

UNIVERSIDAD PERUANA UNION

ESCUELA DE POSGRADO

Unidad de Posgrado de Ingeniería



**Evaluación paramétrica del rendimiento de chimeneas solares
mediante simulación CFD y análisis estadístico multivariante
con caras de Chernoff**

Tesis para obtener el Título de Segunda Especialidad Profesional de
Ingeniería: Estadística Aplicada para Investigación

Autores:

Alberto Hananel Baigorria

Sandra Cecilia Loaiza Chumacero

Asesor:

Doctor Iván Dennys Soto Rodríguez

Lima, 30 de junio de 2025

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS

Yo Iván Dennys Soto Rodríguez, docente de la Unidad de Posgrado de Ingeniería, Escuela de Posgrado de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente tesis titulada: **“EVALUACIÓN PARAMÉTRICA DEL RENDIMIENTO DE CHIMENEAS SOLARES MEDIANTE SIMULACIÓN CFD Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO MULTIVARIANTE CON CARAS DE CHERNOFF”** de los autores Alberto Hananel Baigorria y Sandra Cecilia Loaiza Chumacero tiene un índice de similitud de 7 % verificable en el informe del programa Turnitin, y fue realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponde ante cualquier falsedad u omisión de los documentos como de la información aportada, firmo la presente declaración en la ciudad de Lima, a los 30 días del mes de junio del año 2025.



Iván Dennys Soto Rodríguez

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Lima, Ñaña, Villa unión a 30 días del mes de junio del año 2025, siendo las 9:00 horas, se reunieron de forma online sincrónica, bajo la dirección del presidente del jurado M.Sc. Fredy Abel Huanca Torres, secretario Mg. Junior Israel Pacheco Espinoza; los demás miembros: PhD. Javier Linkolk López Gonzales, Mg. Esteban Tocto Cano y el asesor Dr. Ivan Dennys Soto Rodriguez, con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de Tesis de la Segunda Especialidad titulada "*Evaluación paramétrica del rendimiento de chimeneas solares mediante simulación CFD y análisis estadístico multivariante con caras de Chernoff*", conducente a la obtención del Título de Segunda Especialidad Profesional de Ingeniería: Estadística Aplicada para Investigación.

El presidente inició el acto académico de sustentación invitando a los candidatos a hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, cuestionamientos y aclaraciones pertinentes, aquellas que fueron absueltas por los candidatos. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado. Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidatos: Alberto Hananel Baigorria y Sandra Cecilia Loiza Chumacero

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Líteral	Cualitativa	
Aprobado	20	A+	Con nominación de Excelente	Excelencia

Finalmente, el presidente del jurado invitó al candidato a ponerse de pie para recibir la evaluación final. Además, el presidente concluyó el acto académico de sustentación, procediéndose a registrar las firmas respectivas.



Presidente



Secretario



Asesor



Miembro



Miembro



Candidato



Candidato

Índice

1. Introducción	6
1.1. Estado del arte	7
1.2. Modelo matemático	8
1.3. Fórmulas clásicas para el análisis de eficiencia y rendimiento de una chimenea solar	10
2. Metodología	10
2.1. Parámetros geométricos	10
2.2. Modelización y mallado	11
2.3. Condiciones de Frontera	11
2.4. Parámetros de la simulación	12
2.5. Modelo físico-matemático que sustenta la simulación	12
2.6. Selección de configuraciones y justificación del diseño simulado	15
2.7. Simulaciones CFD en Ansys Fluent	16
2.8. Implementación de la metodología basada en el CFD mediante ANSYS Fluent	17
2.9. Evaluación paramétrica mediante Caras de Chernoff	17
2.10. Asociación de variables estadísticas a rasgos faciales	17
3. Resultados	20
3.1. Resultados de regresión obtenidos en R	20
3.2. Selección de modelos mediante Caras de Chernoff	22
3.3. Validación y permutación de variables	22
3.4. Confirmación estadística del modelo seleccionado	24
3.5. Independencia de los escenarios elegidos para la selección del modelo	25
3.6. Validación estadística del modelo de regresión elegido por Caras de Chernoff	26
3.7. Validación teórico-experimental	27
3.8. Ecuaciones CFD obtenidas con fundamento estadístico	27
3.9. Contrastación gráfica de modelos	27
3.10. Resultados en cuanto a eficiencia y rendimiento obtenidos	29
3.11. Resumen de resultados	30
4. Discusión	30
4.1. Comparación de resultados	30
4.2. Síntesis general de hallazgos	31
4.3. Discusión sobre el valor añadido del enfoque visual	31
4.4. Implicancias del estudio	31
5. Conclusiones	32

Evaluación paramétrica del rendimiento de chimeneas solares mediante simulación CFD y análisis estadístico multivariante con Caras de Chernoff

A. Hananel^{1,2,*}, S. Loaiza^{1,2}, I. Soto¹,
R. García², A. Vera²

¹Escuela de Posgrado, Universidad Peruana Unión, Lima, Perú, 15464

²Departamento de Ingeniería, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo, Perú, 14001

*Autor de correspondencia: ahananel@upeu.edu.pe

Resumen. Este artículo presenta un estudio integrado de simulación computacional (CFD) y análisis estadístico multivariante orientado a la optimización del diseño de chimeneas solares. Se tomó como referencia la planta de Manzanares, modelizada en ANSYS Fluent. Sobre la base de los resultados obtenidos, se exploraron once modelos de regresión para describir el comportamiento de la velocidad del aire en función del parámetro de escala, validando sus ecuaciones mediante métricas estadísticas y representaciones gráficas multivariantes. La metodología incluyó el uso innovador de Caras de Chernoff para sintetizar visualmente quince variables estadísticas por modelo, facilitando así la comparación estructurada y la identificación del modelo más representativo. El modelo de regresión de tipo potencia fue determinado como el más adecuado, al mostrar el mayor grado de ajuste sobre los datos simulados, coherencia teórica con el fenómeno físico modelado y una expresión visualmente favorable bajo distintos escenarios. Se formularon ecuaciones específicas para distintos niveles de irradiancia; además, se estimaron la eficiencia y la potencia generada, contrastando los resultados con investigaciones previas. El análisis fue enriquecido con la incorporación de variables geométricas como la altura y el radio de la chimenea y del colector, confirmando que la reducción de escala compromete significativamente el rendimiento. Este enfoque visual-estadístico no solo valida modelos derivados del CFD, sino que también introduce una herramienta intuitiva y eficaz para la toma de decisiones en ingeniería solar. Se concluye que las Caras de Chernoff constituyen una estrategia metodológica aplicable al estudio del rendimiento energético, abriendo nuevas líneas de investigación y diseño optimizado mediante visualización multivariante.

Palabras clave: Chimeneas solares, CFD, Estadística Multivariante, Caras de Chernoff, regresión no lineal