

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



**Simulación de la propuesta de mejora del proceso productivo de la empresa
Sarita Colonia SAC para reducir costos eléctricos**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE
BACHILLER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL**

AUTOR

Diana Lizeth Rivas Henckell

ASESOR

Marcos Gregorio Baca López

<https://orcid.org/0000-0003-4741-0122>

Chiclayo, 2022

Índice

Resumen	3
Abstract	4
Introducción	5
Referencias	22

Resumen

La fábrica de hielo Sarita Colonia SAC registró altos costos eléctricos en los últimos años, ello debido a problemáticas en su proceso productivo, pues, existe un exceso de almacenamiento, un cuello de botella de 23,8 h y un alto consumo eléctrico por parte de los compresores. Frente a ello, se tuvo como objetivo la simulación de la propuesta de mejora para reducir costos eléctricos. La metodología utilizada consistió en un diagnóstico inicial, posteriormente, se plantearon las propuestas, se realizó la simulación de las mismas y se realizó un análisis costo beneficio. Los costos eléctricos de la fábrica de hielo representan el 57% de sus costos de producción; las propuestas de mejora se relacionaron con la simulación del método Montecarlo para solucionar el problema de almacenamiento aumentando la utilidad en un 14%. La reasignación de compresores redujo los costos eléctricos en un 30,59% y la implementación de un interenfriador redujo el tiempo de congelamiento en 3 h 45 min. La simulación del proceso se realizó con la situación actual y la propuesta de implementación del interenfriador en la que se evidenció una reducción del ciclo en un 22,25%. Finalmente, el análisis costo beneficio arrojó 6,92 confirmando los beneficios económicos de las mejoras.

Palabras clave: Fábrica de hielo, costos eléctricos, proceso productivo, compresor, simulación, interenfriador.

Abstract

The Sarita Colonia SAC ice factory registered high electricity costs in recent years, due to problems in its production process, since there is an excess of storage, a 23.8 h bottleneck and high electricity consumption by the compressors. Faced with this, the objective was to simulate the improvement proposal to reduce electricity costs. The methodology used consisted of an initial diagnosis, subsequently, the proposals were raised, the simulation of the same was carried out and a cost-benefit analysis was carried out. The ice maker's electrical costs represent 57% of its production costs; The improvement proposals were related to the simulation of the Monte Carlo method to solve the storage problem, increasing the utility by 14%. The reassignment of compressors reduced electrical costs by 30.59% and the implementation of an intercooler reduced the freezing time by 3 hr 45 min. The simulation of the process was carried out with the current situation and the intercooler implementation proposal, which showed a cycle reduction of 22.25%. Finally, the cost benefit analysis yielded 6.92 confirming the economic benefits of the improvements.

Keywords: Ice factory, electrical costs, production process, compressor, simulation, intercooler.

Introducción

La industria del hielo ha crecido velozmente durante los últimos años, debido al aumento sostenido de la demanda de este producto. De acuerdo con el estudio de mercado realizado por Berrington [1] el mercado mundial de hielo movió USD 2 840,2 millones en el 2019 y se espera que alcance los USD 4 110,1 millones para finales de 2026 con una tasa anual de crecimiento del 5,4%. Según la Asociación Nacional de Fabricantes de Hielo Alimentario [2] España es el primer consumidor de hielo a nivel mundial, durante la temporada de verano las fábricas operan de forma continua las 24 horas, produciendo entre 6 a 7 millones de kg de hielo al día.

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) [3] afirma que las principales problemáticas que enfrentan las fábricas de hielo a nivel mundial están relacionadas con el suministro de agua y energía, el almacenamiento y el transporte. La energía consumida en la fabricación de hielo varía por muchos factores como la maquinaria, temperatura y el régimen de funcionamiento; dependiendo de estas variables los gastos energéticos pueden alcanzar picos muy altos durante la fabricación de hielo.

En el Perú, la producción de hielo se destina principalmente al sector pesquero, puesto que, según la Norma Sanitaria para las Actividades Pesqueras y Acuícolas [4] las actividades de almacenamiento, manipuleo y despacho requieren que el pescado sea enfriado con hielo para alcanzar niveles óptimos de conservación. Según el Ministerio de la Producción [5] para el 2020, el Banco Central de Reserva del Perú (BCRP) redujo su proyección de crecimiento en el sector pesquero peruano de 23% a 9,5%. No obstante, la tendencia seguirá siendo positiva para los próximos años. En el país, las industrias de hielo enfrentan problemáticas relacionadas principalmente con los métodos de producción tradicional.

En la región Lambayeque, existen cinco fábricas de hielo encargadas de la producción y comercialización de este producto. Una de ellas es Sarita Colonia SAC, la cual cuenta con un sistema tradicional de producción de hielo basado en el baño en salmuera. En el 2019, los costos eléctricos fueron equivalentes a S/ 796 296 que constituyen el 57% de los costos de producción. Las causas que generan estos altos costos en la empresa son el almacenamiento, puesto que, las fluctuaciones en la demanda ocasionan que la empresa tenga que almacenar el hielo dentro del área de producción, el cual se sigue procesando mientras está almacenado.

Así como también el tiempo de ciclo, ya que, la empresa cuenta con un cuello de botella que es la etapa de congelamiento, el cual demora entre 20 a 24 horas, este excesivo tiempo de procesamiento también repercute en los costos eléctricos, principalmente cuando se trabaja dentro de las horas punta, en las que las tarifas eléctricas aumentan. Si bien la empresa retira

los bloques antes de terminar su ciclo de congelación, sobre todo en los meses de alta demanda, esto ocasiona defectos en el producto final como es el hielo quebradizo. Finalmente, también se considera la potencia de la maquinaria pues en base a los kW de potencia de las maquinarias es que se calcula el consumo eléctrico mensual.

Frente a esta problemática se plantea la siguiente pregunta: ¿Cómo mejorar el proceso productivo de la empresa Sarita Colonia SAC para disminuir sus costos eléctricos? Entre las posibles soluciones Guapulema e Hidalgo [6] proponen una disminución de la temperatura del agua a 16°C, encontrando la mayor eficiencia y el menor consumo energético cuando las temperaturas descienden. Asimismo, Phongsavath et al. [7] plantean la implementación de un intercambiador de calor para disminuir la temperatura de ingreso del agua reduciendo la tasa de energía eléctrica total en un 5,1% del total en kW/t de hielo. Por otro lado, Attalla et al. [8] proponen una máquina de hielo que use energía solar, se encontró que se requerían 0,69 kg de metanol por kg de carbón para producir 0,4 kg de hielo.

El presente estudio tiene como objetivo general simular la mejora del proceso productivo de la empresa Sarita Colonia SAC para reducir costos eléctricos. Por consiguiente, los objetivos específicos consisten en diagnosticar el proceso productivo y determinar los costos eléctricos, elaborar una mejora en el proceso productivo de la empresa Sarita Colonia SAC, realizar la simulación de la mejora propuesta y realizar un análisis costo beneficio. El desarrollo de la investigación es importante pues permite proponer soluciones para reducir los costos eléctricos, aumentar la rentabilidad y contribuir con la sostenibilidad ambiental.

Revisión de literatura

El hielo es el producto obtenido de la congelación del agua, la producción tradicional se basa en la sumersión de bloques en tanques de salmuera [3]. De acuerdo con Amaya [9] en su tesis “Análisis termoeconómico del sistema de generación de hielo de la fábrica SEFRIN SAC para la mejora de la productividad” identificó que la producción de hielo generaba pérdidas de energía eléctrica, por ello tuvo como objetivo realizar un análisis termoeconómico del sistema, analizar el proceso productivo, diagnosticar los costos, realizar el análisis termoeconómico inicial, proponer mejoras y volver a analizar el sistema. El autor obtuvo como resultados del diagnóstico que la empresa tenía un costo eléctrico de S/ 36 250 mensuales para producir 55 toneladas de hielo diarias, su propuesta de mejora consistió en implementar un reductor de velocidad para el compresor, un controlador y un transductor de presión. Finalmente, su análisis termoeconómico inicial arrojó que la fábrica tenía pérdidas energéticas por S/21 604, pero con la propuesta de mejora obtendría un ahorro de S/ 978,31.

Asimismo, Olguín y Pajares [10] en su tesis “Propuesta de implementación de un plan de producción y su influencia en los costos eléctricos de fábrica de hielo frío El Delfín SRL” identificaron como problemática los altos costos eléctricos debido a la falta de planificación, frente a ello, tuvieron por objetivo implementar un plan maestro de producción. La metodología a utilizar consistió en analizar el consumo eléctrico actual y el crecimiento porcentual de las tarifas, aplicar pronósticos para simular la demanda futura, determinar el mejor nivel y política de producción y realizar el análisis económico. Como resultados obtuvieron que el costo eléctrico unitario es de S/ 1,64 por bloque de hielo y representa en promedio 27% del precio de venta, asimismo, el pronóstico fue la regresión lineal, simularon la demanda histórica con rangos, obteniendo una producción óptima de entre 320 a 740 bloques diarios, finalmente, del análisis económico obtuvieron que la TIR es de 678,91%.

Chumbiauca [11] en su tesis “Propuesta de mejora en el proceso productivo de una empresa que fabrica hielo” identificó que la empresa SUMACO SAC tenía alta variabilidad en los costos eléctricos, ello tras comparar los meses de diciembre y mayo, en los que se produjeron 1 090 y 1 107 bloques de hielo respectivamente y el consumo varió en un 30%, debido al desgaste de los motores, el cual ocasionaba un 20% del aumento de dichos costos y generaba paradas en planta de producción. Frente a esta problemática, tuvo como objetivo implementar una propuesta de mejora en el proceso productivo. La metodología consistió en el diagnóstico inicial, posteriormente, se implementó la propuesta de mejora y se compararon los resultados financieros. El autor diagnosticó que la fábrica gastaba S/ 38 643 por paradas en planta, la

propuesta de mejora consistió en un plan de mantenimiento preventivo, con el cual obtuvo una utilidad operativa de S/ 182 953 más que el año anterior.

Por otro lado, Alcalde [12] en su investigación titulada “Estandarización de procesos y su influencia en la gestión de inventarios de la fábrica de hielo El Delfín en el año 2018” identificó una desestimación en los niveles de almacén de la empresa, por lo que, tuvo por objetivo determinar la influencia de la estandarización de procesos en la gestión de inventarios de la fábrica, para ello utilizó la metodología pre experimental, en la cual se realizó una encuesta en una muestra, a la cual se realizó un test de capacitación en gestión de inventarios. El autor halló como resultados que el costo de mantenimiento de hielo era de 26%, el cual se mantuvo aun después de la aplicación del test, no obstante, otras variables como la eficiencia de tiempo en minutos, se redujo en un 28,88%. Asimismo, la calidad del proceso y la variación de stock aumentaron en un 6,23% y 49,07% respectivamente. Finalmente, obtuvo un índice de rentabilidad de 13,3 que afirma la viabilidad de la propuesta.

Díaz [13] en su tesis “Propuesta de mejora en la etapa de congelación de la empresa de hielo LIMARCE SA para reducir pérdidas económicas”, halló como problemática la pérdida de materia prima y el excesivo tiempo de almacenamiento, frente a ello, tuvo como objetivo la elaboración de una propuesta de mejora en la etapa de congelamiento para reducir pérdidas económicas, la metodología que utilizó fue diagnosticar la situación actual de la empresa, proponer mejoras en función de las causas y realizar un análisis costo beneficio. Obtuvo como resultados que el congelamiento representaba un cuello de botella de 1456,83 min equivalentes a 24,28 h, ello ocasionaba pérdidas económicas totales de S/ 134 079,84. La propuesta de mejora consistió en la automatización del tanque cisterna para disminuir pérdidas de agua, la distribución de funciones y procedimientos y la elaboración de un plan de mantenimiento preventivo, por último, el análisis costo beneficio arrojó un 5,22.

De acuerdo con Mariños, Rojas, De los Santos y Chucuya [14] en su estudio “Evaluación termoexérgica de la compresión de vapor en escala en el coeficiente de performance del sistema de refrigeración de una planta frigorífica” identificaron que la producción de hielo tradicional tiene un alto porcentaje de consumo energético. Frente a esta problemática, tuvieron como objetivo determinar la eficiencia exérgica a través de las irreversibilidades con el fin de tener una mejora en el coeficiente de performance (COP). Para el cálculo del balance recopilaron información, evaluaron los parámetros operacionales (temperatura, presión, caudal), realizaron el balance con un sistema de refrigeración por compresión de vapor con y sin interenfriador; por último, compararon la eficiencia exérgica y realizaron una evaluación termoeconómica. Como resultados obtuvieron que utilizando un interenfriador el COP mejora

en un 8,28%, el tiempo de congelamiento se reduce en un 22,25% equivalente a 3 h 45 min y se obtiene un ahorro energético de S/ 2 800,00 por año.

En la producción de hielo el ciclo es el proceso de congelamiento, en vista de ello Guadapulema e Hidalgo [6] en su investigación titulada “Estudio paramétrico para optimización de un generador de hielo tubular de laboratorio” simularon la formación de hielo en rangos de tiempos, teniendo por objetivo realizar un estudio paramétrico de un generador tubular de hielo y proponer mejoras para la optimización del mismo. La metodología utilizada consistió inicialmente en una modelación matemática de la generación del hielo, analizaron el ciclo térmico y la transferencia de calor; seguidamente se realizó una simulación numérica en el programa Guide y finalmente el modelo se llevó a cabo en forma experimental. Los principales resultados obtenidos reflejaron que la formación de hielo fue nula en un rango de 0 a 8 minutos, el descenso de la temperatura aumenta la velocidad de formación de hielo, obteniéndose espesores de 22 - 25 mm en las paredes del bloque. La mayor eficiencia y el menor consumo eléctrico se consiguió utilizando agua a 16°C.

Phongsavath et al. [7] en su artículo “The Study of Coefficient of Performance and Energy Efficiency of the 50 Tons Tube Ice Maker Machine by Finding the Optimal Diameter of a Heat Exchanger Machine for Installing In the Tube Ice Maker Machine” tuvieron como objetivo disminuir la temperatura del agua de entrada al congelador recolectando el agua descargada del proceso de descongelación para reducir el tiempo y los costos. Para la realización del estudio experimental, primero realizaron una simulación del modelo 3D en el programa ANSYS-FLUENT 6.3, identificaron el diámetro y longitud óptimos y finalmente, diseñaron un intercambiador de calor de tipo carcasa y tubo. Como resultados obtuvieron una reducción en el uso de energía eléctrica en la producción de hielo (kW), energía eléctrica total uso (kW) y la tasa de energía eléctrica total (kWh / ton) en 2,97%, 2,41% y 5,1% respectivamente. Asimismo, también se redujo el tiempo de congelamiento en 4,47% y aumentó la capacidad de producción en 2,01%.

Berno, Loyola y Hermes [15] titulada “Comparison between moving-boundary and distributed models for predicting the time evolution of the solidification front in ice trays” identificaron que la producción de hielo por kg demanda una cantidad sustancial de energía y considerando que el valor del mercado mundial de hielo superará los 5,9 mil millones de dólares para el 2023; tuvieron por objetivo modelar la solidificación del agua en una cavidad bidimensional que emula una bandeja de hielo industrial. Para el desarrollo del informe investigaron la evolución temporal del frente de solidificación a través de comparaciones numéricas obtenidas a partir de un modelo desarrollado mediante una formulación entálpica

basada en los primeros principios físicos de conservación de masa, momento y energía. Obtuvieron como resultado que la evolución temporal del frente de hielo tiene una desviación máxima de 3,5% para el tiempo de espera de congelación. Además, para las condiciones analizadas en este estudio, los resultados señalaron que los grandes esfuerzos para aumentar las tasas de producción de hielo deben centrarse en mejorar la convección externa del aire, ya que puede reducir alrededor del 12% del tiempo total de congelamiento.

Brooks et al. [16] en su estudio titulado “Conditions for continuous ice slurry generation in a nylon helical coiled heat exchanger” propusieron un método alternativo de generación de hielo en el que la salmuera se sobreenfría en 4-6 K en un intercambiador de calor helicoidal en espiral (HCHX). Para llevar a cabo la investigación se utilizaron tuberías de nailon HCHX, las cuales fueron llevadas a un baño de fluido frío con la finalidad de que intercambien calor con la salmuera. A partir de cálculos matemáticos se realizó un análisis comparativo de la calorimetría, se midieron los cristales de hielo y la transferencia de calor. Por último, los resultados obtenidos arrojaron que la suspensión de hielo se produjo con éxito a partir de tres concentraciones diferentes de salmuera (8, 5 y 3,5% en peso de NaCl), se lograron fracciones de masa de lechada de hielo de hasta 12-18% y las fracciones de hielo más altas se produjeron con salmuera al 5% en peso.

Materiales y Métodos

La presente investigación, según el objetivo, es de tipo aplicada pues se centra en proponer estrategias para solucionar una problemática. De acuerdo con el nivel de profundización, es de tipo descriptiva, y por la naturaleza de los datos, la investigación es de tipo cuantitativa, pues analiza la realidad de la empresa a través de la medición numérica de las variables en estudio. Su diseño es de tipo cuantitativo no experimental transversal, ya que, las variables independientes no se manipulan porque ya han sucedido y la recolección de datos se da en un solo periodo de tiempo.

Para el diagnóstico de la empresa se detalló el proceso productivo de la misma, con el fin de describir las actividades que se realizan a lo largo del mismo, con sus respectivos tiempos promedios. Cabe resaltar que para el muestreo se utilizó un cronometro digital de marca Shenzhen Resee Technology para uso industrial y la toma de tiempos se basó en la metodología de Meyers [17] pues según el autor se debe tomar una muestra de 5 tomas para cada actividad mayor a 2 min, considerando que todas las actividades son mayores a ese tiempo, se aplicó la fórmula para hallar el total de ciclos a cronometrar con una precisión del 95%:

$$N = \frac{4R^2}{(A^2) * (d_2^2) * (x^2)}$$

Siendo R el rango de valores entre las muestras, A la precisión (0,05), d 2 la constante utilizada para estimar la desviación estándar (2,326) y x el promedio de la toma de muestras. Posteriormente, se presentó la demanda, producción y el stock mensual de bloques de hielo durante el año 2020. Seguidamente, se procedió a presentar la segunda parte del primer objetivo la cual consiste en determinar los costos eléctricos, para ello se detallaron los costos de producción de la empresa y el porcentaje que representan los costos eléctricos en función de los costos totales. Finalmente, el problema se desdobló en sus causas principales.

Para plantear las propuestas de mejora, se consideró como primera propuesta para resolver el problema del exceso de almacenamiento, la utilización del método Montecarlo para simular el proceso, la realización del modelo se llevó a cabo en MS Excel 2016, en primer lugar, se analizó la demanda diaria del año 2019, pues el 2020 tuvo variabilidad en el primer trimestre debido a la pandemia. El procesamiento estadístico consistió en evaluar los 359 datos, hallando los valores mínimos y máximos, de acuerdo con ello se halló la amplitud, el número de clases y el intervalo de clase.

Con los resultados obtenidos se realizó una tabla de intervalos pares en la que se consideró inicialmente el valor mínimo y se le sumó el intervalo de clase, así hasta obtener el valor máximo teniendo un total de intervalos pares equivalente al número de clases redondeado. Tomando los valores máximos y los datos de demanda histórica se obtuvo la frecuencia, la probabilidad y la probabilidad acumulada. Con esta última se realizaron nuevamente intervalos mínimos y máximos en función de la demanda.

Con dichos intervalos de probabilidad se generaron números aleatorios para determinar el comportamiento de la demanda, simulando en los 359 días siguientes. En función de los bloques vendidos se hallan los ingresos por ventas considerando el precio de S/ 3,50 y con los no vendidos se halla el costo de inventario y también se halla el costo de producción que es equivalente a S/ 2,30 por bloque. Con la simulación de la situación actual se utilizó la opción Evolutionary con Solver de MS Excel 2016, dicha herramienta permitió hallar la producción óptima con la que se obtendría la mayor utilidad en función de los costos.

Para la siguiente propuesta de mejora se realizó un modelo de asignación, en primer lugar, se hallaron los tiempos de congelamiento de los cinco compresores en las cinco pozas, con dicho tiempo se estimó el costo eléctrico de cada compresor. Seguidamente, se realizó el

modelo matemático, para ello se definieron las variables, las restricciones y la función objetivo. Una vez realizada la formulación algebraica se utilizó el software LINGO 17.0x64 para obtener la solución óptima. La simulación del proceso se realizó en el programa ProModel 7.5, con el costo de las propuestas se realizó un análisis costo beneficio dividiendo ambos valores. Finalmente, los resultados fueron analizados con los de otros autores.

Resultados y discusión

Diagnosticar el proceso productivo y determinar los costos eléctricos

Sarita Colonia SAC es una fábrica productora de bloques de hielo, su principal mercado, es la industria pesquera, trabaja en forma continua las 24 h para producir bloques de 50 kg; utiliza un sistema por compresión de vapor que consta de un compresor, condensador, evaporador y una válvula de expansión. El refrigerante que usa es el amoníaco (NH_3).

A continuación, en la Tabla 1 se resume el proceso productivo con la secuencia de procesos, los tiempos, entidades, locaciones, salidas, destinos y transportes.

Tabla 1. Lista de procesos

Entidad	Locación	Operación	Salida	Destino	Transporte
Agua	Pozo de agua	3,43 min	Agua	Tanque de llenado	-
Agua	Tanque de llenado	4,64 min	Agua	Poza de congelamiento	14,57 min
Agua	Poza de congelamiento	1438,81 min	Bloque de hielo	Poza de baño maría	14,30 min
Bloque de hielo	Poza de baño maría	5,1 min	Bloque de hielo	Área de desmoldado	-
Bloque de hielo	Área de desmoldado	5,36 min	Bloque de hielo	10% trituradora 80% EXIT	-
Bloque de hielo	Trituradora	6,17 min	Hielo triturado	EXIT	-

Fuente: Elaboración Propia

La demanda de hielo de la fábrica fluctúa de forma estacional, durante los meses de verano, la empresa percibe un mayor volumen de ventas. A continuación, en la Tabla 2 se presenta la demanda, producción y los bloques almacenados en el 2020.

Tabla 2. Demanda, producción y bloques en stock (2020)

Mes	Demanda 2020	Producción 2020	Bloques almacenados 2020
Enero	33 007	39 247	6 240
Febrero	28 862	34 042	5 180
Marzo	36 721	42 221	5 500
Abril	29 268	30 901	1 633
Mayo	24 830	31 357	6 527
Junio	31 629	35 902	4 273
Julio	28 144	32 676	4 532
Agosto	44 578	51 738	7 160
Setiembre	48 730	55 390	6 660
Octubre	35 881	41 421	5 540
Noviembre	21 892	26 152	4 260
Diciembre	14 785	18 449	3 664
Total	378 327	439 496	61 169

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 3, se presentan los costos de producción de hielo obtenidos por la empresa en el año 2020. Asimismo, en la última columna de la derecha se presenta el porcentaje que representan los costos eléctricos en función de los de producción.

Tabla 3. Costos de producción de hielo – 2020

Mes	Costos directos		Costos indirectos de Fabricación			Costos de producción	%
	Materia Prima	Personal	Suministros	MO Indirecta	Costos eléctricos		
1	S/183,75	S/27 445,89	S/10 881,34	S/2 828,30	S/39 906,36	S/81 245,64	49%
2	S/183,75	S/27 445,89	S/19 834,63	S/2 828,30	S/80 816,38	S/131 108,95	62%
3	S/183,75	S/26 687,65	S/24 575,66	S/2 828,30	S/80 938,71	S/135 214,07	60%
4	S/183,75	S/25 929,40	S/19 450,90	S/2 828,30	S/87 898,38	S/136 290,73	64%
5	S/183,75	S/25 929,40	S/6 727,25	S/2 828,30	S/60 352,15	S/96 020,85	63%
6	S/183,75	S/25 929,40	S/8 818,54	S/2 828,30	S/67 031,79	S/104 791,78	64%
7	S/183,75	S/59 441,28	S/4 150,50	S/2 828,30	S/58 220,56	S/124 824,39	47%
8	S/183,75	S/34 270,12	S/2 546,22	S/2 828,30	S/35 914,92	S/75 743,31	47%
9	S/183,75	S/25 756,16	S/14 867,70	S/2 828,30	S/45 864,55	S/89 500,46	51%
10	S/183,75	S/25 756,16	S/16 360,88	S/2 828,30	S/35 453,05	S/80 582,14	44%
11	S/183,75	S/20 180,80	S/3 965,96	S/2 828,30	S/63 016,56	S/90 175,37	70%
12	S/183,75	S/40 361,61	S/3 723,42	S/2 828,30	S/70 882,60	S/117 979,68	60%
Total	S/2 205,00	S/365 133,76	S/135 903,00	S/33 939,60	S/726 296,01	S/1 263 477,37	57%

Fuente: Sarita Colonia SAC

Los costos de producción ascendieron a S/ 1 263 477,37 estos incluyen los costos directos y los Costos Indirectos de Fabricación (CIF). Los costos eléctricos están clasificados como CIF, pues, aunque no se identifican en el producto final son indispensables para su fabricación, en el 2020 variaron entre 44% y 70%. Asimismo, representaron en promedio el 57% de los costos de producción.

Entre las causas de los altos costos eléctricos destacan la planificación de la producción, el consumo eléctrico de los compresores y el tiempo de congelamiento. En relación a la planificación de la producción: La fábrica almacena los bloques no vendidos en una de las pozas de producción, ello implica un costo operativo que representa el consumo de energía eléctrica del sistema de refrigeración para el uso de dicha poza.

$$\text{Costo de almacenamiento} = \frac{\Sigma \text{Costos operativos en el periodo (t)}}{\text{Inventario promedio en el periodo (t)}}$$

$$\text{Costo de almacenamiento} = \frac{S/469,22}{S/2518,39} = 0,19$$

El costo de almacenamiento es del 19%, es decir, por cada sol almacenado a la empresa le cuesta S/1,19, lo que implica que almacenar un bloque de hielo por día cueste S/0,67 y al día se almacenan 720 bloques entre la quinta y cuarta poza.

En relación al consumo eléctrico de los compresores: El consumo de energía eléctrica es igual a la potencia de las máquinas por su tiempo de utilización. De acuerdo con Chumbiauca [18] el 80% de la energía eléctrica consumida en una fábrica de hielo se centra en el compresor. Sarita Colonia SAC cuenta con 5 compresores, 3 de tipo tornillo y 2 alternativos. Dos de tipo tornillo son VILTER VSM-501 y uno es VSM-301, funcionan con 151 kW y 99 kW respectivamente. Los compresores de tipo alternativo son marca MYCOM N6KHM45 con una potencia de 45 kW.

Por último, con respecto al tiempo de congelamiento: Como se evidencia en la Tabla 1, el tiempo de ciclo es el proceso de congelado el cual demora 1427,8 minutos equivalentes a 23,80 horas.

Propuestas de mejora

Propuesta de producción con el método Montecarlo: Sarita Colonia SAC produce 2080 bloques de hielo diariamente. Simulando la demanda, se obtienen los siguientes resultados presentados en la Tabla 4, donde se presenta el antes y después de hallar la cantidad de producción óptima.

Tabla 4. Resultados de la simulación Montecarlo

	Situación actual		Situación después de la propuesta	
Producción de bloques		2081		1075
Utilidad promedio (S/)	S/	52,06	S/	606,24
Bloques almacenados		719,54		139,34

Fuente: Elaboración Propia

Propuesta de asignación con programación lineal: El modelo de asignación comprende el tiempo de ciclo y el consumo de los compresores, para ello se identifica la capacidad de la poza. La fábrica tiene 5 pozas, las dos primeras son de 1 000 bloques cada una, la tercera de 970 bloques, mientras que la cuarta y quinta de 670 bloques cada una. En Tabla 5 se observa la variación en el tiempo en función de la potencia del compresor y la capacidad de la poza.

Tabla 5. Tiempo de congelamiento por compresor-poza en horas

	Poza 1	Poza 2	Poza 3	Poza 4	Poza 5
Compresor 1	23,8	23,8	22,4	15,9	15,9
Compresor 2	23,8	23,8	22,4	15,9	15,9
Compresor 3	25,7	25,7	24,2	17,2	17,2
Compresor 4	36,6	36,6	34,4	24,5	24,5
Compresor 5	36,6	36,6	34,4	24,5	24,5

Fuente: Elaboración Propia

El consumo eléctrico de los compresores está en función de la potencia y tiempo, para ello se toma en cuenta las tarifas eléctricas, la cual es de tipo MT3 y comprende el cargo fijo, la energía activa en horas punta y fuera de punta, la potencia de generación fuera de punta y la potencia por uso de redes fuera de punta. Cabe resaltar que no se considera la energía reactiva.

A continuación, en la Tabla 6 se presenta el resumen de la estimación de los costos eléctricos de los cinco compresores por cada poza de congelamiento. Actualmente, los costos eléctricos

mensuales promedio son de S/ 60 524,67 tomando la distribución sombreada. Con la estimación, el costo mensual es de S/ 64 074,70 lo que significa que solo varía en un 0,058% menos del costo real actualmente.

Tabla 6. Matriz de costos por compresor-poza

	Poza 1	Poza 2	Poza 3	Poza 4	Poza 5
Compresor 1	S/ 19 662,25	S/ 19 662,25	S/ 18 993,17	S/ 15 886,72	S/ 15 886,72
Compresor 2	S/ 19 662,25	S/ 19 662,25	S/ 18 993,17	S/ 15 886,72	S/ 15 886,72
Compresor 3	S/ 13 208,46	S/ 13 208,46	S/ 12 957,79	S/ 10 827,11	S/ 10 827,11
Compresor 4	S/ 6 010,15	S/ 6 010,15	S/ 6 010,15	S/ 5 896,21	S/ 5 896,21
Compresor 5	S/ 6 010,15	S/ 6 010,15	S/ 6 010,15	S/ 5 896,21	S/ 5 896,21

Fuente: Elaboración Propia

Seguidamente, para la realización del modelo matemático de programación lineal se considera la variable X_{ij} , siendo tanto i como j comprendidos entre 1 a 5.

X_{ij} = Compresor i asignado a la poza j

Las restricciones son generales para la asignación, la suma de filas y columnas debe ser igual a 1 y los resultados son binarios (0,1). La función objetivo es la siguiente:

$$\begin{aligned} \text{MIN } Z = & 19\,662,25 * X_{11} + 19\,662,25 * X_{12} + 18\,993,17 * X_{13} + 15\,886,72 * X_{14} + 15\,886,72 \\ & * X_{15} + 19\,662,25 * X_{21} + 19\,662,25 * X_{22} + 18\,993,17 * X_{23} + 15\,886,72 * X_{24} + 15\,886,72 * X_{25} + \\ & 13\,208,46 * X_{31} + 13\,208,46 * X_{32} + 12\,957,79 * X_{33} + 10\,827,11 * X_{34} + 10\,827,11 * X_{35} + \\ & 6\,010,15 * X_{41} + 6\,010,15 * X_{42} + 6\,010,15 * X_{43} + 5\,896,21 * X_{44} + 5\,896,21 * X_{45} + \\ & 6\,010,15 * X_{51} + 6\,010,15 * X_{52} + 6\,010,15 * X_{53} + 5\,896,21 * X_{54} + 5\,896,21 * X_{55} \end{aligned}$$

A continuación, en la Tabla 7 se evidencian los resultados entre el antes y después.

Tabla 7. Reasignación de compresores a las pozas

	Actual	Óptima
Distribución	Compresor 1 - Poza 1	Compresor 1 - Poza 4
	Compresor 2 - Poza 2	Compresor 2 - Poza 5
	Compresor 3 - Poza 3	Compresor 3 - Poza 3
	Compresor 4 - Poza 4	Compresor 4 - Poza 2
	Compresor 5 - Poza 5	Compresor 5 - Poza 1
Costo total	S/ 64 074,70	S/ 49 066,00

Fuente: Elaboración Propia

Propuesta de implementación de un interenfriador: La implementación de un interenfriador utilizará el agua a temperatura ambiente (25°C) que ingresa a las pozas de congelamiento para enfriarla con el refrigerante, ello ocasionará una menor temperatura de ingreso y con ello se reducirá el tiempo para llegar a los 0°C. La implementación de un interenfriador reduce en un 22,25% el tiempo de congelamiento equivalente a 3 horas 45 minutos menos [14].

Simulación antes y después de la implementación del interenfriador

A continuación, se presenta la simulación considerando que la empresa inicia sus labores a las 7 am y los bloques del día anterior los vende a las 10 am, 27 horas después de iniciado el proceso. Se consideran 54 horas que comprenden 3 días laborales.

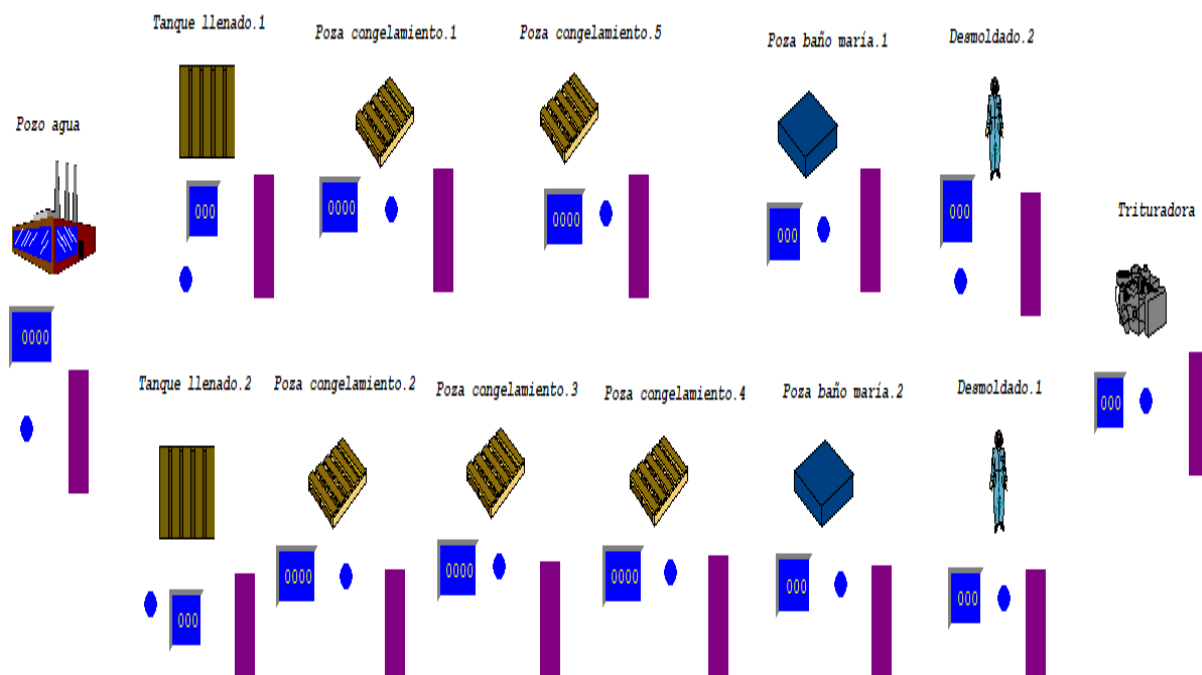


Figura 1. Vista de procesos ProModel

Fuente: Elaboración Propia

La simulación genera 1576 bloques de hielo, 161 bloques triturados, 17 quedan en el sistema y 720 están en almacén, en total 2 474 bloques, de los 2 080 que actualmente se producen. No obstante, lo relevante para este caso es el tiempo de procesamiento, pues es lo que va a reducir el interenfriador. A continuación, se presentan los resultados para la situación actual y después de la propuesta reduciendo 3 h 45 min el tiempo de congelamiento.

Tabla 8. Tiempos promedio de proceso en la situación actual y propuesta en horas

Entidad	Situación actual			Después de la propuesta		
	Agua	Bloques de hielo	Hielo triturado	Agua	Bloques de hielo	Hielo triturado
Tiempo promedio en el sistema	0,00	24,44	24,59	0,00	20,69	20,84
Tiempo promedio en movimiento	0,00	0,15	0,15	0,00	0,15	0,15
Tiempo promedio esperando	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tiempo promedio en operación	0,00	24,29	24,39	0,00	20,54	20,64
Tiempo promedio bloqueado	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,05

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo con los resultados obtenidos, los bloques pasan más de 24 h siendo procesados actualmente y con la propuesta el tiempo promedio en el sistema se reduce en 3,84 h para los bloques de hielo y 3,75 h para el hielo triturado. La Tabla 10 presenta los mismos tiempos, pero expresados en porcentaje para ambos escenarios.

Tabla 9. Porcentaje de ocupación en la situación actual y propuesta

Entidad	Situación actual			Después de la propuesta		
	Agua	Bloques de hielo	Hielo triturado	Agua	Bloques de hielo	Hielo triturado
% En movimiento	0,00	0,61	0,60	0,00	0,72	0,71
% Esperando	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
% En operación	0,00	99,39	99,19	0,00	99,28	99,05
% Bloqueado	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,23

Fuente: Elaboración Propia

Análisis costo beneficio

Los costos estimados de los equipos, el flete y la instalación de los mismos, su depreciación, el costo adicional por mantenimiento y la reasignación de compresores equivalen a \$ 7 035. El margen de utilidad es de \$ 4 056,41 mensuales que equivalen a \$ 48 676,86 anuales. A continuación, se presenta el análisis costo beneficio en el que se obtiene un valor positivo de 6,92. Ello indica que las propuestas son rentables para la fábrica.

$$\text{Análisis costo beneficio} = \frac{\$ 48\,676,86}{\$ 7\,035} = 6,92$$

Discusión

El problema principal está relacionado con los altos costos eléctricos de Sarita Colonia SAC, la fábrica registró en el 2020 en promedio un costo eléctrico unitario de S/ 1,86 por bloque de hielo. Según Amaya [19] en promedio el costo eléctrico unitario de la fábrica de hielo SEFRIN SAC, ubicada en Lambayeque, equivale a S/1,27 por bloque. Por otro lado, Olguín y Pajares [10] afirman que en la fábrica de hielo El Delfín SRL, ubicada en Trujillo, el costo es de S/1,64 por bloque de hielo. Tomando en cuenta los resultados de dichas empresas, Sarita Colonia SAC tendría S/0,59 y S/0,22 más en relación a los costos eléctricos unitarios de cada fábrica respectivamente. Es importante resaltar, lo encontrado por Chumbiauca [11] en la fábrica SUMACO SAC ubicada en Lima, pues sus costos eléctricos fueron de S/ 1,05 por bloque para una producción de 1 090 y S/ 1,34 para 1 107. Los costos variaron en un 30% para una producción similar, el autor afirma que el desgaste de motores aumenta en un 20% el costo.

De acuerdo con la causa relacionada con el exceso de almacenamiento de bloques de hielo, Alcalde [12] en su investigación realizada también en la empresa El Delfín SRL, afirma que los costos de almacenamiento son de 26% y se almacenan 893 bloques diarios, mientras que en Sarita Colonia SAC dichos costos son del 19% y se almacenan en promedio 720 bloques diarios. No obstante, Alcalde obtiene los costos de almacenamiento de la relación entre el valor del inventario físico y el valor del costo de venta al mes, mientras que en el presente estudio se considera la relación entre los costos operativos durante un periodo t sobre el valor del inventario promedio en dicho periodo.

En cuanto al tiempo de congelamiento, que actualmente demora la fábrica Sarita Colonia SAC para producir los bloques de hielo es de 23,8 horas. De acuerdo con Díaz [13] el proceso de congelamiento de la fábrica LIMARCE SA demora en promedio 24,28 h. No obstante, según Guapulema e Hidalgo [6], el tiempo de congelamiento vendría a estar dentro de un rango de entre 20 a 24 horas, pues el congelamiento requiere de tres procesos, el primero es el de enfriamiento, en el que la temperatura inicial desciende a 0°C , dicho proceso toma en promedio 7 horas; le sigue el congelamiento como tal que se mantiene en 0°C , mientras que el último proceso es el de sub-enfriamiento, el cual consiste en la variación del calor de 0°C a -3°C .

Para las propuestas de mejora relacionadas con la planificación de la producción como solución frente al exceso de almacenamiento, Lara et al. [20] proponen la simulación de Montecarlo para los modelos de inventarios probabilístico con demanda independiente, tal como es el caso, ello debido a que permite simular el comportamiento de la demanda, reduciendo los costos en la gestión de inventarios. En cuanto al proceso de congelamiento y su

relación entre el tiempo y la potencia consumida en kW, Coletti y Riojas [21] proponen un balance de línea con asignación que permita la minimización de costos, en función de la asignación de recursos a estaciones de trabajo.

Los resultados obtenidos de la aplicación del método Montecarlo arrojaron una producción óptima de 1 006 bloques de hielo menos, pero con dicha producción la empresa obtiene un aumento de S/ 471,08 en la utilidad diaria y los bloques almacenados se reducen en 580 bloques. Dichos resultados se llevarían a cabo en forma ideal, no obstante, considerando la capacidad de las pozas, la fábrica Sarita Colonia SAC podría producir 1 670 bloques diarios o 2 000, ello debido a que la capacidad de las pozas. Considerando 1 670 bloques, la fábrica tendría una utilidad diaria de S/ 226,33 y en caso de producir 2 000 la utilidad sería de S/ 59,55 lo cual significaría un aumento del 14,39%.

En cuanto a los resultados de la asignación se debe realizar una nueva distribución de los compresores, de forma tal que se conecten a las pozas de acuerdo con la secuencia propuesta, pues es la que obtiene menores costos eléctricos, obteniendo un costo total de S/ 49 066,00 equivalente a un 30,59% menos que el costo actual. De acuerdo con Rui et al. [22] la realización de un modelo genera la configuración óptima de redes de intercambiadores de calor con colocación adecuada del compresor, con su modelo de asignación evaluó el consumo eléctrico, en lugar de los costos, de 480,48 kW a 419,68 kW reduciendo un 14,48% el consumo eléctrico de los compresores. Por otro lado, Zagorowska et al. [23] afirman que el consumo de energía se puede reducir hasta en un 0,8% si se utiliza el reparto de carga óptimo de compresores en lugar del enfoque de carga igual, sin embargo, dicha reducción se analizó en compresores de consumo en MW con una potencia a gran escala, mientras que el estudio analizó compresores de menor tamaño y potencia cuyo consumo se mide en kW.

Finalmente, en cuanto a la implementación del interenfriador para la presente propuesta reduce en un 22,25% el tiempo de congelamiento [14]. Por otro lado, Phongsavath et al. afirma que la implementación de un intercambiador de calor de tipo carcasa y tubo reduce el tiempo de congelamiento en 4,47% [7]. Mientras que Berno, Loyola y Hermes [15] afirman que para aumentar la producción y reducir el tiempo de congelamiento, la fábrica debe centrarse en mejorar la convección externa del aire, pues ello permite la reducción del tiempo de congelamiento en un 12%. Finalmente Brooks et al. [16] no se enfocan en la refrigeración principal sino en la secundaria, afirmando que lo se debe variar es la concentración de la salmuera en un 5% en peso para obtener mejores resultados.

Conclusiones

Los costos eléctricos de la fábrica de hielo Sarita Colonia SAC representan en promedio el 57% de sus costos de producción y se encuentran por encima del promedio dentro del sector industrial de hielo. Dichos costos son elevados por el exceso de almacenamiento, la deficiente distribución de compresores y el cuello de botella.

Las propuestas de mejora para el proceso productivo consistieron en realizar la simulación de Montecarlo para encontrar la producción óptima que genere la mayor utilidad, el método de asignación para encontrar la distribución óptima de compresores que generaba el menor costo eléctrico y la implementación de un interenfriador para reducir el tiempo de congelamiento.

La simulación del proceso de congelamiento con interenfriador evidenció la reducción del tiempo de congelamiento en un 22,25% equivalentes a 3 h 45 minutos, así como la reducción del tiempo de espera del agua que se redujo en 1,76 horas. El porcentaje de operación se redujo en 0,05% y el porcentaje bloqueado en 0,31%.

El análisis costo beneficio arrojó un costo total de \$ 7 035 para la implementación de las propuestas, obteniendo un margen de utilidad de \$ 48 676,86 anuales. La relación costo beneficio arrojó una relación positiva de 6,92.

Recomendaciones

Se recomienda la realización de un análisis exergéticos para analizar con mayor detalle el balance de exergía dentro del sistema de refrigeración, así como las pérdidas que sufre.

Referencias

- [1] K. Berrington, «Evaluación del mercado mundial y oportunidad de hielo - Pronóstico hasta 2026,» 360marketupdates, 2020.
- [2] Asociación Nacional de Fabricantes de Hielo Alimentario, «El negocio de los cubitos de hielo,» El Español, Madrid , 2017.
- [3] J. Graham, W. Johnston y F. Nicholson, «El hielo en las pesquerías,» Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Reino Unido, 1993.
- [4] Ministerio de la Producción, «NORMA SANITARIA PARA LAS ACTIVIDADES PESQUERAS Y ACUICOLAS,» Gobierno del Perú, Lima, 2001.
- [5] PRODUCE, «Resultados del Desempeño de la Pesca Extractiva Junio 2020,» Ministerio de la Producción, Lima, 2020.
- [6] R. Guapulema y V. Hidalgo, «Estudio paramétrico para optimización de un generador de hielo tubular de laboratorio,» *Ingenius*, nº 23, 2020.
- [7] A. Phongsavath, N. Pannucharoenwong, C. Benjapiyaporn, T. Chabuanoi, J. Jongpluempiti y P. Vengsungnle, «The Study of Coefficient of Performance and Energy Efficiency of the 50 Tons Tube Ice Maker Machine by Finding the Optimal Diameter of a Heat Exchanger Machine for Installing In the Tube Ice Maker Machine,» *Energy Procedia*, vol. 138, pp. 282-287, 2017.
- [8] M. Attalla, S. Sadek, M. Salem, I. Shafie y M. Hassan, «Experimental study of solar powered ice maker using adsorption pair of activated carbon and methanol,» *Applied Thermal Engineering*, vol. 141, pp. 877-886, 2018.
- [9] J. Amaya, «Análisis termoeconómico del sistema de generación de hielo de la fábrica SEFRIN SAC para la mejora de la productividad,» Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo, 2017.
- [10] J. Olguín y J. Pajares, «Propuesta de implementación de un plan de producción y su influencia en los costos eléctricos de FÁBRICA DE HIELO FRÍO EL DELFÍN SRL,» Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, 2015.
- [11] W. Chumbiauca, «Propuesta de mejora en el proceso productivo de una empresa que fabrica hielo,» Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, 2017.
- [12] A. Alcalde, «Estandarización de procesos y su influencia en la gestión de inventarios de la fábrica de hielo El Delfín en el año 2018,» UPN, Trujillo, 2018.

- [13] A. Díaz, «Propuesta de mejora en la etapa de congelación de la empresa de hielo LIMARCE SA para reducir pérdidas económicas,» Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo, 2018.
- [14] D. Mariños, S. Rojas, Y. De los Santos y R. Chucuya, «Evaluación termoexergética de la compresión de vapor en escala en el coeficiente de performance del sistema de refrigeración de una planta frigorífica,» *Agroindustrial Science*, vol. VII, n° 1, pp. 7-18, 2017.
- [15] G. Berno, F. Loyola y C. Hermes, «Comparison between moving-boundary and distributed models for predicting the time evolution of the solidification front in ice trays,» *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 118, pp. 8, 2020.
- [16] S. Brooks, J. Quarini, M. Tierney, X. Yun y E. Lucas, «Conditions for continuous ice slurry generation in a nylon helical coiled heat exchanger,» *Thermal Science and Engineering Progress*, vol. 15, n° 100427, 2020.
- [17] F. Meyers, Estudio de tiempos y movimientos, México: Pearson Educación, 2000.
- [18] W. Chumbiauca, «Propuesta de mejora en el proceso productivo de una empresa que fabrica hielo,» Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), Lima, 2016.
- [19] J. Amaya, «Análisis termoeconómico del sistema de generación de hielo de la fábrica SEFRIN SAC para la mejora de la productividad,» Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo, 2017.
- [20] H. Lara, I. Naranjo y C. Banguera, «Aplicación del modelo Montecarlo-Difuso para la correcta Gestión de Inventarios en empresas Pymes,» *Ecuadorian Science Journal*, vol. IV, n° 2, pp. 80-88, 2020.
- [21] E. Coletti y A. Riojas, «Balance de línea de producción en una empresa de calzado mediante la metaheurística búsqueda tabú,» *Revista Peruana de Computación y Sistemas*, vol. I, n° 1, pp. 9-22, 2018.
- [22] Y. Rui, J. Lei y S. Shengqiang, «A thermo-economic multi-objective optimization model for simultaneous synthesis of heat exchanger networks including compressors,» *Chemical Engineering Research and Design*, vol. 153, pp. 120-135, 2020.
- [23] M. Zagorowska, C. Skourup y N. Thornhill, «Influence of compressor degradation on optimal operation of a compressor station,» *Computers & Chemical Engineering*, vol. 143, pp. 104-111, 2020.