

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



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

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO INDUSTRIAL**

**AUTOR**

**Diana Lizeth Rivas Henckell**

**ASESOR**

**Maximiliano Rodolfo Arroyo Ulloa**

<https://orcid.org/0000-0002-6066-6299>

**Chiclayo, 2022**

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

PRESENTADA POR  
**Diana Lizeth Rivas Henckell**

A la Facultad de Ingeniería de la  
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo  
para optar el título de

**INGENIERO INDUSTRIAL**

APROBADA POR

Sonia Mirtha Salazar Zegarra  
PRESIDENTE

Joselito Sánchez Pérez  
SECRETARIO

Maximiliano Rodolfo Arroyo Ulloa  
VOCAL

## **Dedicatoria**

Dedico mi investigación a Dios por haberme permitido estudiar una carrera universitaria, por amarme incondicionalmente y por bendecirme todos los días. Le dedico mi trabajo y esfuerzo a la Virgen María por nunca dejarme sola.

## **Agradecimientos**

Agradezco a mis padres Segundo y Clara por todo lo que han hecho por mí. Le agradezco a mis abuelos Cipriano y Olga por cuidarme siempre. También le agradezco a mi querido asesor el ingeniero Maximiliano y a mi compañero de carrera Emigdio.

## Índice

Resumen .....	5
Abstract .....	6
Introducción .....	7
Revisión de literatura .....	9
Materiales y métodos .....	13
Resultados y discusión .....	15
Conclusiones .....	31
Recomendaciones.....	31
Referencias.....	32
Anexos.....	35

## Resumen

La fábrica de hielo Sarita Colonia SAC registró altos costos eléctricos en los últimos años, ello debido a problemáticas relacionadas con su proceso productivo, pues, existe un exceso de almacenamiento, un cuello de botella de 1427,8 min y un alto consumo eléctrico por parte de los compresores. Frente a ello, se tuvo como objetivo mejorar el proceso productivo de la empresa Sarita Colonia SAC para reducir sus costos eléctricos. La metodología utilizada consistió en un diagnóstico inicial del proceso productivo, posteriormente, se seleccionó la herramienta de ingeniería a utilizar, se plantearon las propuestas de mejora y se realizó un análisis beneficio costo. Los resultados obtenidos arrojaron que los costos eléctricos de la fábrica representan el 57% de sus costos de producción. Las herramientas de ingeniería a utilizar fueron la simulación de Montecarlo y el modelo de asignación. La simulación permitió encontrar una producción óptima que reduce el inventario en un 70,33% y el cuello de botella en 53,4 minutos; mientras que la reasignación de compresores reduce los costos eléctricos en un 21,63%. Combinando ambas propuestas se logra una reducción del 51,22% de dichos costos. Finalmente, el análisis beneficio costo arrojó un valor de 3,23 lo que indica que la implementación de ambas propuestas es rentable.

**Palabras clave:** Fábrica de hielo, costos eléctricos, simulación, almacenamiento, cuello de botella, compresor.

### **Abstract**

The ice factory Sarita Colonia SAC recorded high electricity costs in recent years, due to problems related to its production process, as there is an excess of storage, a bottleneck of 1427,8 min and high electricity consumption by the compressors. In view of this, the objective was to improve the production process of the company Sarita Colonia SAC in order to reduce electricity costs. The methodology used consisted of an initial diagnosis of the production process, then, the engineering tool to be used was selected, improvement proposals were made and a benefit-cost analysis was performed. The results obtained showed that the factory's electrical costs represent 57% of its production costs. The engineering tools to be used were the Monte Carlo simulation and the allocation method. The simulation allowed finding an optimal production that reduces inventory by 70,33% and the bottleneck by 53,4 minutes; while the reallocation of compressors reduces electrical costs by 21,63%. Combining both proposals results in a 51,22% reduction of these costs. Finally, the benefit-cost analysis yielded a value of 3,23, which indicates that the implementation of both proposals is profitable.

**Keywords:** Ice factory, electrical costs, simulation, storage, bottleneck, compressor.

## 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. El agua de relleno debe cumplir con la calidad higiénica y fisicoquímica requerida por el fabricante, el exceso de dureza o partículas sólidas en el agua afecta las propiedades físicas del producto, produciendo un hielo blando y húmedo. Asimismo, 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 cierre del 2020, en un contexto de COVID-19, el Banco Central de Reserva del Perú (BCRP) ha reducido su proyección de crecimiento en el sector pesquero peruano de 23% a 9,5%. No obstante, la tendencia seguirá siendo positiva sostenidamente en condiciones climáticas favorables 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 la empresa Sarita Colonia SAC, la cual cuenta con un sistema tradicional de producción de hielo basado en el baño en salmuera. En el 2020, los costos eléctricos fueron equivalentes a S/ 796 296 constituyendo el 57% de los costos totales de fabricación de hielo. Según Amaya [6] los costos eléctricos de la fábrica de hielo SEFRIN SAC, ubicada en Lambayeque, representan el 46,42% del costo total. Por otro lado,

Olguín y Pajares [7] afirman que en la fábrica de hielo El Delfín, ubicada en Trujillo, los costos eléctricos representan el 38%. En comparación con ambas fábricas, Sarita Colonia SAC registraría costos eléctricos altos.

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 cuello de botella, que es la etapa de congelamiento, la cual demora entre 20 a 24 horas; este excesivo tiempo de procesamiento 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 [8] proponen una disminución de la temperatura del agua a 16°C, encontrando la mayor eficiencia y el menor consumo energético cuando las temperaturas ambientales descienden. Asimismo, Phongsavath *et al.* [9] plantean la implementación de un intercambiador de calor para disminuir la temperatura de ingreso del agua al área de congelamiento reduciendo la tasa de energía eléctrica total en un 5,1% del total en kW/t de hielo. Por otro lado, Attalla *et al.* [10] proponen una máquina de hielo que aproveche la energía solar utilizando un par de adsorción de carbón activado y metanol, 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 mejorar el proceso productivo de la empresa Sarita Colonia SAC para reducir costos eléctricos. Por consiguiente, los objetivos específicos consisten en diagnosticar el proceso productivo de la empresa y determinar los costos eléctricos, seleccionar la herramienta de ingeniería a utilizar, elaborar una mejora en el proceso productivo de la empresa Sarita Colonia SAC y realizar el análisis beneficio costo de la propuesta de mejora planteada. El desarrollo de la investigación permite proponer múltiples soluciones para reducir los costos eléctricos a partir del análisis del proceso productivo de la empresa con el fin de aumentar la rentabilidad económica de la misma, así como también reducir los costos en energía eléctrica utilizada contribuyendo a una mayor sostenibilidad ambiental.

## Revisión de literatura

El hielo es el producto obtenido de la congelación del agua, cuando esta pasa del estado líquido a sólido, la producción tradicional de hielo se basa en la sumersión de bloques de agua en tanques de salmuera por los que circulan tuberías con refrigerante, no obstante, existen nuevos métodos de acuerdo con el proceso de producción de cada fábrica de hielo [3]. Janania [11] define el proceso de producción como un procedimiento ordenado que consiste en convertir la materia prima o productos semielaborados en productos terminados para el consumidor final. Implica la creación de un producto combinando el trabajo humano, máquinas y materiales.

De acuerdo con Alarcón [12] para lograr la producción de hielo es indispensable el uso de sistemas frigoríficos los cuales pueden ser de absorción o compresión mecánica, este último es el más utilizado en la actualidad. De Miranda y Rodríguez [13] afirman que los sistemas frigoríficos constan de ciclos de refrigeración, los cuales se dividen en cuatro procesos, el primero es el de compresión que es el que se encarga de comprimir el gas, elevando su presión y temperatura para que aumente la velocidad del cambio de estado y se genere vapor a altas presiones; el segundo proceso es la condensación, en la cual, el refrigerante pasa de estar en estado gaseoso a un estado líquido, el vapor se enfría, se condensa y cambia de estado; seguidamente se da el proceso de expansión, mediante el cual el refrigerante en estado líquido pasa por una válvula de expansión que disminuye su presión y temperatura, dando una corriente de salida que se compone de una mezcla líquido-vapor; finalmente, el cuarto proceso es la evaporación, en la cual el refrigerante se evapora en su totalidad gracias a la transferencia de calor con el medio, el calor ganado por el refrigerante es el que pierde el sistema para poder iniciar el proceso de congelamiento.

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 por compresión de vapor tiene un alto porcentaje de consumo energético, así como también un alto impacto económico y ambiental. 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 recopilaban información en la planta frigorífica; posteriormente evaluaron los parámetros operacionales como la temperatura, presión y caudal; realizaron el balance energético con un sistema de

refrigeración por compresión de vapor con sistema de escala de compresores con y sin interenfriador; por último, se comparó la eficiencia exergética y se realizó 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 menos y se obtiene un ahorro energético de S/ 2 800,00 por año.

En [14] se considera el tiempo de congelamiento como uno de los resultados principales del estudio, esto en vista de que en las fábricas de hielo el proceso con mayor duración es el de congelamiento. Para identificar el tiempo de este proceso es necesario realizar un estudio de tiempos, Salvendy [15] define dicho estudio como la determinación del tiempo que requiere completar un proceso, actividad, tarea o paso específico utilizando técnicas establecidas. De acuerdo con Durán [16] del estudio de tiempos se obtiene el cuello de botella o tiempo de ciclo que es el que determina la capacidad de la planta, pues es el procedimiento más largo, cualquier retraso dentro del cuello de botella repercute en toda la producción. Los cuellos de botella o restricciones son ocasionados generalmente por la escasez de recursos.

En la producción de hielo el tiempo de ciclo es el tiempo de congelamiento, en vista de ello Guadapulema e Hidalgo [8] en su artículo titulado “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 su optimización. La metodología utilizada consistió en una modelación matemática de la generación del hielo, analizaron el ciclo térmico y la transferencia de calor; luego se realizó una simulación numérica y finalmente el modelo se llevó a cabo en forma experimental. Los 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, obteniendo 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.

Como se menciona anteriormente, la temperatura del agua influye en variables como la eficiencia y el consumo energético [8]. La eficiencia consiste en obtener la máxima producción a partir de cualquier combinación de utilización de recursos, que implica utilizar la mínima cantidad de estos para producir un nivel de producción esperado. La eficiencia implica el no desperdiciar recursos, para ello es necesario condicionar el nivel de producción con el nivel de costos operacionales [16]. Por otro lado, ENSA [17] define el consumo eléctrico como el costo de la energía eléctrica consumida, el cual es calculado mediante la diferencia de lecturas entre

el mes actual y el anterior, multiplicado por la tarifa en la cual se factura el servicio. Comprende la sumatoria de las energías activas, las potencias activas, los cargos por redes de distribución y el cargo por energía reactiva. Si se desea calcular el consumo eléctrico de cada artefacto en kW/h y su equivalente en soles este depende del uso diario (hábitos de consumo) y de la potencia (kW) de la maquinaria. A más horas de uso, mayor será el consumo a facturar.

Phongsavath *et al.* [9] identificaron este creciente consumo energético de las industrias de hielo y desarrollaron 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” teniendo 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 un modelo 3D, 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 (kW-h / 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%. Cabe resaltar que la capacidad se mide en términos de utilización, es decir, la relación matemática entre capacidad real y diseñada [16].

La investigación de Berno, Loyola y Hermes [18] titulada “Comparison between moving-boundary and distributed models for predicting the time evolution of the solidification front in ice trays” se asemeja al artículo anterior, pues también simula la producción. Los autores identificaron que la producción de hielo por kg demanda una cantidad sustancial de energía y en vista de 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 ello, 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 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 congelación. Además, los resultados señalaron que los 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 y los costos eléctricos.

Las tasas de producción de hielo no solo se relacionan con la transferencia de calor por convección del aire, también están relacionadas con los refrigerantes, generalmente se utiliza uno principal y uno secundario. Según Stoecker y Jones [19] un refrigerante es un medio que permite la transmisión de calor, absorbiendo calor cuando se evapora a baja temperatura y perdiendo calor al condensarse cuando alcanza altos niveles de temperatura y presión. Un refrigerante debe contar con ciertas especificaciones químicas, físicas y termodinámicas que permitan la eficiente transferencia de calor en el sistema de trabajo. De acuerdo con Roy [20] entre las propiedades más importantes destaca la baja temperatura de ebullición, el fácil manejo del refrigerante en estado líquido, un alto calor latente de evaporación, estabilidad química, que no produzca corrosión en las tuberías, que permita una fácil detección en caso de fugas, un bajo punto de congelación y de preferencia sea ambientalmente sostenible.

Para Conesa [21] el amoníaco es el refrigerante principal más utilizado en la industria de hielo, puesto que es el más eficiente, su punto de ebullición es bajo y el impacto medioambiental es mínimo, tiene nulo el potencial de agotamiento del ozono y el de calentamiento atmosférico (PCA). Por otro lado, Miranda [22] afirma que la salmuera es el refrigerante secundario más utilizado, su función es transferir el efecto frigorífico desde el circuito primario de refrigeración hasta los contenedores, es decir, desde el evaporador hasta los recipientes del hielo a enfriar. La salmuera no es más que un tipo de agua salada que utiliza generalmente sales como el cloruro de sodio o sal de mesa y el cloruro de calcio, aunque esta última en escasas ocasiones. Las sales contenidas en la solución, cambian de estado sólido a líquido a medida que absorben calor. La salmuera es térmicamente inferior al agua, por ende, requiere una mayor energía de bombeo.

En vista de ello, Brooks *et al.* [23] 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 sobre enfría en 4 - 6 K en un intercambiador de calor helicoidal en espiral (HCHX). Para llevar a cabo el estudio, utilizaron tuberías de nailon, las cuales fueron llevadas a un baño de fluido frío con la finalidad de que intercambien calor con la salmuera utilizada para el proceso de congelamiento. A partir de cálculos matemáticos se realizó un análisis comparativo de la calorimetría, se midieron los cristales de hielo, la curva de bomba 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 y el diagrama analítico de procesos. 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 [24] 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 comparó la estacionalidad de la demanda durante los años 2019 y 2020, así como también se presentó la demanda, producción y el stock mensual de bloques de hielo durante el año 2020. Por último, para terminar el diagnóstico se presentaron los indicadores actuales del proceso productivo. 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 seleccionar la herramienta de ingeniería a utilizar, se analizaron las principales causas y para cada una de ellas se evaluó la metodología a utilizar. Se realizó una matriz de enfrentamiento entre las causas del problema, utilizando una escala de puntuación para obtener un porcentaje de importancia para cada una. Seguidamente se analizaron en un listado las

posibles herramientas a utilizar y sus principales aplicaciones para solucionar la problemática diagnosticada, en función de ello, se consideró solo las herramientas para las que todas las aplicaciones aportaban algo a la solución del problema y se descartó a aquellas que tenían aplicaciones que no aportaban. En función de dichas herramientas se realizó nuevamente una matriz de asignación de puntajes, que luego se multiplicaron por los porcentajes anteriormente hallados en la matriz de enfrentamiento, con ello se obtuvieron diferentes valores para cada herramienta y se seleccionaron las que obtuvieron la mayor puntuación.

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 aplicaron las siguientes fórmulas:

$$\text{Amplitud} = \text{Valor máximo} - \text{Valor mínimo} \quad (1)$$

$$\text{Número de clases} = (1+3,322*\log(\text{N}^\circ \text{ datos}) +0,5) \quad (2)$$

$$\text{Intervalo de clase} = \text{Amplitud} / (\text{Número de clases}) \quad (3)$$

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 360 días siguientes, con la producción diaria se halló el total de bloques vendidos y no vendidos. En función de los bloques vendidos se hallaron los ingresos por ventas considerando el precio de S/ 3,50 y con los bloques no vendidos se halló el costo de inventario y también 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 con programación lineal usando el modelo propuesto por Hillier y Lieberman [25], en primer lugar, se hallaron los tiempos de congelamiento de los cinco compresores en las pozas, con dicho tiempo se estimó el consumo eléctrico de cada compresor con la distribución actual. 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.

Finalmente, se combinaron ambas propuestas en una tercera y se procedió a evaluar las tres propuestas en función de los indicadores de producción y costos eléctricos, se procedió a elegir la mejora que disminuyó en mayor medida los costos eléctricos y en base a ella se realizó el análisis beneficio costo. Para este último, se calcularon los costos y beneficios en los que se incurriría de implementar la propuesta. Posteriormente, se dividieron dichos beneficios entre los costos. Por último, los resultados obtenidos se discutieron con investigaciones afines.

## **Resultados y discusión**

### ***Diagnosticar el proceso productivo y determinar los costos eléctricos***

La corporación Sarita Colonia SAC es una fábrica de hielo creada en el año 2005, está ubicada en el km 777,8 de la Panamericana Norte - Lambayeque. La empresa se encarga de la fabricación de bloques de hielo, su principal mercado, es la industria pesquera. Trabaja de forma continua las 24 horas para producir bloques de hielo de 50 kg; utiliza para ello un sistema por compresión de vapor que consta de un compresor, condensador, evaporador y una válvula de expansión. El refrigerante que circula por las cinco pozas de congelamiento es el amoníaco. A continuación, se presenta la descripción del proceso productivo de la empresa.

Extracción de Materia Prima: El agua se obtiene de un pozo subterráneo de 30 metros de profundidad, la extracción se hace con una bomba sumergible y tres impulsadores de caudal.

Tratamiento previo: El agua dura pasa por un proceso de ablandamiento, clarificación y filtración; en el cual, se mezcla con cloro en una proporción de 400 gr por cada 60 litros.

Llenado de moldes: Un tanque dosificador se encarga de verter el agua tratada sobre los moldes vacíos, una vez llenos, una grúa puente los transporta hacia la poza de congelamiento.

Congelamiento: Los moldes permanecen inmersos en la poza de congelamiento a una temperatura de entre  $-10^{\circ}\text{C}$  y  $-12^{\circ}\text{C}$  durante 20-24 h. Las pozas tienen paredes conectadas con serpentines, por los cuales circula el amoníaco líquido. La inmersión se realiza en una salmuera de  $20^{\circ}\text{Be}$ , la cual se mantiene en constante agitación, actuando como refrigerante secundario.

Desmoldado: Los moldes de hielo a  $-12^{\circ}\text{C}$  son transportados hacia una poza en la que un tanque dispensador vierte agua a temperatura ambiente, realizando un baño maría de 5 minutos, con la finalidad de que se desprenda el hielo y este caiga por acción de la gravedad.

Molido: Los bloques de hielo pasan por una trituradora que se encarga de expulsarlos hacia los contenedores de refrigeración. Es opcional, pues también se comercializan como bloques.

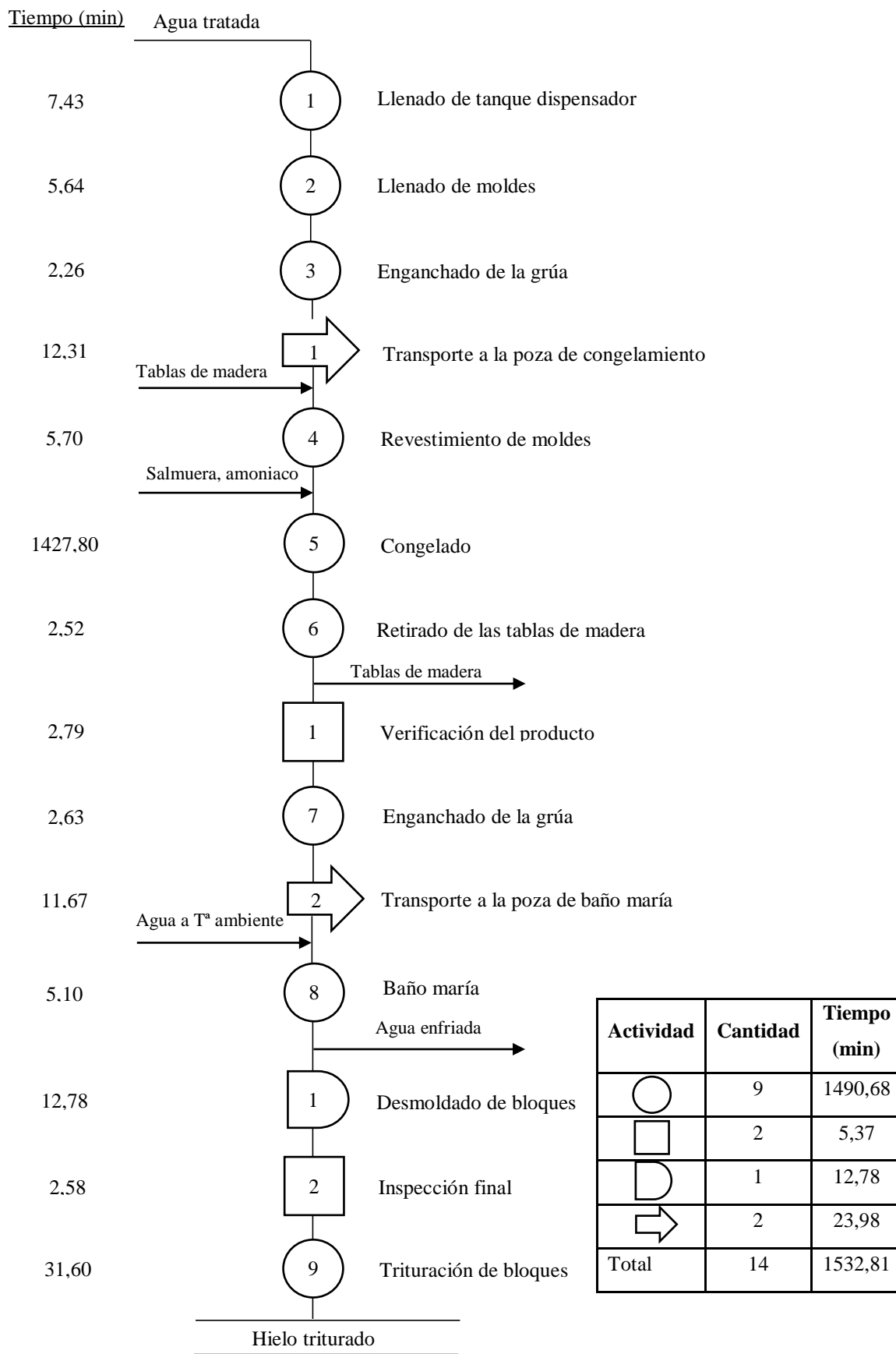
De acuerdo con las etapas anteriormente mencionadas, se presenta en la Tabla 1, el estudio de tiempos en el que se evidencia los minutos que tarda cada actividad.

**Tabla 1. Estudio de tiempos**

Trabajo	Elementos	Tiempo promedio (min)
Llenado	Llenado del tanque dispensador	7,43
	Llenado de moldes	5,64
Transporte a la poza de congelamiento	Enganchado de la grúa a la fila de moldes	2,26
	Elevación de la fila de moldes	2,79
	Transporte de la fila de moldes	7,61
	Descenso de la fila en la poza de congelamiento	1,91
Congelado	Revestimiento de los moldes con tablas	5,70
	Congelado de los bloques	1427,80
	Retirado de las tablas de madera	2,52
	Verificación del producto	2,79
Transporte a la poza de baño maría	Enganchado de la grúa a la fila de bloques	2,63
	Elevación de la fila de bloques	2,63
	Transporte de la fila de bloques	6,51
	Descenso de la fila en la poza de baño maría	2,53
Desmoldado	Baño maría	5,10
	Desmoldado de los bloques de hielo	12,78
	Inspección final	2,58
Despacho	Colocación de los bloques en la trituradora	5,43
	Trituración de los bloques de hielo	26,17

**Fuente: Elaboración Propia**

Asimismo, el proceso productivo se detalla gráficamente en el Diagrama Analítico de Procesos (DAP) de la Figura 1.

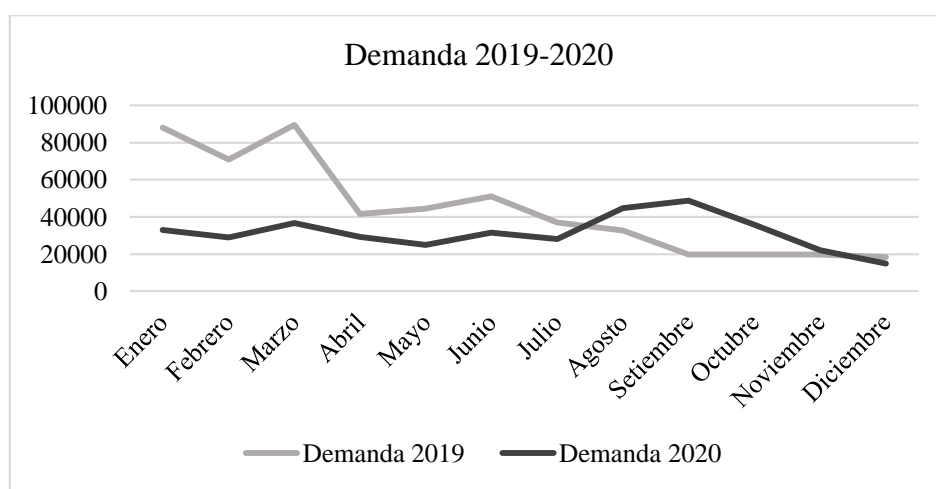


**Figura 1. Diagrama analítico del proceso Sarita Colonia SAC**

Fuente: Elaboración Propia

### Demanda y producción de hielo

La demanda de hielo de la empresa Sarita Colonia SAC fluctúa de forma estacional, tal como se evidencia en la Figura 2. Durante los meses de verano, la empresa percibe un mayor volumen de ventas, a excepción del último verano austral, pues debido a la pandemia por COVID-19 sus ventas se redujeron en gran medida, no obstante, se regularizaron a mediados del mismo año. Tal como se evidencia, durante el primer cuatrimestre del año, al aumentar la demanda, la fábrica aumenta su producción y sus respectivos costos eléctricos.



**Figura 2. Demanda de bloques de hielo (2019-2020)**

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 2, se presentan la demanda, producción y los bloques almacenados durante el año 2020. Cabe resaltar que los bloques almacenados son los que se registran a fin de mes.

**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
<b>Total</b>	<b>378 327</b>	<b>439 496</b>	<b>61 169</b>

Fuente: Elaboración Propia

### Indicadores y costos eléctricos

A continuación, en la Tabla 3 se presentan los principales indicadores actuales del proceso productivo.

**Tabla 3. Indicadores actuales de producción**

<b>Producción teórica</b>	$\text{Producción} = \frac{1\ 440\ \text{min}}{\frac{1\ 427,8\ \text{min}}{4\ 200\ \text{bloques}}} = 4\ 235,89\ \text{bloques}$
<b>Producción real</b>	1° Trimestre: 3 185 bloques 2°, 3° y 4° Trimestre: 1 213 bloques
<b>Eficiencia económica</b>	$\text{Eficiencia} = \frac{S/2\ 821\ 031,75}{S/1\ 261\ 272,37} = 2,23$
<b>Cuello de botella</b>	$t = 1\ 427,8\ \text{min}$
<b>Capacidad diseñada</b>	1° Trimestre: 4 280 bloques 2°, 3° y 4° Trimestre: 3 610 bloques
<b>Capacidad real</b>	1° Trimestre: 4 200 bloques 2°, 3° y 4° Trimestre: 3 550 bloques
<b>Utilización</b>	$\text{Utilización} = \frac{4\ 200}{4\ 280} \times 100 = 98,13\%$
	$\text{Utilización} = \frac{3\ 550}{3\ 610} \times 100 = 98,34\%$

**Fuente: Elaboración Propia**

En la Tabla 4, se presentan los costos de producción de hielo obtenidos por la empresa en el año 2020, los cuales ascendieron a S/ 1 263 477,37. En la última columna de la derecha se presenta el porcentaje que representan los costos eléctricos en función de los costos totales de producción.

**Tabla 4. 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**

Cabe resaltar que los costos de producción de la fábrica de hielo incluyen los costos directos, como la mano de obra y materiales directos, y los Costos Indirectos de Fabricación (CIF), como los suministros, la mano de obra indirecta y los costos eléctricos. La variación porcentual de los costos eléctricos durante el 2020 estuvo entre 44% y 70%. Los costos eléctricos en Sarita Colonia SAC están clasificados como CIF, puesto que, aunque no se identifican directamente en el producto final son indispensables para la fabricación del mismo. Cabe resaltar que estos costos no incluyen la electricidad consumida en el área administrativa, pues ello se califica en gastos administrativos. Los costos eléctricos abarcan exclusivamente el consumo de la maquinaria en planta de producción y representaron en promedio el 57% de los costos totales de producción, es decir, más de la mitad de los mismos.

El consumo eléctrico está relacionado con las tarifas en función de las horas en las que trabaja la empresa. Se puede evidenciar el aumento progresivo de las tarifas eléctricas, sobre todo cuando la fábrica consume potencia activa dentro de las horas punta. A continuación, se presentan las tarifas de la empresa distribuidora del servicio de electricidad Electronorte SA, en la Tabla 5 se resume el crecimiento porcentual de las mismas durante el periodo 2018-2020. La fábrica de hielo Sarita Colonia SAC tiene un contrato de tipo MT3, el cual incluye las siguientes tarifas (véase el Anexo 1).

**Tabla 5. Crecimiento porcentual de tarifas eléctricas durante el periodo 2018-2020**

Crecimiento (%)	
Cargo por energía activa en horas punta (EA HP)	21%
Cargo por energía activa fuera de horas punta (EA FP)	25%
Cargo por potencia activa en horas punta (PG HP)	6%
Cargo por potencia activa fuera de horas punta (PG FP)	35%
Cargo por redes de distribución en horas punta (RD HP)	20%
Cargo por redes de distribución fuera de horas punta (RD FP)	22%
Cargo por energía reactiva (ER)	9%

**Fuente: Elaboración Propia**

Todas las tarifas eléctricas han ido aumentando, lo que implica un consiguiente aumento de los costos eléctricos a largo plazo. El costo por potencia activa fuera de horas punta es el que ha tenido un mayor crecimiento porcentual con un total de 35%, el cual ha sido sostenido y con una tendencia positiva. Después está el cargo por energía activa fuera de horas punta y el cargo por redes de distribución, también fuera de horas punta. Esto quiere decir que las tarifas eléctricas han tenido un mayor aumento para las horas fuera de punta, no obstante, las que presentan mayor costo por hora y mensualmente son las tarifas que se encuentran dentro de las horas punta que, si bien no han crecido significativamente aún tiene un costo unitario superior.

De acuerdo con el diagnóstico del proceso productivo de la empresa Sarita Colonia SAC, se presentan las principales causas que generan los altos costos eléctricos durante la producción de hielo.

Planificación de la producción: La fábrica de hielo almacena los bloques no vendidos en una de las pozas del área de producción, ello implica un costo operativo que viene a representar el consumo de energía eléctrica del sistema de refrigeración para el uso de esa respectiva poza.

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

$$\text{Costo de almacenamiento} = \frac{S/469,22}{S/2\ 518,39} = 0,19$$

El costo de almacenamiento es del 19%, es decir, por cada sol almacenado a la empresa le cuesta S/1,19 terminado el día de almacenamiento, lo que implica que almacenar un bloque de hielo por día cueste S/0,67 adicionales al costo de producción. Ello implica que, pasado un día de su producción el costo del bloque de hielo aumente de S/ 2,30 a S/ 2,97. Lo que significa que mientras más tiempo permanezca un bloque en la poza su margen de utilidad se reduce progresivamente con el pasar de los días.

Tiempo de congelamiento: Como se evidencia en la Tabla 1, el tiempo de ciclo es el proceso de congelamiento el cual demora 1427,8 min equivalentes a 23,80 horas. Considerando que la producción iniciada por la empresa el día anterior culmina al día siguiente, ello implica que las máquinas funcionen de forma continua incluso durante las horas pico en las que las tarifas aumentan. Es importante resaltar que se considera el ciclo con mayor duración, pues en realidad el tiempo varía en función de la poza y su respectivo compresor.

Consumo eléctrico de los compresores: El consumo de energía eléctrica se calcula en función de la potencia de las máquinas por el tiempo de utilización de las mismas. De acuerdo con Chumbiauca [26] el 80% de la energía eléctrica consumida en una fábrica de hielo se concentra en el compresor. Sarita Colonia SAC cuenta con cinco compresores, tres de tipo tornillo y dos alternativos. Los dos compresores de tipo tornillo son marca VILTER modelo VSM-501 y uno es modelo VSM-301, los cuales funcionan con una potencia de 151 kW y 99 kW respectivamente. Los compresores de tipo alternativo ambos son marca MYCOM modelo N6KHM45 con una potencia de 45 kW.

### Selección de la herramienta

Las herramientas a utilizar se analizaron en función de las principales causas, para la asignación de valores se tomó como referencia una escala de 1, 2 y 5. Considerando un valor de 1 si ambas herramientas son igual de importantes, un 2 si una es más importante que otra y un 5 si es una es significativamente más importante que otra. A continuación, se presenta la matriz de enfrentamiento en la Tabla 6.

**Tabla 6. Matriz de enfrentamiento**

Criterios	Planificación de la producción	Tiempo de congelamiento	Consumo eléctrico	Suma	Ponderación
Planificación de la producción		5	1	6	0,40
Tiempo de congelamiento	1		1	2	0,13
Consumo eléctrico de los compresores	5	2		7	0,47
<b>Total</b>				15	1

**Fuente: Elaboración Propia**

Del listado de todas las posibles herramientas a utilizar se consideran únicamente aquellas de las cuales todas sus características contribuyen en algo a la solución del problema (véase Anexo 2). A continuación, se presentan las herramientas que aportan soluciones al problema, las cuales se puntúan en función de su importancia para dicha solución, tomando como referencia una escala del 1 al 3. Siendo 1 poco importante, 2 importante y 3 muy importante. Tal como se evidencia en la siguiente matriz que se presenta en la Tabla 7.

**Tabla 7. Matriz de asignación de puntajes**

Criterios	%	Herramientas						Modelo de asignación	
		Modelo EOQ en producción		Simulación de Montecarlo		Tecnología de intercambio de calor			
Planificación de la producción	0,40	3	1,20	3	1,20	1	0,40	2	0,80
Tiempo de congelamiento	0,13	1	0,13	2	0,26	3	0,39	3	0,39
Consumo eléctrico de los compresores	0,47	1	0,47	2	0,94	3	1,41	3	1,41
<b>Total</b>	1	5	1,80	7	2,40	7	2,20	8	2,60

**Fuente: Elaboración Propia**

Las herramientas que obtuvieron el mayor puntaje en función del porcentaje de importancia son, el modelo matemático de asignación y la simulación de Montecarlo, se consideran estas dos herramientas por obtener el mayor puntaje. Cabe resaltar que la selección no incluyó como alternativa la reducción de la energía reactiva, pues para hallar su costo se requiere de la lectura mensual, además tiene la tarifa eléctrica más baja. Tampoco se consideró la reducción de consumo eléctrico en horas punta dado que el tiempo de congelamiento requiere de 23,8 horas.

### ***Propuestas de mejora***

#### Propuesta de producción con la simulación de Montecarlo

De acuerdo con los datos obtenidos de la empresa Sarita Colonia SAC, la fábrica produce teóricamente 4 200 bloques por día. No obstante, considerando el inventario almacenado del día anterior, en promedio produce 3 185 bloques de hielo diariamente. Al término del primer trimestre del año, deshabilita la quinta poza de 670 bloques, y reduce su producción a 3 550 bloques por día, por consiguiente, su producción media es de 1 253 bloques. Simulando la demanda en forma aleatoria se halla un antes y después en función de la cantidad de producción óptima con la que se alcanzará la mayor utilidad, en la Tabla 8 se presentan los resultados.

**Tabla 8. Resultados de la simulación Montecarlo**

Indicadores	Situación actual		Situación después de la propuesta	
	1° Trimestre	2°, 3° y 4° Trimestre	1° Trimestre	2°, 3° y 4° Trimestre
Producción máxima de bloques	4 200	3 550	4 001	1 512
Producción promedio de bloques	3 053	1 276	3 055	1 030
Utilidad promedio	S/ 2 770,69	S/ 45,69	S/ 3 020,31	S/ 914,07
Bloques almacenados	959	2 242	786	498

**Fuente: Elaboración Propia**

De acuerdo con la simulación de la situación actual, la empresa produce durante el primer trimestre del año un total de 3 053 bloques diariamente, lo cual difiere en un 4% de la cantidad de producción real. Con respecto al resto del año, la simulación arrojó un total de 1276 bloques, lo que equivale a un 2% de diferencia con la producción real. De acuerdo con la optimización realizada, la producción con la que se obtiene la mayor utilidad es equivalente a 4 001 bloques diarios durante el primer trimestre y 1 512 bloques durante el resto del año. Para la realización de la simulación se utilizaron los datos históricos de la demanda (véase Anexo 3), los resultados de la elaboración de rangos (véase Anexo 4 y 5) y la simulación de Montecarlo (véase Anexo 6 y 7).

### Propuesta de asignación con programación lineal

El modelo de asignación comprende tanto el tiempo de ciclo como el excesivo consumo de los compresores, para ello se identifica la cantidad de bloques por pozas. La fábrica de hielo Sarita Colonia SAC tiene 5 pozas de congelamiento, las dos primeras pozas congelan 1 000 bloques de hielo cada una, la tercera congela 940 bloques, mientras que la cuarta y quinta congelan 670 bloques cada una. Como se mencionó anteriormente, la empresa cuenta con cinco compresores, en función de la potencia del compresor y la cantidad de bloques que se congelan en cada poza, el tiempo de congelamiento varía, siendo la poza 1 y 2 las que demoran más en comparación con las otras. Todo ello se evidencia en la Tabla 9.

**Tabla 9. Tiempo de congelamiento por compresor-poza en horas**

	Poza 1	Poza 2	Poza 3	Poza 4	Poza 5
<b>Compresor 1</b>	23,8	23,8	22,4	15,9	15,9
<b>Compresor 2</b>	23,8	23,8	22,4	15,9	15,9
<b>Compresor 3</b>	24,4	24,4	22,9	16,3	16,3
<b>Compresor 4</b>	32,1	32,1	30,2	21,5	21,5
<b>Compresor 5</b>	32,1	32,1	30,2	21,5	21,5

Fuente: Elaboración Propia

El consumo eléctrico de los compresores está en función de la potencia y las horas trabajadas; se sabe que el primer y segundo compresor tienen 151 kW de potencia, el tercero tiene 99 kW y el cuarto y quinto 45 kW. Tomando en cuenta la Tabla 9, se obtiene el consumo eléctrico en la etapa de congelamiento para todos los compresores y pozas, tal como se presenta en la Tabla 10.

**Tabla 10. Consumo eléctrico por compresor-poza en kW**

	Poza 1	Poza 2	Poza 3	Poza 4	Poza 5
<b>Compresor 1</b>	3 593,80	3 593,80	3 378,17	2 407,85	2 407,85
<b>Compresor 2</b>	3 593,80	3 593,80	3 378,17	2 407,85	2 407,85
<b>Compresor 3</b>	2 411,81	2 411,81	2 267,10	1 615,91	1 615,91
<b>Compresor 4</b>	1 444,03	1 444,03	1 357,39	967,50	967,50
<b>Compresor 5</b>	1 444,03	1 444,03	1 357,39	967,50	967,50

Fuente: Elaboración Propia

Actualmente, la distribución de los compresores en las pozas está dada de la siguiente manera, el compresor 1 está conectado a la poza 1, el compresor 2 a la poza 2 y así sucesivamente hasta completar los cinco compresores en las cinco pozas. La distribución óptima será la que tenga el menor consumo eléctrico, pues en base a ella se reducirán los costos.

Para encontrar la distribución óptima se realiza un modelo matemático de programación lineal, llamado modelo de asignación, el cual considera las siguientes variables, restricciones y función objetivo:

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

Donde:

$$i = 1,2,3,4,5$$

$$j = 1,2,3,4,5$$

Restricciones de asignación de compresor a poza:

$$X_{11} + X_{21} + X_{31} + X_{41} + X_{51} = 1$$

$$X_{12} + X_{22} + X_{32} + X_{42} + X_{52} = 1$$

$$X_{13} + X_{23} + X_{33} + X_{43} + X_{53} = 1$$

$$X_{14} + X_{24} + X_{34} + X_{44} + X_{54} = 1$$

$$X_{15} + X_{25} + X_{35} + X_{45} + X_{55} = 1$$

Restricciones de asignación de poza a compresor:

$$X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14} + X_{15} = 1$$

$$X_{21} + X_{22} + X_{23} + X_{24} + X_{25} = 1$$

$$X_{31} + X_{32} + X_{33} + X_{34} + X_{35} = 1$$

$$X_{41} + X_{42} + X_{43} + X_{44} + X_{45} = 1$$

$$X_{51} + X_{52} + X_{53} + X_{54} + X_{55} = 1$$

Restricción general:

$$X_{ij} = 0,1$$

Función:

$$\begin{aligned} \text{MIN } Z = & 3\,593,80 \cdot X_{11} + 3\,593,80 \cdot X_{12} + 3\,378,17 \cdot X_{13} + 2\,407,85 \cdot X_{14} + 2\,407,85 \\ & \cdot X_{15} + 3\,593,80 \cdot X_{21} + 3\,593,80 \cdot X_{22} + 3\,378,17 \cdot X_{23} + 2\,407,85 \cdot X_{24} + 2\,407,85 \\ & \cdot X_{25} + 2\,411,81 \cdot X_{31} + 2\,411,81 \cdot X_{32} + 2\,267,10 \cdot X_{33} + 1\,615,91 \cdot X_{34} + 1\,615,91 \cdot X_{35} \\ & + 1\,444,03 \cdot X_{41} + 1\,444,03 \cdot X_{42} + 1\,357,39 \cdot X_{43} + 976,50 \cdot X_{44} + 976,50 \cdot X_{45} + \\ & 1\,444,03 \cdot X_{51} + 1\,444,03 \cdot X_{52} + 1\,357,39 \cdot X_{53} + 976,50 \cdot X_{54} + 976,50 \cdot X_{55} \end{aligned}$$

Los resultados de la distribución óptima arrojaron una reasignación del compresor 1 a la poza 5, el compresor 2 a la poza 4, el compresor 4 a la poza 2 y el compresor 5 a la poza 1. Es importante recalcar que el compresor 3 no requerirá ninguna reasignación, pues permanecerá conectado a la poza 3. Actualmente, el consumo eléctrico de los compresores a las pozas es de 11 389,71 kW-h, pero con la distribución óptima anteriormente mencionada, se logrará minimizar el consumo eléctrico a 9 970,8 kW-h. (Véase el Anexo 8).

Ahora bien, una vez planteadas las dos propuestas, es importante evaluarlas simulando los costos eléctricos en ambos casos, para ello se toman en cuenta las tarifas eléctricas de Electronorte SA considerando los costos por cargo fijo, energía activa en horas punta, fuera de punta, potencia de generación fuera de punta y potencia por uso de redes de distribución fuera de punta. Cabe resaltar que no se considera la energía reactiva pues requiere información sobre la medición mensual, asimismo, la estimación de los costos eléctricos toma como referencia la potencia nominal de los compresores.

En la Tabla 11 se presenta como referencia el primer compresor cuya potencia es de 151 kW para la poza 1 cuya capacidad es de 1 000 bloques. Los costos eléctricos se estiman para cada compresor en relación con la poza a la que alimenta (véase el Anexo 9).

**Tabla 11. Costo eléctrico estimado del compresor 1 en la poza 1**

Cargos a facturar (MT3)	Consumo a facturar	Precio unitario	Importe
<b>Cargo fijo</b>	-	S/ 11,56	S/ 11,56
<b>Energía activa en horas punta (a)</b>	22 650 kW.h	S/ 0,1323 /kW.h	S/ 2 996,60
<b>Energía activa en horas fuera de punta (b)</b>	86 164 kW.h	S/ 0,1055 /kW.h	S/ 8 984,80
<b>Potencia de generación fuera de punta (c)</b>	151 kW	S/ 35,06 /kW	S/ 5 294,06
<b>Potencia por uso de redes fuera de punta (d)</b>	151 kW	S/ 15,73 /kW	S/ 2 375,23
<b>Energía reactiva</b>	-	-	-
<b>Total</b>			S/ 19 662,25

Fuente: Elaboración Propia

Seguidamente, en Tabla 12 se presenta la estimación de costos eléctricos en función de los cinco compresores para cada poza. Para obtener el costo eléctrico mensual solo habría que sumar el costo eléctrico del compresor 1 a la poza 1, el costo del compresor 2 a la poza 2 y así sucesivamente hasta completar las cinco pozas.

**Tabla 12. Matriz de costos por compresor-poza**

	Poza 1	Poza 2	Poza 3	Poza 4	Poza 5
<b>Compresor 1</b>	S/ 19 662,25	S/ 19 662,25	S/ 18 993,17	S/ 15 886,72	S/ 15 886,72
<b>Compresor 2</b>	S/ 19 662,25	S/ 19 662,25	S/ 18 993,17	S/ 15 886,72	S/ 15 886,72
<b>Compresor 3</b>	S/ 13 083,12	S/ 13 083,12	S/ 12 613,12	S/ 10 545,11	S/ 10 545,11
<b>Compresor 4</b>	S/ 7 049,85	S/ 7 049,85	S/ 6 779,25	S/ 4 970,45	S/ 4 970,45
<b>Compresor 5</b>	S/ 7 049,85	S/ 7 049,85	S/ 6 779,25	S/ 4 970,45	S/ 4 970,45

Fuente: Elaboración Propia

Actualmente, los costos eléctricos mensuales de la fábrica Sarita Colonia SAC en promedio son de S/ 60 524,67 y de acuerdo con la estimación de costos de la distribución actual de compresores, el costo eléctrico promedio mensual es de S/ 61 878,51. Eso significa que la estimación solo varía en un 2,24% del costo eléctrico real.

#### Propuesta combinada

Dado que las propuestas no son excluyentes, se presenta una propuesta combinada la cual incluye la reducción de la producción durante los últimos tres trimestres del año, lo que implica deshabilitar las pozas 1, 2 y 5 con sus respectivos compresores. Cabe resaltar que durante el primer trimestre del año la fábrica puede seguir trabajando con las 5 pozas. Simultáneamente se realizaría la redistribución de los compresores, tal y como se especificó en la segunda propuesta, para de esta manera reducir al mínimo el consumo eléctrico.

La comparación de las tres propuestas con la situación actual se presenta en la Tabla 13. Cabe resaltar que, dentro de dicha tabla, las letras A) y B) representan el periodo, siendo A) el primer trimestre del año y B) los últimos tres trimestres.

**Tabla 13. Resumen de los nuevos indicadores de las propuestas planteadas**

<b>Indicador</b>	<b>Situación actual</b>	<b>Propuesta 1</b>	<b>Propuesta 2</b>	<b>Propuesta combinada</b>
<b>Producción máxima</b>	A) 4 200 bloques B) 3 550 bloques	A) 4 001 bloques B) 1 512 bloques	A) 4 200 bloques B) 3 550 bloques	A) 4 001 bloques B) 1 512 bloques
<b>Producción promedio</b>	A) 3 185 bloques B) 1 213 bloques	A) 3 055 bloques B) 1 030 bloques	A) 3 185 bloques B) 1 213 bloques	A) 3 055 bloques B) 1 030 bloques
<b>Utilización</b>	A) 98,13% B) 98,34%	A) $\frac{4\ 001}{4\ 280} \times 100 = 93,48\%$ B) $\frac{1\ 512}{1\ 610} \times 100 = 93,91\%$	A) 98,13% B) 98,34%	A) 93,48% B) 93,91%
<b>Cuello de botella</b>	t = 1 427,8 min	A) t = 1 427,8 min B) t = 1 374,0 min	t = 1 866 min	A) t = 1 427,8 min B) t = 1 374,0 min
<b>Costos eléctricos por año</b>	S/ 697 808,07	S/ 476 113,86	S/ 546 854,73	S/ 340 425,51

**Fuente: Elaboración Propia**

Como se observa, la propuesta 1 reduce los costos eléctricos en un 31,77% anualmente, mientras que la propuesta 2 reduce los costos eléctricos en un 21,63%. Ambas propuestas no son excluyentes, por lo que, si se combinan se logra reducir los costos en un 51,22%. Por consiguiente, la propuesta combinada sería la que reduce en mayor medida los costos eléctricos de la fábrica de hielo Sarita Colonia SAC.

### Análisis beneficio costo

Los costos estimados por la reasignación de los cinco compresores y el costo adicional por mantenimiento ascienden a S/ 18 356. El mantenimiento se subcontratará teniendo un costo aproximado de S/ 336 por compresor. Además, se requerirá la contratación de dos técnicos que se encarguen de la reasignación y que permanezcan en la empresa por aproximadamente 2 semanas para asegurarse del funcionamiento de los compresores. Por otro lado, el beneficio a obtener está en función de la diferencia entre el costo eléctrico actual y el costo eléctrico que se obtendría con la mejora. De acuerdo con la simulación de costos, dicho beneficio asciende a S/ 59 314,18 en el periodo de implementación de la mejora, el cual es equivalente a 2 meses. A continuación, se presenta el resultado del análisis beneficio costo. (Véase el Anexo 10).

$$\text{Análisis beneficio costo} = \frac{S/ 59 314,18}{S/ 18 356} = 3,23$$

### Discusión

De acuerdo con el diagnóstico del proceso productivo y la determinación de los costos eléctricos, se deduce que el problema principal está relacionado con estos altos costos eléctricos que actualmente presenta la fábrica de hielo Sarita Colonia SAC, la cual registró en el 2020 en promedio un costo eléctrico unitario de S/ 1,86 por bloque de hielo. Según Amaya [6] 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 [7] 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.

Una de las principales causas que ocasionan el aumento de los costos eléctricos es el exceso de almacenamiento de bloques de hielo. Según Alcalde [27] en su investigación realizada en la empresa El Delfín SRL, afirma que los costos de almacenamiento promedio son equivalentes al 26% y se almacenan en promedio 893 bloques diarios, mientras que en Sarita Colonia SAC los costos de almacenamiento representan el 19% y se almacenan en promedio 959 bloques diarios durante el primer trimestre y 2 242 bloques el resto del año. 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.

Otra de las causas relacionadas con los costos eléctricos es el tiempo de congelamiento, actualmente la fábrica Sarita Colonia SAC tarda 23,8 horas en producir 2 000 bloques de hielo. Este tiempo vendría a estar dentro de un rango de entre 20 a 24 horas, dependiendo del compresor. El congelamiento requiere de tres procesos, el primero es el de enfriamiento, suponiendo una temperatura inicial de 20°C, esta debe descender hasta 0°C, dicho proceso toma en promedio 7 horas; le sigue el proceso de congelamiento que se mantiene en 0°C y vendría a estar dado por la variación de calor latente; mientras que el último proceso es el de subenfriamiento, el cual consiste en la variación del calor sensible de 0°C a -3°C [14].

Si bien la primera propuesta logró reducir en un 3,76% el tiempo de congelamiento, esta variación es mínima. Además, la segunda propuesta aumentó el ciclo, pues la asignación óptima arrojó que los compresores 4 y 5 deberían ser conectados a las pozas 1 y 2. Ello ocasiona un ciclo de 32,1 h, es decir, un 34,87% más del tiempo actual, lo que implica una demora de más de un día para conseguir la producción de 2 000 bloques de hielo. La implementación de un interenfriador hubiera reducido en un 22,25% el tiempo de congelamiento equivalente a 3 h 45 min menos del tiempo de ciclo actual [14]. Asimismo, la implementación de un intercambiador de calor de tipo carcasa y tubo hubiera reducido el tiempo de congelamiento en 4,47% [9].

Si bien la implementación de interenfriadores o intercambiadores de calor reducen significativamente el tiempo de congelamiento, debido principalmente a la reducción de la temperatura inicial durante el proceso de enfriamiento, requieren de una gran inversión. Mientras que su impacto en el consumo eléctrico reduce 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. No obstante, el estudio puede enfocarse en reducir el segundo proceso relacionado con el congelamiento en sí mismo, el cual es el más largo, entonces se considera la potencia de los compresores como un factor clave [9].

Para las propuestas de mejora relacionadas con la planificación de la producción como solución frente al exceso de almacenamiento, Lara *et al.* [28] 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 de inventarios. En cuanto al proceso de congelamiento y su relación entre el tiempo y la potencia consumida en kW, Coletti y Riojas [29] proponen un balance de línea con asignación que permita la minimización de costos, en función de la asignación de recursos a estaciones de trabajo. En el caso de la fábrica la asignación está dada de compresores a pozas.

Los resultados obtenidos de la aplicación del método Montecarlo arrojaron una producción óptima en base a 4 001 bloques de hielo durante el primer trimestre y 1 512 durante el resto del año, con dicha producción la empresa obtiene un aumento del 9% en la utilidad diaria promedio durante el primer trimestre y un incremento del 19% en la utilidad el resto del año. Asimismo, se reduce el stock de bloques almacenados en un 18% durante el primer periodo y un 77,78% durante el segundo. Para alcanzar la producción óptima se deben mantener activas las cinco pozas durante el primer trimestre y para el resto del año se deben utilizar solo las pozas 3 y 4.

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 reduce el consumo eléctrico en un 12,46%. De acuerdo con Rui *et al.* [30] la realización de un modelo de asignación genera la configuración óptima de redes de intercambiadores de calor con colocación adecuada del compresor, con su modelo evaluó el consumo eléctrico reduciéndolo de 480,48 kW a 419,68 kW lo que equivale a un 14,48% menos. En el artículo de Meza y García [31] se realizó la asignación utilizando el algoritmo húngaro, los autores asignaron las recargas de equipos eléctricos en función de la demanda, con ello lograron reducir el consumo eléctrico en un 53,71% equivalente a 278 kWh.

No obstante, autores como Zagorowska *et al.* [32] afirman que el consumo de energía se puede reducir solo 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, cuyo consumo se mide en kW. Por su parte, Pardo y López [33] se enfocaron no en reducir el consumo sino el tiempo, para ello utilizaron la programación lineal entera mixta para encontrar la secuencia óptima de arranque de generadores de un sistema de potencia reduciendo el tiempo de arranque en un 83%, sin embargo, en la asignación actual no hubo reducción en el tiempo de congelamiento.

Según Velásquez [34] el análisis beneficio-costos está basado en el razonamiento lógico de que, si una inversión ofrece beneficios (efectos positivos) superiores a todos sus costos (efectos negativos), será una inversión que conviene realizar, al ser eficiente económicamente. Los resultados del beneficio costo realizado evidenciaron un resultado de 3,23 lo que indica que la inversión es rentable, puesto que, el valor es mayor a 1, lo que indica que los beneficios percibidos en un periodo  $t$  serán mayores que la inversión a realizar durante dicho periodo.

## **Conclusiones**

La mejora del proceso productivo de la empresa Sarita Colonia SAC para reducir los costos eléctricos consistió en un ajuste de la producción a la demanda basada en la simulación de Montecarlo y una reasignación de los compresores de acuerdo con el modelo matemático de asignación. La combinación de ambas mejoras reduce los costos eléctricos en un 51,22%. El modelo de asignación fue muy importante para alcanzar el resultado porque permitió reducir los costos sin tener que disminuir la producción y permitió sincerar el consumo eléctrico.

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 que tiene un costo del 19%, la deficiente distribución de compresores y un cuello de botella de 23,8 h.

La selección de herramientas permitió escoger las que se más se adecuaban al diagnóstico de la fábrica de hielo Sarita Colonia SAC. Las herramientas que obtuvieron el mayor puntaje fueron la simulación de Montecarlo y el modelo de asignación.

La primera propuesta de mejora consistió en una simulación de Montecarlo en la cual se determinó que existía una sobreproducción que generaba un exceso de bloques almacenados, por ende, se ajustó la producción a la demanda, con ello los costos eléctricos se redujeron en un 31,77%. Asimismo, el modelo matemático de asignación propuso la redistribución de los compresores para minimizar el consumo eléctrico, reduciendo los costos en un 21,63%.

El análisis beneficio costo requiere una inversión de S/ 18 356 para la implementación de la mejora, obteniendo un ahorro en costos de S/ 59 314,18. La relación beneficio costo arrojó un valor de 3,23 lo que significa que la implementación de la propuesta combinada es rentable.

## **Recomendaciones**

Se sugiere evaluar la viabilidad de las otras dos herramientas de ingeniería no seleccionadas.

Se recomienda la evaluación del modelo matemático de asignación considerando otras restricciones como el peso real de los bloques de hielo y la eficiencia de los compresores.

Se recomienda la realización de un análisis exergético 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] 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.
- [7] 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.
- [8] R. Guapulema y V. Hidalgo, «Estudio paramétrico para optimización de un generador de hielo tubular de laboratorio,» *Ingenius*, n° 23, 2020.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] C. Janania, Manual de tiempos y movimientos Ingeniería de Métodos, México: Limusa, 2008.
- [12] J. Alarcón, Tratado práctico de refrigeración automática, Barcelona: Marcombo, 1998.

- [13] B. De Miranda y C. Rodríguez, «Instalaciones Frigoríficas,» Centro Nacional de Formación Marítima de Bamio , Galicia, 2010.
- [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, nº 1, pp. 7-18, 2017.
- [15] G. Salvendy, *Handbook of Industrial Engineering: Technology and Operations Management*, New York: John Wiley & Sons, 2001.
- [16] F. Durán, *Ingeniería de Métodos Globalización: Técnicas para el Manejo Eficiente de Recursos en Organizaciones Fabriles, de Servicios y Hospitalarias*, Guayaquil, 2007.
- [17] ENSA, Distriluz, [En línea]. Available: <https://www.distriluz.com.pe/>. [Último acceso: 27 Abril 2021].
- [18] 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. 1-8, 2020.
- [19] W. Stoecker y J. Jones, *Refrigeration and Air Conditioning*, Texas: McGraw-Hill , 1982.
- [20] D. Roy, *Principios de Refrigeración*, Compañía Editorial Continental, 1981.
- [21] J. Conesa, «Sistema de refrigeración por compresión,» Departamento de Ingeniería Química, Alicante, 2011.
- [22] Á. Miranda, *Manual Técnico de Refrigerantes*, Barcelona: Marcombo, 2011.
- [23] 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, nº 100427, 2020.
- [24] F. Meyers, *Estudio de tiempos y movimientos*, México: Pearson Educación, 2000.
- [25] F. Hillier y G. Lieberman, *Introducción a la Investigación de Operaciones*, México D.F.: Mc Graw Hill, 2010.
- [26] W. Chumbiauca, «Propuesta de mejora en el proceso productivo de una empresa que fabrica hielo,» Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), Lima, 2016.
- [27] A. Alcalde, «Estandarización de procesos y su influencia en la gestión de inventarios de la fábrica de hielo El Delfín en el año 2018,» Universidad Privada del Norte, Trujillo, 2018.

- [28] 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.
- [29] 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.
- [30] 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.
- [31] J. Meza y E. García, «Asignación de recursos para la recarga de vehículos eléctricos en estaciones de servicios basado en la respuesta a la demanda,» *Revista de I+D Tecnológico*, vol. 14, n° 2, pp. 66-73, 2018.
- [32] 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.
- [33] R. Pardo y J. López, «Restauración de sistemas de potencia usando un modelo de programación lineal entera mixta,» *La Serena*, vol. 31, n° 6, pp. 147-158, 2020.
- [34] A. Velásquez, «El análisis beneficio costo y la importancia de su aplicación en los proyectos de inversión,» Universidad Ricardo Palma, Lima, 2020.

## Anexos

## Anexo 1: Evolución de las tarifas eléctricas Electronorte SA

Periodo	EA HP (S./kW.h)	EA FP (S./kW.h)	PG HP (S./kW- mes)	PG FP (S./kW- mes)	RD HP (S./kW- mes)	RD FP (S./kW- mes)	ER (S./kVar.h)
4/01/2018	21,53	17,20	55,38	27,34	12,19	11,95	4,18
4/02/2018	22,83	18,45	56,66	27,97	12,27	12,03	4,21
4/03/2018	22,86	18,48	56,71	28,00	12,40	12,16	4,22
4/04/2018	22,86	18,48	56,74	28,02	12,40	12,16	4,22
4/05/2018	22,84	18,58	50,45	24,90	12,42	12,19	4,25
4/06/2018	22,84	18,58	50,45	24,90	12,42	12,19	4,25
4/07/2018	22,84	18,58	50,68	25,02	12,58	12,33	4,28
4/08/2018	22,90	18,61	50,44	24,90	12,58	12,33	4,28
4/09/2018	22,90	18,61	50,44	24,90	12,58	12,33	4,28
4/10/2018	22,68	18,43	49,96	24,66	12,46	12,22	4,24
4/11/2018	23,09	18,78	52,17	25,75	12,67	12,44	4,36
4/12/2018	23,09	18,78	52,17	25,75	12,67	12,44	4,36
4/01/2019	23,09	18,78	52,43	25,89	12,67	12,44	4,36
4/02/2019	23,98	19,47	53,48	26,40	12,67	12,44	4,36
4/03/2019	23,98	19,47	53,52	26,42	12,55	12,31	4,28
4/04/2019	24,98	20,40	53,83	26,57	12,77	12,52	4,28
4/05/2019	24,98	20,40	53,83	26,57	12,77	12,52	4,28
4/06/2019	24,98	20,40	54,29	26,80	12,77	12,52	4,28
4/07/2019	24,98	20,40	54,29	26,80	12,77	12,52	4,28
4/08/2019	24,34	19,85	52,55	25,94	12,77	12,52	4,28
4/09/2019	24,34	19,85	52,55	25,94	12,84	12,59	4,40
4/10/2019	25,56	20,81	53,72	26,52	12,81	12,57	4,38
4/11/2019	25,71	20,94	51,00	32,09	15,12	15,08	4,36
4/12/2019	26,51	21,78	53,11	33,42	14,99	14,94	4,32
4/01/2020	26,51	21,78	53,15	33,44	14,99	14,94	4,32
4/02/2020	26,25	21,59	51,98	32,71	14,99	14,94	4,32
4/06/2020	26,89	22,05	52,36	32,95	14,68	14,63	4,32
4/07/2020	26,45	21,61	56,63	35,64	14,58	14,54	4,57
4/08/2020	26,01	21,58	58,64	36,90	14,58	14,54	4,57

Fuente: Elaboración Propia. En base a OSINERMINING

## Anexo 2: Evaluación de herramientas

Herramientas	Aplicación	¿Aporta a la solución del problema?	
		Sí	No
Modelo EOQ en producción	Considera los costos de almacenamiento.	X	
	Genera menor stock de seguridad.	X	
	Propone una Q de producción constante.	X	
Plan maestro de producción	Se planifica con pedidos de demanda dependiente.		X
	Proyecta la demanda a través de pronósticos.	X	

	Permite planificar largos periodos.	X	
Modelo de periodo único	Genera mayor stock que el modelo EOQ.		X
	Permite una producción variable.	X	
	Requiere datos sobre el costo de lanzamiento.		X
Método Montecarlo	Se aplica a demandas independientes.	X	
	Considera el comportamiento estadístico de la demanda.	X	
	El resultado brinda la producción óptima diariamente.	X	
Modelo de descuento	Considera el Lead Time del proveedor.	X	
	Permite obtener descuentos por cantidad.		X
Software ERP	Optimiza los procesos de gestión.	X	
	Permite estudiar la demanda histórica.	X	
	Mayor control de la trazabilidad del producto.		X
Método sobre enfriamiento de salmuera	Aumento de la producción.		X
	Reducción del tiempo de congelamiento.	X	
	Mayores costos de insumos.		X
Tecnología de intercambio de calor	Reducción drástica del tiempo congelamiento.	X	
	Aprovechamiento del agua de otro proceso.	X	
	Reduce el consumo eléctrico en más del 30%.	X	
Método de asignación	Utiliza los recursos propios de la organización.	X	
	Obtiene una solución óptima minimizando costos.	X	
	Considera el tiempo de congelamiento y la potencia en kW.	X	
Método húngaro	Su uso es específico para mejorar la distribución.	X	
	Se debe repetir periódicamente.		X

Banco de condensadores	Requiere el rediseño de la distribución eléctrica.	X
	Reduce el consumo eléctrico en más del 30%.	X
	Alto grado de complejidad.	X
Método de descongelación rápida	Reduce la última etapa de congelamiento.	X
	Puede ocasionar defectos como el hielo quebradizo.	X
Tecnología de interenfriador	Requiere el diseño del equipo para adecuarse al proceso.	X
	La reducción de costos es sostenible en el tiempo.	X
	Requiere de un equipo por poza y gran inversión.	X

**Fuente: Elaboración Propia**

### **Anexo 3: Datos históricos de la demanda de la empresa Sarita Colonia SAC**

<b>Día</b>	<b>Demanda</b>	<b>Día</b>	<b>Demanda</b>	<b>Día</b>	<b>Demanda</b>
2/01/2019	996	4/05/2019	1 350	1/09/2019	642
3/01/2019	1 574	5/05/2019	454	2/09/2019	1 230
4/01/2019	2 392	6/05/2019	2 262	3/09/2019	1 522
5/01/2019	2 162	7/05/2019	3 540	4/09/2019	1 437
6/01/2019	2 536	8/05/2019	2 070	5/09/2019	1 630
7/01/2019	2 314	9/05/2019	2 425	6/09/2019	1 102
8/01/2019	589	10/05/2019	1 926	7/09/2019	1 952
9/01/2019	2 520	11/05/2019	905	8/09/2019	1 304
10/01/2019	3 700	12/05/2019	350	9/09/2019	320
11/01/2019	2 980	13/05/2019	1 020	10/09/2019	977
12/01/2019	3 500	14/05/2019	1 665	11/09/2019	690
13/01/2019	3 462	15/05/2019	2 282	12/09/2019	710
14/01/2019	4 052	16/05/2019	1 512	13/09/2019	640
15/01/2019	3 280	17/05/2019	1 702	14/09/2019	826
16/01/2019	3 360	18/05/2019	2 112	15/09/2019	320
17/01/2019	3 799	19/05/2019	1 020	16/09/2019	785
18/01/2019	2 644	20/05/2019	728	17/09/2019	370
19/01/2019	2 964	21/05/2019	1 490	18/09/2019	690
20/01/2019	930	22/05/2019	1 175	19/09/2019	170
21/01/2019	3 622	23/05/2019	550	20/09/2019	585
22/01/2019	3 800	24/05/2019	1 155	21/09/2019	415
23/01/2019	2 780	25/05/2019	1 434	22/09/2019	640
24/01/2019	3 972	26/05/2019	1 822	23/09/2019	1 170
25/01/2019	3 984	27/05/2019	1 506	24/09/2019	432
26/01/2019	3 896	28/05/2019	2 405	25/09/2019	1 545
27/01/2019	4 060	29/05/2019	2 100	26/09/2019	230
28/01/2019	3 454	30/05/2019	2 990	27/09/2019	545
29/01/2019	4 014	31/05/2019	2 960	28/09/2019	150
30/01/2019	3 870	1/06/2019	2 182	29/09/2019	1 310
31/01/2019	5 130	2/06/2019	1 490	30/09/2019	650
1/02/2019	3 874	3/06/2019	2 007	1/10/2019	462

2/02/2019	3 866	4/06/2019	2 190	2/10/2019	584
3/02/2019	4 158	5/06/2019	2 730	3/10/2019	384
4/02/2019	4 082	6/06/2019	3 152	4/10/2019	750
5/02/2019	4 020	7/06/2019	2 332	5/10/2019	840
6/02/2019	2 190	8/06/2019	3 122	6/10/2019	140
7/02/2019	4 142	9/06/2019	1 544	7/10/2019	990
9/02/2019	4 014	10/06/2019	3 020	8/10/2019	522
10/02/2019	4 112	11/06/2019	2 400	9/10/2019	1 232
11/02/2019	4 044	12/06/2019	2 080	10/10/2019	1 420
12/02/2019	3 790	13/06/2019	3 414	11/10/2019	1 026
13/02/2019	3 330	14/06/2019	3 050	12/10/2019	1 452
14/02/2019	2 116	15/06/2019	2 150	13/10/2019	1 066
15/02/2019	1 720	16/06/2019	1 520	14/10/2019	1 810
16/02/2019	2 460	17/06/2019	2 000	15/10/2019	2 332
17/02/2019	3 434	18/06/2019	2 850	16/10/2019	580
18/02/2019	1 232	19/06/2019	1 340	17/10/2019	1 704
19/02/2019	3 000	20/06/2019	1 755	18/10/2019	52
20/02/2019	794	21/06/2019	2 310	19/10/2019	650
21/02/2019	3 065	22/06/2019	2 340	20/10/2019	470
22/02/2019	1 902	23/06/2019	1 550	21/10/2019	550
23/02/2019	1 460	24/06/2019	1 634	22/10/2019	382
24/02/2019	1 020	25/06/2019	1 982	23/10/2019	870
25/02/2019	2 941	26/06/2019	935	24/10/2019	870
26/02/2019	2 532	27/06/2019	884	25/10/2019	710
27/02/2019	2 390	28/06/2019	240	26/10/2019	520
28/02/2019	3 483	29/06/2019	54	27/10/2019	1 088
1/03/2019	2 986	30/06/2019	1 392	28/10/2019	756
2/03/2019	3 808	1/07/2019	1 960	29/10/2019	170
3/03/2019	3 943	2/07/2019	1 510	30/10/2019	530
4/03/2019	3 588	3/07/2019	2 770	1/11/2019	300
5/03/2019	2 806	4/07/2019	3 884	2/11/2019	720
6/03/2019	3 550	5/07/2019	2 272	3/11/2019	610
7/03/2019	3 360	6/07/2019	2 083	4/11/2019	990
8/03/2019	3 532	7/07/2019	1 737	5/11/2019	2 220
9/03/2019	3 522	8/07/2019	1 472	6/11/2019	594
10/03/2019	3 100	9/07/2019	2 090	7/11/2019	640
11/03/2019	3 714	10/07/2019	1 230	8/11/2019	545
12/03/2019	2 300	11/07/2019	1 840	9/11/2019	732
13/03/2019	3 682	12/07/2019	1 160	10/11/2019	810
14/03/2019	2 970	13/07/2019	660	11/11/2019	812
15/03/2019	3 430	14/07/2019	802	12/11/2019	300
16/03/2019	3 700	15/07/2019	1 754	13/11/2019	1 529
17/03/2019	3 226	16/07/2019	1 822	14/11/2019	725
18/03/2019	2 562	17/07/2019	1 640	15/11/2019	1 276
19/03/2019	1 960	18/07/2019	1 042	16/11/2019	460
20/03/2019	1 670	19/07/2019	1 410	17/11/2019	760
21/03/2019	890	20/07/2019	1 372	18/11/2019	615
22/03/2019	3 030	21/07/2019	847	19/11/2019	823
23/03/2019	3 382	22/07/2019	630	20/11/2019	445
24/03/2019	3 644	23/07/2019	630	21/11/2019	1 212
25/03/2019	3 700	24/07/2019	280	22/11/2019	782
26/03/2019	3 772	25/07/2019	560	23/11/2019	480
27/03/2019	3 712	26/07/2019	1 015	24/11/2019	120
28/03/2019	3 680	27/07/2019	580	25/11/2019	1 070

29/03/2019	3 700	28/07/2019	165	26/11/2019	620
30/03/2019	3 740	29/07/2019	592	27/11/2019	1 065
31/03/2019	3 940	30/07/2019	1 790	28/11/2019	520
1/04/2019	3 550	31/07/2019	1 390	29/11/2019	290
2/04/2019	3 720	1/08/2019	2 092	30/11/2019	430
3/04/2019	3 752	2/08/2019	680	1/12/2019	570
4/04/2019	1 772	3/08/2019	864	2/12/2019	750
5/04/2019	1 185	4/08/2019	840	3/12/2019	770
6/04/2019	1 136	5/08/2019	1 610	4/12/2019	1 010
7/04/2019	1 845	6/08/2019	1 440	5/12/2019	710
8/04/2019	755	7/08/2019	1 192	6/12/2019	1 000
9/04/2019	1 005	8/08/2019	1 142	7/12/2019	750
10/04/2019	125	9/08/2019	1 150	8/12/2019	924
11/04/2019	428	10/08/2019	850	9/12/2019	695
12/04/2019	1 355	11/08/2019	400	10/12/2019	912
13/04/2019	3 358	12/08/2019	825	11/12/2019	930
14/04/2019	2 466	13/08/2019	710	12/12/2019	310
15/04/2019	1 792	14/08/2019	700	13/12/2019	230
16/04/2019	2 760	15/08/2019	2 209	14/12/2019	650
17/04/2019	3 090	16/08/2019	520	15/12/2019	110
18/04/2019	3 686	17/08/2019	2 370	16/12/2019	670
20/04/2019	4 162	18/08/2019	930	17/12/2019	700
21/04/2019	1 984	19/08/2019	2 350	18/12/2019	820
22/04/2019	3 652	20/08/2019	1 334	19/12/2019	680
23/04/2019	1 492	21/08/2019	1 230	20/12/2019	730
24/04/2019	1 832	22/08/2019	1 120	21/12/2019	460
25/04/2019	1 444	23/08/2019	1 210	22/12/2019	40
26/04/2019	1 160	24/08/2019	740	23/12/2019	650
27/04/2019	1 420	25/08/2019	1 642	24/12/2019	130
28/04/2019	770	26/08/2019	875	26/12/2019	1 308
29/04/2019	2 190	27/08/2019	1 692	27/12/2019	960
30/04/2019	862	28/08/2019	2 962	28/12/2019	400
1/05/2019	1 050	29/08/2019	1 195	29/12/2019	540
2/05/2019	2 230	30/08/2019	1 980	30/12/2019	380
3/05/2019	1 420	31/08/2019	1 192		

Fuente: Sarita Colonia SAC

#### Anexo 4: Estudio de rangos de la probabilidad para el primer trimestre

Valor Min	Valor Max	Frecuencia	Probabilidad	Probabilidad Acumulada	Prob. Min	Prob. Max	Demanda
589,00	1 237,71	7	0,080	0,08	0	0,08	913
1 237,71	1 886,43	4	0,045	0,13	0,08	0,13	1 562
1 886,43	2 535,14	12	0,136	0,26	0,13	0,26	2 211
2 535,14	3 183,86	14	0,159	0,42	0,26	0,42	2 860
3 183,86	3 832,57	32	0,364	0,78	0,42	0,78	3 508
3 832,57	4 481,29	18	0,205	0,99	0,78	0,99	4 157
4 481,29	5 130,00	1	0,011	1,00	0,99	1,00	4 806
5 130,00	5 778,71	0	0,000	1,00	1,00	1,00	5 454
5 778,71	6 427,43	0	0,000	1,00	1,00	1,00	6 103

Fuente: Elaboración Propia

### Anexo 5: Estudio de rangos de la probabilidad para los últimos 3 trimestres

Valor Min	Valor Max	Frecuencia	Probabilidad	Probabilidad Acumulada	Prob. Min	Prob. Max	Demanda
40	498	40	0,148	0,15	0	0,15	269
498	956	83	0,306	0,45	0,15	0,45	727
956	1414	49	0,181	0,63	0,45	0,63	1 185
1414	1872	42	0,155	0,79	0,63	0,79	1 643
1872	2330	26	0,096	0,89	0,79	0,89	2 101
2330	2788	12	0,044	0,93	0,89	0,93	2 559
2788	3246	9	0,033	0,96	0,93	0,96	3 017
3246	3704	6	0,022	0,99	0,96	0,99	3 475
3704	4162	4	0,015	1.00	0,99	1,00	3 933

Fuente: Elaboración Propia

### Anexo 6: Resultados de la simulación de Monte Carlo para la situación actual

Producción durante el primer periodo	Utilidad promedio	Bloques almacenados promedio	Producción durante el segundo periodo	Utilidad promedio	Bloques almacenados promedio
3 163,38	S/2 591,30	872	1 346,64	S/92,40	2 195
2 970,96	S/2 987,11	1 159	1 280,34	S/438,40	2 297
2 968,01	S/3 010,42	1 130	1 164,67	S/81,66	2 101
3 007,23	S/3 062,72	940	1 294,34	S/55,67	2 193
2 832,29	S/3 075,32	1 092	1 219,19	S/247,09	2 340
3 216,43	S/3 118,76	888	1 326,45	-S/204,20	2 183
2 950,26	S/2 788,40	898	1 287,97	-S/232,50	2 306
3 077,27	S/2 600,48	752	1 202,54	S/88,26	2 154
2 879,64	S/2 402,20	780	1 326,76	S/61,47	2 209
3 150,49	S/2 772,85	953	1 288,69	S/441,49	2 181
3 065,80	S/2 848,14	806	1 319,10	S/125,35	2 166
3 081,67	S/2 726,66	720	1 265,46	-S/13,18	2 235
3 038,21	S/2 799,63	1 158	1 181,86	S/4,95	2 264
2 935,10	S/3 248,34	931	1 291,62	-S/24,66	2 314
2 976,84	S/3 070,99	1 013	1 392,74	S/154,45	2 266
3 277,70	S/2 674,07	988	1 291,65	S/66,93	2 238
3 072,86	S/2 882,01	937	1 253,95	S/32,84	2 158
3 263,91	S/2 260,60	1 022	1 201,69	-S/212,28	2 324
3 146,81	S/2 900,11	924	1 365,56	-S/310,99	2 251
3 209,36	S/2 620,59	1 076	1 316,34	-S/239,63	2 250
2 874,52	S/2 112,10	962	1 254,23	S/359,30	2 235
3 010,99	S/2 841,06	902	1 263,68	S/178,99	2 277
3 044,81	S/2 891,55	778	1 246,72	-S/94,05	2 163
3 054,04	S/2 290,30	1 113	1 239,14	S/2,87	2 380
3 057,54	S/2 691,61	1 180	1 276,34	S/41,69	2 366
3053	S/2 770,69	959	1276	S/45,69	2 242

Fuente: Elaboración Propia

**Anexo 7: Resultados de la simulación de Monte Carlo con la producción óptima**

<b>Producción durante el primer periodo</b>	<b>Utilidad promedio</b>	<b>Bloques almacenados promedio</b>	<b>Producción durante el segundo periodo</b>	<b>Utilidad promedio</b>	<b>Bloques almacenados promedio</b>
3 137,94	S/2 779,05	778,30	988,01	S/884,78	433
3 159,77	S/2 798,19	792,43	952,33	S/903,45	553
2 792,50	S/3 136,33	837,73	980,95	S/1 074,27	430
3 123,47	S/2 739,55	855,31	969,79	S/777,93	582
3 402,54	S/3 000,86	764,13	1 056,77	S/930,15	539
2 871,94	S/3 079,77	658,09	1 078,59	S/1 090,12	527
2 825,99	S/2 771,28	791,42	1 008,73	S/973,85	546
3 217,74	S/3 145,98	777,50	997,36	S/929,06	449
3 020,02	S/2 975,66	725,33	1 053,36	S/852,86	521
2 964,58	S/2 911,60	790,61	1 016,41	S/884,67	452
3 030,81	S/3 106,25	844,87	959,60	S/968,54	463
3 135,60	S/3 122,26	846,70	987,94	S/871,61	505
2 897,58	S/2 532,82	741,37	1 031,59	S/1 104,21	476
3 004,51	S/3 055,92	700,21	1 095,93	S/1 167,29	482
3 173,09	S/3 171,69	838,83	1 067,44	S/993,53	417
3 101,02	S/3 365,38	837,12	1 100,12	S/831,70	530
2 939,91	S/2 651,56	777,78	1 073,44	S/1 003,85	447
3 193,59	S/3 536,21	819,91	1 068,60	S/974,99	543
3 011,32	S/3 398,45	818,30	999,95	S/785,73	461
3 003,64	S/3 206,71	841,47	1 021,56	S/708,62	546
3 162,27	S/2 911,69	808,42	1 007,77	S/727,78	600
2 753,26	S/3 182,85	800,60	1 081,01	S/861,72	514
3 203,30	S/3 064,57	783,88	1 032,05	S/786,28	508
3 094,18	S/2 923,05	727,87	1 067,29	S/873,79	403
3 144,88	S/2 939,98	703,31	1 051,42	S/890,94	516
3055	S/3 020,31	786	1030	S/914,07	498

**Fuente: Elaboración Propia**

**Anexo 8: Resultados del programa LINGO**

```

Global optimal solution found.
Objective value:                9970.800
Infeasibilities:                0.000000
Total solver iterations:        15
Elapsed runtime seconds:        0.67

Model Class:                    LP

Total variables:                25
Nonlinear variables:            0
Integer variables:              0

Total constraints:              11
Nonlinear constraints:          0

Total nonzeros:                75
Nonlinear nonzeros:            0

```

Variable	Value	Reduced Cost
COST( T1, T1)	3593.800	0.000000
COST( T1, T2)	3593.800	0.000000
COST( T1, T3)	3378.170	0.000000
COST( T1, T4)	2407.850	0.000000
COST( T1, T5)	2407.850	0.000000
COST( T2, T1)	3593.800	0.000000
COST( T2, T2)	3593.800	0.000000
COST( T2, T3)	3378.170	0.000000
COST( T2, T4)	2407.850	0.000000
COST( T2, T5)	2407.850	0.000000
COST( T3, T1)	2411.800	0.000000
COST( T3, T2)	2411.800	0.000000
COST( T3, T3)	2267.100	0.000000
COST( T3, T4)	1615.910	0.000000
COST( T3, T5)	1615.910	0.000000
COST( T4, T1)	1444.000	0.000000
COST( T4, T2)	1444.000	0.000000
COST( T4, T3)	1357.390	0.000000
COST( T4, T4)	967.5000	0.000000
COST( T4, T5)	967.5000	0.000000
COST( T5, T1)	1444.000	0.000000
COST( T5, T2)	1444.000	0.000000
COST( T5, T3)	1357.390	0.000000
COST( T5, T4)	967.5000	0.000000
COST( T5, T5)	967.5000	0.000000
X( T1, T1)	0.000000	70.93000
X( T1, T2)	0.000000	70.93000
X( T1, T3)	0.000000	0.000000
X( T1, T4)	0.000000	0.000000
X( T1, T5)	1.000000	0.000000
X( T2, T1)	0.000000	70.93000
X( T2, T2)	0.000000	70.93000
X( T2, T3)	0.000000	0.000000
X( T2, T4)	1.000000	0.000000
X( T2, T5)	0.000000	0.000000
X( T3, T1)	0.000000	0.000000
X( T3, T2)	0.000000	0.000000
X( T3, T3)	1.000000	0.000000
X( T3, T4)	0.000000	319.1300
X( T3, T5)	0.000000	319.1300
X( T4, T1)	0.000000	0.000000
X( T4, T2)	1.000000	0.000000
X( T4, T3)	0.000000	58.09000
X( T4, T4)	0.000000	638.5200
X( T4, T5)	0.000000	638.5200
X( T5, T1)	1.000000	0.000000
X( T5, T2)	0.000000	0.000000
X( T5, T3)	0.000000	58.09000
X( T5, T4)	0.000000	638.5200
X( T5, T5)	0.000000	638.5200

**Fuente: Elaboración Propia**

### Anexo 9: Resultados de estimación de costos eléctricos

<b>C1 a la P2, C2 a la P1, C2 a la P2</b>			
<b>Cargos a facturar (MT3)</b>	<b>Consumo a facturar</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>Importe</b>
Cargo fijo	-	S/ 11,56	S/ 11,56
Energía activa en horas punta (a)	22 650 kW.h	S/ 0,1323 /kW.h	S/ 2 996,60
Energía activa en horas fuera de punta (b)	86 164 kW.h	S/ 0,1055 /kW.h	S/ 8 984,80
Potencia de generación fuera de punta (c)	151 kW	S/ 35,06 /kW	S/ 5 294,06
Potencia por uso de redes fuera de punta (d)	151 kW	S/ 15,73 /kW	S/ 2 375,23
<b>Total</b>			<b>S/ 19 662,25</b>
<b>C1 a la P3, C2 a la P3</b>			
<b>Cargos a facturar (MT3)</b>	<b>Consumo a facturar</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>Importe</b>
Cargo fijo	-	S/ 11,56	S/ 11,56
Energía activa en horas punta (a)	22 650 kW.h	S/ 0,1323 /kW.h	S/ 2 996,60
Energía activa en horas fuera de punta (b)	78 822 kW.h	S/ 0,1055 /kW.h	S/ 8 315,72
Potencia de generación fuera de punta (c)	151 kW	S/ 35,06 /kW	S/ 5 294,06
Potencia por uso de redes fuera de punta (d)	151 kW	S/ 15,73 /kW	S/ 2 375,23
<b>Total</b>			<b>S/ 18 993,17</b>
<b>C1 a la P4, C1 a la P5, C2 a la P4, C2 a la P5</b>			
<b>Cargos a facturar (MT3)</b>	<b>Consumo a facturar</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>Importe</b>
Cargo fijo	-	S/ 11,56	S/ 11,56
Energía activa en horas punta (a)	22 650 kW.h	S/ 0,1323 /kW.h	S/ 2 996,60
Energía activa en horas fuera de punta (b)	49 377 kW.h	S/ 0,1055 /kW.h	S/ 5 209,27
Potencia de generación fuera de punta (c)	151 kW	S/ 35,06 /kW	S/ 5 294,06
Potencia por uso de redes fuera de punta (d)	151 kW	S/ 15,73 /kW	S/ 2 375,23
<b>Total</b>			<b>S/ 15 886,72</b>
<b>C3 a la P1, C3 a la P2</b>			
<b>Cargos a facturar (MT3)</b>	<b>Consumo a facturar</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>Importe</b>
Cargo fijo	-	S/ 11,56	S/ 11,56
Energía activa en horas punta (a)	14 850 kW.h	S/ 0,1323 /kW.h	S/ 1 964,66
Energía activa en horas fuera de punta (b)	58 806 kW.h	S/ 0,1055 /kW.h	S/ 6 078,70
Potencia de generación fuera de punta (c)	99 kW	S/ 35,06 /kW	S/ 3 470,94
Potencia por uso de redes fuera de punta (d)	99 kW	S/ 15,73 /kW	S/ 1 557,27
<b>Total</b>			<b>S/ 13 083,12</b>
<b>C3 a la P3</b>			
<b>Cargos a facturar (MT3)</b>	<b>Consumo a facturar</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>Importe</b>
Cargo fijo	-	S/ 11,56	S/ 11,56
Energía activa en horas punta (a)	14 850 kW.h	S/ 0,1323 /kW.h	S/ 1 964,66
Energía activa en horas fuera de punta (b)	56 430 kW.h	S/ 0,1055 /kW.h	S/ 5 608,70
Potencia de generación fuera de punta (c)	99 kW	S/ 35,06 /kW	S/ 3 470,94
Potencia por uso de redes fuera de punta (d)	99 kW	S/ 15,73 /kW	S/ 1 557,27
<b>Total</b>			<b>S/ 12 613,12</b>
<b>C3 a la P4, C3 a la P5</b>			

<b>Cargos a facturar (MT3)</b>	<b>Consumo a facturar</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>Importe</b>
Cargo fijo	-	S/ 11,56	S/ 11,56
Energía activa en horas punta (a)	14 850 kW.h	S/ 0,1323 /kW.h	S/ 1 964,66
Energía activa en horas fuera de punta (b)	36 234 kW.h	S/ 0,1055 /kW.h	S/ 3 540,94
Potencia de generación fuera de punta (c)	99 kW	S/ 35,06 /kW	S/ 3 470,94
Potencia por uso de redes fuera de punta (d)	99 kW	S/ 15,73 /kW	S/ 1 557,27
<b>Total</b>			S/ 10 545,11

**C4 a la P1, C4 a la P2, C5 a la P1, C5 a la P2**

<b>Cargos a facturar (MT3)</b>	<b>Consumo a facturar</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>Importe</b>
Cargo fijo	-	S/ 11,56	S/ 11,56
Energía activa en horas punta (a)	6 750 kW.h	S/ 0,1323 /kW.h	S/ 893,03
Energía activa en horas fuera de punta (b)	26 730 kW.h	S/ 0,1055 /kW.h	S/ 3 859,72
Potencia de generación fuera de punta (c)	45 kW	S/ 35,06 /kW	S/ 1 577,70
Potencia por uso de redes fuera de punta (d)	45 kW	S/ 15,73 /kW	S/ 707,85
<b>Total</b>			S/ 7 049,85

**C4 a la P1, C4 a la P2, C4 a la P3, C5 a la P1, C5 a la P2, C5 a la P3**

<b>Cargos a facturar (MT3)</b>	<b>Consumo a facturar</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>Importe</b>
Cargo fijo	-	S/ 11,56	S/ 11,56
Energía activa en horas punta (a)	6 750 kW.h	S/ 0,1323 /kW.h	S/ 893,03
Energía activa en horas fuera de punta (b)	26 730 kW.h	S/ 0,1055 /kW.h	S/ 3 589,11
Potencia de generación fuera de punta (c)	45 kW	S/ 35,06 /kW	S/ 1 577,70
Potencia por uso de redes fuera de punta (d)	45 kW	S/ 15,73 /kW	S/ 707,85
<b>Total</b>			S/ 6 779,25

**C4 a la P4, C4 a la P5, C5 a la P4, C5 a la P5**

<b>Cargos a facturar (MT3)</b>	<b>Consumo a facturar</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>Importe</b>
Cargo fijo	-	S/ 11,56	S/ 11,56
Energía activa en horas punta (a)	6 750 kW.h	S/ 0,1323 /kW.h	S/ 893,03
Energía activa en horas fuera de punta (b)	25 650 kW.h	S/ 0,1055 /kW.h	S/ 1 780,31
Potencia de generación fuera de punta (c)	45 kW	S/ 35,06 /kW	S/ 1 577,70
Potencia por uso de redes fuera de punta (d)	45 kW	S/ 15,73 /kW	S/ 707,85
<b>Total</b>			S/ 4 970,45

**Fuente: Elaboración Propia**

### Anexo 10: Análisis Beneficio Costo (B/C)

<b>Costo por mantenimiento</b>		<b>Costo por compresor</b>		<b>Costo total</b>	
-	Limpieza interior de aceites y carbonillas.	S/	67.00	S/	335.00
-	Mantenimiento de válvulas de seguridad.	S/	54.00	S/	270.00
-	Mantenimiento de manómetros.	S/	54.00	S/	270.00
-	Inspección y limpieza.	S/	72.00	S/	360.00
-	Engrase y acondicionamiento de tuberías.	S/	89.00	S/	445.00
<b>Total costo de mantenimiento</b>		S/	336.00	S/	1,680.00
<b>Costo de reasignación</b>		<b>Sueldo por hora</b>		<b>Costo total</b>	
-	Técnicos externos	S/	18.00	S/	2,592.00
-	Jefe de planta	S/	20.83	S/	1,500.00
<b>Total costo de reasignación</b>		S/	38.83	S/	4,092.00
<b>Costo por días no trabajados</b>		<b>Costo por día</b>		<b>Costo total</b>	
-	Pérdida en ventas del compresor 1	S/	1,200.00	S/	3,600.00
-	Pérdida en ventas del compresor 2	S/	1,200.00	S/	3,600.00
-	Pérdida en ventas del compresor 4	S/	804.00	S/	2,412.00
-	Pérdida en ventas del compresor 5	S/	804.00	S/	2,412.00
<b>Total costo por utilidades no percibidas</b>		S/	4,008.00	S/	12,024.00
<b>Costo de capacitación en planificación de la producción</b>		<b>Costo por capacitación</b>		<b>Costo total</b>	
-	Capacitador externo	S/	80.00	S/	160.00
-	Horas laborales de los 8 operarios	S/	200.00	S/	400.00
<b>Total costo por capacitación</b>		S/	280.00	S/	560.00
<b>Costo total de la implementación de la propuesta</b>				<b>S/ 18,356.00</b>	
<b>Beneficios de la implementación de la propuesta</b>					
-	Costo eléctrico mensual actual	S/	60,524.67	S/	121,049.34
-	Costo eléctrico mensual con la mejora	S/	30,867.58	S/	61,735.16
<b>Total beneficio por la implementación de la mejora</b>				<b>S/ 59,314.18</b>	
<b>Análisis Beneficio Costo (B/C)</b>				<b>S/ 3.23</b>	

Fuente: Elaboración Propia