

Design of a temperature control system to increase profits in the noodle drying process

Estrella del Carmen Uchofen Ayala¹; Joselito Sánchez Pérez²; Maximiliano Arroyo Ulloa³
^{1,2,3}Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Perú, estrellauchofen.a@gmail.com, jsanchez@usat.edu.pe,
marroyo@usat.edu.pe

Abstract– *The purpose of this research was to design a temperature control system to increase profits in the noodle drying process. The company under study produces a variety of products such as thin, thick, and ribbon noodles. However, the drying process presents problems due to uneven distribution of hot air, which generates humidity levels outside quality parameters and causes reprocessing. To address this issue, we began with a diagnosis of the process, identifying causes and evaluating reprocessing rates through statistical sampling. The current dryer was modeled in SolidWorks and the economic impact of reprocessing was calculated. Subsequently, a new temperature control system was designed to determine the optimal drying time, a PID controller programmed in Matlab was implemented, the control plan was designed in Cade Simu, and the control system was simulated in SoMachine. The improvement reduced the percentage of broken noodles to 10% and wet noodles to 12%. Finally, a cost-benefit analysis was performed, which showed an annual profit of S/73 830 and a cost-benefit ratio of 1,13, demonstrating that the project was viable and profitable.*

Keywords– *Design, automation, drying, temperature, utility.*

Diseño de un sistema de control de temperatura para incrementar las utilidades en el proceso de secado de fideos

Estrella del Carmen Uchofen Ayala¹; Joselito Sánchez Pérez²; Maximiliano Arroyo Ulloa³
^{1,2,3}Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Perú, estrellauchofen.a@gmail.com, jsanchez@usat.edu.pe,
marroyo@usat.edu.pe

Resumen– El propósito de esta investigación fue diseñar un sistema de control de temperatura para incrementar las utilidades en el proceso de secado de fideos. La empresa de estudio produce variedades de productos como rosca fina, gruesa y cinta. No obstante, el proceso de secado presenta problemas debido a una distribución no uniforme del aire caliente, lo que genera niveles de humedad fuera de los parámetros de calidad y ocasiona reprocesos. Para abordar esta problemática, se inició con un diagnóstico del proceso, identificando causas y evaluando los porcentajes de reprocesos mediante muestreo estadístico. Se modeló el secador actual en SolidWorks y se calculó el impacto económico del reproceso. Posteriormente, se desarrolló el diseño de un nuevo sistema de control de temperatura, para determinar el tiempo óptimo de secado, se implementó un controlador PID programado en Matlab, se diseñó el plano de control en Cade Simu y se simuló el sistema de control en SoMachine. La mejora disminuyó el porcentaje de fideos trizados al 10% y de los fideos húmedos al 12%. Finalmente, se realizó un análisis beneficio costo que permitió alcanzar una utilidad anual de S/73 830 y un beneficio costo de 1,13, lo que evidenció que el proyecto fue viable y rentable.

Palabras clave– Diseño, automatización, secado, temperatura, utilidad.

I. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, las fábricas dedicadas al rubro de los alimentos enfrentan retos significativos que afectan tanto la eficiencia de sus operaciones como la viabilidad económica de sus procesos [1], uno de los aspectos más críticos dentro de las líneas de producción es el control de secado, bajo las cuales se conservan y transforman los alimentos [2]. El proceso de secado de fideos influye directamente en la calidad del producto final. Por ello, la implementación de un sistema de control de temperatura resulta eficiente para la reducción de errores. Una opción es el uso del controlador PID (Proporcional, Integral, Derivativo), el cual es ampliamente utilizado en la industria debido a su rendimiento su funcionalidad [3].

Además, diversos estudios hacen referencia a la optimización del proceso de secado, uno de ellos se enfocó en el secado de fideos de arroz, donde se analizó la variable de temperatura dentro de la máquina de secado. Para ello, se utilizaron métodos de secado con aire caliente y con bomba de calor a diferentes temperaturas, lo que condujo a una mejora del proceso [4]. Estos resultados resaltaron la importancia del diseño de un sistema de control de temperatura para garantizar el incremento de utilidades de las empresas.

En América Latina, se han identificado diversas investigaciones que abordan los retos de las industrias alimentarias en sus procesos; en esa línea, un estudio desarrollado en Colombia propuso un sistema automatizado para el control y monitoreo de variables aplicado a un horno de secado de polen, con el fin de optimizar el proceso térmico y evitar el deterioro del producto. A través de este sistema, se logró implementar un control preciso de temperatura y monitoreo en tiempo real, lo que permitió una distribución del calor más uniforme. Como resultado, se mejoró tanto la calidad del producto final como las utilidades del proceso [5].

En el Perú, las industrias de fideos enfrentan desafíos significativos en la eficiencia de sus procesos. Según el Sistema Integrado de Estadística Agraria (SIEA), en 2025 se registró un Valor en Riesgo (VaR) negativo de -5,9%, lo que evidencia fallas en las etapas de producción. Ante ello, se plantea la necesidad de implementar un sistema de control que contribuya a mejorar el rendimiento y aumentar las utilidades [6].

La empresa de estudio ubicada en la región Lambayeque, se dedica a la fabricación de una amplia variedad de fideos. Entre ellos, destacan los tipos rosca fina, rosca gruesa y rosca cinta, dado que, son los que presentan mayor demanda en el mercado. No obstante, la empresa enfrenta problemas debido al proceso de secado, puesto que la temperatura y el flujo de ventilación no es uniforme. Es decir que el aire no llega de manera equitativa a todo el producto, lo que resulta que los fideos salgan con niveles de humedad fuera de los parámetros de calidad.

Ante esta problemática se plantea la pregunta de investigación ¿Cómo diseñar un sistema de control de temperatura para incrementar las utilidades en el proceso de secado de fideos?, por ello, el objetivo general es diseñar un sistema de control de temperatura para incrementar las utilidades en el proceso de secado de fideos. Los objetivos específicos son: diagnosticar el proceso de secado de fideos, elaborar el diseño de un sistema de control de temperatura en el proceso de secado de fideos y realizar un beneficio costo del diseño de un sistema de control de temperatura para incrementar las utilidades en el proceso de secado de fideos.

Este estudio se justificó económicamente al evidenciar que la implementación de un sistema de control de temperatura permite incrementar las utilidades en el proceso de secado de fideos, al reducir los costos asociados al reproceso. Desde el enfoque tecnológico, la propuesta permitió incorporar un

sistema automatizado que regula variables del secado. Finalmente, desde el enfoque ambiental, el sistema favorece un uso eficiente de la energía y promoviendo la sostenibilidad.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

Para el primer objetivo, se consideró las metodologías del diagnóstico según [7], lo cual, se determinó el impacto de las condiciones de secado de fideos a alta temperatura sobre la calidad y textura. Los hallazgos evidenciaron que el secado de fideos a temperaturas elevadas aumentó el contenido proteico, pero perjudicó la uniformidad. En cambio, los fideos sometidos con una humedad del 12,22%, desarrollaron una estructura más compacta y resistente a la flexión. Por otro lado, el estudio de [8], evidenciaron que el incremento de la temperatura en los sistemas de secado mecánico, si bien acelera el proceso de deshidratación de granos con alta humedad, también conlleva efectos negativos sobre su integridad física. En particular, los granos secados a 70°C presentan una resistencia significativamente menor frente a aquellos tratados a temperaturas más moderadas, como 40°C. Esta condición propicia la aparición de fisuras internas, afectando tanto la calidad del producto final como su valor nutricional.

Para el segundo objetivo, diversos estudios han reportado resultados positivos relacionados con el diseño de un control de temperatura. En el estudio de [9], mediante un diseño se evaluaron variables del secado de arroz como la temperatura del aire, humedad relativa y velocidad del viento. El modelo logró un secado eficiente a 48,87°C, con 30,12% de humedad y una velocidad de 0,62 m/s y un tiempo total de secado de 4,23 horas. Por otro lado [10], desarrollaron un sistema automatizado para mejorar el control térmico en procesos de secado agrícola, utilizando un controlador PID, el sistema logró mantener de forma precisa la temperatura de operación en 55°C. La sintonización del controlador mediante el método de Ziegler–Nichols permitió una gestión eficiente de los ventiladores y optimizando el consumo energético. También en el estudio de [11], analizaron la transferencia de calor del proceso de secado de cacao, para ello se usó como metodología el método de simulación computacional. Determinó, que con un nuevo diseño la temperatura puede incrementarse hasta un 37% manteniendo la velocidad del aire en 25,91 m/s y con una apertura de la válvula de gas al 50%.

Para la evaluación del beneficio costo, se tomaron como referencia los resultados de [12], donde se analizó el análisis económico de un secador de arroz, el estudio demostró que, al operar 240 horas al año, el secado tenía un costo de USD 0,96 por cada 100 kg de arroz, generando una relación beneficio costo de 3,0 y la utilidad se incrementó notablemente. Estos resultados muestran que el equipo es financieramente viable incluso para productores de pequeña escala.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó con un enfoque descriptivo, ya que se identificó los problemas presentes en el proceso de secado de fideos. En cuanto al diseño, se optó por un enfoque cuantitativo, debido a que se analizaron numéricamente las

variables. Además, fue un estudio no experimental, ya que no se manipularon dichas variables. Respecto a la población, esta estuvo conformada por la línea de producción de fideos y se seleccionó la etapa de secado como muestra, debido al problema de estudio.

En cuanto al diagnóstico del proceso de secado de fideos, se inició con la identificación de los productos fabricados, recopilando información correspondiente a un año. Posteriormente, se analizaron las causas más relevantes que afecta dicho proceso, se elaboró un diagnóstico de causas, en el cual se describieron detalladamente los factores identificados y se aplicó un método de muestreo estadístico para obtener los porcentajes de reproceso de fideos. Asimismo, se desarrolló en SolidWorks el diseño actual del secador y finalmente, se evaluó el impacto económico asociado a la problemática diagnosticada.

Con respecto al segundo objetivo, orientado al diseño de un sistema de control de temperatura en el proceso de secado de fideos, se comenzó determinando el tiempo óptimo de secado a través de cálculos matemáticos con las fórmulas de Newton y Lewis. Luego, se seleccionaron las herramientas y materiales, y se elaboró el diseño del nuevo secador utilizando el software SolidWorks. A continuación, se definió el sistema de control mediante PID, desarrollado en el software Matlab. Posteriormente, se diseñó el plano de control en Cade Simu, y se utilizó el software SoMachine para simular el funcionamiento del sistema. Finalmente, se llevó a cabo un análisis del impacto económico generado por la mejora.

Para cumplir con el tercer objetivo, centrado en realizar el beneficio costo del diseño de un sistema de control de temperatura para incrementar las utilidades en el proceso de secado de fideos, se evaluó la información financiera de la empresa y se proyectó el impacto económico de la propuesta.

IV. RESULTADOS

Para comprender la situación actual de la empresa, se identificó los productos, los cuales son: saco rosca fina, saco rosca gruesa y saco rosca cinta. Por consiguiente, se priorizaron las causas de la problemática en base a los datos registrados por la empresa durante el 2024. La principal causa identificada es el alto porcentaje de fideos que presentan niveles de humedad inadecuados. Esta situación se debe a un problema en la máquina de secado, lo cual, no garantiza una distribución uniforme del flujo de aire y de la temperatura. Como consecuencia, el aire caliente no se reparte de manera homogénea en todo el secador, lo que genera que los fideos salgan con niveles de humedad fuera del rango establecido entre 12% y 14%. Se aplicó un muestreo probabilístico aleatorio simple, donde cada bastidor con fideos fue elegido al azar, el tamaño de la muestra se calculó empleando una fórmula para poblaciones finitas (1).

$$n = \frac{N \times Z^2 \times p \times q}{e^2 \times (N-1) \times Z^2 \times p \times q} \quad (1)$$

Se calculó el tamaño de la muestra (n) para una población total de 2 304 bastidores (N), utilizando un nivel de confianza

del 95% ($Z = 1,96$), una proporción esperada de éxito y fracaso de 0,5 ($p = q$), y un margen de error del 5% ($e = 0,05$). Como resultado, se obtuvo un tamaño muestral de 330 bastidores, teniendo en cuenta que cada bastidor contiene 3 kg de fideos.

Durante la recolección de muestras se identificó que el 29,7% de los fideos analizados presentaban un contenido de humedad superior al 14%, siendo clasificados como fideos húmedos (294 kg de fideos húmedos). Asimismo, el 13,9% mostró niveles de humedad por debajo del 12%, por lo que fueron considerados fideos trizados o secos (138 kg fideos trizados). El 56,4% restante se ubicó dentro del rango óptimo de humedad, comprendido entre el 12% y el 14% (558 kg fideos correctos).

Asimismo, los fideos secos tienen una textura frágil, con un color amarillo oscuro y los fideos húmedos su textura es flácida, no apta para el consumo y con un color blanco. Frente a estas situaciones, se ha establecido que un fideo adecuado debe tener una textura flexible, resistente a la manipulación, y con un color amarillo claro. Por consiguiente, estos criterios aseguran que el producto final cumpla con los estándares.

Acto seguido, se realizó un análisis de la variable temperatura y la velocidad del aire. Se muestra en la Fig. 1 el análisis de la temperatura en los doce secadores, lo cual, revela que ninguno alcanza el parámetro establecido de 60°C, el promedio de temperatura registrado es de 57°C.

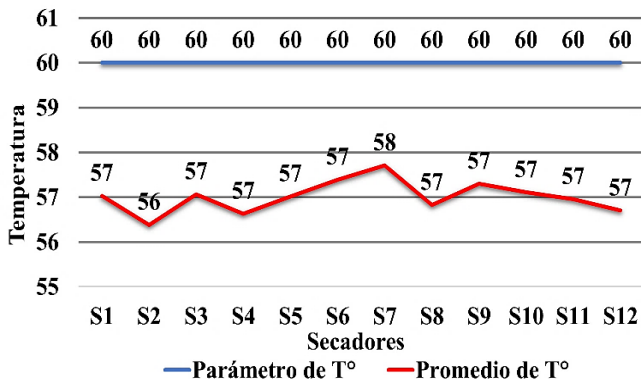


Fig. 1 Temperatura real de los secadores de la producción de roscas

Asimismo, las mediciones de la velocidad del flujo de aire, realizadas con el anemómetro Scarlet Tech TWL-1S, revelaron una distribución no uniforme del aire dentro del secador. Se registraron velocidades promedio de 8,78 m/s en el lado derecho, 8,08 m/s en el lado izquierdo y 1,47 m/s en la zona central. Esta notable diferencia confirma una circulación deficiente del equipo. Los resultados detallados se muestran en la TABLA I.

TABLA I
VELOCIDAD DEL AIRE

Anemómetro	Lado derecho (m/s)	Centro (m/s)	Lado izquierdo (m/s)
Scarlet tech Twl-1s	7,7	1,6	6,6
	8	1,4	6,5
	9,6	1,1	8,7
	9,5	0,7	8,4
	8,5	1,6	8,7
	9,4	2,4	9,6
Promedio	8,78	1,47	8,08

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, los datos obtenidos mediante el anemómetro Air Flow, reflejaron registros de velocidad del aire en tres puntos diferentes. Se obtuvo que el lado derecho presentó el mayor promedio de flujo, con un valor de 6,52 m/s. Al promediar los resultados de ambos instrumentos, resultó un valor promedio de 5,25 m/s. La TABLA II presenta los valores correspondientes a esta medición.

TABLA II
VELOCIDAD DEL AIRE

Anemómetro	Lado derecho (m/s)	Centro (m/s)	Lado izquierdo (m/s)
Air flow Psychrometer	6,6	2,1	2,9
	5,8	2,8	3,6
	6,6	1,8	6,6
	6,4	1,7	6
	6,4	0,9	5,2
	7,3	1,4	4,9
Promedio	6,52	1,78	4,87

Fuente: Elaboración propia

Para determinar el impacto económico generado por el reproceso de fideos, se determinó la cantidad de fideos según los rangos de humedad. Para ello, se consideró una producción diaria de 1 200 sacos y un total de 312 días laborables en el año. En primer lugar, se identificaron 52 189 sacos de fideos secos, 111 185 sacos de fideos húmedos y 211 025 sacos de fideos que se encontraban dentro del rango adecuado.

A continuación, se consideraron los costos asociados al reproceso, para los fideos secos implica desde la molienda, con un costo unitario de S/3,18 por saco. Por otro lado, el reproceso de fideos húmedos se considera solo proceso de secado, con un costo de S/0,80 por saco. Multiplicando la cantidad de sacos defectuosos, se obtuvo una pérdida de S/165 961,31 por los fideos secos y S/88 948,36 por los fideos húmedos. En consecuencia, la pérdida total es de S/254 910.

La segunda causa identificada corresponde al tiempo del proceso de secado, el cual constituye el cuello de botella debido a su prolongada duración de 12 horas. Por otro lado, la Fig. 2 muestra el diseño actual del secador de fideos, elaborado en SolidWorks. Este equipo tiene capacidad para de seis carretas, cada una con 32 bastidores y cuenta con tres ventiladores ubicados en la parte superior. No obstante, se evidenció que el flujo de aire es deficiente y que la temperatura interna no alcanza el valor requerido de 60°C.

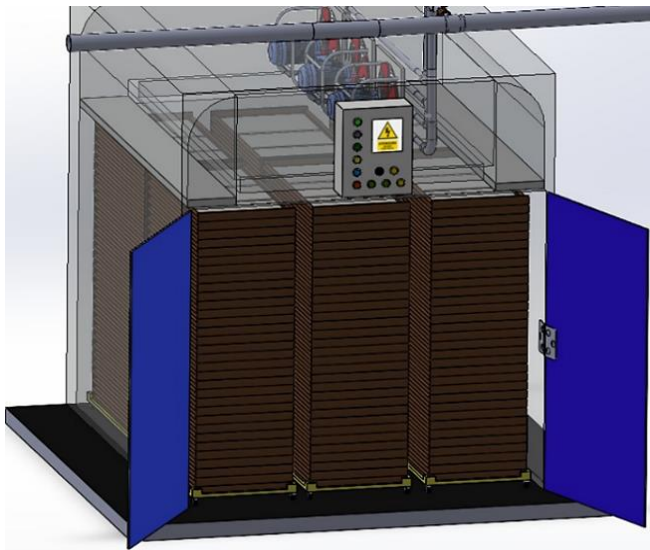


Fig. 2 Diseño actual del secador

Además, se realizó una simulación del secador actual en SolidWorks, donde la variable considerada fue la velocidad del flujo de aire, en este caso, se tomó el valor promedio de 5,25 m/s. Tal como se observa en la Fig. 3 el aire es generado por los ventiladores encargados de distribuirlo. Sin embargo, se evidencian una considerable variabilidad en las velocidades del flujo de aire dentro del secador.

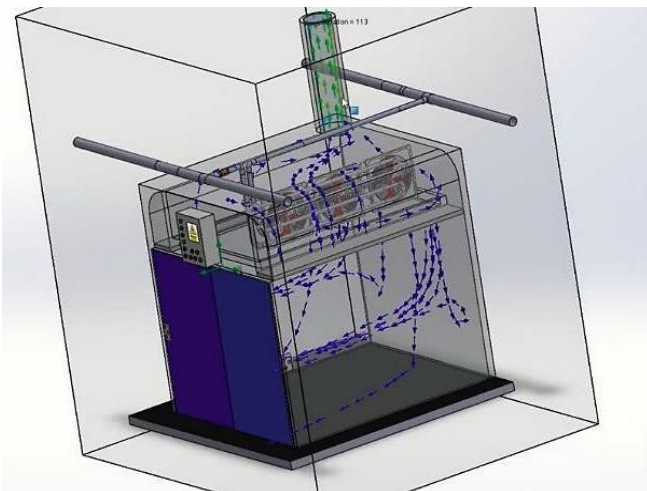


Fig. 3 Simulación de la velocidad del aire del secador actual

En el análisis térmico realizado en SolidWorks se incorporó los promedios de temperatura para obtener una visión precisa del comportamiento del secador actual. Además, el material utilizado corresponde a una chapa de acero inoxidable AISI 316. Como resultado del análisis, se identificó que la temperatura mínima registrada fue de 53,85°C, mientras que la máxima alcanzó los 57,05°C. No obstante, no se logró el parámetro requerido de 60°C, la Fig. 4 presenta la simulación de la distribución de temperatura en la máquina actual.

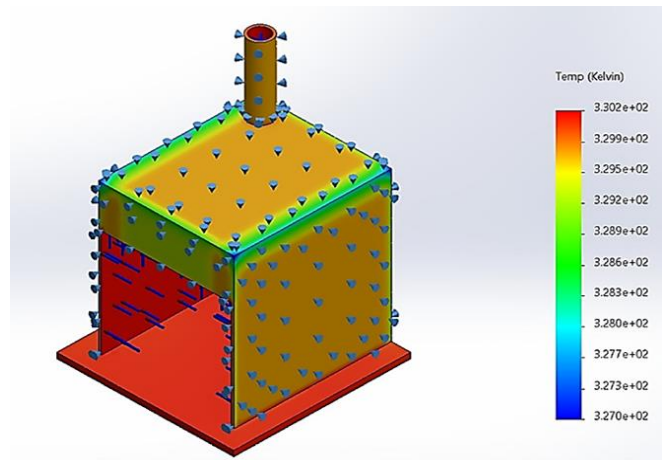


Fig. 4 Simulación de temperatura del secador actual

Asimismo, se realizó un análisis del consumo de energía eléctrica basado en las condiciones reales de operación y las especificaciones técnicas de los motores instalados. El secador cuenta con tres motores, cada uno con una potencia de 1 HP, lo que equivale a una potencia total de 2,238 kW. Considerando un tiempo de secado de 12 horas, el consumo diario asciende a 26,856 kWh. Al multiplicar este consumo por el costo de la energía eléctrica (S/0,65 por kWh), se obtiene un costo diario de S/17,46 por secador. Proyectando este valor a 312 días de operación al año, el costo anual de energía por secador es de S/5 446,40. Por lo tanto, para un total de 12 secadores, el costo anual de consumo eléctrico asciende a S/65 356,76. En la TABLA III, se muestra el impacto económico del diagnóstico del proceso de secado por cada causa identificada.

TABLA III
IMPACTO ECONÓMICO ANUAL DEL PROCESO DE SECADO

Causa	Impacto económico	Actual
Alto porcentaje de fideos húmedos o trizados	Fideos reprocesados(trizados y húmedos)	S/254 910
Tiempos altos en el proceso de secado	El costo del consumo eléctrico por los 12 secadores	S/65 357
Total		S/320 266

Fuente: Elaboración propia

Para cumplir con el segundo objetivo, centrado en el diseño de un sistema de control de temperatura en el proceso de secado de fideos, se planteó una propuesta destinada a regular las variables críticas involucradas. Este diseño tiene como propósito optimizar la etapa de secado, abordando las causas que fueron previamente identificadas durante el diagnóstico.

Se inició el cálculo del nuevo tiempo de secado aplicando las fórmulas (2) y (3), lo cual permite determinar la relación de humedad (MR) y la constante de secado (k). Esta constante representa la velocidad a la que se elimina la humedad del producto a lo largo del proceso de secado [13].

$$MR = e^{-kt} \quad (2)$$

$$MR = \frac{x_t}{x_o} \quad (3)$$

Donde: X_t = Cantidad de humedad en el tiempo final (12%-14%) y X_o = Cantidad de humedad inicial (25%). Reemplazando para el 12% de humedad, el MR es de 0,48, con un $k = 0,0612$. Considerando una mejora del 50% del proceso de secado, esto equivale a multiplicarla por el factor de 1,5 (100% + 50% = 150%), donde el nuevo k es 0,0918. Entonces el tiempo de secado es de 8 horas.

Reemplazando para el 14% de humedad, se halló la constante de secado, MR es de 0,56, con un $k = 0,0483$. Considerando una mejora del 50%, donde el nuevo k es 0,0725. Entonces el tiempo de secado es de 8 horas para ambos porcentajes de humedad. Para justificar la mejora del 50%, se consideró una reducción del tiempo de 12 horas a 8 horas. A partir de la ecuación de Newton y Lewis, y manteniendo la relación con la humedad [13].

A continuación, se determinaron los equipos y materiales necesarios, y se calculó el sistema de ventilación con el objetivo de seleccionar el ventilador más adecuado. Para ello, se estableció el flujo másico de aire requerido para extraer la humedad de los fideos [14]. De acuerdo con los parámetros de la empresa, el proceso de secado debe de llegar a un 60°C, el flujo de masa de aire se calculó utilizando (4) y (5).

$$m_{al} = \frac{m_w (Cp_w \times \Delta T_w + hf_g)}{n_s \times Cp_{al} \times \Delta T_{al}} \quad (4)$$

$$m_w = \frac{m_{pastas}}{t} \times (m_o - m_f) \quad (5)$$

A continuación, se detalla el origen de cada uno de los parámetros empleados: El calor específico del vapor de agua, es de 1,8723 kJ/kg°C. Por otro lado, el calor específico del aire a presión constante es de 1,005 kJ/kg°C y la entalpía de vaporización del agua a una temperatura de 25°C es de 2 441,7 kJ/kg. Asimismo, la temperatura promedio del agua es de 25°C, considerando T_w entrada (15°C) y T_w salida (35°C) [14].

Además, la humedad de los fideos antes del secado es del 25% y la humedad final es del 12%, para el promedio del cambio de temperatura del aire es de 40°C, considerando T_{al} entrada (20°C) y T_{al} salida (60°C), según los datos obtenidos de la empresa. Cabe mencionar el tiempo de secado para la mejora es de 8 horas y la masa se consideró 500 kg que es la capacidad del secador, como resultado se obtuvo el flujo de masa de aire de 0,140 kg/s.

Se calculó el caudal de aire requerido para extraer la humedad del producto se utilizó (6) la siguiente fórmula, con el dato del flujo de masa de aire y considerando que la densidad del aire es 1,293 kg/m³ [14]. Por ello, el consumo de potencia del motor, considerando la presión estática es de 12 inH₂O para la conversión de CFM a HP. Dando como resultado 0,4 HP para la elección del ventilador.

$$Q_{al} = \frac{m_{al}}{\rho_{al}} \quad (6)$$

Para seleccionar la válvula proporcional, se llevó a cabo un cálculo considerando parámetros, se tomó en cuenta un caudal máximo de 10 m³/h, una densidad de 1 g/cm y una pérdida de carga de 3,1 bar. Además, la empresa utiliza una tubería de 2 pulgadas de diámetro. Con estos datos se aplicaron las fórmulas correspondientes (7) y (8), que permiten calcular el coeficiente de caudal de la válvula (cv), el cual representa la capacidad de la válvula para permitir el paso del fluido. Por ello, se eligió la válvula proporcional con el coeficiente del caudal del agua obtenido que es de 6,59 m³/min.

$$k_v = Q \sqrt{\frac{\rho}{\Delta p}} \quad (7)$$

$$cv = 1,16 \times kv \quad (8)$$

Para la selección de las rejillas, se consideraron las dimensiones del secador existente, el cual cuenta con un ancho de 2,30 m, un largo de 2,62 m y una altura de 2,64 m. Se determinó que el proceso requiere un caudal total de aire de 0,11 m³/s, con una temperatura de entrada de 60°C. Actualmente, el sistema opera con tres ventiladores que permiten alcanzar una velocidad del aire de 5,25 m/s. Para calcular el caudal que atravesará cada rejilla se utilizó (9), dando como resultado 0,055 m³/s.

$$Q_{por \text{ rejilla}} = \frac{Q_{al}}{\text{Número de rejillas}} \quad (9)$$

Del mismo modo, la velocidad del aire se incrementará a 10,5 m/s debido a la incorporación de tres ventiladores adicionales. Para este cálculo, se empleó (10) y se determinó que el área del espacio por las palas es de 0,005 m², para la elección de la rejilla. Esas fueron las principales herramientas y equipos que requirieron un cálculo específico; el resto se encuentra mencionado en el tercer objetivo, en el cual se consideró el sistema eléctrico de la máquina.

$$\text{Área} = \frac{Q_{por \text{ rejilla}}}{\text{Velocidad}} \quad (10)$$

Como resultado del proceso de mejora, la máquina de secado presentada corresponde a un diseño elaborado en SolidWorks, donde se reflejan la incorporación de nuevos equipos y materiales. En primer lugar, la cámara fue diseñada con la misma capacidad. Además, se incorporaron seis ventiladores en la parte superior para asegurar una adecuada circulación del aire. También se integró una válvula proporcional encargada de regular el ingreso de agua caliente. De igual manera, se seleccionaron rejillas que favorecen una mejor distribución del flujo de aire. Finalmente, en la parte frontal, se incluyó un panel de control que contiene el sistema eléctrico. Tal como se observa en la Fig. 5.

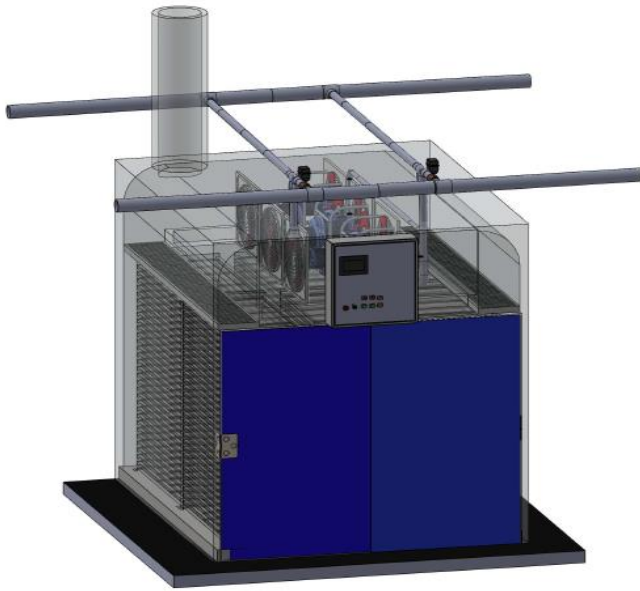


Fig. 5 Diseño de la mejora del secador

Además, se realizó una simulación del secador propuesto en SolidWorks, donde la variable considerada es la velocidad del flujo de aire. En este caso, se tomó el valor promedio de 10,5 m/s, el cual fue calculado anteriormente. Como se evidencia en la Fig. 6 el aire es generado por los ventiladores, que se encargan de distribuirlo en toda la máquina.

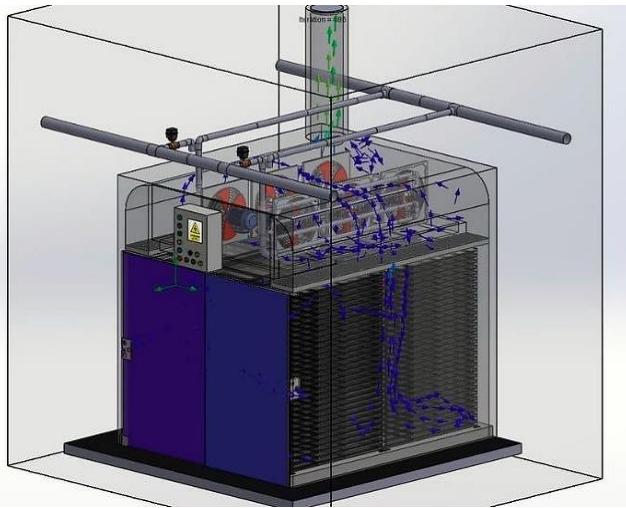


Fig. 6 Simulación de la mejora de la velocidad del aire

Durante el análisis térmico realizado en SolidWorks, se ingresó una temperatura de 60°C con el objetivo de obtener una representación precisa del comportamiento térmico del secador propuesto. Como resultado, se identificó una temperatura mínima de 56,35°C y una máxima de 60,05°C, lo que permitió alcanzar la temperatura óptima requerida para asegurar la calidad del producto final, se evidencia en la Fig. 7.

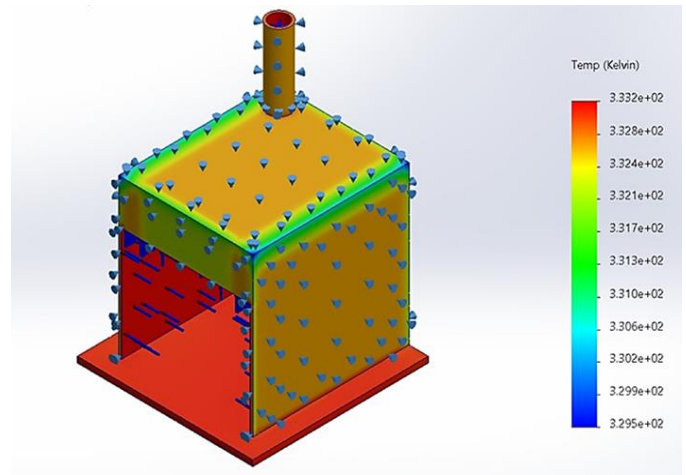


Fig. 7 Simulación de temperatura de la mejora

Asimismo, se definió el sistema de control del proceso de secado, se decidió implementar un sistema de control PID (Proporcional, Integral, Derivativo). Para ello, se desarrolló un modelo matemático de la variable temperatura utilizando el software Matlab, basándose en los datos obtenidos de la máquina, se aplicó el método de la curva de reacción de [15], el cual, salió el dato de retardo $L = 15,690$ y la constante de tiempo $t = 24,1148$. Para obtener los datos se considera (11), (12) y (13).

$$K_p = 1,2 \frac{T}{L} \quad (11)$$

$$T_i = 2L \quad (12)$$

$$T_d = 0,5L \quad (13)$$

Como resultado, se obtuvieron los siguientes valores: K_p es de 1,84431, T_i es de 31,3806 y T_d es de 7,84515. En la simulación del PID en la Fig. 8 se obtiene la constante de ganancias proporcionales (K_p), integral (T_i) y derivativa (T_d).

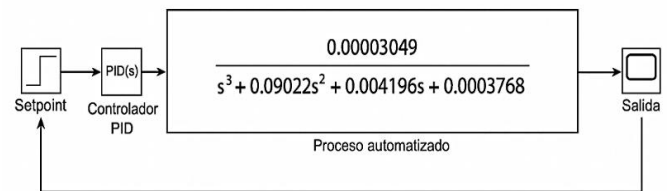


Fig. 8 Diagrama de Matlab

Además, en la Fig. 9 se evidencia la respuesta al escalón del modelo dinámico de temperatura del secador, donde se observa el comportamiento real del sistema (curva azul) en comparación con su aproximación lineal (curva negra). La simulación muestra un retardo inicial y una respuesta lenta, características propias de procesos térmicos, lo cual, permitió validar el modelo utilizado para el diseño del controlador PID.

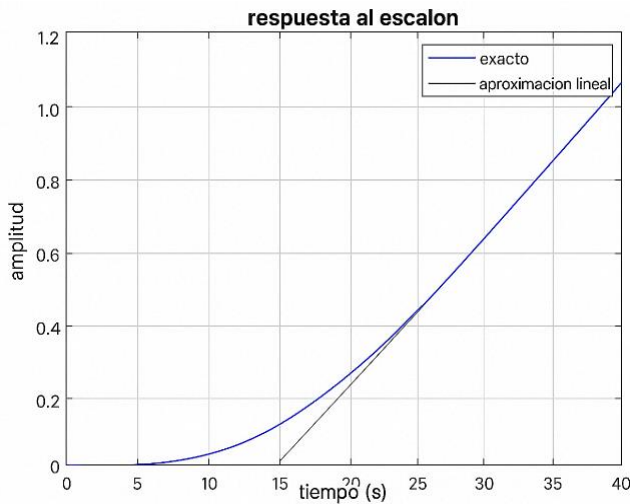


Fig. 9 Respuesta al escalón PID



Fig. 11 Lógica en SoMachine

Como parte del diseño del sistema, la Fig. 10 presenta el plano de control, donde se muestran las conexiones entre todos los componentes eléctricos. Asimismo, en la Fig. 11 se muestra la lógica del PLC implementada en SoMachine. El sistema operó con módulos de ampliación para entradas y salidas analógicas, al activarse el sistema, se encendieron automáticamente los seis ventiladores, las válvulas proporcionales, permitiendo la circulación de agua caliente. Se aplicó un control PID para mantener la temperatura del a 60°C, regulado por un sensor, el ciclo se repitió hasta alcanzar el nivel de humedad deseado, durante un total de 8 horas de secado.

Asimismo, se realizó un análisis del consumo de energía basado en la mejora, el secador cuenta con tres motores de 1HP y tres de 0,4 HP, hacen en total 3,13 kW. Considerando un tiempo de secado de 8 horas, el consumo diario es 25,04 kWh. Al multiplicar por el costo de la energía eléctrica (S/0,65 por kWh), se obtiene un costo diario de S/16,28 por secador. Proyectando este valor a 312 días de operación al año, el costo anual de energía por secador es de S/5 078,11. Por lo tanto, para un total de 12 secadores, el costo anual de consumo eléctrico asciende a S/60 937,34.

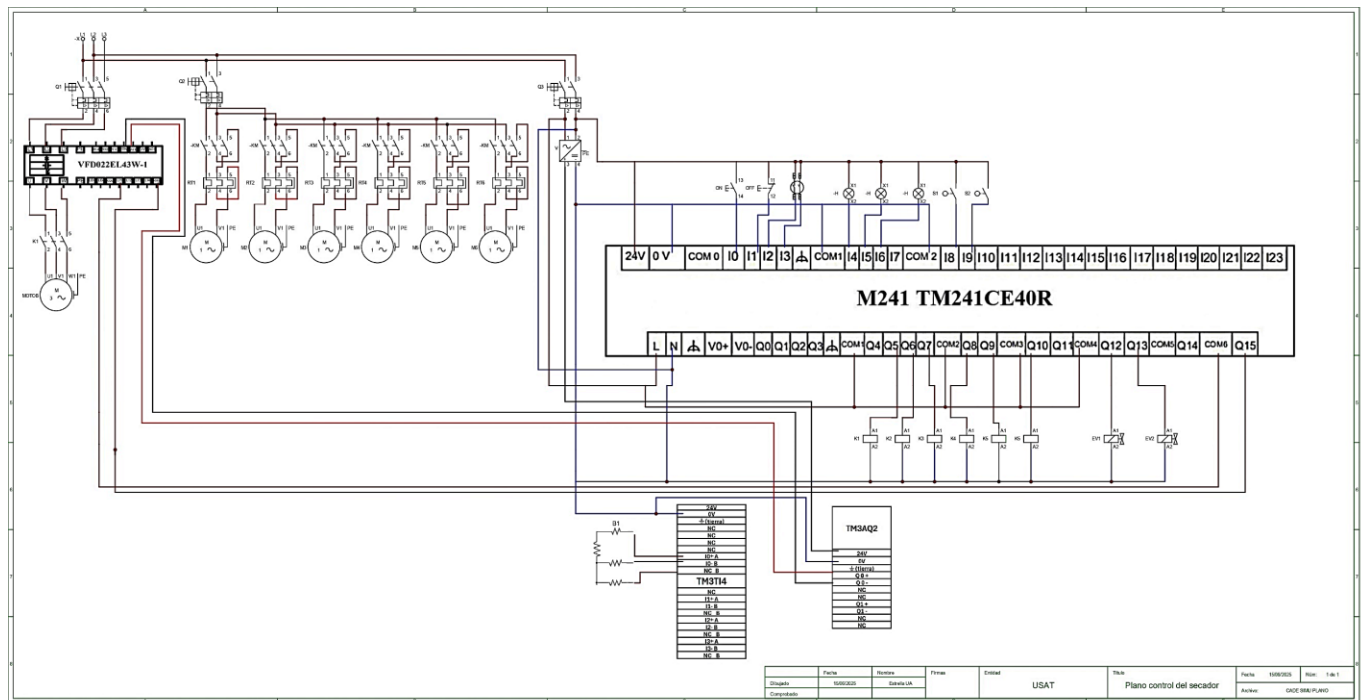


Fig. 10 Plano de control

Asimismo, con la reducción del consumo energético en el proceso de secado, se logró un enfoque de sostenibilidad, al disminuir el uso de recursos eléctricos y, en consecuencia, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, se calculó con el ahorro energético de 1 816 kWh anuales y se multiplicó por el factor de emisión de la matriz eléctrica peruana, que es de 0,292 kg CO₂/kWh según [16], como resultado, se evitó la emisión de 530 kg CO₂ al año. En definitiva, la mejora contribuye a una producción sostenible, en concordancia con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 9 y 12) [17].

Tras la implementación del nuevo sistema de secado, según los estudios de [18] y [19] la automatización del proceso permite una mayor eficiencia. Además, con la mejora se obtienen los siguientes indicadores: el porcentaje de fideos trizados es el 10% y de fideos húmedos es el 12%. Además, la temperatura de secado se incrementa al 60°C, y la velocidad promedio del aire es de 10,5 m/s. Finalmente, el tiempo de secado disminuye a 8 horas. A partir de estos resultados, se evaluó el impacto económico considerando una producción de 1 200 sacos diarios durante 312 días al año. Se registraron 37 440 sacos de fideos secos, 44 928 sacos húmedos y 292 032 sacos dentro del rango adecuado. Considerando los costos de reproceso (S/3,18 por saco de fideos trizados y S/0,80 por sacos de fideos húmedos), las pérdidas son de S/155 002 y permitió un ahorro de S/99 908. Tal como se observa en la TABLA IV.

TABLA IV
IMPACTO ECONÓMICO ANUAL DEL PROCESO DE SECADO ACTUAL Y LA MEJORA

Causa	Actual	Mejora	Beneficio
Alto porcentaje de fideos húmedos o trizados	S/254 910	S/155 002	S/99 908
Tiempos altos en el proceso de secado	S/65 357	S/60 937	S/4 419
Total	S/320 266	S/215 939	S/104 327

Fuente: Elaboración propia

Para alcanzar el tercer objetivo, orientado a realizar el análisis de beneficio costo, se determinó la inversión correspondiente a los bienes tangibles del diseño, se incluyen ventiladores de 0,4 HP, válvula proporcional, rejilla, sensor PT 100, sensor de humedad, relés, contactor, PLC TM241CE40R, módulo TM3TI4/G y módulo TM3AQ2/G; asimismo el capital de trabajo es de S/2 861. Por ello, el promotor del proyecto tiene el 49,41% y el financiamiento es de 48,15%. También, se incluyen los beneficios de la mejora que es de S/104 327 y para el costo total están los gastos financieros de S/9 850 y la depreciación de S/24 486. Por ello, en la TABLA V se muestra el flujo de caja, con un beneficio costo de 1,13.

TABLA V
FLUJO DE CAJA

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Inversión	S/199 567					
Beneficios		S/104 327	S/104 327	S/104 327	S/104 327	S/104 327
Costos		S/34 336	S/34 336	S/34 336	S/34 336	S/34 336

Utilidad bruta		S/69 992	S/69 992	S/69 992	S/69 992	S/69 992
Impuesto a la renta 29,5%		S/20 648	S/20 648	S/20 648	S/20 648	S/20 648
Utilidad después del impuesto		S/49 344	S/49 344	S/49 344	S/49 344	S/49 344
Saldo final	-s/98 503	S/73 830	S/73 830	S/73 830	S/73 830	S/73 830

Fuente: Elaboración propia

V. DISCUSIONES

Diagnosticar el proceso de secado de fideos permitió evidenciar deficiencias que afectan directamente la calidad del producto final. En primer lugar, se identificó que el 29,7% de los fideos presentaban un contenido de humedad superior al 14%, mientras que el 13,9% mostraba niveles por debajo del 12%. Esta variabilidad coincide con lo señalado por [7], quienes afirman que el secado a altas temperaturas, si bien puede incrementar el contenido proteico, afecta negativamente la uniformidad estructural del producto. Asimismo, los fideos húmedos presentaron una textura flácida y color blanco, mientras que los trizados fueron frágiles y con color amarillo oscuro; características que, de acuerdo con los estándares, indican un producto fuera de las especificaciones. Por otro lado, el estudio de [8], sostienen que el aumento de temperatura en los sistemas de secado acelera el proceso de deshidratación, pero también debilita la integridad física y reduciendo la calidad. Aunque en este caso la temperatura promedio registrada fue de 57°C, inferior a los 70°C del estudio, se observaron efectos similares, lo que sugiere que no solo la temperatura, sino también la falta de uniformidad en el flujo de aire como el 5,25 m/s y el excesivo tiempo de secado de 12 horas, inciden en los defectos del producto. En consecuencia, estos hallazgos validan la necesidad de implementar un sistema de secado más controlado que garantice la calidad de los fideos.

Elaborar el diseño de un sistema de control de temperatura en el proceso de secado de fideos permitió obtener resultados eficientes. En primer lugar, si bien el estudio de [9] logró un secado de arroz a una temperatura de 48,87°C, con una velocidad de aire de apenas 0,62 m/s y un tiempo de secado de 4,23 horas, en el presente trabajo se alcanzó una mejora en términos de condiciones operativas, logrando un secado uniforme de los fideos a 60°C, con una velocidad de aire de 10,5 m/s y un tiempo optimizado de 480 minutos (8 horas). Aunque el tiempo fue mayor, las condiciones de temperatura y ventilación fueron más adecuadas para el producto estudiado.

Asimismo, el estudio de [10], donde se implementó un sistema de control térmico basado en un controlador PID que permitió mantener la temperatura en 55°C, los resultados de esta investigación demuestran una mejora similar al utilizar también un sistema PID, diseñado en Matlab, con capacidad de mantener una temperatura constante de 60°C. Además, se evidencia una mejora en la velocidad del aire, lo que indica una mayor capacidad de extracción. Por otro lado, la investigación de [11], reportaron velocidades de aire de 25,91 m/s, cabe resaltar que dichas condiciones fueron aplicadas al secado de cacao. En cambio, en el presente diseño, se logró una velocidad adecuada de 10,5 m/s mejorando la textura de los fideos.

Realizar el análisis beneficio-costos del diseño de un sistema de control de temperatura para incrementar las utilidades en el proceso de secado de fideos permitió demostrar que la propuesta es económicamente viable. En primer lugar, el estudio de [12], evidenció una relación beneficio-costos de 3,0 en un secador de arroz que operaba 240 horas al año, lo que reflejaba una alta rentabilidad. En cambio, en el presente proyecto, si bien se obtuvo una relación beneficio-costos de 1,13, este valor sigue siendo positivo, por lo tanto, indica que la inversión en el nuevo sistema genera beneficios que superan sus costos. Además, se estimó un beneficio económico de S/104 327, lo cual, respalda la rentabilidad del sistema de control de temperatura.

VI. CONCLUSIONES

En conclusión, la investigación logró cumplir con el objetivo general de diseñar un sistema de control de temperatura para incrementar las utilidades en el proceso de secado de fideos. Para ello, se establecieron condiciones operativas adecuadas: una temperatura de 60°C, una velocidad del aire de 10,5 m/s y un tiempo de secado reducido a 8 horas. Como resultado, se logró disminuir el porcentaje de fideos trizados al 10% y de fideos húmedos al 12%, lo que contribuyó a mejorar tanto la calidad del producto final como la eficiencia del proceso de secado. Además, permitió reducir el consumo energético y evitar la emisión de 530 kg de CO₂ al año, contribuyendo así a los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Por último, la implementación del sistema permitió alcanzar una utilidad anual del S/73 830 y se obtuvo un beneficio costo de 1,13, lo que evidenció que el proyecto fue viable y rentable.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo por el respaldo brindado durante el desarrollo de esta investigación, ya que sus recursos formativos y el acompañamiento académico fueron determinantes. Del mismo modo, al personal administrativo y a los docentes de la Facultad de Ingeniería Industrial, por su constante orientación. Expreso también mi agradecimiento a la empresa que me permitió el acceso a la información, lo que hizo posible desarrollar una propuesta con aplicación en las industrias de alimentos.

REFERENCIAS

- [1] Siswanto, A. Margiwyatno, y J. Maryanto, «Prediction of the velocity of air flow by dimensional analysis for drying application», *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 653, n.º 1, 2021, doi: 10.1088/1755-1315/653/1/012087.
- [2] G. Rodríguez Medina, S. Balestrini Atencio, S. Balestrini Atencio, R. Meleán Romero, y B. Rodríguez Castro, «Análisis estratégico del proceso productivo en el sector industrial.», *Rev. Cienc. Soc.*, vol. 8, n.º 1, dic. 2012, doi: 10.31876/rev.v8i1.25173.
- [3] A. Simmonds-Mendoza, N. Cabrera-Londoño, N. Berdugo-Barandica, J. Roldán-Mckinley, y E. Yime-Rodríguez, «Implementación de control PID de nivel en laboratorio usando PLC Siemens S7-300», *Rev. UIS Ing.*, vol. 17, n.º 2, pp. 159-177, 2018, [En línea]. Disponible en: https://www.redalyc.org/journal/5537/553756965016/html/#redalyc_553756965016_ref13

- [4] M. H. Ismail *et al.*, «Two-step falling rate in the drying kinetics of rice noodle subjected to pre-treatment and temperature.», *J. Food Process. Preserv.*, vol. 44, n.º 11, pp. 1-11, nov. 2020, doi: 10.1111/jfpp.14849.
- [5] E. M. Santamaría *et al.*, «Sistema de control y monitoreo para el proceso de secado de alimentos: caso polen apícola», *Inf. Tecnológica*, vol. 33, n.º 3, pp. 137-148, jun. 2022, doi: 10.4067/S0718-07642022000300137.
- [6] Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, «Boletín Estadístico Mensual El Agro en cifras», *SIEA*, p. 168, 2025, [En línea]. Disponible en: https://siea.midagri.gob.pe/portal/phocadownload/datos_estadisticas/mensual/Agro/2025/Agroen_cifras_01_2025.pdf
- [7] J. Liu *et al.*, «Effect of high-temperature drying at different moisture levels on texture of dried noodles: Insights into gluten aggregation and pore distribution», *J. Cereal Sci.*, vol. 115, p. 103817, ene. 2024, doi: 10.1016/j.jcs.2023.103817.
- [8] E. Baidhe y C. L. Clementson, «A review of the application of modeling and simulation to drying systems for improved grain and seed quality», *Comput. Electron. Agric.*, vol. 222, p. 109094, jul. 2024, doi: 10.1016/j.compag.2024.109094.
- [9] J. Li *et al.*, «Study on Optimization of Rice-Drying Process Parameters and Directional Regulation of Nutrient Quality», *Appl. Sci.*, vol. 14, n.º 23, p. 10825, ene. 2024, doi: 10.3390/app142310825.
- [10] M. Melinda, R. Khatir, A. R. P. Ibina, A. Mufti, R. Syahyadi, y I. Hasanuddin, «Implementation of PID Controller on Hohenheim Tunnel Dryer Using Ziegler-Nichols Approach Method», *J. Polimesin*, vol. 21, n.º 1, Art. n.º 1, feb. 2023, doi: 10.30811/jpl.v21i1.3472.
- [11] I. A. Dharma, M. G. Z. Haikal, M. Ridwan, S. A. Dewanto, y M. A. Rahman, «Heat transfer simulation for re-design of tray dryer to reduce the energy consumption in the cocoa bean drying process», *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 1372, n.º 1, 2024, doi: 10.1088/1755-1315/1372/1/012095.
- [12] M. H. Islam, A. Momin, C. K. Saha, M. M. Alam, y S. Islam, «Techno-Economic Analysis of BAU-STR Dryer for Rice Drying: An Approach to Accelerate Adoption», *Sustainability*, vol. 16, n.º 22, Art. n.º 22, ene. 2024, doi: 10.3390/su16229846.
- [13] U. E. Inyang, I. O. Oboh, y B. R. Etuk, «Kinetic Models for Drying Techniques—Food Materials», *Adv. Chem. Eng. Sci.*, vol. 8, n.º 2, Art. n.º 2, mar. 2018, doi: 10.4236/aces.2018.82003.
- [14] C. A. Orozco Hincapié y F. Bedoya Loaiza, «Cálculo del flujo másico y caudal de aire para un ventilador utilizado en silos para secado para del café.», *Sci. Tech.*, vol. 3, n.º 35, pp. 207-212, 2007, Accedido: 15 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4804139>
- [15] M. Souza y P. J. P. Arajo, «Relay Methods and Process Reaction Curves: Practical Applications», en *Introduction to PID Controllers - Theory, Tuning and Application to Frontier Areas*, R. C. Panda, Ed., InTech, 2012. doi: 10.5772/33051.
- [16] Gobierno del Perú, «Ley N.º 30754», 2018. Accedido: 28 de septiembre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/presidencia/normas-legales/355750-30754>
- [17] M. Moran, «Infraestructura», Desarrollo Sostenible. Accedido: 28 de septiembre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/infrastructure/>
- [18] Z. Wang *et al.*, «Analysis on energy consumption of drying process for dried Chinese noodles», *Appl. Therm. Eng.*, vol. 110, pp. 941-948, ene. 2017, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2016.08.225.
- [19] J. Zhang, F. Zhao, C. Li, X. Ban, Z. Gu, y Z. Li, «Acceleration mechanism of the rehydration process of dried rice noodles by the porous structure», *Food Chem.*, vol. 431, p. 137050, ene. 2024, doi: 10.1016/j.foodchem.2023.137050.