vacío. Segundo, el módulo de detección donde se realiza la detección de los compuestos volátiles de la muestra mediante el uso de diferentes sensores elaborados a base de óxidos semiconductores dopados con metales nobles. Este sistema está compuesto por una cámara de acero inoxidable y una matriz conteniendo ocho sensores ubicados en la parte interna. La mezcla gaseosa conteniendo los componentes volátiles ingresa a la cámara y entra en contacto con la superficie de los sensores produciéndose reacciones de oxidación, las cuales generan un cambio en la resistencia de la señal de sensado. Por último, el módulo de procesamiento de datos donde se recolecta y se procesa todas las señales de sensado obtenidas. La representación de la nariz electrónica empleada en este estudio se muestra en la Fig. 1.

En la nariz electrónica diseñada por el Grupo GICA-PUCP, el aire ingresa al matraz (A) donde se encuentra la muestra de pisco, éste hace burbujear al pisco y a temperatura ambiente se desprende los componentes volátiles; la mezcla de aire con los componentes volátiles del pisco es transportada a través de los ductos circulares a una velocidad de 1,65 m/s (la velocidad de entrada del flujo es definido por el caudal de 5 L/min de la bomba). Luego, se procede a abrir las válvulas permitiendo el

ingreso de la mezcla gaseosa a la cámara de sensado de la nariz electrónica. La zona de ingreso está ubicada en la parte superior de la cámara. En el proceso de medición se debe garantizar que la presión y temperatura sean las adecuadas para el correcto funcionamiento de los sensores, por lo que se debe contar con una posición adecuada dentro de la cámara para que los sensores se recuperen después del ensayo [8]. Por esta razón se tiene instalado un manómetro y un sensor de temperatura para monitorear estas variables durante todo el desarrollo del ensayo, cabe indicar que la temperatura de trabajo es de aproximadamente 260°C. El flujo de gas dentro de la cámara recorre y rodea la matriz de sensores ubicados en su interior, los componentes volátiles entran en contacto con la superficie de los sensores produciéndose reacciones de oxidación, las cuales generan un cambio en la resistencia de la señal de sensado la cual es registrada como una diferencia de voltaje. El tiempo de duración de un ensayo es de aproximadamente 80 segundos. Al finalizar el ensayo de sensado la mezcla gaseosa residual es arrastrada por la zona inferior de la cámara mediante el uso de una bomba de vacío (D) ubicada en la línea de descarga. El proceso se realiza de manera continua; es decir, el ingreso y la salida de los gases a la cámara se mantienen abiertos durante todo el proceso de medición. Para repetir el ensayo, es necesaria la limpieza del módulo de detección pues conllevaría a errores en la medición. Esta limpieza se realiza ingresando un flujo continuo de aire con una bomba de vacío el cual ayuda a extraer los gases residuales dentro de la cámara y de la superficie de la matriz de sensores. Este tiempo de limpieza es de aproximadamente 220 segundos. En la Fig. 2 se representa el esquema de funcionamiento de la nariz electrónica.



Fig. 1: Nariz electrónica construida por el Grupo GICA-PUCP

Digital Object Identifier (DOI):  
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2021.1.1.41>  
ISBN: 978-958-52071-8-9 ISSN: 2414-6390

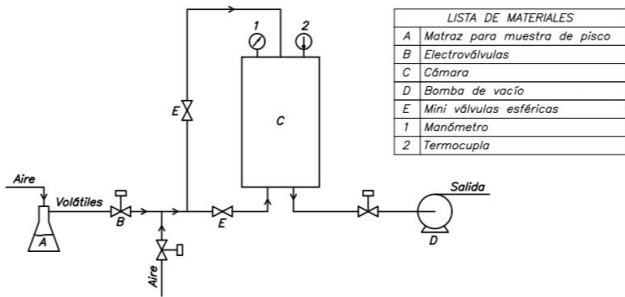


Fig. 2: Esquema de funcionamiento de la nariz electrónica

### III. DESCRIPCIÓN DE LA NARIZ ELECTRÓNICA

La metodología definida para la simulación comprende cinco etapas. Primero, se define la geometría del dominio computacional 3D. Segundo, se realiza el proceso de discretización del dominio en pequeños volúmenes finitos. Tercero, se define los modelos numéricos a emplear. Cuarto, se define las condiciones de borde y el tipo de material (fluido). Finalmente, se aplica los métodos de solución para la simulación.

#### A. Definición geométrica

El volumen de estudio definido para el análisis numérico comprende únicamente a la cámara de detección de la nariz electrónica. Este módulo consta de cuatro (04) partes: la base (Fig. 3a), la tapa (Fig. 4a), el portasensor y la matriz de sensores (Fig. 5a). En el análisis numérico se define el volumen de control de estudio comprendido por las partes mencionadas. La forma de la base y de la tapa se considera de forma cilíndrica de diámetro de 0.15 m y una altura de 0.15 m. Los sensores tienen forma de placa rectangular de 24 x 16 mm y un espesor de 1.5 mm. Con el objetivo de reducir el costo computacional se modificó la geometría de estos componentes. Primero, con respecto a la base solo se contempló el orificio de salida del flujo (Fig. 3b). Segundo, en la tapa de nariz solo se consideró el agujero de entrada del flujo (Fig. 4b). Tercero, en el portasensor se eliminó los puntos de apoyo de los sensores y los surcos por donde pasan los cables. Cuarto, con respecto a los sensores no se realizó ninguna modificación (Fig. 5b).

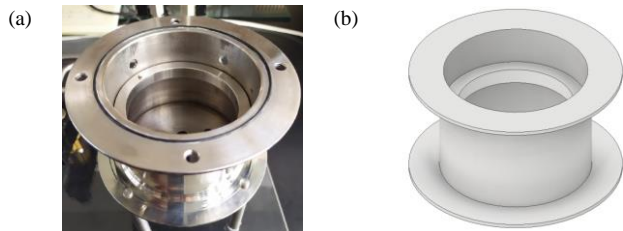


Fig. 3: (a) Base de la cámara de la nariz electrónica. (b) Modelo CAD correspondiente

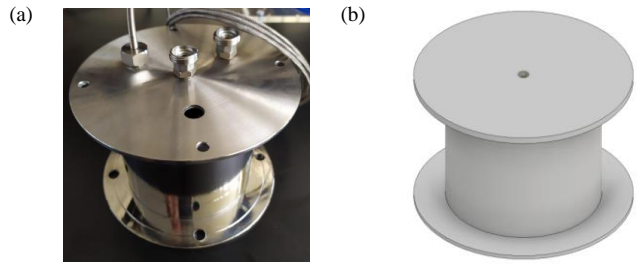


Fig. 4: (a) Tapa de la cámara de la nariz electrónica. (b) Modelo CAD correspondiente

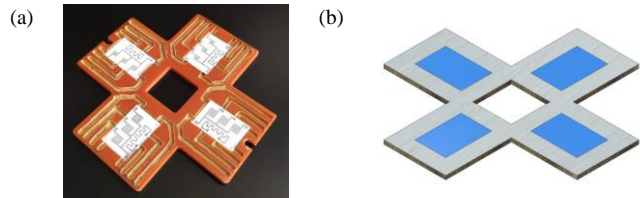


Fig. 5: (a) Portasensor y sensores de la nariz electrónica. (b) Modelo CAD correspondiente

Con estas modificaciones, se procedió a definir el volumen de control para el análisis numérico. La Fig. 6 muestra el ensamble de las piezas descritas, de esta manera se logra definir el volumen de control. En la Fig. 7 se muestra el volumen interno definido. Como se observa en la figura, el volumen capta la zona interna encerrada por la base y la tapa de la cámara, para luego sustraer el volumen que está definido por el portasensor y los sensores.

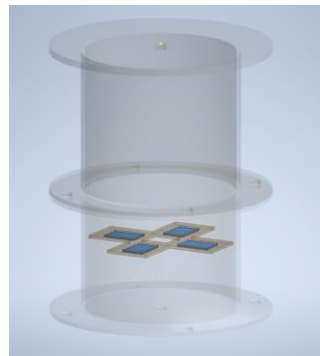


Fig. 6: Modelo CAD de la nariz electrónica

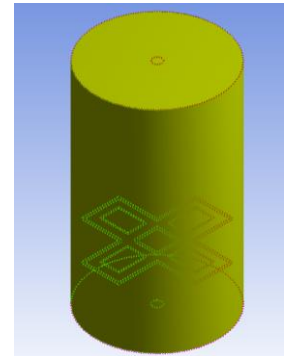


Fig. 7: Definición del volumen de control

#### B. Mallado

Después de realizar el modelado se procede a realizar el mallado del dominio. En este proceso, consiste en dividir el dominio geométrico en una cantidad de pequeños volúmenes finitos (elementos). La malla está compuesta por elementos tetraédricos de segundo orden ya que proporcionan mayor precisión en los resultados [9]. Además, se contempla de obtener valores aceptables de calidad con respecto al parámetro de Aspect Ratio, Orthogonal Quality y Skewness. Los resultados estadísticos de la malla se muestran en la Tabla 1.

Las Fig. 8a y 8b esquematizan los elementos generados en el mallado del volumen de control.



Fig. 8a: Mallado del volumen de control

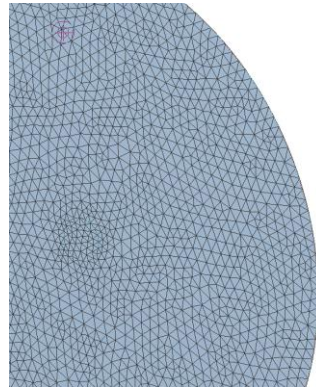


Fig. 8b: Mallado con elemento tetraédricos

TABLA 1:  
CARACTERÍSTICAS DE LA MALLA

Descripción	Valor
# de Nodos	137257
# de Elementos	630953
Skewness (Promedio)	0.25
Orthogonal Quality (Promedio)	0.75
Max. Aspect Ratio	13

### C. Definición de los modelos numéricos

Las ecuaciones de continuidad, cantidad de movimiento y energía fueron desarrollados. Estas ecuaciones escritas en su forma tensorial están representadas en las ecuaciones 1-3, respectivamente [10]. Donde ( $u_i$ ) representa el campo de velocidad, ( $\rho$ ) es la densidad del fluido, ( $\mu$ ) es la viscosidad dinámica, ( $p$ ) es el campo de la presión, ( $h$ ) es la entalpia por unidad de masa, ( $k$ ) es el coeficiente de conductividad térmica, ( $C_p$ ) termino convectivo.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i)}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i u_j)}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \mu \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (2)$$

$$\frac{\partial(\rho h)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i h)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \frac{k}{C_p} \frac{\partial h}{\partial x_j} \right) + S_h \quad (3)$$

El modelo de turbulencia seleccionado para el estudio es el modelo k-epsilon realizable. Este modelo RANS (Reynolds Averaged Navier Stokes) es ampliamente utilizado como solución en problemas de flujo en ingeniería [11]. Este modelo es el más simple para modelar el tensor de Reynolds en donde las ecuaciones de conservación son promediadas en el tiempo

(Ec. 4). Donde ( $\tau_{ij}$ ) es el tensor de esfuerzos de Reynolds turbulento.

$$\frac{\partial(\rho \bar{u}_i)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \bar{u}_i \bar{u}_j)}{\partial x_j} = -\frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \mu \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) - \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} \quad (4)$$

Este modelo hace uso de dos ecuaciones en donde se añade dos variables: ( $k$ ) energía cinética turbulenta y ( $\epsilon$ ) la disipación de energía turbulenta. Aquí, el tensor de Reynolds se modela bajo el enfoque de Boussinesq, la cual hace uso de una relación de proporcionalidad con una viscosidad turbulenta [9].

### D Condiciones de borde y material

En este trabajo se ha considerado el aire como fluido de estudio, el cual es considerado como gas ideal debido a la variación de la densidad por la entrega de energía por parte de la matriz de sensores. Asimismo, las condiciones de borde consideradas para el análisis son de tres tipos: entrada, salida y pared. La Tabla 2, muestra los detalles para estas condiciones.

TABLA 2  
CASOS DE ESTUDIO SEGÚN EL VOLUMEN DE CONTROL

Condición de borde	Parámetro	Unidades	Valor / Descripción
Entrada	Velocidad	m/s	1.65
	Intensidad de turbulencia	%	10%
Salida	Presión	Pa	0
	Condición de movimiento	-	Sin deslizamiento
Pared	Rugosidad	-	Lisa
	Temperatura (Sensor)	°C	260

### E. Método de solución

El estudio comprende un análisis en función del tiempo con solución basado en la presión. En la simulación, el algoritmo usado para el acoplamiento de la velocidad y presión es SIMPLEC, para la formulación del termino temporal es usado una formulación implícita de segundo orden. La Tabla 3 detalla las consideraciones usadas para el análisis.

TABLA 3  
MÉTODO DE SOLUCIÓN

Parámetro	Valor / Descripción
Acoplamiento velocidad presión	SIMPLEC
Discretización de la gradiente espacial	Least Squares Cell Based
Discretización espacial de la densidad	Second Order Upwind
Discretización espacial de la presión	PRESTO
Discretización espacial del momento	Second Order Upwind
Discretización espacial de la energía	Second Order Upwind

Con respecto al software usado en este trabajo, la geometría se realiza en Autodesk Inventor, la malla y las ecuaciones fueron resueltos en el entorno de Ansys Meshing y

Ansys Fluent 2019 R3, respectivamente. Las simulaciones se realizaron en ordenadores con procesadores Intel Core i7-7700 y 16 Gb de RAM.

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como se mencionó anteriormente, la matriz de sensores son los encargados de detectar los compuestos volátiles de la muestra a analizar, por lo que es necesario comprender como el flujo rodea a estos componentes durante el análisis de sensado. Con relación al comportamiento del flujo, se aprecia que la dirección del flujo, al iniciar su recorrido desde la entrada, tiende hacia un extremo. Esto conlleva a que los sensores ubicados en esa zona sean rodeados con mayor cantidad de fluido en un inicio. Esto guarda relación con los análisis experimentales en donde indican que el tiempo de respuesta de los sensores es diferente para cada uno. La Fig. 9 muestra los resultados coloreados de las líneas de corriente del flujo dentro de la cámara con la velocidad para un periodo de tiempo de 10, 30, 50 y 80 segundos. Se aprecia que el flujo al impactar con la matriz de sensores cambia de dirección y parte de ella regresa a la zona superior de la cámara, lo cual implica que el flujo se concentra en menor cantidad en la parte inferior de la cámara ya que está limitada por el portasensor. Además, se observa la formación de vórtices producidos durante la descarga del flujo residual fuera de la cámara. Durante el proceso se alcanza velocidades de magnitud muy bajas de alrededor de 0.3 m/s. Por otro lado, se determina que la velocidad de salida del flujo no presenta mucha variación y a partir de los 30 segundos en adelante se mantiene casi constante. Por ejemplo, la velocidad fue de 2.44, 2.61, 2.62 y 2.59 m/s para un tiempo de 10, 30, 50 y 80 segundos, respectivamente.

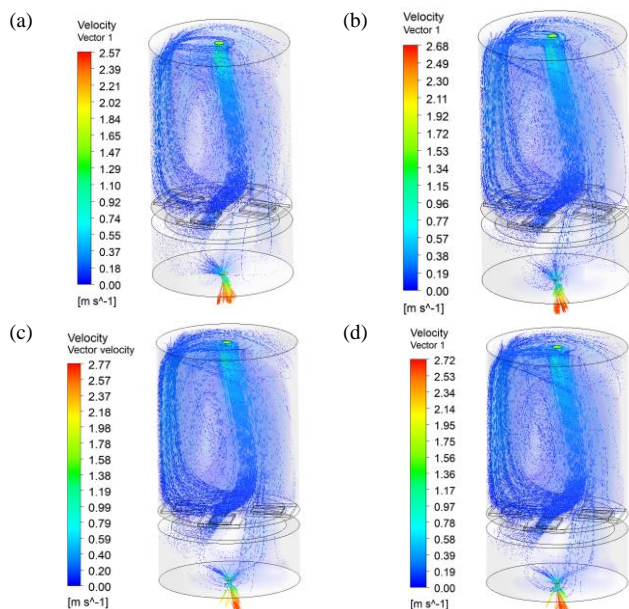


Fig. 9: Líneas de corriente de flujo de velocidad.(a) tiempo de 10 s, (b) tiempo de 30 s, (c) tiempo de 50 s y (d) tiempo de 80 s.

La Fig. 10 muestra los resultados de las líneas coloreadas de corriente de flujo asociadas con la temperatura para un periodo de tiempo de 10, 30, 50 y 80 segundos. Se aprecia que el flujo va incrementando su temperatura según el recorrido y el tiempo de operación. En los primeros 10 segundos, el flujo no sufre mucha variación en la temperatura al iniciar su recorrido. A los 30 segundos, la temperatura del flujo incrementa de manera más notable, aquí alcanza un valor alrededor de los 80°C. Luego, a los 50 segundos, la temperatura del flujo es de alrededor de 93°C justo después de ingresar a la cámara. Esto indica que la temperatura dentro de la cámara es elevada lo cual genera que el flujo que está ingresando se calienta de manera inmediata debido a la temperatura de operación de los sensores. Luego, parte del flujo que se transfiere hacia la zona superior de la cámara, debido a la presencia de la matriz de sensores, incrementa su temperatura aproximadamente hasta 143°C. Asimismo, se observa que parte de flujo que se encuentra en la zona inferior de la cámara alcanza una temperatura de alrededor 127°C. También, se determina que a partir de los 50 s la temperatura mantiene ese comportamiento.

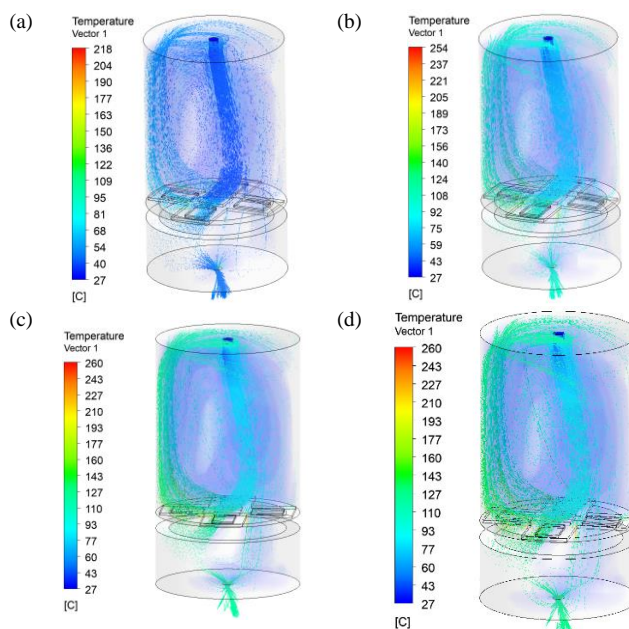


Fig. 10: Líneas de corriente de flujo de temperatura. (a) tiempo de 10 s, (b) tiempo de 30 s, (c) tiempo de 50 s y (d) tiempo de 80 s.

Las figuras 11 y 12 muestran la variación de la temperatura dentro de la cámara en un plano de corte con respecto al tiempo. Se observa que la temperatura del flujo a la entrada y en la matriz de sensores fueron de 27 y 260°C, respectivamente. Se determinó que la temperatura promedio alcanzó un valor de 47, 92, 109 y 112°C para un tiempo de 10, 30, 50 y 80 segundos, respectivamente. Este incremento se asocia a la fuente de temperatura ejercida por los sensores. Además, se observa que

el área en la zona inferior a los sensores presenta una mayor temperatura con respecto a la zona superior. Si bien el incremento de temperatura genera que la densidad del fluido disminuya generando que se concentre mayor masa en la parte superior, esta masa es removida debido al flujo que sigue entrando a la cámara. Esto conlleva a que la masa de aire que se concentró en la zona superior se traslade hacia la zona inferior de la cámara. Asimismo, se analiza la variación de la temperatura de salida del flujo con respecto al tiempo. Se determinó que la temperatura del flujo a la salida aumenta y alcanza valores de 46, 99, 118 y 120°C correspondiente a los 10, 30, 50 y 80 segundos, respectivamente. También se observa que la temperatura alcanza valores más elevados en la zona cercana a los sensores, tal como se observa en los resultados a los 80 segundos, donde, por ejemplo, el flujo alcanza una temperatura de aproximadamente 210°C.

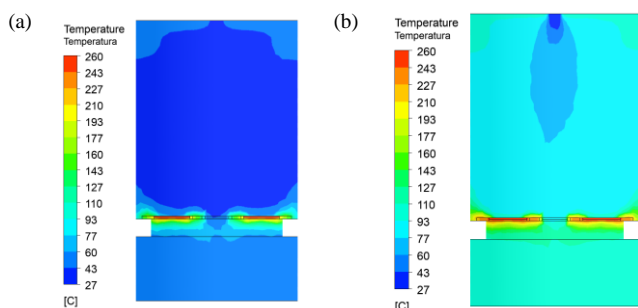


Fig. 11: Mapa de temperaturas dentro de la cámara. (a) Izquierda: Tiempo de 10 s. (b) Derecha: Tiempo de 30 s.

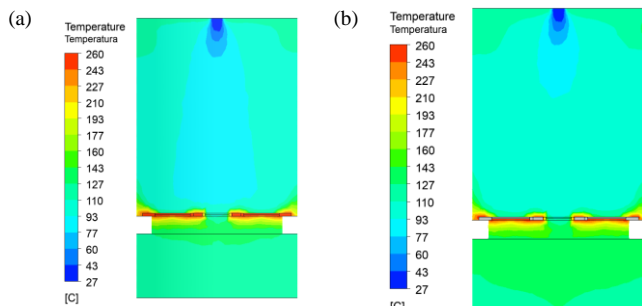


Fig. 12: Mapa de temperaturas dentro de la cámara. (a) Izquierda: Tiempo de 50 s. (b) Derecha: Tiempo de 80 s.

Las figuras 13 y 14 muestran la variación de presión en un plano de corte dentro de la cámara con respecto al tiempo. Primero, los resultados indican que a los 10 segundos de simulación la presión alcanza valores de 4.29 Pa en la zona superior y luego desciende a los 3.45 Pa. Esto indica que el fluido se va concentrando en la zona superior pues la temperatura dentro de la cámara a los 10 segundos está en incremento como se aprecia en la figura del contorno de temperatura correspondiente (Fig. 11 a). Segundo, en el mapa de contorno correspondiente a los 30 segundos, la zona en donde la presión es de 4.29 Pa aumenta hasta abarcar la mitad de la sección y el análisis es el mismo. Es decir, la temperatura

aumentó lo cual implica un incremento de la concentración de fluido y por tanto de presión. Tercero, a los 50 segundos, se observa que la presión adquiere tres valores: 4.23 Pa en la zona superior, 3.90 Pa en la zona intermedia que cuenta con más área y 3.35 Pa en la zona inferior, aquí se aprecia que el fluido acumulado en la zona inferior se encuentra en menor proporción que en las otras zonas, sin embargo, presenta mayor temperatura. Cuarto, en el mapa del contorno a los 80 segundos el patrón de flujo mantiene el mismo comportamiento que a los 50 segundos. Este comportamiento sugiere un comportamiento no estacionario inicial que con el transcurso de tiempo se torna más estable (estado estacionario).

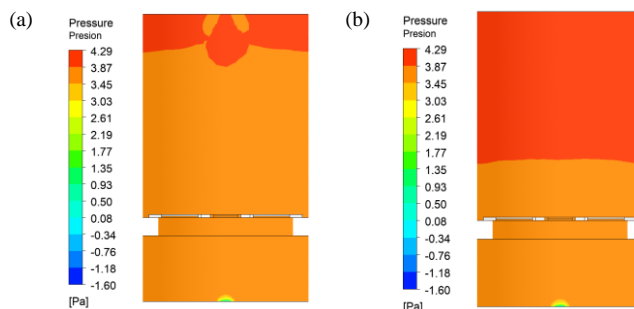


Fig. 13: Mapa del contorno de presión en la cámara. (a) Izquierda, tiempo de 10 s. (b) Derecha, tiempo de 30 s.

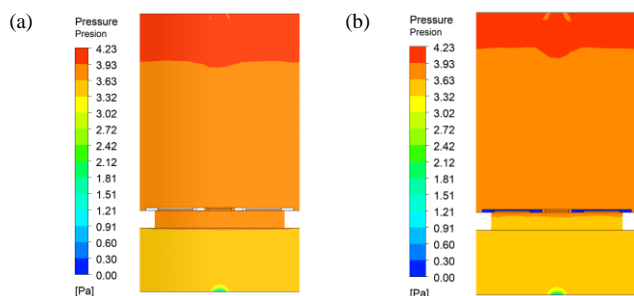


Fig. 14: Mapa del contorno de presión en la cámara. (a) Izquierda, tiempo de 50 s. (b) Derecha, tiempo de 80 s.

## CONCLUSIONES

A partir de los resultados del análisis numérico para el estudio del comportamiento del flujo de aire a través de la cámara de sensado de una nariz electrónica empleada para detectar y diferenciar la calidad del pisco peruano (proyecto: 051-2018-FONDECYT-BM-IADT-MU) se concluye:

Mediante el modelamiento con Ansys Workbench se determinó que las líneas de corriente de aire lograron alcanzar el contacto con las superficies de los sensores. El flujo recirculante del fluido confirma que la mayor concentración se da en la zona superior de la cámara, lo cual resulta beneficioso para favorecer las pruebas de sensado de la muestra a estudiar. El ingreso del fluido por la parte superior de la cámara permite que se genere una convección de calor forzada que permite una mayor homogenización de la temperatura en la parte superior de la cámara. Los resultados con respecto a los resultados de la variación de presión y de temperatura evidencian un

comportamiento inestable en los primeros 30 s de iniciado del ensayo y que tiende hacia la estabilidad a partir de los 50 s.

Finalmente, el modelamiento del fluido dentro de la cámara permite intuir que los resultados del sensado de las muestras tendrán un comportamiento repetitivo y estable a partir de los 50 s de iniciado el ensayo por la estabilidad que se muestra en las otras variables (presión y temperatura).

#### RECONOCIMIENTO

Los autores reconocen el apoyo financiero del Proyecto CONCYTEC – Banco Mundial “Mejoramiento y Ampliación de los Servicios del Sistema Nacional de Ciencia Tecnología e Innovación Tecnológica” 8682-PE, a través de su unidad ejecutora FONDECYT. [051-2018-FONDECYT-BM-IADT-AV]

#### REFERENCIAS

- [1] I. Moreno, R. Caballero, R. Galán, F. Matía, and A. Jiménez, “Electronic nose: State of art,” *RIAI - Rev. Iberoam. Autom. e Inform. Ind.*, vol. 6, no. 3, pp. 76–91, 2009.
- [2] M. C. Quicazán S, A. C. Díaz M, and C. M. Zuluaga D, “La nariz electrónica, una novedosa herramienta para el control de procesos y calidad en la industria agroalimentaria,” *Vitae*, vol. 18, no. 2, pp. 209–217, 2011.
- [3] S. Mildner-Szkudlarz and H. H. Jeleń, “The potential of different techniques for volatile compounds analysis coupled with PCA for the detection of the adulteration of olive oil with hazelnut oil,” *Food Chem.*, vol. 110, no. 3, pp. 751–761, Oct. 2008.
- [4] H. Reinhard, F. Sager, and O. Zoller, “Citrus juice classification by SPME-GC-MS and electronic nose measurements,” *LWT - Food Sci. Technol.*, vol. 41, no. 10, pp. 1906–1912, Dec. 2008.
- [5] M. Aleixandre, J. Lozano, J. Gutiérrez, I. Sayago, M. J. Fernández, and M. C. Horrillo, “Portable e-nose to classify different kinds of wine,” *Sensors Actuators B Chem.*, vol. 131, no. 1, pp. 71–76, Apr. 2008.
- [6] A. L. Paredes Doig, M. D. R. Sun Kou, G. Picasso Escobar, E. Doig Camino, and G. Comina, “Implementación y evaluación de una nariz electrónica para la detección de alcoholes lineales,” *Rev. Colomb. Química*, vol. 45, no. 2, p. 12, Nov. 2016.
- [7] M. Mamat and S. A. Samad, “The design and testing of an Electronic Nose prototype for classification problem,” in *2010 International Conference on Computer Applications and Industrial Electronics*, 2010, no. Iccae, pp. 382–386.
- [8] S. R. Bosch, “Diseño y realización de una nariz electrónica para la discriminación de aceites,” Universidad Rovira i Virgili, 2001.
- [9] Ansys Inc., *Ansys Fluent Theory Guide*. 2018.
- [10] J. M. Fernández Oro, *Técnicas numéricas en ingeniería de fluidos*. Barcelona, España: Editorial Reverté, 2010.
- [11] N. Rolander, J. Rambo, Y. Joshi, J. K. Allen, and F. Mistree, “An Approach to Robust Design of Turbulent Convective Systems,” *J. Mech. Des.*, vol. 128, no. 4, pp. 844–855, Jul. 2006.