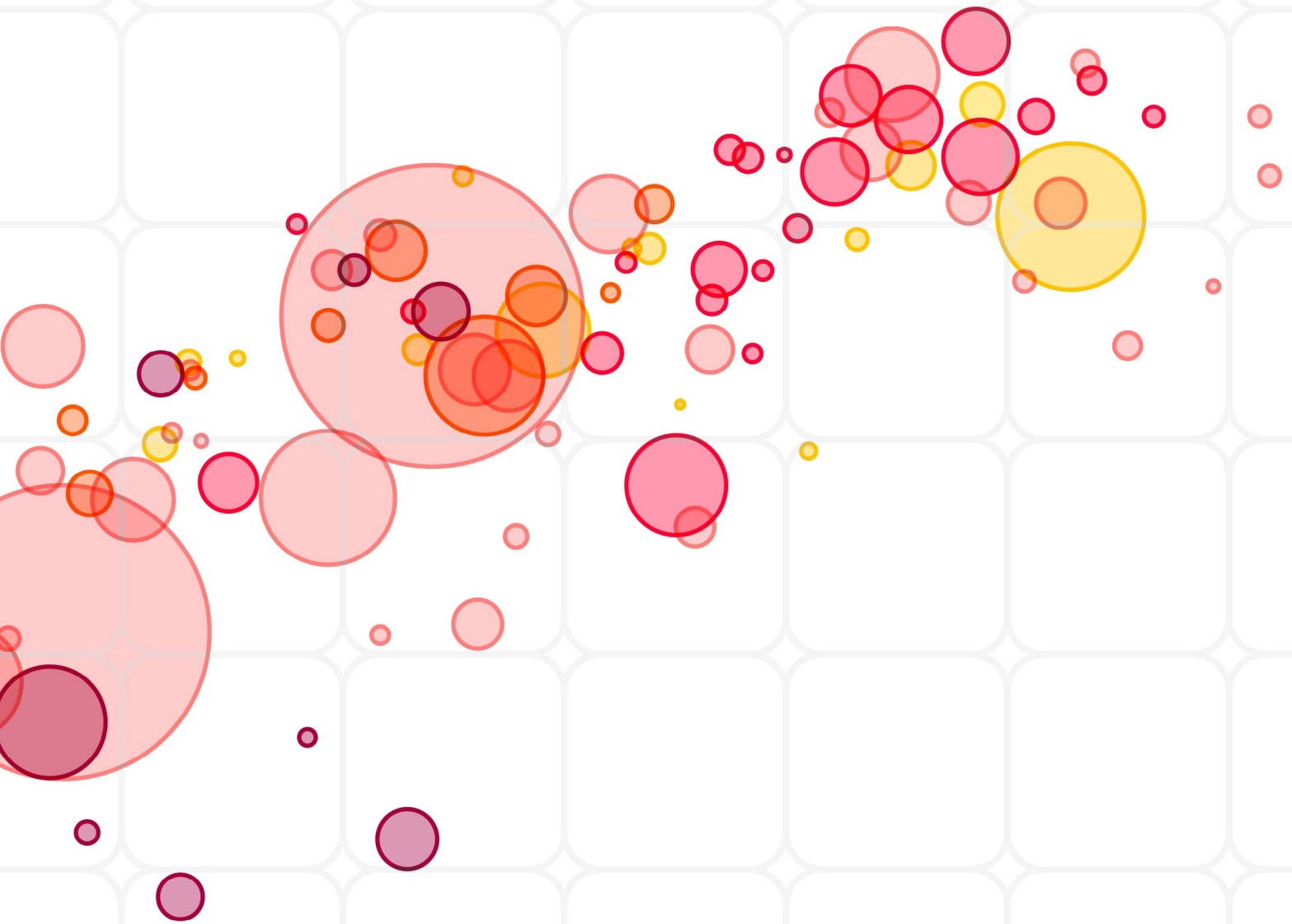


<https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/ingenieria/index>
www.ucr.ac.cr / ISSN: 2215-2652

Ingeniería

Revista de la Universidad de Costa Rica
JULIO/DICIEMBRE 2024 - VOLUMEN 34 (2)







Metodología para seleccionar el equipamiento técnico en el proceso productivo de elixir de ron

Methodology for selecting technical equipment in the production process of rum elixir

Yasmin Zaldivar Montes de Oca ¹ , Carmen Gloria Dean Galán ² 

Alejandro Luis del Arco de la Paz ³ , Jorge Luis Montero Bizet ⁴ 

¹ Estudiante de la Facultad de Ingeniería Química y Agronomía, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba, correo: yasmin.zaldivar@estudiantes.uo.edu.cu

² Estudiante de la Facultad de Ingeniería Química y Agronomía, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba, correo: carmen.dean@estudiantes.uo.edu.cu

³ Estudiante de la Facultad de Ingeniería Química y Agronomía, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba, correo: alejandrolarco526@gmail.com

⁴ Profesor asistente del Departamento de Matemática Aplicada, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba, correo: jorge.monterob@uo.edu.cu

Palabras Clave:

Arreglo matemático, bomba centrífuga, caudal, mercado, variables.

Resumen

El octavo objetivo de la Agenda 2030 pretende promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo, así como el trabajo decente para todos. El comercio internacional es un medio indispensable para favorecer y lograr su cumplimiento. Mantener la productividad y rentabilidad en la producción de bienes exportables, como el ron cubano, es esencial para satisfacer esta meta. El presente trabajo presenta una metodología para determinar un equipamiento tecnológico adecuado que permita reducir las pérdidas de materiales y productos durante la obtención de rones, en la Unidad Empresarial de Base (UEB) Manuel Fariñas Núñez de Santiago de Cuba. Para conocer los problemas tecnológicos existentes, se realizó una observación del funcionamiento de todos los dispositivos técnicos utilizados en la producción. Se recolectaron los datos referentes a las variables significativas de operación y se visitó el almacén de la empresa para cuantificar los suministros de reserva. A partir de un balance macroscópico de energía mecánica, se desarrolló un modelo matemático y un algoritmo de solución del problema. Durante la investigación, se detectó que, en el área de filtración del ron añejado, existen pérdidas del producto debido a daños en las tuberías. La metodología desarrollada permitió identificar el diámetro que satisface las condiciones de operación del sistema; además, posibilita obtener algoritmos de cálculos para seleccionar o identificar parámetros óptimos en sistemas productivos. La correcta escogencia y operación del equipamiento tecnológico garantiza la productividad y rentabilidad de una empresa.

Recibido: 21/02/2024

Aceptado: 03/06/2024

Keywords:

Centrifugal pump, flow, market, mathematical arrangement, variables.

Abstract

The goal eight of the 2030 Agenda aims to promote sustained, inclusive and sustainable economic growth, full and productive employment, as well as decent work for all. International trade is an indispensable means to stimulate and achieve its fulfillment. Maintaining productivity and profitability in the production of exportable goods, such as Cuban rum, is essential to meet this goal. The present article presents a methodology to determine the adequate technological equipment that allows reducing the losses of materials and products during the obtaining of rums, at the UEB (Base Business Unit) Manuel Fariñas Núñez, in Santiago de Cuba. To find out the existing technological problems, an observation of the operation of all the technical devices used in production was carried out. Data regarding significant operating variables were collected and the company's warehouse was visited to quantify reserve supplies. From a macroscopic balance of mechanical energy, a mathematical model and an algorithm for solving the problem were developed. During the investigation, it was detected that in the filtration area of the aged rum there are losses of the product due to breakdowns in the pipes. The developed methodology allowed identifying the diameter that satisfies the operating conditions of the system; in addition, it allows obtaining calculation algorithms to select or identify optimal parameters in production systems. The correct selection and operation of technological equipment guarantees the productivity and profitability of a company.

DOI: 10.15517/ri.v34i2.58883



1. INTRODUCCIÓN

En 2015, las Naciones Unidas lanzaron la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Esta consta de 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible y 169 subobjetivos, los cuales se consideran el marco de acción más importante para luchar contra los grandes restos de sostenibilidad que enfrentan las economías a nivel mundial [1].

El octavo objetivo de la Agenda 2030 pretende promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo, así como el trabajo decente para todos. Estas aspiraciones aparecen de la mano, lo cual da a entender que todas las medidas y políticas que persiguen un mayor crecimiento económico a nivel mundial deben proteger, al mismo tiempo, los derechos laborales fundamentales de los trabajadores. Se entiende como medio indispensable para lograr el cumplimiento de este propósito el comercio internacional [2].

En Cuba, el ron es un producto de vital importancia para la economía nacional con gran valor en el comercio internacional. El aumento de la calidad y las estrategias para reinventar nuevos productos, que permita la estabilidad comercial en un mercado cada vez más exigente, posibilita el aumento de los niveles de exportación del ron cubano y su demanda [3].

Todas las empresas, aun aquellas de tecnología media o baja, tienen un importante componente de riesgo: las previsiones del mercado pueden no realizarse, los costos previstos pueden no alcanzarse, puede haber inestabilidad monetaria, quizás aparezcan nuevos competidores y el entorno económico puede cambiar de mil maneras [4]. Sin embargo, se encuentran en la búsqueda de mejorar sus procesos y su productividad para contribuir a la optimización de recursos, mejorar sus condiciones de trabajo y ser más competitivas. Actualmente existe una serie de herramientas, filosofías y metodologías ágiles enfocadas en obtener el mayor beneficio a los recursos disponibles [5].

Disminuir o eliminar las pérdidas de productos o materiales debido a problemas tecnológicos constituye uno de los eslabones principales para aumentar la rentabilidad de los procesos productivos. No obstante, realizar una optimización de un sistema físico puede resultar engorroso e incluso con altos costos económicos. Ante esto, el modelado y la simulación permiten determinar las variables involucradas en los procesos de producción y establecer los parámetros para la optimización de la operación [6].

Durante la obtención de rones, aguardientes, licores y alcohol, en la UEB Manuel Fariñas Núñez de la Empresa de Bebidas y Refrescos de Santiago de Cuba, Cuba, se han detectado pérdidas de materiales y productos. Las principales causas de este problema son: la presencia de roturas en el sistema de tuberías y el trasiego innecesario de materiales debido al incorrecto dimensionamiento de tanques. Las tuberías se deterioran, la roturas y tasas de fallo aumentan y, con ello, la capacidad hidráulica del sistema disminuye [7]. Además, son muchas las variables que pueden influir en estas roturas, desde propiedades físicas de la misma, como el diámetro o el material, hasta condiciones climatológicas o externas al sistema [8].

Por consiguiente, el presente trabajo propone una metodología para determinar un equipamiento tecnológico adecuado que permita reducir las pérdidas de materiales y productos durante la obtención

de rones, aguardientes, licores y alcohol en la UEB Manuel Fariñas Núñez de la Empresa de Bebidas y Refrescos de Santiago de Cuba.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó durante el mes de marzo de 2023, en la UEB Manuel Fariñas Núñez de la Empresa de Bebidas y Refrescos de Santiago de Cuba, ubicada en Peralejo, entre Habana y Trinidad, Santiago de Cuba, Cuba.

Para conocer los problemas existentes en el proceso productivo, se realizó, durante dos días del periodo de estudio, una observación detallada del funcionamiento de todo el equipamiento tecnológico vinculado a la producción del Elixir de Ron Palmas Los Marinos Paticruzados. Esta bebida es un producto exportable representativo del establecimiento. En la Fig. 1, se muestra el diagrama del flujo del proceso de producción del Elixir de Ron Palmas Los Marinos Paticruzados.

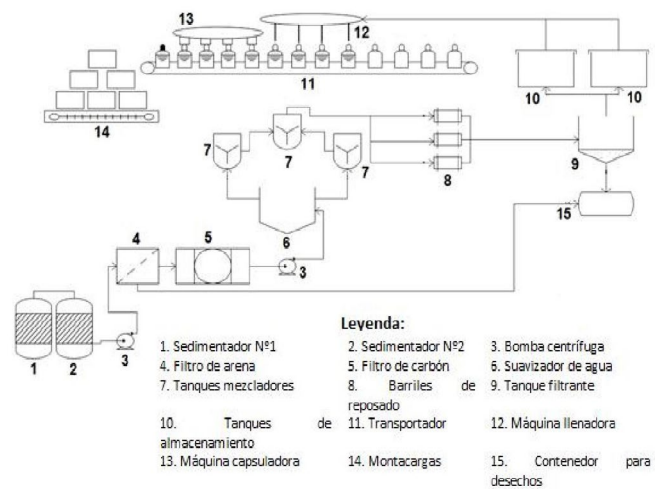


Fig. 1. Diagrama de flujo del proceso de producción del Elixir de Ron Palmas Los Marinos Paticruzados.

2.1 Recolección de datos

Durante los restantes días de la primera semana de estudio, se recolectaron los datos referentes a las variables significativas de operación y dimensiones de cada equipo que interviene en el proceso productivo. Además, se registraron las longitudes de las tuberías, la cantidad y tipo de accesorios y bombas existentes en el establecimiento. Se realizó una visita al almacén del UEB para conocer los datos del equipamiento nuevo existente de reserva en la empresa.

2.2 Relaciones de trabajo

Para el análisis de la situación planteada, se realizó un balance macroscópico de energía mecánica. El modelo matemático empleado está constituido por las relaciones vinculadas al balance

macroscópico de energía mecánica, expresado en términos de carga, y se muestra a continuación:

$$H_B = H_P + H_C + H_h + H_f + H_{eq} \quad (1)$$

$$H_P = \frac{\Delta P}{\rho \times g} \quad (2)$$

$$\Delta P = P_2 - P_1 \quad (3)$$

$$H_C = \frac{\Delta v^2}{2 \times g} \quad (4)$$

$$\Delta v^2 = v_2^2 - v_1^2 \quad (5)$$

$$v^2 = \frac{4 \times Q}{\pi \times D} \quad (6)$$

$$H_h = h_2 - h_1 \quad (7)$$

$$H_f = \frac{\epsilon F}{g} \quad (8)$$

$$\epsilon F = \frac{8 \times f \times L_T \times Q^2}{\pi^2 \times D^5} \quad (9)$$

$$L_T = L_R + L_{eq} + \sum((N^o_{\text{accesorios}} \times \frac{L_e}{D}) \times D) \quad (10)$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \times \log \log \left[\frac{k}{3.7} + \left(\frac{6.81}{Re} \right)^{0.9} \right] \quad (11)$$

$$Re = \frac{4 \times Q \times \rho}{\pi \times D \times \mu} \quad (12)$$

$$k = \frac{e}{D} \quad (13)$$

$$H_{eq} = \frac{\Delta P_{eq}}{\rho \times g} \quad (14)$$

donde

- H_B energía de bombeo expresada en términos de carga (m);
- H_P energía de presión expresada en términos de carga (m);
- H_C energía cinética expresada en términos de carga (m);
- H_h energía potencial expresada en términos de carga (m);

H_P pérdidas por fricción expresada en términos de carga (m);

H_P energía de presión de los equipos auxiliares expresada en términos de carga (m);

ΔP caída de presión (atm: 1 atm = 101 325 Pa);

ρ densidad del fluido ($\frac{kg}{m^3}$);

g aceleración de la gravedad ($\frac{m}{s^2}$);

P_1 y P_2 presión en el punto inicial y final del área de estudio, respectivamente;

Δv variación de la velocidad en el área de estudio;

v^1 y v^2 velocidad en el punto inicial y final del área de estudio, respectivamente;

Q flujo volumétrico requerido en el proceso ($\frac{m^3}{s}$);

D diámetro de la tubería (m);

h_1 y h_2 altura en el punto inicial y final del área de estudio, respectivamente;

ϵF suma de las fuerzas de fricción en la tubería ($\frac{m^2}{s^2}$);

f factor de fricción o *fanning* (adimensional);

L_T longitud total de la tubería (m);

L_R longitud de tubería recta (m);

L_e longitud equivalente del accesorio (m);

k rugosidad relativa (adimensional);

Re número de Reynold (adimensional);

μ viscosidad del fluido (Pa · s);

e rugosidad absoluta (m);

ΔP_{eq} caída de presión provocada por equipos (atm: 1 atm = 101 325 Pa).

2.3 Algoritmo de cálculos

Primeramente, se determinaron los grados de libertad totales y económicos del sistema con las relaciones (15) y (16), para conocer si existe alguna variable libre que puede ser optimizada.

$$GLT = TV - TR \quad (15)$$

$$GLE = GLT - TVF \quad (16)$$

donde:

GLT grados de libertad totales;

TV total de variables;

TR total de relaciones;

GLE grados de libertad económicos;

TVF total de variables fijas.

Aplicando la estrategia que se muestra en la Fig. 2, se confeccionó un arreglo matemático. Posteriormente, se creó un algoritmo de cálculo capaz de resolver la situación problemática dada.

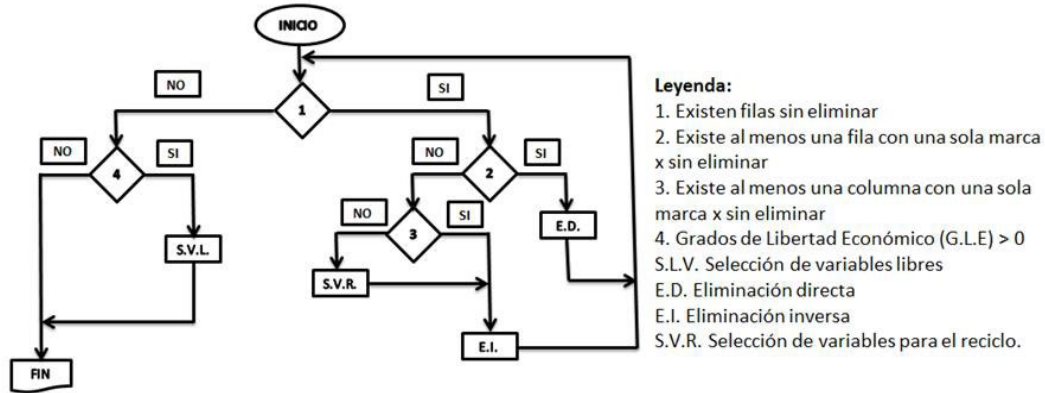


Fig. 2. Algoritmo para hacer algoritmos.

2.4 Procesamiento de datos

Con ayuda del Microsoft Excel 2010, se realizaron los cálculos iterativos necesarios para determinar el diámetro de tubería requerido para la operación.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante la observación del sistema productivo, se pudo constatar que existen determinadas áreas del proceso donde ocurren pérdidas de materiales debido a averías en las tuberías. En algunos casos, los flujos volumétricos establecidos no llegan a los equipos por la incorrecta selección de estos accesorios. Una de las áreas más significativas del proceso donde se evidencia este problema es durante el transporte del Elixir de Ron Palmas Los Marinos Patricruzados hacia el tanque filtrante, luego de pasado el tiempo de añejamiento.

En esta etapa, al tanque donde está almacenado el elixir que va a ser filtrado (barriles de reposado) se le acopla una tubería, la cual está conectada a la succión de una bomba centrífuga de impelente cerrado B.S.C. 125-65, y la descarga de esta, a los tanques filtrantes de 850 L. La Fig. 3 muestra la curva característica de esta bomba.

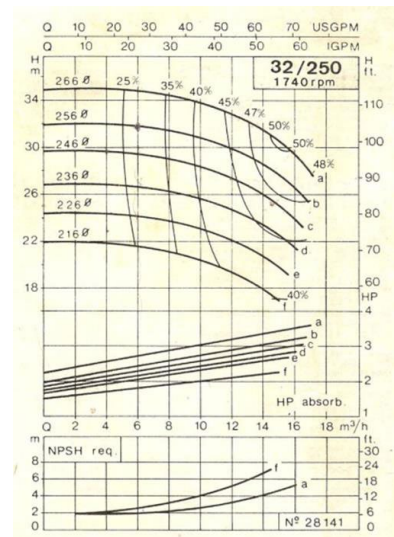


Fig. 3. Curva característica de la bomba centrífuga de impelente cerrado B.S.C. 125-65. Fuente: Catálogo de Bombas Itur Manufacturas Aranzabal S.A. [9].

Los CUADROS I y II muestran los datos recolectados para llevar a cabo el análisis en el área de estudio.

CUADRO I
DATOS RECOPIADOS EN EL PROCESO PRODUCTIVO

Variable	$Q(\frac{kg}{m^3})$	$P_1(atm)$	$P_2(atm)$	$v_1(\frac{m}{s})$	$h_1(m)$	$h_2(m)$	$L_R(m)$	$Q \times 10^3 (\frac{m^3}{s})$	$\Delta P_{eq} \times 10^{-4} (Pa)$	$H_B(m)$	$\mu \times 10^6 (Pa \cdot s)$
Valor	945	1	1	0	-4	6	120	1,26	9,81	24	880

CUADRO II
DATOS DE LOS ACCESORIOS EXISTENTES
EN EL ÁREA

Accesorio	Codo de 90 °	Válvula de globo	Cheque
Cantidad	6	1	1
Le/D	32	300	100

En el almacén del establecimiento, se encuentran disponibles tuberías de acero sin costura de 2 in (5,08 cm), 3 in (7,62 cm), 3½ in (8,89 cm), 4 in (10,16 cm) y 6 in (15,24 cm).

Al aplicar las relaciones (15) y (16) a las condiciones de trabajo, se comprobó que el sistema está determinado, es decir, tiene una única solución.

$$GLT = 30 - 14 = 16 \quad (15)$$

$$GLE = 16 - 16 = 0 \quad (16)$$

El CUADRO III muestra el arreglo matemático realizado con los datos del problema. Como se desea conocer el diámetro de tubería requerido en el proceso, se seleccionó esta variable en la relación (9), para el reciclo en los cálculos iterativos. La Fig. 4 refleja el algoritmo de trabajo confeccionado para la resolución del problema.

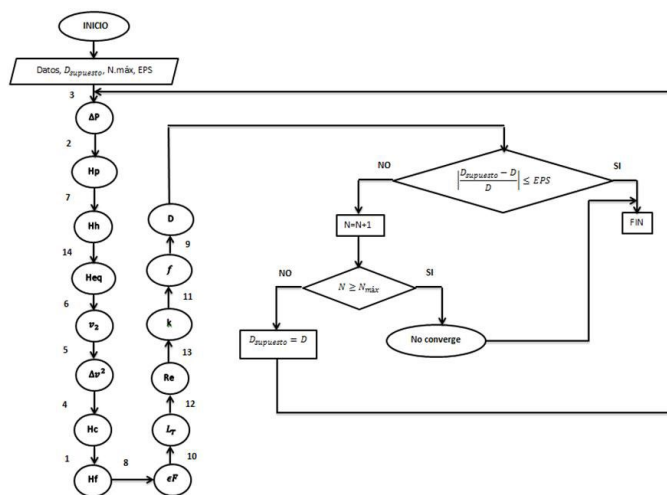


Fig. 4. Algoritmo de trabajo.

Para la resolución, se fijó un número máximo de 20 iteraciones y criterio de convergencia $EPS = 10^{-5}$. Inicialmente, se tomó un diámetro igual al existente en el área durante el análisis (6 in = 15,24 cm). El CUADRO IV muestra los resultados obtenidos en la resolución del sistema.

La tubería existente en el área puede ser remplazada por la tubería de 3½ in (8,89 cm) existente en el almacén de la industria.

Al identificar los problemas existentes en el equipamiento de un sistema productivo, se debe evaluar si los mismos deben ser sometidos a mantenimiento o remplazados para no

afectar la rentabilidad de la producción. Guerra y Montes de Oca [10] afirmaron que la sustitución de los equipos juega un papel fundamental en cualquier empresa de producción. Favorece el aumento de la disponibilidad técnica y, con esto, un incremento de la productividad de explotación del parque de equipos. Logra disminuir los costos de producción al reducirse los costos por concepto de mantenimiento tanto preventivo planificado como correctivo. Las tuberías son parte esencial en las líneas de producción, las averías en estas provocan daños considerables en la rentabilidad de las empresas.

Gramajo [11] realizó una investigación para relacionar las variables de turbidez inicial y caudal de alimentación, con el objetivo de lograr una reducción del tiempo de filtración de ron añejo, en una industria productora de rones en Guatemala. El autor destaca que la importancia de esta operación dentro del proceso de rones añejos radica en su papel para eliminar cualquier tipo de contaminante generado dentro de toda la cadena productiva de rones. Garantizar el correcto funcionamiento del equipamiento técnico que interviene en esta área es imprescindible para reducir el tiempo de trabajo y el costo de la producción sin afectar la calidad del producto. López [12] afirma que los balances de energía mecánica rigen el comportamiento del transporte, distribución y conversión de la energía en los sistemas.

El modelado matemático de procesos químicos ayuda a comprender los mecanismos y operaciones implicadas en los sistemas; además, permite entender las relaciones entre sus variables. Es útil en diferentes etapas de la investigación, desarrollo y puesta en operación de plantas químicas. Específicamente, tiene un impacto importante en las tareas de diseño, evaluación y operación de los procesos [12]. Como muestra de ello, Álvarez [6] realiza la simulación del modelo matemático de un generador de vapor mediante un software de simulación. Dicha modelación le permitió determinar las principales variables que intervienen en el proceso y, de igual manera, establecer sus parámetros de optimización.

Los modelos matemáticos son una herramienta ampliamente utilizada para la solución de problemas en la industria ronera. Por ejemplo, García-Castellanos *et al.* [13] obtuvieron un modelo de regresión lineal múltiple que logra predecir las mermas en el proceso de añejamiento de rones en una ronera cubana. El modelo está creado en función de las variables: mes numérico, volumen y tiempo de añejamiento, con valores de error cuadrático medio de 0,194 y coeficiente de determinación de 95,88 %. De igual forma, Henríquez Fernández [14] desarrolló la formulación de una bebida alcohólica mezclada a base de horchata y ron. Para ello, empleó modelos matemáticos para determinar experimentalmente la cinética de la reacción, relacionando magnitudes fisicoquímicas con el tiempo, y, con ello, estimar la vida media del producto. En otra ocasión, García-Castellanos *et al.* [15] propusieron un procedimiento para lograr la optimización del sistema de añejamiento de rones, con el empleo de algoritmos evolutivos como método de optimización global de las funciones de costo. La propuesta parte de aunar el modelo de redes neuronales artificiales, para la predicción de mermas, con el modelo de regresión, ambos con alta significación estadística y obtenidos por los autores en investigaciones anteriores.

CUADRO III
ARREGLO MATEMÁTICO PARA LA RESOLUCIÓN DEL PROBLEMA

	Hp	Hc	Hh	Hf	Heq	ΔP	Δv^2	v^2	D	ϵF	f	LT	k	Re	Orden
1	x	x	x	x	x										8
2	x					x									2
3						x									1
4		x					x								7
5							x	x							6
6								x	x						5
7			x												3
8				x						x					9
9									x	x	x	x			14
10									x			x			10
11											x		x	x	13
12									x					x	11
13									x				x		12
14															4
Orden	2	7	3	8	4	1	6	5	14	9	13	10	12	11	

CUADRO IV
RESULTADOS OBTENIDOS

D_{susuesto}	0,15410	0,09068	0,08635	0,08607	0,08606	0,08606
ΔP	0	0	0	0	0	0
H_p	0	0	0	0	0	0
H_h	10	10	10	10	10	10
H_{eq}	10,58201	10,58201	10,58201	10,58201	10,58201	10,58201
v^2	0,01042	0,01770	0,01859	0,01865	0,01865	0,01865
Δv^2	0,000108	0,000313	0,000346	0,000348	0,000348	0,000348
H_c	5,529E-06	1,597E-05	1,761E-05	1,772E-05	1,773E-05	1,773E-05
H_f	13,99999	13,99998	13,99998	13,99998	13,99998	13,99998
ϵF	1,42711	1,42711	1,42711	1,42711	1,42711	1,42711
L_T	211,22720	173,68005	171,11696	170,95574	170,94575	170,94513
Re	11 185,293	19 008,979	19 962,121	20 025,281	20 029,207	20 029,45
k	0,00130	0,00221	0,00232	0,00232	0,00232	0,00232
f	0,03215	0,03062	0,03059	0,03059	0,03059	0,03059
D	0,09068	0,08635	0,08607	0,08606	0,08606	0,08606
EPS	0,699462	0,05014	0,003163	0,000196	1,2134E-05	7,509E-07

Por otro lado, Martins y Martínez [16] desarrollaron un algoritmo para el diseño óptimo de líneas de aducción por bombeo, que determine el número, capacidad y ubicación de las estaciones de bombeo requeridas, aplicando un algoritmo de programación dinámica. Afirman que, en las últimas décadas, ha cobrado importancia la aplicación de técnicas de optimización en

el diseño de sistemas de abastecimiento, debido a que los recursos económicos son escasos en los países en vías de desarrollo, lo que obliga a ser eficiente en su inversión.

Así pues, contar con una metodología que permita seleccionar los parámetros adecuados para diferentes situaciones problemáticas es esencial en cualquier sistema de producción. Por esto, Peña

y González [17] presentan una metodología de cálculo para la evaluación del comportamiento de las pérdidas de presión por fricción, caídas de presión en tuberías que transportan vapor como medio de calentamiento o generación de energía eléctrica. Esta investigación brinda una herramienta de cálculo, limitada a los aspectos teóricos más importantes, accesible y de fácil comprensión a los especialistas. Estas herramientas muchas veces aparecen disgregadas en varias literaturas no siempre asequibles a los interesados en el tema.

4. CONCLUSIONES

La metodología desarrollada en esta investigación permite crear algoritmos de cálculos para seleccionar o identificar los parámetros óptimos en diferentes sistemas productivos. Además, se puede afirmar que la correcta selección y operación del equipamiento tecnológico de una empresa es vital para mantener la productividad y rentabilidad de la misma. Asimismo, garantizar la estabilidad en la disponibilidad de los productos exportables de un país permite promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo, así como el trabajo decente para todos.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a los trabajadores de la UEB Manuel Fariñas Núñez y de la Empresa de Bebidas y Refrescos de Santiago de Cuba, de la provincia de Santiago de Cuba, Cuba, por su apoyo y colaboración durante la investigación. A los profesores e ingenieros de la Universidad de Oriente, Cuba, que supervisaron y tutoraron la realización del estudio.

ROLES

Yasmín Zaldívar-Montes de Oca: Conceptualización, Investigación, Metodología, Redacción – borrador original.

Carmen Gloria Dean-Galán: Investigación, Administración del proyecto, Redacción – revisión y edición, Visualización.

Alejandro Luis del Arco-de la Paz: Curación de datos, Redacción – revisión y edición, Visualización.

Jorge Luis Montero Bizet: Análisis formal, Redacción – revisión y edición, Visualización.

REFERENCIAS

[1] R. Antolín, N. García y M. M. Martínez, “Análisis de la importancia de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas en el ámbito universitario: diferencias entre la perspectiva personal y empresarial”, *Revista educativa HEKADEMOS*, no. 28, pp. 24-34, jun. 2020.

[2] C. Martínez, “Trabajo decente y crecimiento económico: la necesaria reforma institucional de la Organización Mundial del Comercio para su adaptación a la Agenda

2030”, *Revista Contexto*, no. 57, pp. 17-62, jun. 2022, doi: 10.18601/01236458.n57.03.

- [3] C. A. Martí, J. A. Fabelo, E. González y D. Concepción, “Experiencia y ciencia en los procesos tecnológicos: razones para apostar por la excelencia del ron cubano”, *Revista Universidad y Sociedad*, vol. 11, no. 5, pp. 171-175, jul. 2019.
- [4] A. Lage, *La osadía de la ciencia*. La Habana, Cuba: Editorial Academia, 2018.
- [5] A. M. Mexicano, E. Hernández, J. C. Carmona, S. Cervantes y P.N. Montes, “Mejora de procesos de laboratorio de mecánica de suelos aplicando herramientas de manufactura esbelta”, *RIDE. Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, vol. 14, no. 27, oct. 2023, doi: 10.23913/ride.v14i27.1641.
- [6] C. E. Álvarez, (2020), “Modelado matemático y análisis de sensibilidad del funcionamiento del domo de un generador de vapor de recuperación de calor (HRSG) en una central de energía térmica”, Tesis de grado, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, Santander, Colombia, 2020.
- [7] K. D. García, “Revisión de métodos predictivos de fallas de tuberías en RDAP para planear su rehabilitación y priorizar los recursos financieros de las empresas de acueducto”, Tesis de Maestría, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia, 2021.
- [8] A. Robles-Velasco, P. Cortés, J. Muñuzuri y E. Barbadiella-Martín, “Aplicación de la regresión logística para la predicción de roturas de tuberías en redes de abastecimiento de agua”, *Dirección y Organización*, no. 70, 2020, doi: 10.37610/dyo.v0i70.570.
- [9] M. Aranzabal, *Cátalago General Bombas ITUR*. Madrid, España: Manufacturas Aranzabal, S.A., 1968.
- [10] E. Guerra, y A. Montes de Oca, “Relación entre la productividad, el mantenimiento y el reemplazo del equipamiento minero en la gran minería”, *Boletín de Ciencias de la Tierra*, no. 45, pp. 14-21, ene. 2019 doi: 10.15446/rbct.n45.68711.
- [11] S. W. Gramajo, “Relación de las variables de caudal de alimentación y turbidez inicial para reducir el tiempo de filtración de ron añejo, en una Industria Productora de Ron de Guatemala”, Tesis de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, Mazatenango, Guatemala, 2017.
- [12] M. G. López, *Modelado, Simulación y Control de Procesos. Un enfoque integral*. Ciudad de México, México: Tecnológico Nacional de México, 2023.
- [13] B. García-Castellanos, O. Pérez-Ones, L. Zumalacárregui de Cárdenas, I. Blanco-Carvajal y L. E. López de la Maza, “Análisis y modelación estadística del proceso de añejamiento de rones en una ronera cubana”, *Iteckne*, vol. 17, no. 2, pp. 91-97, dic. 2020, doi: 10.15332/iteckne.v17i2.2468.

- [14] K. M. Henríquez Fernández, “Desarrollo tecnológico de una bebida a base de ron y horchata”, Trabajo de Graduación, Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador, 2022.
- [15] B. García-Castellanos, O. Pérez-Ones, L. Zumalacárregui de Cárdenas y I. Blanco-Carvajal, “Procedimiento para la optimización de mermas del proceso de añejamiento de rones”, *ICIDCA: sobre los derivados de la caña de azúcar*, vol. 57, no.1, pp. 38-44, abr. 2023.
- [16] C. J. Martins y J. B. Martínez, “Diseño óptimo de líneas de aducción por bombeo”, *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, vol. 36, no. 1, pp. 111-124, abr. 2015.
- [17] L. E. Peña, y L. E. González, “Pérdidas de presión en tuberías de vapor”, *Ciencias Holguín*, vol. 13, no. 3, pp. 1-10, 2007.