

Soluciones de Ingeniería Aplicadas a Problemas en la Industria

Angélica María Torregroza Espinosa

José Luis Ruiz Meza

Editores/compiladores



Soluciones de Ingeniería Aplicadas a Problemas en la Industria

Angélica María Torregroza Espinosa y José Luis Ruiz Meza
Editores/compiladores

Autores

Keren Inés Barboza Luna	Jesús Sierra Manrique
Camilo Fabián Cáceres Mercado	Gustavo Vergara Hoyos
Sandra Marcela Figueroa Alvis	German Aguas Jiménez
Diego Andrés Mayoriano Contreras	José Ruiz-Meza
Laura Marcela Chavarro Pérez	María Burgos Díaz
Cristian David Tapias Torres	Paula Martínez Rivero
Andrea Valentina Hernández Franco	Yeison Madera Angulo
Narly Dayana Terán Corro	Frank Camilo Atencio Loreth
Angie Carolina González Tovar	Daniel Eduardo Bolaño Villalba
Jhair José Jaraba Medina	Gean Pablo Mendoza Ortega
Valeria Rivera Cárdenas	Eduard de Jesús Díaz Ramos
Melissa Isabel Vides Villadiego	María José Torres Mancera
Leonardo Arcos Domínguez	Julio Adrián Orozco Guevara
Rohonal Rodríguez Salgado	Angélica Torregroza Espinosa
William Torres Meza	Desmond Mejía Ayala
Ronaldo Vecino Vargas	Diego Carrillo Carvajal
Fernando Morales Botero	Karina Velásquez Flórez
Harold Martínez García	Dairo Alfredo Causil Zúñiga


CECAR
EDITORIAL

2021

Este libro es resultado de investigación, evaluado bajo el sistema doble ciego por pares académicos.

Corporación Universitaria del Caribe–CECAR

Rector

Noel Morales Tuesca

Vicerrector Académico

Alfredo Flórez Gutiérrez

Vicerrector de Extensión y Relaciones Interinstitucionales

Liliana Patricia Álvarez Ruiz

Decano de la Facultad de Facultad de Ciencias Básicas, Ingeniería y Arquitectura

Andrés Alberto Viloria Sequeda

Coordinador Editorial CECAR

Jorge Luis Barboza

Editorial.cecicar@cecicar.edu.co

Colección Investigación

© 2021. Soluciones de ingeniería aplicadas a problemas en la industria.

ISBN: 978-628-7515-06-2 (digital)

DOI: <https://doi.org/10.21892/9786287515062>

Editores/compiladores: Angélica María Torregroza Espinosa y José Luis Ruiz WMeza.

Autores: Keren Inés Barboza Luna, Camilo Fabián Cáceres Mercado, Sandra Marcela Figueroa Alvis, Diego Andrés Mayoriano Contreras, Laura Marcela Chavarro Pérez, Cristian David Tapias Torres, Andrea Valentina Hernández Franco, Narly Dayana Terán Corro, Angie Carolina González Tovar, Jhair José Jaraba Medina, Valeria Rivera Cárdenas, Melissa Isabel Vides Villadiego, Leonardo Arcos Domínguez, Rohonal Rodríguez Salgado, William Torres Meza, Ronaldo Vecino Vargas, Fernando Morales Botero, Harold Martínez García, Jesús Sierra Manrique, Gustavo Vergara Hoyos, German Aguas Jiménez, José Ruiz-Meza, María Burgos Díaz, Paula Martínez Rivero, Yeison Madera Angulo, Frank Camilo Atencio Loreth, Daniel Eduardo Bolaño Villalba, Gean Pablo Mendoza Ortega, Eduard de Jesús Díaz Ramos, María José Torres Mancera, Julio Adrián Orozco Guevara, Angélica Torregroza Espinosa, Desmond Mejía Ayala, Diego Carrillo Carvajal, Karina Velásquez Flórez, Dairo Alfredo Causil Zúñiga.

Sincelejo, Sucre, Colombia.

Soluciones de ingeniería aplicadas a problemas en la industria / editores, compiladores, Angélica María Torregroza Espinosa y José Luis Ruiz Meza ; autores, Keren Inés Barboza Luna ... [y otros treinta y tres]. -- Sincelejo : Editorial CECAR, ©2021.

178 páginas : ilustraciones, figuras, tablas

Colección Investigación

Incluye referencias al final de cada capítulo

ISBN: 978-628-7515-06-2 (digital)

1. Planificación de la producción 2. Control de calidad 3. Investigación operacional 4. Ingeniería de la producción 5. Logística empresarial 6. Control de la producción I. Torregroza Espinosa, Angélica María, editora II. Ruiz Meza, José Luis, editor III. Título.

658.5 S691 2021

CDD 22 ed.

CEP - Corporación Universitaria del Caribe, CECAR. Biblioteca Central - COSiCUC

Tabla de Contenido

<i>Introducción</i>	5
---------------------------	---

CAPÍTULO 1

<i>Diseño de estrategias para el mejoramiento continuo de la calidad en el proceso de producción de productos de panadería de una microempresa</i>	8
--	---

Keren Inés Barboza Luna, Camilo Fabián Cáceres Mercado,
Sandra Marcela Figueroa Alvis, Diego Andrés Mayoriano Contreras

CAPÍTULO 2

<i>Modelo de programación entera mixta para el aprovisionamiento y la planeación de la producción en una vidriería del departamento de Sucre</i>	28
--	----

Laura Marcela Chavarro Pérez, Cristian David Tapias Torres,
Andrea Valentina Hernández Franco, Narly Dayana Terán Corro,
Angie Carolina González Tovar

CAPÍTULO 3

<i>Aplicación del estudio de métodos y tiempos a la panadería Bocados</i>	45
---	----

Jhair José Jaraba Medina, Valeria Rivera Cárdenas,
Melissa Isabel Vides Villadiego

CAPÍTULO 4

<i>Modelo de ruteo capacitado con flota heterogénea para la distribución de pedidos: caso aplicado a una empresa ladrillera de la ciudad de Sincelejo, Sucre</i>	69
--	----

Leonardo Arcos Domínguez, Rohonal Rodríguez Salgado,
William Torres Meza, Ronaldo Vecino Vargas

Contenido

CAPÍTULO 5

Modelo de ruteo de vehículos capacitado y multiproducto aplicado a una empresa distribuidora de materiales para la construcción en Sincelejo, Sucre 85

Fernando Morales Botero, Harold Martínez García,
Jesús Sierra Manrique, Gustavo Vergara Hoyos

CAPÍTULO 6

Aplicación de metodologías para la eficiencia de la cadena de suministro: caso aplicado a una empresa de calzado en el municipio de Chinú, Córdoba 105

German Aguas Jiménez, José Ruiz-Meza, María Burgos Díaz,
Paula Martínez Rivero, Yeison Madera Angulo

CAPÍTULO 7

Análisis, modelado y simulación de un sistema de colas en el sector bancario utilizando el software ProModel..... 125

Frank Camilo Atencio Loreth, Daniel Eduardo Bolaño Villalba,
Gean Pablo Mendoza Ortega, Eduard de Jesús Díaz Ramos

CAPÍTULO 8

Diseño de un Modelo de Inventarios (EOQ) y Simulación en Redes de Petri para una empresa artesanal productora y comercializadora de trapeadores..... 150

María José Torres Mancera, Julio Adrián Orozco Guevara,
Angélica Torregroza Espinosa, Desmond Mejía Ayala

CAPÍTULO 9

La importancia del cálculo integral en la ingeniería, caso específico: volumen de oleoductos ortogonales..... 170

Diego Carrillo Carvajal, Karina Velásquez Flórez,
Dairo Alfredo Causil Zúñiga

La ingeniería es una disciplina clave para dar solución a los diferentes problemas asociados a la producción, calidad, costos, investigación de operaciones, entre otros aspectos de la vida cotidiana. Esta disciplina ligada a la tecnología, innovación y desarrollo pretende mejorar las condiciones de vida de las personas desde el aprovechamiento de los conocimientos, técnicas y herramientas que permitan diseñar y construir soluciones.

En este sentido, la necesidad de aprender a diseñar y construir es inherente a la ingeniería. Se considera como uno de los rasgos que componen el concepto de la ingeniería desde su enfoque diferenciador de las ciencias básicas, y que es validado desde lo disciplinar por las ciencias de la ingeniería. Estas últimas, se reconocen como herramientas que permiten alcanzar o implementar metas a través del proceso de diseño. Así bien, en el proceso de diseño de soluciones a problemas reales a través de la ingeniería, se aplica una amplia gama de herramientas asociadas entre otros campos, a la gestión de la calidad y la investigación de operaciones. Las herramientas pueden basarse en control de la calidad, modelos de inventarios, de transporte, almacenamiento, selección de proveedores, pronósticos, producción, localización de centros, distribución en planta, entre otras. El objetivo de estos diseños consiste en encontrar soluciones exactas o aproximadas; desde el campo de la investigación de operaciones, se focaliza el desarrollo de modelos de optimización, simulación o combinaciones de estos, que permitan tomar decisiones eficientes.

Los problemas reales son complejos, debido a que incluyen diversos parámetros y condiciones propios del problema. Por lo cual, los modelos y herramientas deben adaptarse a estas situaciones para generar buenas soluciones con el menor uso de recursos, tomando en cuenta que la optimización de los recursos es uno de los objetivos clave de la ingeniería.

Introducción

En este libro se compila un total de nueve artículos resultados de procesos de investigación aplicados en casos reales. Cada uno estudia y resuelve un problema a través de la aplicación de herramientas de calidad, optimización o simulación. Con estos artículos se generan aportes a la literatura y ejemplos que pueden ser replicados en diferentes casos y contextos que mantengan las condiciones principales de cada problema estudiado. Principalmente, se desarrollan modelos de transporte y ruteo, modelos de planeación de la producción, modelos de inventarios, simulación con base en teoría de colas, y en menor medida, modelos de mejoramiento continuo. Los resultados de cada diseño evidencian mejoras significativas que permiten solucionar los problemas estudiados de manera eficiente.

Angélica María Torregroza Espinosa y José Luis Ruiz Meza
Compiladores

CAPÍTULO 1



Diseño de estrategias para el mejoramiento continuo de la calidad en el proceso de producción de productos de panadería de una microempresa

Keren Inés Barboza Luna¹, Camilo Fabián Cáceres Mercado²,
Sandra Marcela Figueroa Alvis³, Diego Andrés Mayoriano Contreras⁴

Resumen

La calidad de los bienes de servicios depende de la gestión de varios factores, dentro de los cuales podemos mencionar el control de las operaciones que dan como resultado dichos bienes y servicios. Este control operacional puede hacerse a través del control estadístico de procesos, el cual utiliza una serie de métodos y procedimientos que permiten el monitoreo y análisis de los procesos, con el fin de lograr su estabilidad y mejorar la capacidad de los mismos en términos de cumplir con las especificaciones de los productos fabricados. A pesar de la importancia del control estadístico de procesos, es posible afirmar que son pocas las micro y pequeñas empresas que aplican estos métodos en el departamento de Sucre, por lo cual estas desconocen el comportamiento estadístico de sus procesos, lo que impide una adecuada toma de decisiones en aras de su mejoramiento continuo. Si una empresa no mejora continuamente los procesos se aleja del camino de la calidad, lo cual repercute negativamente en la productividad y competitividad de la misma. En consecuencia, con lo anteriormente expuesto, se realiza este estudio con el ánimo de contribuir en la búsqueda de la calidad por parte de la microempresa

1 Ingeniera Industrial. Corporación Universitaria del Caribe-CECAR. Correo: keren.barboza@cecar.edu.co; Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8998-8112>

2 Ingeniero Industrial. Corporación Universitaria del Caribe-CECAR. Correo: camilo.caceres@cecar.edu.co; Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5077-7331>

3 Ingeniera Industrial. Corporación Universitaria del Caribe-CECAR. Correo: sandra.figueroa@cecar.edu.co; Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8382-1266>

4 Ingeniero Industrial. Corporación Universitaria del Caribe-CECAR. Correo: diego.mayoriano@cecar.edu.co; Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-5820-6800>

considerada para el mismo. Las aplicaciones de estas metodologías permitieron identificar los principales problemas de calidad de la empresa y diseñar estrategias para la eliminación de las causas principales de los mismos, entre las cuales podemos mencionar: estandarizar el proceso de medición de la cantidad de ingredientes a utilizar, establecer programas de capacitación y la adquisición de herramientas de corte de mayor precisión.

Palabras clave: cartas de control, pruebas de normalidad, diagrama de causa-efecto, calidad, matriz AMEF.

Design of strategies for continuous quality improvement in the production process of bakery products of a microenterprise

Abstract

The quality of the goods of services depends on the management of several factors, within which we can mention the control of the operations that result in said goods and services. This operational control can be done through the statistical control of processes which uses a series of methods and procedures that allow the monitoring and analysis of the processes in order to achieve their stability and improve their capacity in terms of complying with the specifications of the products manufactured. Despite the importance of statistical process control, it is possible to affirm that there are few micro and small companies that apply these methods in the department of Sucre, so they are unaware of the statistical behavior of their processes, which prevents adequate decision-making. for the continuous improvement of processes. If a company does not continuously improve processes, it moves away from the path of quality, which negatively affects its productivity and competitiveness. Consequently, with the above, this study is carried out with the aim of contributing to the search for quality by the micro-company considered for it. The applications of these methodologies allowed to identify the main problems of quality of the company and to design strategies for the elimination of the main causes of the same

Keywords: control charts, normality tests, cause-effect diagram, quality, AMEF matrix.

Introducción

Hoy en día, la calidad es fundamental para cualquier empresa pues muestra que los procesos están marchando correctamente y que se están obteniendo productos de excelencia: el control estadístico de la calidad es una pieza clave para la obtención de esta. Asimismo, aplicar control de la calidad a todos los procesos de la empresa permite mejorar de forma continua la organización, aumentando la rentabilidad del negocio y el grado de satisfacción del cliente (Gutiérrez, 2009). Es por esto que el presente estudio tiene como objetivo evaluar el proceso de pesaje de tres tipos de panes, en donde la variable que se pretende estudiar es la siguiente:

X: “Peso en gramos del pan ocañero, pan integral y pan francés”

La justificación de la variable seleccionada radica en que los panaderos no utilizan instrumentos de medición para el pesaje del pan, debido a que la panadería no cuenta con dichas herramientas, motivo por el cual el tamaño del pan es variable. La realización del presente estudio obedece a motivos económicos, dado que la aplicación de estrategias que eviten los problemas que se encuentran en el proceso del pesaje del pan permitirá reducir costes y maximizar beneficios. En este sentido, el objetivo del estudio es observar la variación del tamaño de cada pan, teniendo en cuenta el valor nominal y la tolerancia establecida en la panificadora; para ello se utilizan herramientas de control de calidad como histogramas, pruebas de normalidad, cartas de control, entre otras. Posteriormente se muestran los resultados obtenidos, las conclusiones y recomendaciones.

Materiales y métodos

Para la recolección de información se realizó la medición del peso de los panes (pan ocañero, pan integral, pan francés) en gramos. Para ello, se tomaron 4 muestras de tamaño 36 para el pan ocañero y pan integral; y de tamaño 45, para el pan francés. A continuación, se muestra la tabla 1, la cual indica el valor nominal y la tolerancia del peso neto de cada pan. Posteriormente, en la tabla 2 se muestra la media y la desviación estándar del peso neto de los tres panes objeto de estudio. De la tabla 2 se puede

inferir que el pan que presenta mayor dispersión de datos con respecto a la media es el pan ocañero.

Tabla 1
Valor nominal y tolerancia del peso neto (gr) de los panes que son objeto de estudio.

	Pan ocañero	Pan integral	Pan francés
Nominal	28	75	80
Tolerancia	2	3	3
Total datos	36	72	45

Nota. Fuente: construcción propia.

Tabla 2
Datos de tendencia central del peso neto de los panes.

Tipos de pan / medidas de tendencia central	Pan ocañero	Pan integral	Pan francés
Media	28,44	81,23	74,55
Desviación estándar	1,58	0,75	0,82

Nota. Fuente: construcción propia

Luego de obtener los datos necesarios para realizar el estudio de calidad, se hicieron un histograma y pruebas de normalidad con el fin de observar, de forma gráfica, la distribución de peso de los panes para comprobar que los datos tuvieran un comportamiento normal (Cartín et al., 2014). Para los cálculos y la elaboración del histograma de frecuencia fue necesario tomar la primera muestra del peso de los panes y su respectivo valor nominal, estos histogramas fueron realizados en los softwares Minitab y Excel (Rubio, Angeles, Soto, & Toma, 1995). Para su elaboración en Excel se procedió a efectuar los siguientes pasos:

1) Se determinó el máximo y el mínimo de los datos.

2) Se calculó el rango

$$R = X_{max} - X_{min} \quad (1)$$

3) Se calculó el número de clases

$$m = 1 + 3,3 * \log(n) \quad (2)$$

4) Se calculó la amplitud de clase

5) Se determinaron las clases y las frecuencias de clase.

$$C = \frac{\text{Rango}}{\text{número de clases (m)}} \quad (3)$$

Para probar que los datos tuvieran una distribución normal, se realizó el test de Kolmogorov. Este indicador se aplica con el fin de probar la hipótesis de normalidad de la población que se estudia; para su realización se ejecutaron los siguientes pasos:

1) Se creó una columna con un consecutivo que va desde 1 hasta el número del tamaño de la muestra.

2) Se creó una columna con los datos ordenados de menor a mayor.

3) Se calculó el cociente

4) Se calculó la probabilidad de que se asuman valores menores o iguales a cada uno de los datos muestrales, con la siguiente función de Excel

distr.norm.n(dato muestral;media;desv_estandar;1)

5) Se halló la diferencia entre la columna del cociente y la de la probabilidad

diferencia=cociente-probabilidad (5)

6) Se determinaron los valores absolutos de la diferencia y el valor mayor.

7) Se comparó el mayor valor hallado (mayor valor absoluto) en el paso anterior con el valor correspondiente a la tabla.

Luego de comprobar que los datos se distribuyen de forma normal, se aplican las cartas de control, con la finalidad de detectar variabilidad en el proceso (Rivera García, 2011); esta herramienta permite observar si el proceso se encuentra bajo control estadístico (Gutiérrez, 2009). Para su aplicación, se procedió a efectuar los siguientes cálculos:

1) Se recolectaron las cuatro muestras.

2) Se calculó la media para cada subgrupo mediante la siguiente ecuación:

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n x_i / n \quad (6)$$

Donde n= tamaño de cada subgrupo

3) Se calculó la media general

$$\bar{\bar{x}} = \sum_{i=1}^k \bar{x}_i / k \quad (7)$$

Donde k es el número de subgrupos y \bar{x}_i es la media de cada subgrupo.

4) Se calculó el rango

$$R = X_{max} - X_{min} \quad (8)$$

5) Se calculó \bar{R} : para ello se calculó la media del rango

$$\bar{R} = \sum_{i=1}^k R_i / k \quad (9)$$

6) Se calcularon las líneas de control teniendo en cuenta una nueva media y desviación estándar (Rojas, 2006)

$$\mu = \bar{\bar{X}} \quad (10)$$

$$\sigma = \frac{\bar{R}}{d_2} \quad (11)$$

$$\text{Límite de control superior (LCS)} = \bar{\bar{x}} + A_2 * \bar{R} \quad (12)$$

$$\text{Línea central (LC)} = \bar{\bar{x}} \quad (13)$$

$$\text{Límite de control inferior (LCI)} = \bar{\bar{x}} - A_2 * \bar{R} \quad (14)$$

Luego, se determinaron los índices de capacidad de proceso (Mosquera, Artamonova, & Mosquera, 2013), con el propósito de evaluar si el proceso es capaz de cumplir con las especificaciones deseadas. Para esto se tomaron los datos ya descritos anteriormente y el intervalo de

tolerancia de cada uno de los panes. Las respectivas ecuaciones empleadas para determinar los índices de capacidad son las siguientes:

$$Cp = \frac{LES-LEI}{6*\sigma} \quad (15)$$

$$C_{ps} = \frac{LSE-\mu}{3*\sigma} \quad (16)$$

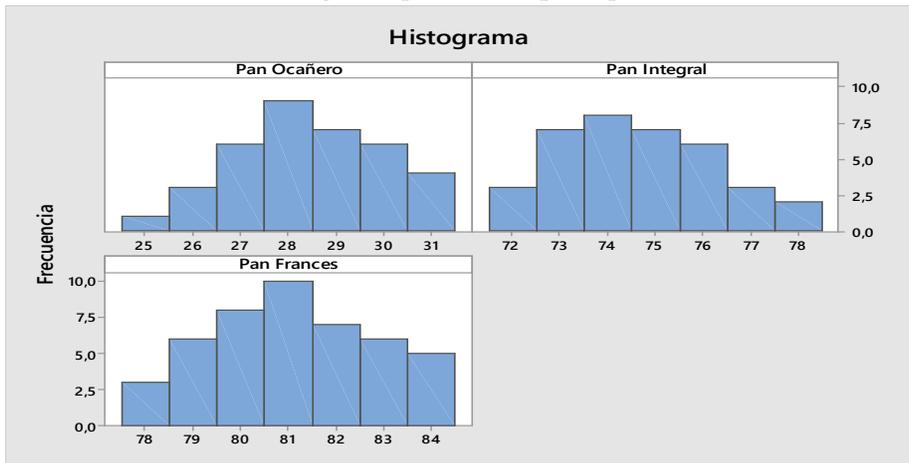
$$C_{pi} = \frac{\mu-LIE}{3*\sigma} \quad (17)$$

Posteriormente, se determinó el porcentaje de productos que se encuentran por fuera de los límites de especificación, es decir, productos defectuosos. El análisis de estos defectos fue realizado a través de un diagrama causa y efecto; este diagrama permite obtener un cuadro, detallado y de fácil visualización, de las diversas causas que pueden originar un determinado efecto o problema. Además, se realizó una matriz AMEF con el fin de analizar las fallas del proceso de pesaje de los panes, para así evaluar y clasificar sus efectos con el fin de evitar su ocurrencia (Cartín, Villarreal, & Morera, 2014).

Resultados y discusión

Por otra parte, para observar la distribución de frecuencia del peso neto de cada pan se realizó un histograma múltiple, el cual se muestra en la figura 1.

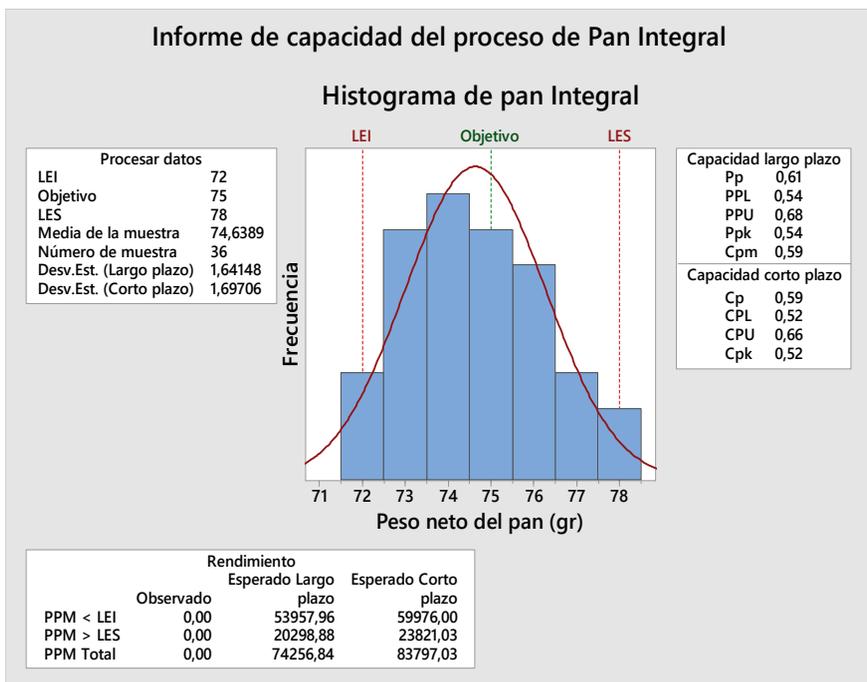
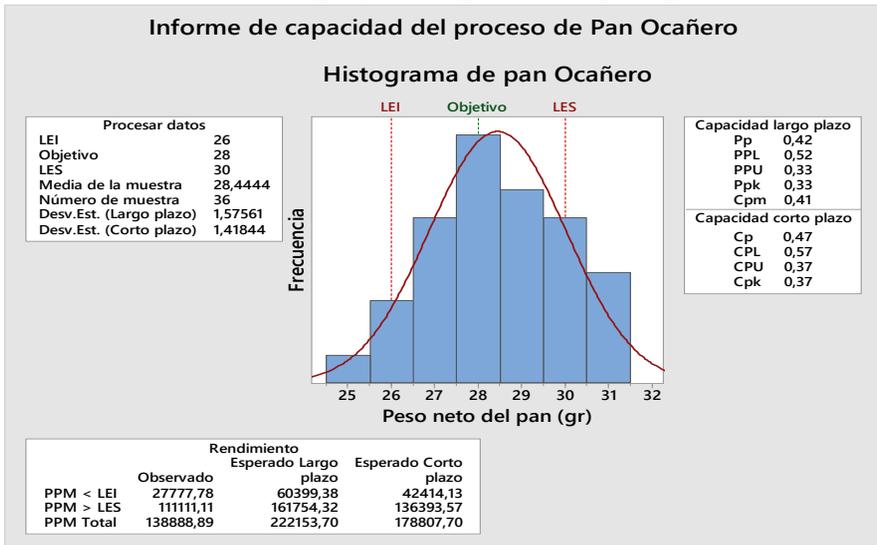
Figura 1
Histograma para cada tipo de pan.

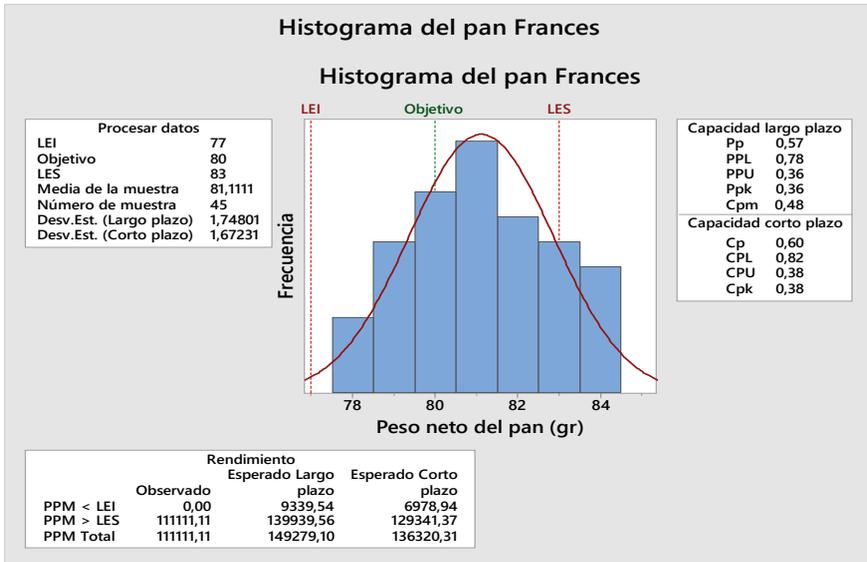


Nota. Fuente: construcción propia

Los anteriores histogramas muestran que los datos se aproximan a una distribución normal. No obstante, se puede observar que el histograma del pan integral se encuentra sesgado a la derecha (sesgo positivo). Del anterior resultado, se puede inferir que el proceso que se realiza está operando bajo los estándares o condiciones de normalidad. Cabe destacar que algunos datos se encuentran por fuera de los límites de especificación (inferior y superior), como se muestra en la figura 2.

Figura 2
Límites de especificación para cada tipo de pan.

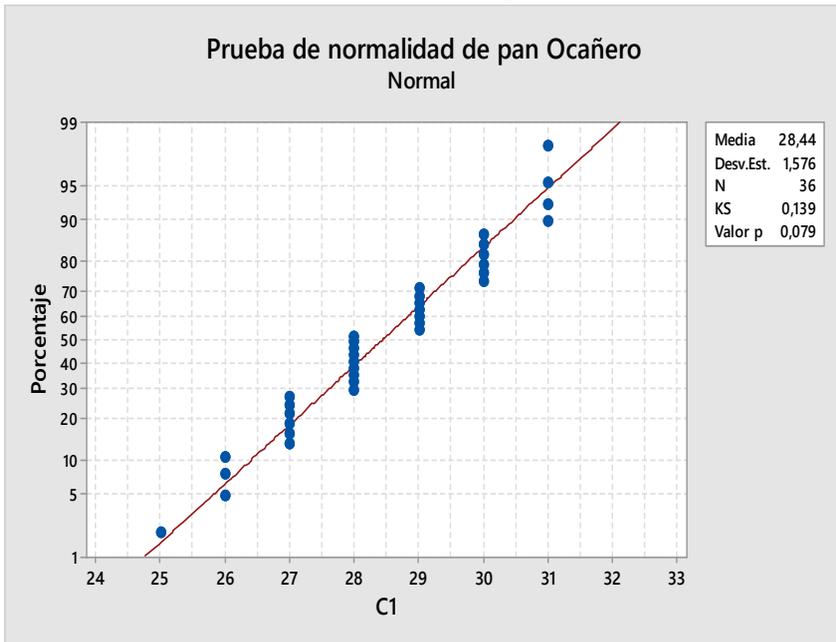




Nota. Fuente: construcción propia

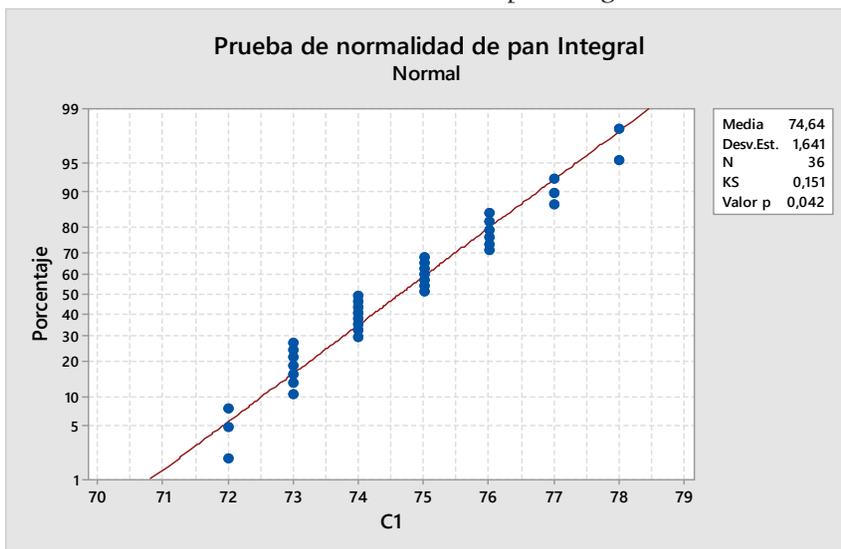
Cabe destacar que, para evaluar el proceso, primero se debe determinar si los datos siguen una distribución normal, puesto que los análisis estadísticos que se desean aplicar se basan en el supuesto de que el comportamiento de los datos es normal. Por lo tanto, para verificar que los datos siguen una distribución normal se realizó una prueba de normalidad, utilizando el test de Kolmogorov (Pedrosa , Juarros, Robles, Basteiro, & Eduardo, 2014), para ello se comprueba la hipótesis de que los datos son normales para un valor . El resultado del test se muestra en las figuras 3, 4 y 5.

Figura 3
Prueba de normalidad del pan ocañero.



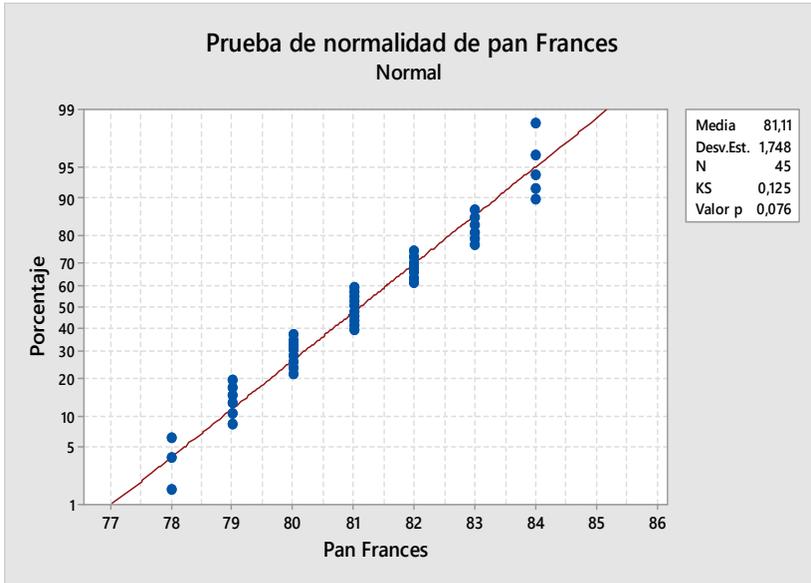
Nota. Fuente: construcción propia

Figura 4
Prueba de normalidad del pan integral.



Nota. Fuente: construcción propia

Figura 5
Prueba de normalidad del pan francés.

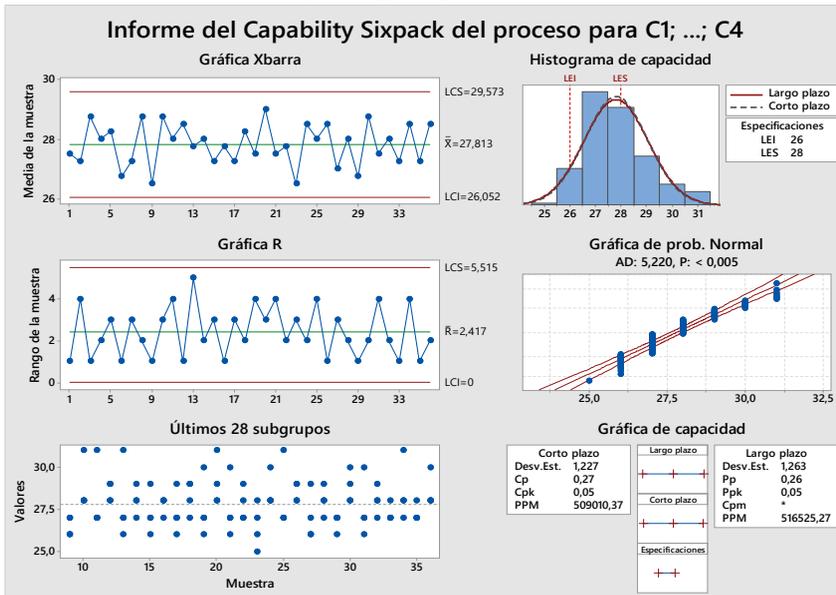


Nota. Fuente: construcción propia

El test para el pan ocañero, pan integral y pan francés arrojó un resultado de 0.139, 0.151 y 0.125, respectivamente. Además, en la gráfica se observa que los valores de para el pan ocañero y pan francés son mayores a 0.05, mientras que para el pan integral el valor de es igual a 0.042, por lo cual la hipótesis nula solo se acepta para el pan ocañero y el pan francés, y se infiere que los datos para estos dos panes se distribuyen de forma normal.

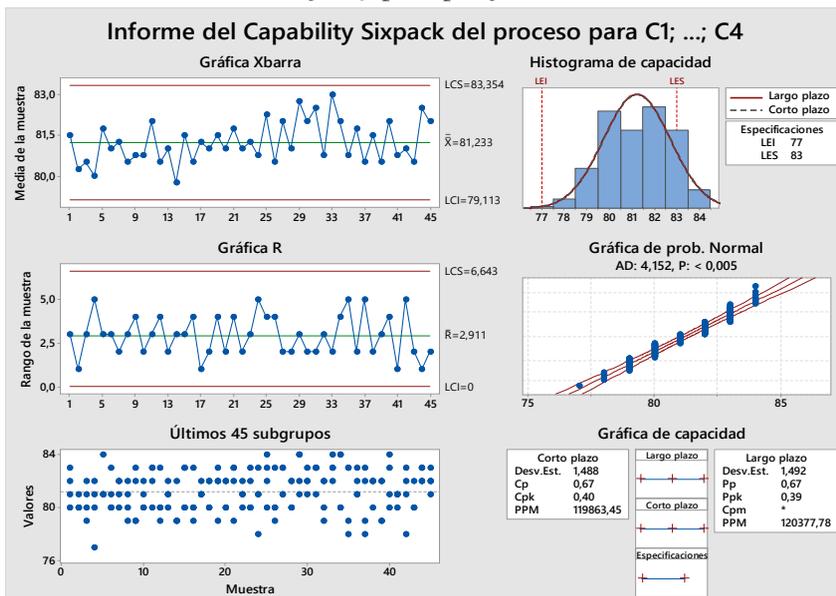
Luego de comprobar que los datos siguieran una distribución normal, se realizaron las cartas y para el pan ocañero y pan francés, con la finalidad de determinar si el proceso es estable o se encuentra bajo control estadístico. Estos gráficos permitirán detectar variaciones e identificar subgrupos que estén fuera de los límites de control o que siguen alguna tendencia. Las figuras 6 y 7 muestran los resultados obtenidos.

Figura 6
Gráfico y para pan ocañero.



Nota. Fuente: construcción propia

Figura 7
Gráfico y para pan francés.



Nota. Fuente: construcción propia

Los gráficos \bar{X} y R para el pan ocañero y francés, muestran que el proceso se encuentra bajo control estadístico, dado que en las gráficas de medias y rangos los resultados de las muestras están dentro de los límites de control. No obstante, en la gráfica \bar{X} para el pan ocañero se observa una tendencia descendente del punto 10 al punto 15, a diferencia del pan francés, el cual no muestra tendencia. Por otra parte, la carta R para el pan ocañero no muestra tendencia o racha, sin embargo, el pan francés muestra breves tendencias. En resumen, las cartas \bar{X} y R mostraron que el proceso se encuentra bajo control, por lo tanto, no es necesario tomar medidas para cumplir con los límites de control, aunque se hace necesario investigar los subgrupos que tienen un comportamiento anormal.

Partiendo de que el proceso se encuentra bajo control, se procede a determinar si el proceso es capaz de cumplir con las especificaciones, mediante los índices de capacidad del proceso. En la siguiente tabla se muestra el resultado.

Tabla 3
Índice de capacidad del proceso.

Tipos de pan / medidas de tendencia central	Pan ocañero	Pan francés
C_p	0,57	0,71
C_{ps}	0,62	0,39
C_{pi}	0,51	1,03
C_{pk}	0,51	0,39
K	9%	45%

Nota. Fuente: construcción propia.

Podemos observar que el índice de capacidad C_p y C_{pk} para el pan ocañero y francés es menor a 1, lo cual indica que el proceso es de grado 3, es decir, no tiene calidad. No obstante, se observa que el límite inferior de especificación del pan francés tiene una calidad parcialmente adecuada (grado 2), sin embargo, el límite de especificación superior no tiene calidad. Del anterior resultado se infiere que el proceso estadísticamente se encuentra bajo control, pero no es capaz de cumplir con las especificaciones. A continuación, se mostrará el porcentaje de productos que no cumple con las especificaciones.

Tabla 4
Porcentaje de defectos de pan ocañoero.

Tipos de pan /% defectos	Pan ocañoero
$P(x>30)$	0,031
$P(x<26)$	0,061
$P(x>30)+P(x<26)$	9,2%

Nota. Fuente: construcción propia.

Tabla 5
Porcentaje de defectos de pan francés.

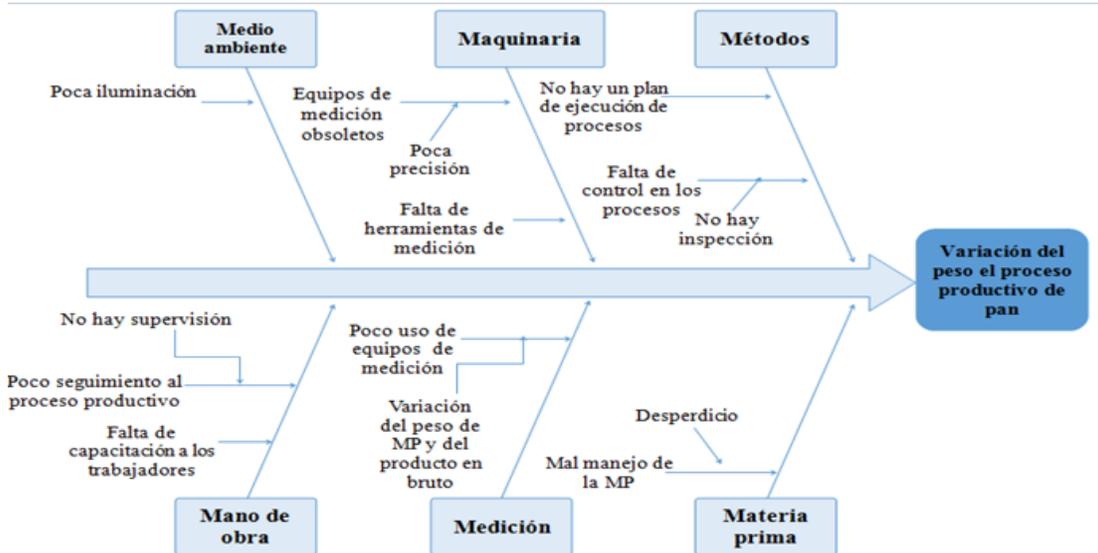
Tipos de pan / % defectos	Pan francés
$P(x>83)$	0,122
$P(x<77)$	0,001
$P(x>30)+P(x<26)$	12%

Nota. Fuente: construcción propia.

Las tablas 4 y 5 muestran que el porcentaje de productos defectuosos para el pan ocañoero es de 9,2% y para el pan francés es de 12%.

Con la anterior información se realizó el análisis de causa y efecto en el proceso de la fabricación de los tipos de panes defectuosos, para así poder encontrar la causa que genera esta inconformidad con las especificaciones y, de esta manera, poder ajustar los procesos. A continuación, se muestra el diagrama de causa-efecto con el cual se organizan, de forma gráfica, las posibles causas del problema específico de la producción.

Figura 8
Diagrama de causa-efecto.



Nota. Fuente: construcción propia.

Con la aplicación de esta herramienta, se identificaron los factores que están provocando que el proceso no marche de la mejor manera; a su vez, se encontraron las diferentes causas y efectos que pueden afectar el proceso, estudiando estos factores bajo el análisis de las 6 M; dicho análisis evalúa los factores de medio ambiente, métodos, materiales, mano de obra, materia prima y mediciones (Andrade, Del Río, & Alvear, 2019).

El principal problema presentado consiste en la mala medición del peso en gramos del pan en bruto, para lo cual se parte de una secuencia de causas las cuales están descritas en el gráfico. Partiendo de una lluvia de ideas para determinar tales causas, este diagrama nos muestra las causas particulares que pueden estar ocasionando que el proceso no marche de buena manera y, asimismo, el efecto que provoca que el pan no cumpla con los estándares de calidad adecuados.

Tabla 5
Matriz AMEF.

Pasos Clave del Proceso	Entradas	Modos de Falla Potenciales	Efectos de Fallas Potenciales	SEV	Causas Potenciales	OCU	Controles de Ocurrencia	DET	PR	Acciones Recomendadas
Pesado de la materia prima	Cantidades de materia prima	Mala administración de la materia prima	Variación del peso en la materia prima utilizada	7	Uso de herramientas poco precisas	8	No hay	9	504	Adquirir mejores herramientas para el pesado de la MP
Mezclado y paso por rodillo eléctrico	Tiempo de mezclado	Poca homogeneidad en la masa	Textura no apropiada	6	Falta de experiencia trabajando con el rodillo eléctrico	2	No hay	2	24	Supervisar el proceso
Mezclado manual	Amasado	Poca homogeneidad en la masa	Textura no apropiada	7	Poco tiempo de amasado manual	2	No hay	3	42	Seguimiento y supervisión del proceso
Reposo de la masa	Tiempo de fermentado	Poco tiempo de reposo	Fallas en el crecimiento de la masa	8	Aceleración en el proceso productivo	2	No hay	3	48	Tener un control del crecimiento de la masa
Corte y pesado de la masa	Métodos de corte y pesado de la masa	Pequeñas variaciones del peso de las porciones de la masa	Volumen y tamaño variado	8	Falta de herramientas de medición	8	No hay	8	512	Adquirir equipos de medición para el peso del producto bruto
Moldeado	Método del moldeado	Variación en el tamaño del producto bruto	Pequeñas deformaciones	7	Personal poco capacitado	2	No hay	3	42	Capacitar constantemente a los empleados en técnicas de repostería
Reposo del producto en bruto	Tiempo de fermentación	Poco tiempo de reposo	Fallas en el crecimiento del pan en bruto	8	Aceleración en el proceso productivo	2	Supervisión del crecimiento y estimación de tiempos de reposo	2	32	Llevar estandarizados los tiempos adecuados para el crecimiento del pan
Horneado	Tiempo de horneado	Falta de atención en el tiempo de horneado	Pan blando, pan duro, color no adecuado	9	No estandarización de los tiempos de horneado	2		2	36	Mejorar un poco los estándares de tiempo de horneado

Nota. Fuente: construcción propia

La matriz de análisis de modo y efecto de falla permite identificar el grado de criticidad de los procesos, basado en su severidad, ocurrencia y detección. Tales medidas pueden influir de manera significativa en la calidad del pan, la cual puede ser percibida por el cliente. En la matriz AMEF se identificaron como fallas potenciales los siguientes aspectos: cantidad de MP utilizada al inicio del proceso, método de corte y pesado de la masa. Al analizar el resultado obtenido en el NPR (Número

Prioritario de Riesgo), se dice que los efectos que mayor afectan el proceso son los mencionados anteriormente. Es necesario dar una pronta solución a estos problemas ya que según el índice NPR presentan un riesgo de falla alto, lo cual no es muy bueno si se quiere obtener una buena calidad.

Conclusiones

La observación de la variación del tamaño de cada pan, teniendo en cuenta el valor nominal y la tolerancia establecida en la panificadora, por medio de las herramientas de control de calidad como histogramas, pruebas de normalidad, cartas de control, entre otras, permitió identificar los principales problemas de calidad de la empresa y diseñar estrategias para la eliminación de las causas primordiales de los mismos. Estas estrategias fueron: la estandarización del proceso de medición de la cantidad de ingredientes a utilizar, el establecimiento de programas de capacitación y la adquisición de herramientas de corte de mayor precisión.

Por otra parte, la aplicación del diagrama de causa- efecto y la implementación de la matriz AMEF permitieron conocer en qué está fallando el proceso e identificar específicamente cuáles son las causas de fallo más críticos, lo cual influyó en la priorización de los mismos para darle una pronta solución al problema.

Referencias

- Andrade, A., Del Río, C., & Alvear, D. (2019). Estudio de Tiempos y Movimientos para Incrementar la Eficiencia en una Empresa de Producción de Calzado. *SCielo*.
- Cartín, A. R., Villarreal, A. T., & Morera, A. (2014). Implementación del análisis de riesgo en la industria alimentaria mediante la metodología AMEF: enfoque práctico y conceptual. *SCielo*.
- Gutiérrez, H. (2009). *CONTROL ESTADÍSTICO DE CALIDAD Y SEIS SIGMA*. México: Mc Graw Hill.
- Mosquera, J. D., Artamonova, I., & Mosquera, J. C. (2013). Diagnóstico del proceso de inspección mediante índices de capacidad. *SCielo*.
- Pedrosa, I., Juarros, J., Robles, A., Basteiro, J., & Eduardo, G. (2014). Pruebas de bondad de ajuste en distribuciones. *SciELO*.
- Pértegas Díaz S., P. F. (2001). La distribución normal. *Unidad de Epidemiología Clínica y Bioestadística*, 1.
- Rivera García, D. (2011). *CARTAS DE CONTROL PARA DATOS FUNCIONALES*.

- Rodríguez, A. I., & Franco, J. R. (2009). Control estadístico de la calidad de un servicio mediante Gráficas X y R. *Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco*, 156.
- Rojas, A. R.-F. (2006). *CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS*. Madrid : universidad pontificia icai.
- Rubio , J., Angeles, J., Soto, Y., & Toma, J. (1995). *Procesamiento Estadístico de Datos con Minitaby Harvard Graphics*. Lima Perú.

CAPÍTULO 2



Modelo de programación entera mixta para el aprovisionamiento y la planeación de la producción en una vidriería del departamento de Sucre

Laura Marcela Chavarro Pérez¹, Cristian David Tapias Torres²,
Andrea Valentina Hernández Franco³, Narly Dayana Terán Corro⁴,
Angie Carolina González Tovar⁵

Resumen

La planeación de la producción es uno de los métodos más importantes para las empresas, pues permite llevar a cabo la organización y control de la producción con el fin de satisfacer las necesidades del mercado. Por esta razón, muchas entidades se ven en la necesidad de aplicar modelos matemáticos para la optimización de sus capacidades y recursos. El siguiente artículo presenta el diseño de un modelo de programación entera mixta como herramienta para la planeación de la producción y aprovisionamiento en una vidriería del departamento de Sucre, donde normalmente se observa la poca disponibilidad para atender la demanda de los seis productos que esta ofrece. Este planteamiento utilizó como metodología el estudio de la cadena de suministro de la empresa, con el propósito de encontrar los problemas que le afectan, plantear el modelo y reescribirlo en el software GAMS, para así determinar la decisión más factible. Lo anterior, teniendo en cuenta el aprovechamiento de su materia prima con respecto a la demanda, el tiempo dedicado a dicha actividad, la

1 Ingeniera Industrial. Corporación Universitaria del Caribe-CECAR. Correo: laura.chavarro@cecar.edu.co; Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-1426-5723>

2 Ingeniero Industrial. Corporación Universitaria del Caribe-CECAR. Correo: cristian.tapias@cecar.edu.co; Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9129-9006>

3 Ingeniera Industrial. Corporación Universitaria del Caribe-CECAR. Correo: andrea.hernandezf@cecar.edu.co; Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-5217-8968>

4 Ingeniera Industrial. Corporación Universitaria del Caribe-CECAR. Correo: narly.teran@cecar.edu.co; Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3514-9625>

5 Ingeniera Industrial. Corporación Universitaria del Caribe-CECAR. Correo: angie.gonzalez@cecar.edu.co; Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0250-4328>

capacidad de sus vehículos para transportar los materiales, los costos que implica y los precios de los productos. Finalmente, se evaluaron los resultados obtenidos enfatizando en las utilidades que se tienen al año, las cantidades exactas a producir, el inventario y la cantidad a pedir de cada material en su respectivo mes para obtener un plan de producción óptimo.

Palabras clave: aprovisionamiento, cadena de suministro, planeación, programación entera mixta.

Mixed whole programming model for the provisioning and planning of production in a glassworks of the department of Sucre

Abstract

The planning of production is one of the most important methods for companies, because it allows to carry out the organization and control of production to meet the needs of the market, therefore, many entities are in need of applying models mathematicians to optimize their capabilities and resources. The following article presents the design of a mixed whole programming model as a tool for the planning of production and procurement in a glassworks in the department of Sucre, where there is usually evidence of the lack of availability to meet the demand of the six products it offers. This approach used as a methodology the study of the supply chain of the company to find the problems that affect it and then raise the model and rewrite it in the Gams software to determine the most feasible decision, taking into account the use of its raw material with Regarding the demand, the time dedicated to this activity, the capacity of its vehicles to transport the materials, the costs involved and the prices of the products. Finally, the results obtained are evaluated, emphasizing in the profits that are obtained per year, the exact quantities to be produced, the inventory and the amount to be requested of each material in its respective month to obtain an optimal production plan.

Key words: provisioning, supply chain, planning, mixed whole programming.

Introducción

Actualmente, muchas empresas manufactureras presentan problemas en la planificación de su producción, debido a las constantes fluctuaciones del mercado, además del mal manejo que tienen en su cadena de suministro, el cual es parte fundamental para generar cambios en sus procesos productivos. Esto conlleva a que, en el mundo empresarial y sobre todo en el sector manufacturero, se note un evidente desconcierto en la falta de atención en la demanda de ciertos productos, siendo la indebida planeación de la producción, el desconocimiento de los problemas en su cadena y la fluctuante demanda en las temporadas del año las principales causas de esta desorganización. Es por ello que resulta importante conocer sobre la cadena de suministro, definida como el conjunto de personas u organizaciones que cooperan entre sí, gestionando cómo se mueve un producto o servicio en toda la cadena, además de las finanzas y la información de la fuente hasta el cliente (Simchi-Levi, 2001).

La cadena de suministros, a nivel mundial, en el sector manufacturero de puertas, ventanas y afines se ha basado en movimientos estocásticos periódicos debido al continuo cambio de la demanda en el mercado, viéndose obligados a cambiar drásticamente su planificación. Algunos estudios realizados en Irán evidencian que ciertas vidrierías han presentado problemas en su proceso productivo, conllevándolos a incursionar en la aplicación de modelos matemáticos para solucionar la problemática de la planificación de su producción, controlando precisamente la demanda por productos y la disminución de los costos (Govindan, 2015). No obstante, a nivel nacional se incurre en la misma incertidumbre, es por esto que, en diversos estudios, como el del V Congreso Internacional de Logística de la Universidad del Rosario, se comprueba que en Colombia existe la necesidad de establecer una mejora en la confiabilidad de sus cadenas de suministro.

El país carece de estructuras sólidas de centros de abastecimiento y esto es evidente en la falta de cumplimientos en un sector específico como es el manufacturero. De igual forma, a nivel departamental se ha evidenciado que son escasos los estudios enfocados en la cadena de suministros de este sector, esto ha sido el resultado de la ausencia de referencias encaminadas al desempeño logístico, puesto que la mayor parte de las empresas en el

departamento trabajan con técnicas tradicionales y sin moderación alguna: la gestión de su propia cadena es una réplica de otras dentro del país.

Un caso particular es la afectación en las vidrierías, debido a la falta de información, pues solo se cuenta con pequeñas fuentes como revistas, prensa y artículos que recopilan fragmentos de datos que no son oportunos ni actuales para el fin necesario. Asimismo, en los municipios donde se ejerce esta actividad del sector de la manufactura, se basan, en su mayoría, en fuentes empíricas de información. (Alianza Estratégica, 2015); (Universidad del Rosario, 2018)

Con base en lo anterior, y después de un análisis detallado en la cadena de suministro de una vidriería, se evidenció que esta cuenta con problemas de planeación, puesto que se desconoce cuánto pedir del material o insumo que se necesita para la elaboración de los productos solicitados frecuentemente. Esto sucede porque, en su proceso de planeación, específicamente en el pedido de insumo a los proveedores, los pedidos no llegan a tiempo (retrasos) y generan un atraso en la entrega del producto final, debido a que la empresa maneja un sistema de producción bajo pedido. A su vez, la mala distribución de las cargas y el trabajo excesivo de los empleados en algunos meses del año generan pérdida del tiempo productivo, lo cual repercute en esta misma situación.

Teniendo en cuenta la situación descrita, se identificó la necesidad de utilizar la programación entera mixta, basándose específicamente en el empleo de un modelo matemático para describir los limitantes del sistema. El adjetivo “entera mixta” denota que todas las funciones matemáticas del modelo han de ser de tipo entera y/o binaria; y, en esencia, el término programación es sinónimo de sistematización, planificación o planeación. De esa forma, “la programación entera mixta involucra la planeación de actividades para obtener el resultado más factible” (Hillier & Lieberman, 2010).

Debido a lo anterior, el objetivo de esta investigación es proponer un modelo de planificación de la producción, entendiéndose como un método para determinar la cantidad a fabricar de los productos, con respecto a lo que demande el mercado y las utilidades que desea tener la empresa, teniendo en cuenta la capacidad de material, transporte y tiempo que posee

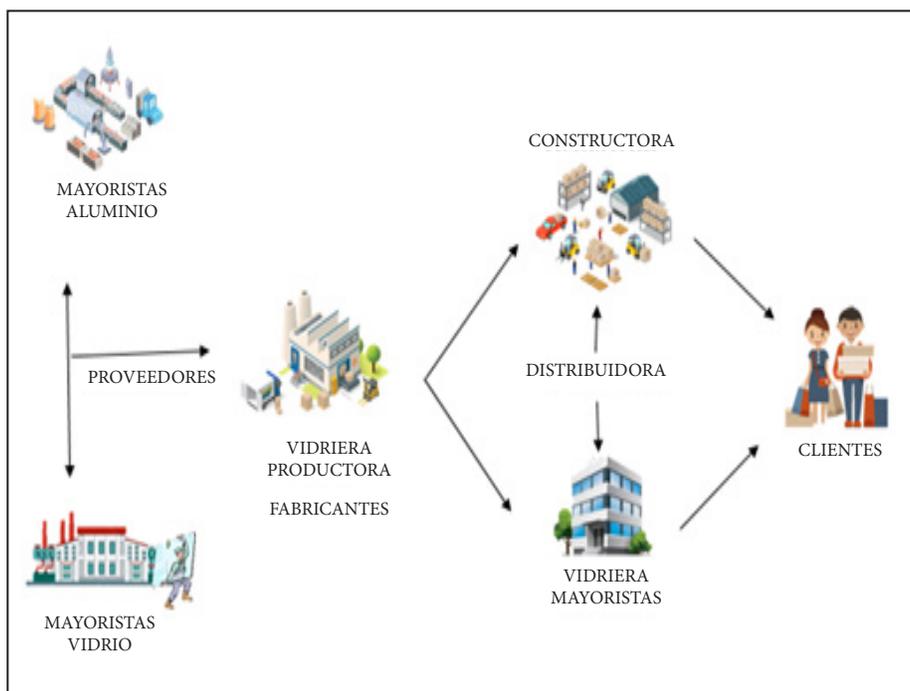
la organización; para establecer así los objetivos acerca de los planes de venta que se tienen, controlar los altos costos y conseguir ser eficientes.

Metodología

Definición del sistema

Se realizó una visita a una vidriería cuya actividad comercial es la fabricación, distribución y venta de puertas, ventanas, entre otros productos a base de vidrio y aluminio, la cual está ubicada en el municipio de Corozal, departamento de Sucre. En esta se identificó su cadena de suministro (figura 1), además de los diferentes eslabones y actores que la conforman; se evidenció que se encuentra ubicada en el segundo eslabón de esta cadena, dentro de la cual se logró conocer las causas de las distintas problemáticas que repercuten en el desempeño óptimo de la empresa.

Figura 1
Cadena de suministro.



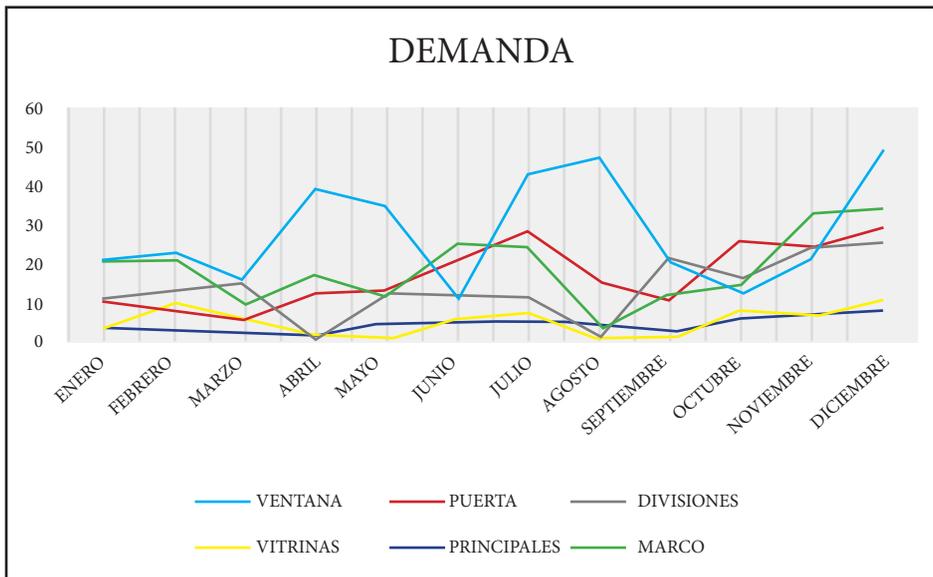
Nota. Fuente: construcción propia.

Formulación del modelo

Para el diseño fue necesario plantear una serie de parámetros y variables como los productos terminados, la demanda, unidades de materia prima, tiempo de procesamiento, tiempos disponibles y costos generados, así como la evaluación de cada uno de los eslabones partícipes de la cadena de suministro, tomando aspectos que los afectan como la demanda y los costos, los cuales se relacionan a continuación:

Demanda. La pronosticación de la demanda fue una herramienta clave para el diseño del modelo, se empleó con el fin de determinar un mínimo a producir en cada mes, atendiendo a las variaciones estadísticas de los mismos. Este dato representa un parámetro del mercado que surge del análisis de un reporte histórico brindado por la empresa. A través del criterio de la suavización exponencial se asigna $\alpha=0,35$ a la demanda del próximo periodo, para lo cual se muestra a continuación la demanda histórica y el respectivo pronóstico.

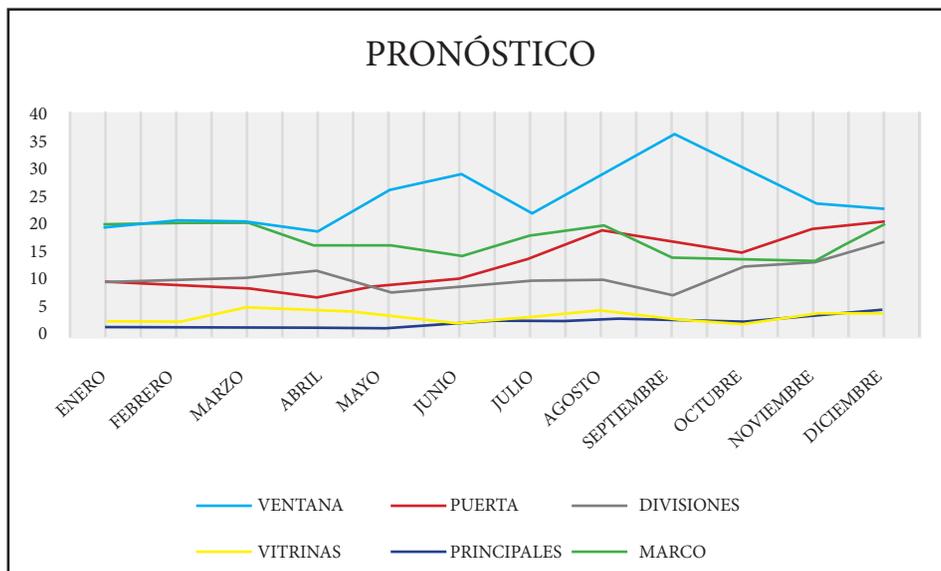
Figura 2
 Demanda histórica de productos.



Nota. Fuente: construcción propia.

La demanda de cada producto necesitó de un diagnóstico futuro para que todo el sistema fuera equivalente en el modelamiento.

Figura 3
Pronóstico de la demanda.



Nota. Fuente: construcción propia.

Materia prima. Teniendo en cuenta el bloque de la demanda, que repercutirá en la cantidad de productos que se van a producir al mes, es claro que la producción del mismo se verá afectada por la cantidad de suministro en material que puede traer su proveedor.

Para el proceso productivo son claves la cantidad de material necesaria para el producto, así como la cantidad disponible de este en el mes. Cada uno de los 6 productos se desempeña con mínimo un material en cierta cantidad medida en metros cuadrados.

Este parámetro se centró principalmente en la parte de producción de la empresa. Por lo tanto, el tiempo de registro mensual hace referencia a la capacidad operativa dada en horas de los artículos en los diferentes meses del año, sin considerar otras actividades como la instalación, se tienen en cuenta las estimaciones de días de trabajo y la cantidad de trabajadores, en cada periodo. Es fundamental tener un tiempo estándar para la producción que está fijado a través de un estudio de tiempo, empleado por medio de la recolección de tiempos observados, ciclos de elaboración, el cálculo del tiempo normal y el establecimiento de holguras o fatigas por operación. Es por esto que resulta necesario el establecimiento de estándar promedio por

el empleo repetitivo de este parámetro para el cálculo del tiempo operativo total en el mes.

Transporte. La capacidad de los vehículos de transporte es un limitante de las cantidades de materia prima que puede traer la empresa desde sus proveedores. Como esta es una mediana empresa, no posee tanta capacidad de transporte ya que su producción está basada por pedido, es decir, no poseen muchos medios para traer el material y, por ende, algunas veces se ve en la necesidad de contratar algún extra.

Precio de venta. El precio de venta representa la cantidad fijada por la empresa para recaudar lo invertido y obtener ganancia en la producción de su artículo. Pese a las fluctuaciones estadísticas de la demanda, la vidriería intenta acomodar los precios a sus clientes en los distintos meses del año (temporadas) para hacer circular sus inventarios de forma dinámica.

Costos. Presentados como costos de operación, implican una inversión en la producción representada en costos de materiales, costos de transporte, algunos costos extras de un vehículo de transporte de materia prima y horas extras trabajadas, los cuales se generan de acuerdo a la cantidad de productos que se necesitan producir.

Codificación del modelo en PC

Para llevar a cabo la compilación del modelo, se hizo necesario el uso de herramientas como Excel y Statgraphics, con el fin de ejecutar el análisis de la información copiada. Se examinó su cadena de suministro y cada uno de los objetos involucrados para así realizar la modelación en el software GAMS, que define el comportamiento del proceso con cada una de las posibles soluciones.

Modelo de programación entera mixta para el aprovisionamiento y la planeación de producción

El modelo de programación empleado en este artículo está dirigido principalmente a generar un plan de producción, con el fin de satisfacer la demanda utilizando los recursos disponibles y, de esta forma, maximizar las utilidades.

A continuación, se presentan los conjuntos del modelo; por consiguiente, se determinan las variables de decisión, la función objetivo y el planteamiento de las restricciones a las cuales se ajusta.

Conjuntos

P = Productos

M = Meses

K = Tipo de materiales

V = Vehículos

Parámetros

DEM_{PM} = Demanda pronosticada del producto P en el mes M

$COSALQ_M$ = Costos fijos en pesos del mes M

COM_{VM} = Costos por utilizar el vehículo V en el mes M

$COSVEX_M$ = Costo de utilización del vehículo extra

$COSALQ_M$ = Bonificación por trabajar horas extras en el mes M

$COSTMA_{MK}$ = Costos de láminas del material K en los meses M

T_p = Tiempo de elaboración del producto P

TDM_M = Capacidad de tiempo disponible en horas en el mes M

$MAXHE_M$ = Horas extras disponibles en el mes M

$INVMIN_p$ = Invenatrio de seguridad necesario del producto P

REQ_{KP} = Cantidad de material K requerido para fabricar el producto P

$CAPVE_{VM}$ = Capacidad de los Vehículos V en unidades de láminas

$CAPVEH$ = Capacidad del vehículo extra en unidades de láminas

Variables de decisión

X_{PM} = Cantidad de productos P a producir en el mes M

U_{MK} = Cantidad de material K a pedir en el mes M

INV_{PM} = Inventario del producto P en el mes M

$Y_M =$ Se trabajan horas extras o no en el mes M

$W_M =$ Se contrata el vehículo extra o no en el mes M

Función objetivo

$$\begin{aligned}
 MAX Z = & \left(\sum_P \sum_M X_{PM} \times FO_{PM} \right. \\
 & - \left(\sum_M COSALQ_M \right. \\
 & + \sum_V \sum_M COM_{VM} + \sum_M COSVEX_M \times W_M + \sum_M COSHE_M \times Y_M \\
 & \left. \left. + \sum_M \sum_K COSTMA_{MK} \times U_{MK} \right) \right) \quad (1)
 \end{aligned}$$

Restricciones

$$X_{PM} \geq DEM_{PM} \quad \forall P, M \quad (2)$$

$$\sum_P T_P \times X_{PM} \leq TDM_M + MAXHE_M \quad \forall M \quad (3)$$

$$(\sum_P T_P \times X_{PM}) - TDM_M \leq MAXHE_M \times Y_M \quad \forall M \quad (4)$$

$$INV_{PM1} = INV_{1P} + X_{PM1} - DEM_{PM1} \quad \forall P, M \quad (5)$$

$$INV_{PM} = INV_{PM-1} + X_{PM} - DEM_{PM} \quad \forall M > 1, P \quad (6)$$

$$INV_{PM} \geq INV_{MINP} \quad \forall P, M \quad (7)$$

$$U_{MK} = \sum_P X_{PM} \times REQ_{PK} \quad \forall M \quad (8)$$

$$\sum_P U_{MK} \leq \sum_V CAPVE_{VM} + CAPVEH \quad \forall M \quad (9)$$

$$\sum_P U_{MK} - \sum_V CAPVE_{VM} \leq CAPVEH \times W_M \quad (10)$$

$$X_{PM}; U_{MK}; INV_{PM} \geq 0 \quad (11)$$

$$Y_M \begin{cases} 1 & \text{Si se contrata el vehículo extra} \\ 0 & \text{No se contrata el vehículo extra} \end{cases} \quad (12)$$

$$W_M \begin{cases} 1 & \text{Si se trabajan horas extras} \\ 0 & \text{No se trabajan horas extras} \end{cases} \quad (13)$$

Definición del modelo matemático

Conjuntos. El modelo fue diseñado en referencia a 6 distintos tipos de productos, su desempeño mensual durante un año, cuatro tipos de materiales y tres vehículos fijos.

Variables

Variables enteras: estas variables determinan el marco de la planeación de producción, están representadas por unidades de material o producto en los distintos meses del año.

Variables binarias: las variables binarias son las que activan ciertos tipos de costos extras en la función objetivo, estas determinan si se realiza o no la acción para generar un valor adicional por adquisición o utilización.

Función objetivo. Este modelo brinda un resultado óptimo en el que maximizan las utilidades, esto se logra teniendo como base las ventas de sus productos. La ecuación (1) relaciona el precio de venta de los productos, es decir, los ingresos y los costos fijos y variables de producción en cada mes del año. Algunos de estos costos son adicionados al llevar a cabo una labor extra ya sea obteniendo una bonificación mensual por horas o el alquiler de un vehículo.

Restricciones. Para el modelamiento del plan de producción se tuvo en cuenta una serie de restricciones para el modelamiento, la capacidad en horas operacionales, la capacidad de almacenamiento de producto terminado, la cantidad disponible de los distintos tipos de materiales, la capacidad de vehículo y otros factores que se encuentran sujetos al modelamiento.

La demanda tiene fluctuaciones durante todo el año, se propone un pronóstico como forma de alcance o diagnóstico de esta. La ecuación (2) representa la cantidad mínima a producir de cada producto mensualmente

para atender al mercado. La ecuación (3) hace referencia al tiempo disponible para la elaboración de los productos al mes, este tiene que ser menor o igual al tiempo disponible regular más el tiempo de horas extra. Además, en la ecuación (4) se anexa una variable binaria para indicar que, en caso de no ser suficiente la capacidad horaria mensual para la producción, se activen las horas extras.

La ecuación (7) establece un mínimo de los productos que, por políticas de la empresa, se pueden tener en inventario, para esto se hace un balance del inventario; por lo cual la ecuación (5) hace referencia al inventario del mes 1, considerando un supuesto de un inventario inicial de cero. Cabe aclarar que la ecuación (6) modela el inventario de los meses siguientes.

Cada producto requiere de materiales específicos, por ende, la ecuación (8) plantea que las cantidades de materiales a pedir van a ser iguales a las cantidades a fabricar de un producto específico por su material requerido. La ecuación (9) centra esfuerzos en la capacidad de materia que pueden transportar los vehículos (láminas de vidrio o aluminio) a la empresa y la ecuación (10) da la asignación de uno extra en caso de que los materiales a pedir sobrepasen la capacidad normal.

La ecuación (11) hace referencia a la no negatividad, es decir, que ninguna de las variables de decisión en el modelo puede ser negativa y, por último, las ecuaciones (12) y (13) nos indican que las variables presentadas deben ser binarias, deben dar 0 o 1.

Validación del modelo

Para validar el modelo matemático se tomó un conjunto de datos contruidos con el fin de confirmar que los resultados de la asignación sean congruentes con la realidad, por medio de la incorporación de distintos parámetros o variables tomados en cuenta, como los tipos de productos, número de materiales, número de vehículos fijos y los costos de producción para realizar la codificación en el software GAMS. Se observó qué tan veraz era el modelo, con el propósito de obtener valores teóricos que luego se compararon con los valores reales. Esta comparación se elaboró con el objeto de verificar si concuerda el desempeño entre el modelo y el escenario real.

Resultados y discusión

Una vez modelado matemáticamente el problema evidenciado en el artículo, por medio de la programación entera mixta en el software optimizador GAMS, se logró presentar una solución óptima en la cual se maximizan las utilidades en una cantidad monetaria de \$103,147.000. Asimismo, esto arrojó como resultado una planificación más adecuada para poder llevar a cabo este objetivo.

Tabla 1
Plan de producción del primer semestre del año.

	M1	M2	M3	M4	M5	M6
P1	23	20	26	19	26	29
P2	32	11	24	8	24	29
P3	32	41	8	12	8	9
P4	6	20	22	32	22	6
P5	18	2	2	2	2	2
P6	24	22	18	24	18	96

Tabla 2
Plan de producción del segundo semestre del año.

	M7	M8	M9	M10	M11	M12
P1	23	30	36	30	24	24
P2	30	21	19	16	29	32
P3	30	15	9	16	29	20
P4	4	6	4	2	4	6
P5	20	13	15	18	21	19
P6	20	20	14	14	14	20

Nota. Fuente: construcción propia.

Con estos resultados se propone un plan base de producción en el que se evidencia la cantidad a producir mensual por cada producto, respetando todas las restricciones que presenta el modelo. Este permite tomar mejores decisiones administrativas cuantificables respecto a la producción para atender a la demanda fluctuante del mercado.

Cabe resaltar que este modelo le prevé información a la vidriera sobre su stock en almacenamiento, lo que le permite controlar las cantidades a producir en sus próximos periodos, entendiéndose así un modelo real de

planeación de la producción. Los inventarios arrojados por el programa se muestran a continuación:

Tabla 3
Inventarios de los productos finales en los meses del año.

	M1	M2	M3	M4	M5	M6
P1	3	3	3	3	3	3
P2	22	23	23	23	38	57
P3	22	53	53	53	53	53
P4	3	20	47	74	92	95
P5	16	16	16	16	16	16
P6	4	6	6	14	15	96

Nota. Fuente: construcción propia.

Tabla 4
Inventarios de los productos finales en los meses del año.

	M7	M8	M9	M10	M11	M12
P1	3	3	3	3	3	4
P2	73	75	76	77	87	98
P3	73	77	78	82	97	100
P4	96	97	98	98	98	99
P5	33	42	54	69	86	100
P6	98	98	98	99	99	99

Nota. Fuente: construcción propia.

Por otra parte, el modelo nos indica que en los meses de agosto, septiembre y octubre se hace necesario requerir horas extras para poder cubrir con la demanda. Asimismo, en los meses de enero, julio, noviembre y diciembre se requiere la subcontratación de otro vehículo para poder transportar materiales debido a que la capacidad de los dos caminos no es suficiente, es decir, los materiales solicitados superaron la capacidad de los vehículos. Lo anterior permite cumplir con el plan de producción de una forma factible. Adicionalmente, este modelo le permite a la empresa conocer las cantidades de materia prima a pedir dependiendo de la demanda y el material requerido, lo cual incide en la reducción de inventarios y la mejora de la atención a los clientes.

Es importante mencionar que la empresa cuenta con una diversidad de parámetros que afectan sus utilidades, algunos de estos son representaciones reales que no se ven evidenciados en los modelamientos matemáticos o pueden ser empleados como supuesto; la vidriería anualmente percibe utilidades aproximadas de \$80,658.000 (valor del año anterior brindado por los libros contables), esto es consecuencia de una forma empírica de planeación, formada por decisiones basadas solo en supuestos de los administrativos sobre la demanda que tienen de los productos de la empresa.

Con el modelo propuesto en este artículo, se prevé que la vidriería tenga un aumento de la utilidad de aproximadamente \$22,489.000 anuales, que es una diferencia monetaria significativamente amplia en relación a su método actual de planeación.

Conclusiones

Mediante el modelamiento matemático en el software de optimización GAMS, se logra plasmar situaciones problemas de la vida real atendiendo a una gran similitud, como es el caso de la vidriería. A través de este artículo se revisó el modelamiento del proceso productivo para la elaboración de un sistema de multiproducto, el cual evidenció la falta de planificación de la producción relacionada a la carencia de medidas logísticas para manejar su inventario de material, las cantidades a pedir de este mismo y, a su vez, la disponibilidad de horas de trabajo y vehículos, aspectos que repercuten en la atención a la demanda y el retraso de los pedidos. Para llevar acabo esto, se tuvo como objetivo la maximización de utilidades que encasillaron parámetros como los ingresos de la venta de los artículos, los costos fijos y variables propias de desarrollar la actividad productiva. Todo con el fin de obtener un resultado óptimo para la toma de decisiones de gestión logística y productiva de la empresa.

Los resultados obtenidos mediante este modelo pueden usarse como una guía cuantitativa de todas las decisiones que quiera tomar la empresa con respecto a su producción, o también pueden convertirse en una base para investigaciones futuras que quiera hacer la compañía con respecto a la continua optimización de los procesos que realice para el beneficio de la misma.

Referencias

- Alianza Estratégica. (2015). Tecnoglass, como un vidrio templado (Revista Dinero).
- Govindan, K. &. (2015). Investigating risk and robustness measures for supply chain network design under demand uncertainty: A case study of glass supply chain. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092552731500>.
- Hillier, S., & Lieberman, G. (2010). Introducción a la programación lineal. In *En Introducción a la Investigación de Operaciones* (pp. 21-22). México: McGraw Hill/Inter Americana Editores.
- Simchi-Levi. (2001). *Defining supply chain management*. *Journal of bussines logistics*. Retrieved from http://web.nchu.edu.tw/~pfsum/SCM/Wiki_SCM.pdf
- Universidad del Rosario. (2018). Negocios. *Colombia debe dejar de atomizar la cadena de suministro*. Colombia.

CAPÍTULO 3



Aplicación del estudio de métodos y tiempos a la panadería Bocados

Jhair José Jaraba Medina¹, Valeria Rivera Cárdenas²,
Melissa Isabel Vides Villadiego³

Resumen

El siguiente artículo tiene como finalidad la aplicación del estudio de métodos y tiempos a la panadería Bocados, identificando todos los procesos y actividades correspondiente a la línea de producción de diversos productos. Para esto, se construyeron los correspondientes diagramas de flujo, analítico y de recorrido con el fin de identificar cuellos de botella, eliminar actividades ineficientes y así poder incrementar la productividad en la empresa. Se plantearon propuestas para mejorar el proceso de producción, tomando como base el análisis de recorrido dentro de las etapas del proceso. Adicionalmente, se aplicó el estudio de tiempos con el fin de estandarizar los tiempos de ciclo en la producción de un producto seleccionado a través de un análisis de Pareto. Se consideraron índices de desempeño según el método de Westinghouse; holguras; y se obtuvo la estandarización y una reducción de las distancias recorridas en relación a las propuestas ofrecidas. En total, se diseñaron dos propuestas para la minimización de distancias: una que genera costos ligados a cambios de la infraestructura y otra que no genera costos, teniendo como resultado 11m y 6m de reducción, respectivamente.

Palabras clave: estudio de métodos, estudio de tiempos, estandarizar, productividad.

1 Ingeniero Industrial. Corporación Universitaria del Caribe-CECAR. Correo: jhair.jaraba@cecar.edu.co; Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8384-947X>

2 Ingeniera Industrial. Corporación Universitaria del Caribe-CECAR. Correo: valeria.rivera@cecar.edu.co; Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9468-8453>

3 Estudiante de Ingeniera Industrial. Corporación Universitaria del Caribe-CECAR. Correo: melissa.vides@cecar.edu.co; Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4654-2548>

Application of the study of methods and times to the bakery Snacks

Abstract

The following article has as purpose the application of the study of methods and times to the Bakery Bocados, identifying all the processes and activities corresponding to the line of production of diverse products, for which the corresponding diagrams of flow were constructed, analytical and of route for the identification bottlenecks, to eliminate inefficient activities, with the objective of increasing the productivity in the company. Proposals were made to improve the production process based on the analysis of the route within the stages of the process. In addition to this, the study of times was applied in order to standardize the cycle times in the production of a selected product through a Pareto analysis. We considered performance indices according to the Westinghouse method, loosenesses and obtained standardization and a reduction of the distances traveled in relation to the proposals offered. In total, two proposals were designed for the minimization of distances, one that generates costs linked to infrastructure changes and one that does not generate costs, resulting in 11m and 6m of reduction respectively.

Keywords: study of methods, study of times, standardize, productivity.

Introducción

El estudio del trabajo es la evaluación de métodos y técnicas aplicadas para mejorar u optimizar procesos productivos aumentando la productividad. Esta área proporciona técnicas mediante el estudio de métodos y tiempo junto con el análisis de operaciones; son herramientas de gran relevancia para las operaciones/actividades que se desarrollan en el área productiva de una empresa, ya sea para mejorar la productividad, identificar y/o eliminar los cuellos de botella, reducir tiempos de producción de los empleados en la elaboración de nuevos productos y hacer mejora de las actividades poco eficientes (Acero, 2016).

Para iniciar un estudio de tiempos en una empresa, se debe considerar como estándar que el operario que realizará las actividades a ser estudiadas tenga un perfeccionamiento de la técnica aplicada en cada una de estas. Los métodos deben ser estándares y los operarios, supervisores y todo el personal relacionado con la producción requieren ser informados del proceso de estudio que se va a realizar. Se debe contar con personal capacitado para realizar el estudio, así como con todas las herramientas necesarias para que este se lleve a cabo (Argote, Velasco, & Paz, 2007).

Esquematizar cada proceso productivo es la mejor manera de analizar las actividades que se llevan a cabo en los procesos de fabricación: es aquí donde hace hincapié el estudio de métodos y tiempos. A través de la utilización de diagramas que ayudan a tener una mejor visión de las actividades desarrolladas en el área productiva de las organizaciones, se logra determinar cuáles son las actividades que afectan los procesos por su poca eficiencia, para así poderlas mejorar o eliminar (Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 2018).

Lo anterior implica realizar estudios de métodos y tiempos para alcanzar la optimización de los procesos de manufactura y la eliminación de tareas ineficientes, reduciendo así el número de actividades por procesos de fabricación, buscando disminuir los tiempos estimados sin afectar el producto final (Acero, 2016).

Para la siguiente investigación se analizaron las actividades que se desarrollan en el área productiva de la panadería Bocado, con el objetivo de mejorar el proceso de elaboración de cada producto (pan y galletas)

que desarrolla esta empresa. Eliminar las actividades innecesarias y que no le agregan valor al producto, conlleva al diseño del área productiva que permite mejorar aquellos cuellos de botella intervinientes en la producción.

Materiales y métodos

Para llevar a cabo el estudio, se utilizaron una serie de métodos con el fin de identificar cada una de las actividades y procesos de la línea de producción. Se construyeron los diagramas analíticos, de flujo y de recorrido con el propósito de identificar ineficiencias, actividades improductivas y cuellos de botella para su mejora o eliminación.

Para aplicar el estudio de métodos en la panadería Bocados fue necesario seleccionar todas las líneas de producción y registrar todas las actividades que se desarrollan de manera sistemática (Vides, Díaz, & Gutiérrez, 2017), obteniendo como resultado la identificación de las actividades que generaban mayor demora y eran improductivas. Tal es el caso de la actividad del transporte que realizaba el operario dentro del área de producción, además de la actividad de reposo del pan.

Las herramientas utilizadas para el estudio de tiempos fueron:

- Cronómetro
- Tablero de observaciones (Clipboard)
- Formularios de estudio de tiempos

Para este proceso se midió la distancia que se recorre entre los puntos en donde se realizan cada uno de los procesos, como se evidencia en el diagrama del apéndice A, obteniendo los siguientes resultados. (Tabla 1).

Tabla 1
Distancia del recorrido por cada actividad.

Descripción	Distancia (m)
Pesar harina de maíz	0
Pesar harina de trigo	0
Pesar grasa	0
Pesar azúcar	0
Contar huevos	0
Pesar sal	0

Descripción	Distancia (m)
Pesar mejorador de masa	0
Buscar el recipiente	3,4
Llevar el recipiente a la mesa	2,6
Agregar cantidad de harina de trigo	0
Agregar cantidad de harina de maíz	0
Agregar grasa	0
Agregar azúcar	0
Agregar huevos	0
Agregar sal	0
Agregar mejorador masa	0
Mezclar	0
Amasar	0
Inspeccionar calidad de la masa	0
Cortar	0
Armar masa de pan	0
Colocar en bandejas	0
Llevar al horno	7,2
Hornear	0
Inspeccionar la calidad del pan	0
Reposar	0
Llevar producto a estantes	4,7
Almacenar producto	0
Inspeccionar calidad	0
Llevar producto al negocio	20
Total	38

Nota. Fuente: construcción propia.

Tras identificar al transporte como principal eje improductivo, se realizaron dos propuestas de la redistribución del área de producción:

- En la primera, se movió la nevera de su lugar y se colocó la mesa donde se realiza el pesaje de los ingredientes (Apéndice B).

- La segunda presentó unos costos asociados correspondientes a la reestructuración del área productiva, la cual consiste en mover el horno de su sitio (Apéndice C).

Estas dos propuestas de distribución permitieron obtener una mejora del sistema productivo y una mayor organización, con resultados positivos como aumentar la productividad y la eficacia en los trabajadores. A continuación, se observará con más detalle las dos propuestas de mejora.

Tabla 2
Mejoras aplicadas.

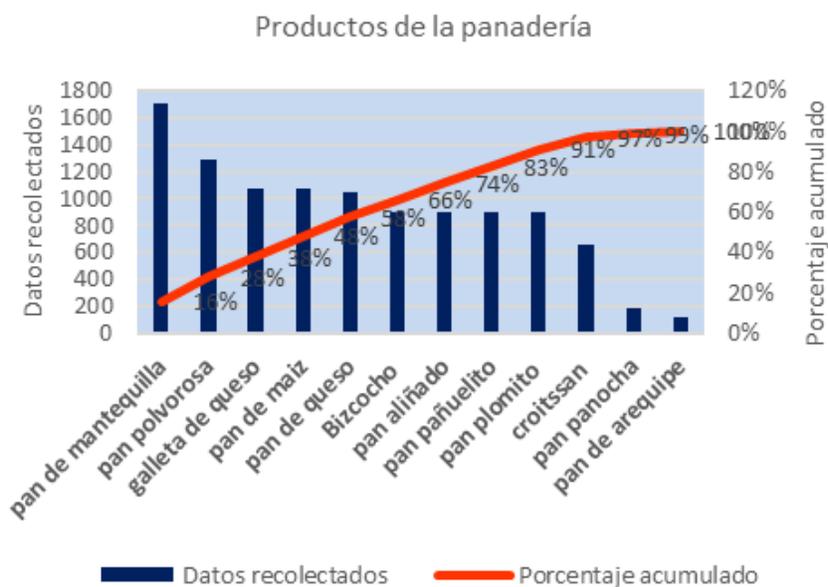
Descripción	Distancia	Mejora de la distancia	Mejora con costos asociados
Pesar harina de maíz	0	0	0
Pesar harina de trigo	0	0	0
Pesar grasa	0	0	0
Pesar azúcar	0	0	0
Contar huevos	0	0	0
Pesar sal	0	0	0
Pesar mejorador de masa	0	0	0
Buscar el recipiente	3,4	0,2	0,2
Llevar el recipiente a la mesa	2,6	0,4	0,4
Agregar cantidad de harina de trigo	0	0	0
Agregar cantidad de harina de maíz	0	0	0
Agregar grasa	0	0	0
Agregar azúcar	0	0	0
Agregar huevos	0	0	0
Agregar sal	0	0	0
Agregar mejorador masa	0	0	0
Mezclar	0	0	0
Amasar	0	0	0
Inspeccionar calidad de la masa	0	0	0
Cortar	0	0	0
Armar masa de pan	0	0	0
Colocar en bandejas	0	0	0
Llevar al horno	7,2	7,2	4,22

Descripción	Distancia	Mejora de la distancia	Mejora con costos asociados
Hornear	0	0	0
Inspeccionar la calidad del pan	0	0	0
Reposar	0	0	0
Llevar producto a estantes	4,7	4,7	2,56
Almacenar producto	0	0	0
Inspeccionar calidad	0	0	0
Llevar producto al negocio	20	20	20
Total	38	32	27

Nota. Fuente: construcción propia.

Por otra parte, se construyó un diagrama de Pareto con el fin de determinar el producto de mayor elaboración de un total de 12 productos (pan de mantequilla, pan polvorosa, pan de maíz, bizcocho, pan aliñado, pan plomito, galleta de queso, croissant, pan de queso, pan pancha, pan pañuelito y pan de arequipe). (Figura 1).

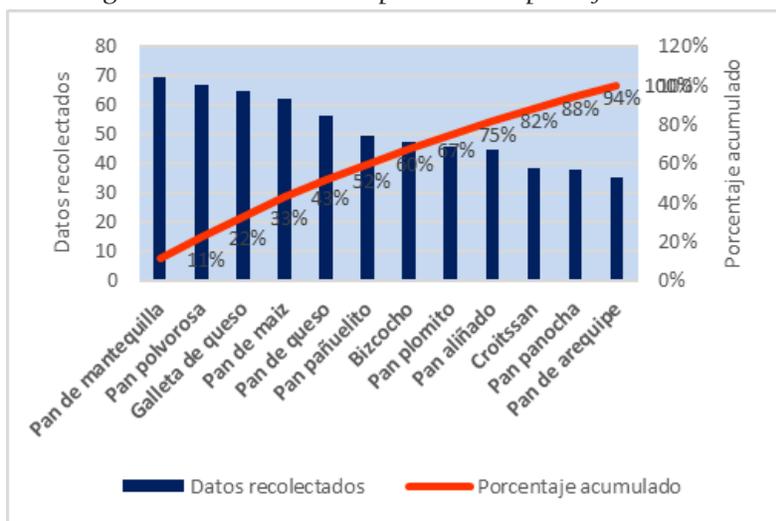
Figura 1
Diagrama de Pareto con respecto a la producción.



Nota. Fuente: construcción propia.

Posteriormente, como los resultados obtenidos del estudio anteriormente realizado con base en la producción no fueron convincentes, se procedió a construir otro diagrama de Pareto basado en los tiempos de producción, para así obtener mayor fiabilidad en los resultados.

Figura 2
Diagrama de Pareto con respecto al tiempo de fabricación.



Nota. Fuente: construcción propia.

Se tomaron 15 observaciones iniciales para realizar el estudio de tiempos, con las cuales se utilizó la ecuación para el cálculo de número de observaciones:

$$n = \left(\frac{40\sqrt{n' \sum X^2 - (\sum X)^2}}{\sum X} \right)^2 \quad (1)$$

Para determinar el índice de desempeño, se aplicó el método de Westinghouse considerando los 4 factores que este aplica, los cuales son: habilidad, esfuerzo, condiciones y consistencia (Unknown, 2015). Este busca nivelar las actividades que se realizan y el tiempo que toman, evaluando los factores que rodean el trabajo y determinan el ambiente mismo.

La **destreza** es la habilidad resultante de la utilización de un método determinado, se evalúa dependiendo de la variación que se tenga con relación a una línea base. El **esfuerzo** se define como la voluntad que se

tenga para trabajar, se evalúa en función del anhelo con el que el operario realiza su trabajo. Las **condiciones** son aquellas que afectan directamente al operario durante la ejecución de las actividades, como las variaciones de luz, calor, la ventilación, es decir, lo que se suministra para poder realizar las actividades de forma normal. La **consistencia** determina la magnitud o carencia de la concordancia con el trabajo realizado. La equivalencia algebraica de estos factores se muestra en el apéndice E (Ramírez, Lasso, García, & Tavera, 2019).

Con ello se procede a calcular el tiempo normal de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$TN = T_{promedio} + Ind\ de\ des \quad (2)$$

Para identificar con más claridad el tiempo exacto de cada operario, se utilizó el diagrama hombre-máquina. Este permitió observar con mayor especificación el ciclo del operario y la máquina (Apéndice D).

A continuación, se muestra el tiempo de ocio que tuvieron el trabajador y la máquina.

Tabla 3
Cálculo de tiempo activo y tiempo ocioso.

Resumen	Tiempo ciclo	Tiempo de acción	Tiempo ocio	% ocio	% utilización
Operario	108	42	66	60,938	39,13140041
Horno	108	66	42	39,131	60,9375

Nota. Fuente: construcción propia.

Teniendo en cuenta los datos obtenidos en análisis anteriores, se procede a calcular el tiempo estándar mediante la siguiente fórmula:

$$T_E = T_N * (1 + Tolerancia) \quad (2)$$

Las tolerancias identificadas en el proceso de producción se basaron en la tabla de holguras recomendada por la ILO, establecidas por Niebel en su libro, donde se encuentran relacionadas con necesidades y condiciones personales. Se seleccionaron: holgura personal, holgura por fatiga básica,

holgura en posición anormal, uso de fuerza o energía muscular, mala iluminación, monotonía y tedio (Niebel, 2009).

Nota: para encontrar el verdadero % de ocio del operario mientras labora se tuvo en cuenta lo siguiente:

- % de trabajo en la máquina es del 81%
- % de trabajo del operario es del 19%
- Y para calcular el tiempo de ocio real del operario sería:

$$\text{Tiempo de ocio} * 19\% = 66 * 0.19 = 12,504375$$

Por lo tanto, el tiempo de ocio real del operario es de 12.5

Resultados y discusión

Según los resultados obtenidos con respecto al número de observaciones realizadas, se identificó que, para la actividad del pesaje y el enfriado, fue necesario realizar más observaciones para poder cumplir con los resultados de la muestra. Con los datos se calcularon los tiempos promedios de cada uno de los procesos, el tiempo normal y el tiempo estándar (en general) por medio de las tolerancias y el índice de desempeño que se realiza a cada trabajador.

Tras haber realizado todos los cálculos, se obtuvo que el tiempo estándar que deben manejar los operarios al momento de fabricar el pan de mantequilla es de 130,77 min, con el cual se mejoran los tiempos y la línea de producción.

Tabla 4
Observaciones para el pan de mantequilla.

N° observaciones	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Pesaje	6	7	5	6,5	6	5,5	5	7	5	5,7	6	5,3	6,5	7,5	8
Moldeado y armado	19	18	20	17	18	18,5	20	21	17	19	18,5	19,4	16,5	18	17
Horneado	30	28	30	29	31	33	29	27	28	29	30	28	29	31	30
Enfriado	10	9	11	10	8	7	8,9	8,5	7,4	8	10	6,7	7,8	8	8,2

Nota. Fuente: construcción propia.

Tabla 5
Evaluación de desempeño del pesaje.

Evaluación de desempeño de pesaje			
Factor	Clase	Categoría	%
Habilidad	Excelente	B2	0,08
Esfuerzo	Excesivo	A2	0,12
Condiciones	Buena	C	0,02
Consistencia	Excelente	B	0,03

Nota. Fuente: construcción propia.

Tabla 6
Evaluación de desempeño del moldeado y armado.

Evaluación de desempeño de moldeado y armado			
Factor	Clase	Categoría	%
Habilidad	Buena	C1	0,06
Esfuerzo	Excelente	B1	0,1
Condiciones	Buena	C	0,02
Consistencia	Buena	C	0,01

Nota. Fuente: construcción propia.

Tabla 7
Evaluación de desempeño del horneado.

Evaluación de desempeño de horneado			
Factor	Clase	Categoría	%
Habilidad	Excelente	B1	0,11
Esfuerzo	Excesivo	A2	0,12
Condiciones	Buena	C	0,02
Consistencia			1

Nota. Fuente: construcción propia.

Tabla 8
Tolerancia.

Tolerancia	0.21
------------	------

Nota. Fuente: construcción propia.

Tabla 9
Evaluación de desempeño del enfriado.

Evaluación de desempeño de enfriado			
Factor	Clase	Categoría	%
Habilidad	Buena	C1	0,06
Esfuerzo	Bueno	C1	0,05
Condiciones	Excelente	B	0,06
Consistencia	Excelente	B	0,03

Nota. Fuente: construcción propia.

Tabla 10
Resultados finales.

Tareas	Tamaño de la muestra	Tiempos observados (min)	Tiempo promedio (min)	Índice de desempeño	Tiempo normal (TN)
Pesaje	35	235,8	6,74	1,25	8,42
Moldeado Y Armado	7	130,5	18,64	1,19	22,19
Horneado	4	117	29,25	2,25	65,81
Enfriado	31	301,1	9,71	1,2	11,66
Total				5,89	108,07

Nota. Fuente: construcción propia.

Tabla 11
Tiempo estándar y tiempo normal.

Tiempos	
Tiempo Estándar (TE)	130,77
Tiempo Normal (TN)	108,07

Nota. Fuente: construcción propia.

Tabla 12
Tabla de holguras.

Holguras respecto a las condiciones del operario		Calificación	Pesaje	Moldeado y armado	Horneado	Enfriado	
Holguras constantes	Holgura personal	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	
	Holgura por fatiga básica	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	
Holguras variables	Holgura en posición anormal	Un poco incómoda	0				
		Incómoda	0,02		0,02		
		Muy incómoda	0,07				
	Uso de fuerza o energía muscular	5	0				
		10	0,01				
		15	0,02				
		20	0,03				
		25	0,04				
		30	0,05				
		35	0,07			0,07	0,07
		40	0,09				
		45	0,11				
		50	0,13				
	Mala iluminación	Un poco debajo de lo recomendado	0				
		Bastante debajo de lo recomendado	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
		Muy inadecuada	0,05				
	Monotonía	Baja	0				
		Media	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
		Alta	0,04				
	Tedio	Algo tedioso	0				
Tedioso		0,02					
Muy tedioso		0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	
Total %			0,17	0,19	0,24	0,24	

Nota. Fuente: construcción propia.

Conclusiones

En síntesis, la aplicación del estudio de métodos y tiempos es de gran importancia para una empresa, debido a que es un soporte sustancial para la realización de mejoras dentro del área manufacturera.

Esto permite la identificación de actividades ineficientes en el proceso, con el fin de cambiarlas o eliminarlas, de tal manera que se eliminen los cuellos de botella o se mejore la gestión de los trabajos productivos.

Todas las mejoras que se implementen en el proceso productivo optimizarán, en gran medida, la efectividad de cada una de las actividades en el trabajo de producción; todo este progreso se hace con el objetivo de mejorar la productividad y la rentabilidad.

Se han implementado unos diagramas que nos permiten ver el recorrido que tiene cada operario con respecto a cada actividad, identificando las actividades que generan pérdidas de tiempo, como son los transportes.

La panadería Bocado tiene un gran desempeño en hacer el producto, hemos obtenido una muestra de tiempo por cada tarea que se presenta al momento de hacer el pan. A partir de esta muestra de tiempos observados, se determinó que el operario presenta un 5,98 de índice de desempeño, el cual nos indica que trabaja un 105,98% al momento de cumplir con todas las actividades en el proceso de producción.

Este estudio de tiempo nos ayudó a observar con más claridad el tiempo generado por cada producto y revisar qué tan eficiente es el operario. También se han considerado una serie de holguras con respecto al puesto de trabajo, como lo son: holguras personales por fatiga básica, posición anormal, uso de fuerza o energía muscular, mala iluminación, monotonía y tedio, dando un total de 0,21 que afectan al operario al momento de elaborar el pan.

Adicionalmente, se determinó el tiempo estándar del proceso de producción obteniendo como resultado 130,77 min.

Agradecimientos

Agradecemos primordialmente a Dios, por permitir la realización de este trabajo; a la dueña de la panadería, por permitirnos brindar esta información; y al docente José Ruiz, por compartirnos sus conocimientos y hacer cumplir lo estipulado en el área Estudio del trabajo.

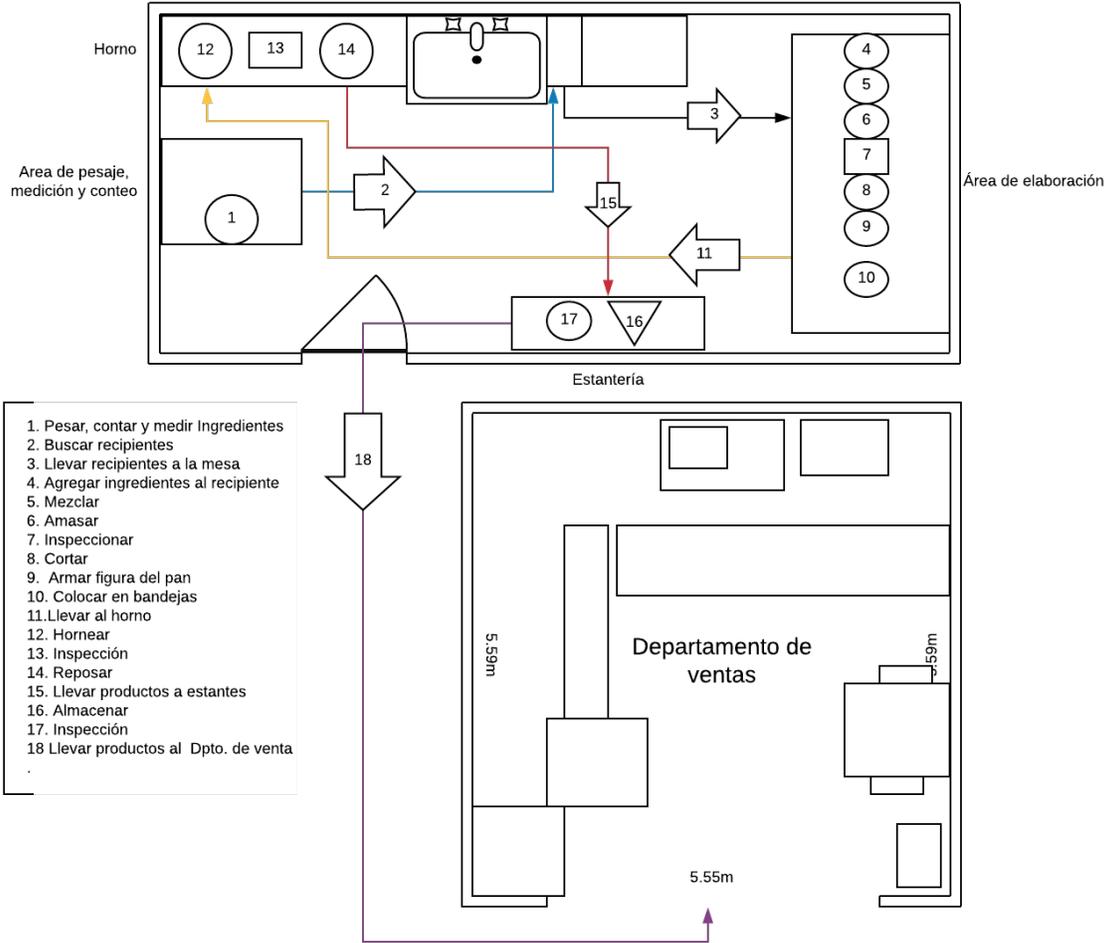
Referencias

- Acero, L. C. (2016). *Ingeniería de métodos, movimientos y métodos*. San Pablo de Madrid- España: Ecoe Ediciones.
- Argote, F., Velasco, R., & Paz, P. C. (2007). *Estudio de métodos y tiempos para obtención de carne de cuy (cavia porcellus) empacada a vacío*.
- Niebel, B. W. (2009). *Ingeniería Industrial: Métodos, estándares y diseño del trabajo*. . Mexico: McGrall- Hill.
- Ramírez, S., Lasso, J. D., García, R. A., & Tavera, C. (2019). *Propuesta para el estudio de tiempos y movimientos en la línea 1 en la fabricación de sandalias en una PYME*.
- Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. (2018). *MANUAL DE PRÁCTICAS DE ESTUDIO DEL TRABAJO*.
- Unknown. (2015, septiembre 5). *Estudio del Trabajo II Ingeniero Brenda Santillán*. (Brenda Santillán) Retrieved septiembre 5, 2015, from <http://ingeniero-brenda-santillan.blogspot.com/2015/09/sistema-westinghouse.html>
- Vides, E. X., Díaz, L., & Gutiérrez, J. J. (2017). Análisis metodológico para la realización de estudios de métodos y tiempos. *Revista I+D en TIC*, 8.

Apéndice A

Área productiva actual.

Departamento de producción



1. Pesar, contar y medir Ingredientes
2. Buscar recipientes
3. Llevar recipientes a la mesa
4. Agregar ingredientes al recipiente
5. Mezclar
6. Amasar
7. Inspeccionar
8. Cortar
9. Armar figura del pan
10. Colocar en bandejas
11. Llevar al horno
12. Hornear
13. Inspección
14. Reposar
15. Llevar productos a estantes
16. Almacenar
17. Inspección
18. Llevar productos al Dpto. de venta

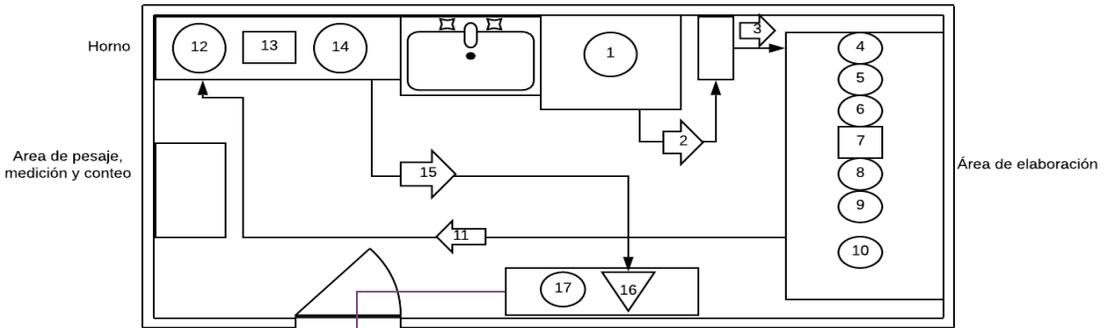
Apéndice B

Área productiva redistribuida

2.91m



Departamento de producción

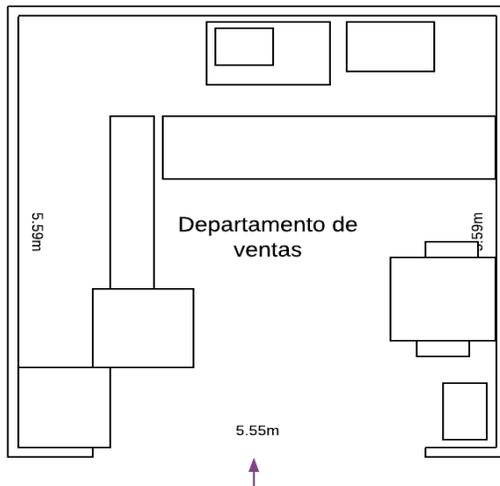


Estertería

1. Pesar, contar y medir Ingredientes
2. Buscar recipientes
3. Llevar recipientes a la mesa
4. Agregar ingredientes al recipiente
5. Mezclar
6. Amasar
7. Inspeccionar
8. Cortar
9. Armar figura del pan
10. Colocar en bandejas
11. Llevar al horno
12. Hornear
13. Inspección
14. Reposar
15. Llevar productos a estantes
16. Almacenar
17. Inspección
18. Llevar productos al Dpto. de venta



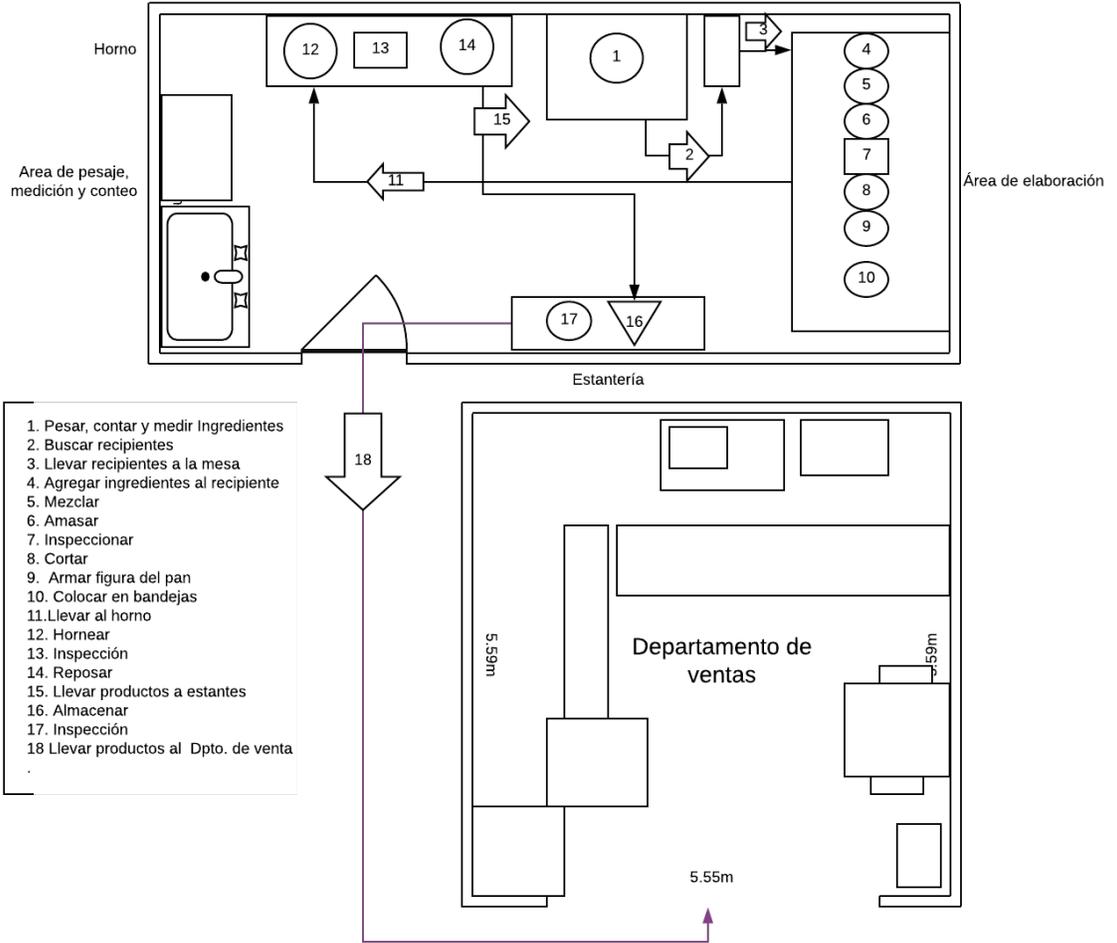
Departamento de ventas



Apéndice C

Área de producción con costos asociados.

Departamento de producción



Apéndice D

Tiempo	Elemento	Operario	Máquina (Horno)
0,6			
1,2			
1,8			
2,4			
3			
3,6			
4,2	Escala 0.6		
1,8	proceso Pesaje		
5,4			
6			
6,6			
7,2			
7,8			
8,4			

Tiempo	Elemento	Operario	Máquina (Horno)
9			
9,6			
10,2			
10,8			
11,4			
12			
12,6			
13,2			
13,8			
14,4			
15			
15,6			
16,2			
16,8			
17,4			
18			
18,6			
19,2	Escala 0.6		
19,8	proceso		
20,4	Moldeado y		
21	Armado		
21,6			
22,2			
22,8			
23,4			
24			
24,6			
25,2			
25,8			
26,4			
27			
27,6			
28,2			
28,8			
29,4			
30			
30,6		64	

Tiempo	Elemento	Operario	Máquina (Horno)
31,2			
31,8			
32,4			
33			
33,6			
34,2			
34,8			
35,4			
36			
36,6			
37,2			
37,8			
38,4			
39			
39,6			
40,2			
40,8			
41,4			
42			
42,6			
43,2			
43,8			
44,4			
45			
45,6			
46,2			
46,8			
47,4			
48			
48,6			
49,2			
49,8			
50,4			
51			
51,6			
52,2			
52,8			
53,4			
54			
54,6			
55,2			
55,8			
56,4			
57			
57,6			
58,2			
58,8			
59,4			
60			
60,6			
61,2			
61,8			
62,4			
63	Escala 0.6		
63,6	procesos		
64,2	Horneado		
64,8			
65,4			
66			
66,6			
67,2			
67,8			
68,4			
69			
69,6			
70,2			
70,8			
71,4			
72			
72,6			
73,2			
73,8			
74,4			
75		65	
75,6			
76,2			
76,8			
77,4			
78			
78,6			
79,2			
79,8			
80,4			
81			
81,6			
82,2			
82,8			
83,4			
84			
84,6			
85,2			
85,8			
86,4			
87			
87,6			
88,2			
88,8			
89,4			
90			
90,6			
91,2			
91,8			
92,4			
93			
93,6			
94,2			
94,8			
95,4			
96			

Tiempo	Elemento	Operario	Máquina (Horno)
96,6			
97,2			
97,8			
98,4			
99			
99,6			
100,2			
100,8			
101,4			
102	Escala 0.6		
102,6	Proceso		
103,2	Enfriado		
103,8			
104,4			
105			
105,6			
106,2			
106,8			
107,4			
108			

Apéndice E.

Variación de Valoración:

Habilidad		
+ 0,15	A1	Habilísimo
+ 0,13	A2	Habilísimo
+ 0,11	B1	Excelente
+ 0,08	B2	Excelente
+ 0,06	C1	Bueno
+ 0,03	C2	Bueno
+ 0,00	D	Medio

Habilidad		
- 0,05	E1	Regular
-0,10	E2	Regular
-0,16	F1	Malo
-0,22	F2	Malo

Esfuerzo		
+ 0,13	A1	Excesivo
+ 0,12	A2	Excesivo
+ 0,10	B1	Excelente
+ 0,08	B2	Excelente
+ 0,05	C1	Bueno
+ 0,02	C2	Bueno
+ 0,00	D	Medio
-0,04	E1	Regular
-0,08	E2	Regular
-0,12	F1	Malo
-0,17	F2	Malo

Condiciones		
+ 0,06	A	Ideales
+ 0,04	B	Excelente
+ 0,02	C	Buenas
+ 0,00	D	Medias
-0,03	E	Regulares
-0,07	F	Malos

Consistencia		
+ 0,04	A	Perfecta
+ 0,03	B	Excelente
+ 0,01	C	Buenas
+ 0,00	D	Medias
-0,02	E	Regulares
-0,04	F	Malo

Entonces $T_n = T_o (1 +/fv)$

CAPÍTULO 4



Modelo de ruteo capacitado con flota heterogénea para la distribución de pedidos: caso aplicado a una empresa ladrillera de la ciudad de Sincelejo, Sucre

Leonardo Arcos Domínguez¹, Rohonal Rodríguez Salgado²,
William Torres Meza³, Ronaldo Vecino Vargas⁴

Resumen

Dentro de todos los procesos que conforman la cadena de suministro de una actividad productiva, el factor transporte es considerado uno de los más importantes para el adecuado funcionamiento de esta, puesto que es el encargado de la movilización de los recursos necesarios para que se lleven a cabo todos los procesos de la cadena en general. Cabe mencionar que este factor representa uno de los costos de mayor relevancia dentro del proceso logístico, por lo cual es necesario la aplicación de herramientas o metodologías que permitan reducirlos, entre las que se encuentra el sistema de ruteo estratégico. Este último, dentro de su operatividad, busca minimizar los costos de transporte, teniendo en cuenta la mejor ruta para la distribución de los productos. La presente investigación tiene como finalidad diseñar un modelo de ruteo estratégico para la distribución de ladrillos en la empresa Cerámicas El Cinco, donde se detectaron altos costos de transporte ocasionados por la falta de planeación con respecto al reparto de pedidos. Para este diseño fue necesario la utilización de la herramienta GAMS, la cual permitió codificar el modelo y encontrar

1 Ingeniero Industrial. Corporación Universitaria del Caribe-CECAR. Correo: leonardo.arcos@cecar.edu.co; Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8464-0379>

2 Ingeniero Industrial. Corporación Universitaria del Caribe-CECAR. Correo: rohonal.rodriguez@cecar.edu.co; Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4273-3133>

3 Ingeniero Industrial. Corporación Universitaria del Caribe-CECAR. william.torres@cecar.edu.co; Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2785-0174>

4 Ingeniero Industrial. Corporación Universitaria del Caribe-CECAR. Correo: ronaldo.vecino@cecar.edu.co; Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2963-5432>

la mejor solución, obteniéndose una disminución del 11,69% en los costos de transporte.

Palabras clave: logística, distribución, cadena de suministro, transporte, problema de ruteo de vehículos.

Capacitated routing model with heterogeneous fleet for order distribution: case applied to a brickyard company in the city of Sincelejo, Sucre.

Abstract

Within all the processes that make up the supply chain of a productive activity, the transport factor is considered one of the most important for the proper functioning of this, since it is responsible for the mobilization of the necessary resources to be carried. All processes of the chain in general, it should be mentioned that this represents one of the most relevant costs in the logistics process, which is why it is necessary to apply tools or methodologies to reduce them; within which is, the strategic routing system, which within its operation, seek to minimize transport costs, taking into account the best route for the distribution of products. Now, the purpose of this research is to design a strategic routing model for the distribution of bricks in the company CERAMICAS EL CINCO, where high transportation costs were detected due to the lack of planning regarding the distribution of orders. For this design it was necessary to use tools such as GAMS, which allowed coding the model and finding the best solution, obtaining in this a decrease of 11.69% in transportation costs.

Keywords: logistics, distribution, supply chain, transportation, vehicle routing problem.

Introducción

En la actualidad, el entorno laboral se ha tornado demasiado exigente, lo cual ha llevado a que las empresas, que quieran sobrevivir y posicionarse, diseñen e implementen estrategias y técnicas para aumentar su ventaja competitiva y, sobre todo, para detectar, corregir y prevenir las problemáticas que se puedan presentar en las tareas vinculadas a su cadena de suministro.

Una de las técnicas implementadas en las empresas para dar solución a las actividades vinculadas a su cadena de suministro es la gestión de cadena de suministro (SCM), la cual, si se lleva a cabo de manera adecuada, ayuda a las organizaciones a la transformación de su cadena en un proceso óptimo y eficiente que satisfaga plenamente las necesidades y expectativas del cliente final; teniendo como base que la eficiencia de todos sus eslabones integrados es mucho más importante que la de cada cual por separado.

La caracterización de la cadena de suministro llevada a cabo en este escrito se basa en la identificación de todas las tareas que se encuentran vinculadas al proceso y al seguimiento que se les debe realizar para poder controlarlas. Esto permite a la empresa tener clara la relación existente con los demás procesos anexos, facilitando a todos los empleados de la organización conocer de modo sencillo cómo opera esta y de qué manera se gestionan sus procesos.

La cadena de suministro es un proceso que abarca el flujo continuo de materias primas, recursos necesarios e información requerida mediante diversas áreas, entre las partes que se encuentran involucradas en la cadena, permitiendo suministrar con mayor facilidad las operaciones que se puedan llevar a cabo a futuro en pro del aumento de la ventaja competitiva (Gutiérrez, Fuquen, & Abril, 2010). Cabe resaltar que la esquematización, análisis y correcta gestión de la cadena de suministro ayuda a identificar, corregir y prevenir problemas, con mayor facilidad, de los procesos tanto internos como externos de una organización.

Actualmente, la logística ha ido progresando de tal manera que es catalogada como una de las técnicas o herramientas más importantes para el aumento de la ventaja competitiva de una empresa, enfocándose con mayor ahínco en los aspectos que comprenden el transporte, resaltando que es

uno de los elementos más importantes dentro de la cadena de suministro. Este tiene como esencia brindar, en términos de seguridad, regularidad, oportunidad, entregas a tiempo y costos, un servicio de calidad, ya sea desde que se realiza el aprovisionamiento de materias primas hasta que se entrega el producto al cliente final (Chopra & Meindl, 2016); este proceso es uno de los que mayores costos logísticos genera (Ballou, 2004).

Ahora bien, una de las alternativas para contrarrestar la problemática mencionada es lo que respecta a la aplicación de un sistema de ruteo estratégico, el cual busca minimizar los costos de transporte mediante la elección de la ruta más conveniente, es decir, aquella que cumpla con todas las especificaciones y que contribuya a la mejora del problema (Joshi & Kaur, 2015 ; Daza, Montoya, & Narducci, 2013).

Por tal razón, el presente artículo tiene como finalidad presentar un modelo de ruteo capacitado con flota heterogénea para el reparto de ladrillos en la empresa Cerámicas El Cinco.

Materiales y métodos

La metodología empleada en la presente investigación es de carácter descriptivo y abarca distintas fases:

Fase 1. Caracterización de la cadena de suministro: en esta fase se analiza cómo se encuentra la cadena de suministro del ladrillo a nivel mundial, nacional y regional; luego se estudia detalladamente la cadena de suministro escogida para conocer todos sus procesos internos y la manera como se lleva a cabo el desarrollo de las actividades que la involucran.

Fase 2. Recolección de datos: luego de analizar las condiciones presentes en la cadena de suministro, y con la convicción de poder desarrollar el diseño de un modelo que le brinde una buena solución, se realiza el proceso de recolección de información en cuanto a variables y parámetros, el cual tiene como fin conocer y obtener los datos necesarios para la ejecución del modelo.

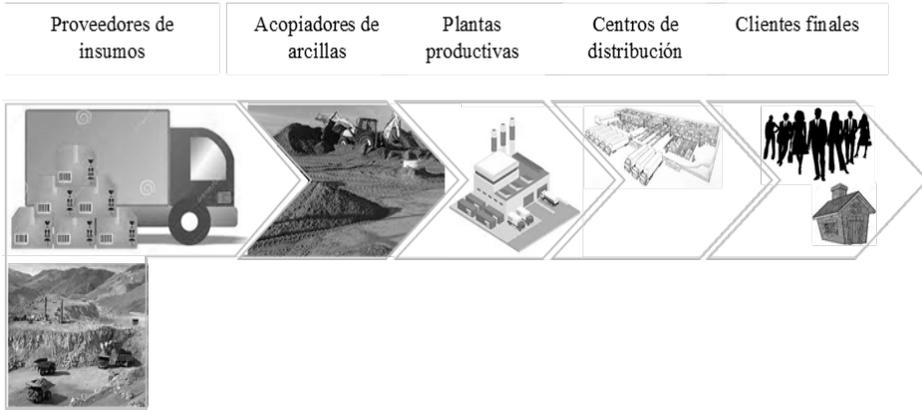
Fase 3. Formulación del modelo matemático: dada la recolección de datos, se procede al desarrollo del modelo de ruteo, el cual tiene como fin minimizar los altos costos de transporte que genera la inadecuada distribución de los productos.

Fase 4. Evaluación del modelo con datos reales y análisis de resultados: es aquí donde se procede a analizar toda la información arrojada por el modelo matemático una vez codificado y, con base en los criterios definidos, establecer las posibles conclusiones. **Diagnóstico actual de la cadena de suministro del ladrillo**

Tras un análisis detallado de la cadena de suministro del ladrillo a nivel mundial, se pudo determinar que esta se encuentra constituida por 5 eslabones (proveedores, acopiadores, productores, distribuidores y clientes), asimismo, cabe mencionar que a nivel nacional esta presenta una estructura similar, la cual se encuentra conformada por los 5 eslabones ya mencionados, como se puede apreciar en la figura 1. Sin embargo, es necesario resaltar que a nivel departamental la cadena de suministro presenta cierta diferencia en cuanto a su estructura, puesto que esta se encuentra conformada básicamente por 4 eslabones (proveedores, acopio-producción, comercialización y clientes), como se representa en la figura 2. Esta diferencia se debe a que las empresas transformadoras o productoras cuentan con zonas de almacenamiento propias para acopiar los materiales suministrados y, a su vez, los productos finales.

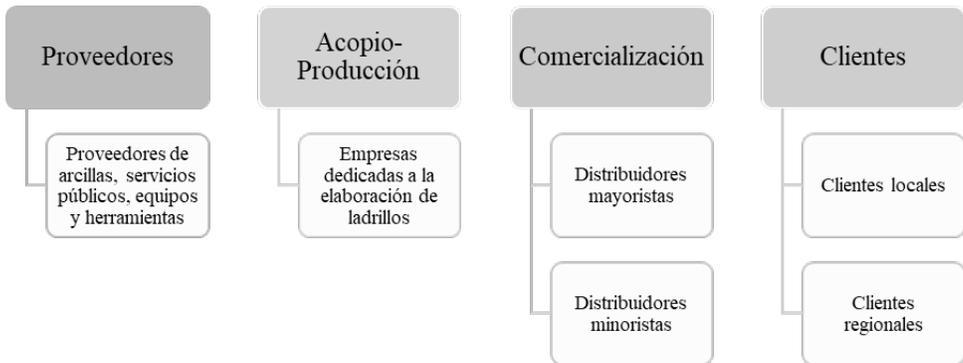
Para ser más detallados, las empresas a nivel mundial o nacional presentan una alta demanda de ladrillos y, por ende, necesitan de empresas acopiadoras para almacenar los productos mientras que a nivel departamental la demanda, en comparación con las demás, es mucho menor y, por ello, las empresas tienen la capacidad para almacenar sus productos en sus centros o zonas de acopio. Las cifras en cuanto a producción de ladrillos a nivel nacional se pueden observar en la figura 3.

Figura 1
Cadena de suministro a nivel mundial y nacional.



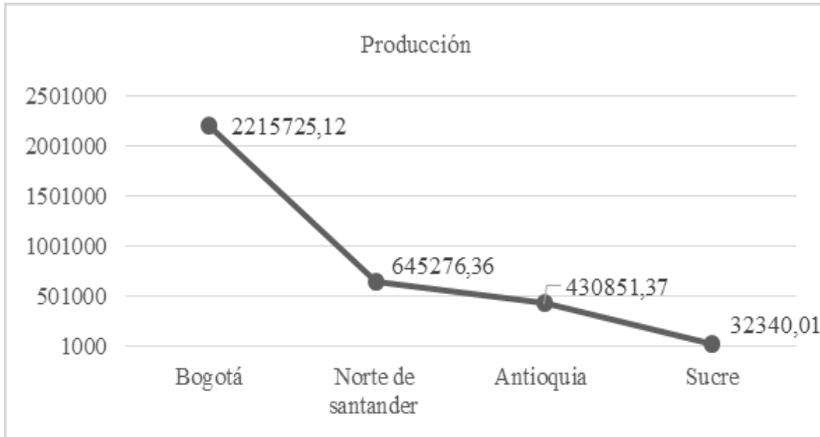
Nota. Fuente: construcción propia.

Figura 2
Cadena de suministro a nivel departamental.



Nota. Fuente: construcción propia.

Figura 3
Producción por unidad de ladrillos a nivel nacional.



Nota. Fuente: construcción propia.

Luego de un estudio de la cadena de suministro en cuestión, se pudo identificar que la problemática que mayor impacto genera son los altos costos de transporte, los cuales son generados debido a la mala planeación en la distribución de los productos. Por tal razón, cabe mencionar que los costos de transporte por día que actualmente Cerámicas El Cinco posee se estiman en alrededor de los \$3.550.000. **Recolección de información en la empresa**

Para la compilación del modelo de ruteo propuesto fue indispensable la recopilación de información en cuanto a clientes, demandas, costos de transporte, cantidad de camiones, tipo de camiones, tipo de productos, entre otros, los cuales fueron obtenidos gracias a la colaboración de la empresa Cerámicas El Cinco. (Figuras 1, 2, 3, 4, 5, 6).

Tabla 1
Referencias de Productos.

Tipo	Referencia
Ladrillo para levante de muro N° 4	1
Ladrillo para levante de muro N° 5	2
Ladrillo para perforación vertical N° 4	3
Ladrillo para perforación vertical N° 5	4
Ladrillo Catalán N° 6	5
Ladrillo Catalán N° 9	6
Ladrillo Bloquelón	7

Nota. Fuente: construcción propia.

Tabla 2
Masa de Productos.

Ladrillo	Masa (ton)
1	0,0045
2	0,0073
3	0,0068
4	0,0075
5	0,002
6	0,0031
7	0,011

Nota. Fuente: construcción propia.

Tabla 3
Capacidad de camiones.

Tipo	Camión	Capacidad (ton)
N°1	1	10
	2	10
	3	15
N°2	4	15
	5	15

Nota. Fuente: construcción propia.

Tabla 4
Costo fijo por uso del vehículo (miles de pesos).

Tipo	Camión	Costo
Nº1	1	85
	2	85
	3	125
Nº2	4	125
	5	125

Nota. Fuente: construcción propia.

Tabla 5
Costo de viajar desde el destino hasta el cliente (miles de pesos).

Destino/ Clientes	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	470	450	435	445	245	260	255
2	410	0	40	65	55	690	705	700
3	390	40	0	45	40	670	685	680
4	365	65	45	0	45	655	670	665
5	380	55	40	45	0	665	680	675
6	180	690	670	655	665	0	40	35
7	195	705	685	670	680	40	0	35
8	185	700	680	665	675	35	35	0

Nota. Fuente: construcción propia.

Tabla 6
Demanda de los productos por parte de los clientes (unidades).

Productos/clientes	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	730	810	0	820	0	900	750
2	0	245	326	420	0	350	250	0
3	0	0	0	0	480	200	0	150
4	0	0	0	0	240	100	0	70
5	0	0	0	320	0	0	0	0
6	0	0	0	275	0	0	0	0
7	0	0	0	300	0	350	0	150

Nota. Fuente: construcción propia.

Modelo propuesto

Modelo conceptual: Este problema de ruteo capacitado con flota heterogénea (CHVRP) puede ser formalizado de la siguiente manera: Sea $G = (V,E)$ un grafo no dirigido donde $V = \{1, \dots, m + n\}$ corresponde al conjunto de vértices y E al conjunto de arcos. Los vértices J corresponden a los clientes con demanda de cada producto d_{jm} y los vértices I corresponden a los depósitos.

Un costo variable C_{ij} es asociado a cada par de nodos $(i,j) \in E$. Un conjunto de vehículos heterogéneos K , cada uno con capacidad q_k está disponible en el depósito $i \in I$. Asimismo, cada vehículo $k \in K$ cuando realiza una ruta genera un costo fijo v_k . El objetivo principal de CHVRP es minimizar los costos logísticos de transporte, incluyendo los costos fijos por uso de los vehículos, también los costos variables asociados a cada ruta establecida. Este CHVRP es mono objetivo, con restricciones y discreto.

Una solución factible para el CHVRP debe satisfacer las siguientes restricciones: i) cada ruta establecida debe iniciar y finalizar en el depósito, ii) cada cliente debe ser visitado estrictamente una sola vez por una sola ruta asignada a un vehículo $k \in K$, iii) el total de las demandas de los clientes visitados por el vehículo $k \in K$ no puede exceder su capacidad q_k , iv) el flujo entre depósitos no es admitido.

Modelo matemático: En esta ocasión se formula un modelo de programación entera mixta para el CHVRP que cuenta con cuatro conjuntos:

i : Depósito

j : Clientes

k : Vehículos

m : Productos

Por otra parte, el modelo cuenta con los siguientes parámetros:

v_k = costo fijo por utilización del vehículo k

c_{ij} = costo de viajar desde el nodo i al nodo j

mp_m = masa del producto m

q_k = capacidad de carga del vehículo k

d_{jm} = demanda del cliente j del producto m

mg = número muy grande para acotar las cantidades a transportar

Esta formulación emplea las siguientes variables enteras y binarias:

z_{ijkm} = unidades del producto a transportar de un nodo a un nodo en un vehículo .

x_{ijk} = toma valores de 1 si se utiliza el arco de en la ruta asignada al vehículo $k \in K$.

Función objetivo

$$\text{Min } Z = \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} \sum_{k \in K} c_{ij} * x_{ijk} + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} v_k * x_{ijk} \quad (1)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{i \in V} x_{ijk} = 1 \quad \forall j \in J \quad (2)$$

$$\sum_{m \in M} z_{u_{ijkm}} * mp_m \leq q_k * x_{ijk} \quad \forall i \in V, \forall j \in V, \forall k \in K \quad (3)$$

$$\sum_{j \in V} x_{ijk} = \sum_{j \in V} x_{jik} \quad \forall i \in V, \forall k \in K \quad (4)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} x_{ijk} \leq 1 \quad \forall k \in K \quad (5)$$

$$\sum_{i \in S} \sum_{j \in S} x_{ijk} \leq |S| - 1 \quad \forall S \subseteq J, \forall k \in K \quad (6)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{i \in V} z_{u_{ijkm}} - \sum_{k \in K} \sum_{i \in V} z_{u_{jikm}} = d_{jm} \quad \forall j \in J, \forall m \in M \quad (7)$$

$$z_{u_{ijkm}} = 0 \quad \forall i \in J, \forall j \in I, \forall k \in K, \forall m \in M \quad (8)$$

$$z_{u_{ijkm}} \leq mg * x_{ijk} \quad \forall i \in V, \forall j \in V, \forall k \in K, \forall m \in M \quad (9)$$

$$z_{u_{ijkm}} \geq 0 \quad \forall i \in V, \forall j \in V, \forall k \in K, \forall m \in M \quad (10)$$

$$x_{ijk} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in V, \forall j \in V, \forall k \in K \quad (11)$$

La función objetivo (1) minimiza la suma de dos costos distintos: el primero asociado con los arcos visitados por las rutas; y el segundo, con los costos fijos relacionados al uso de los vehículos como se definen en (Escobar, Linfati, Rodrigo, & Toth, 2013). El grupo de restricciones (2) establece que cada cliente debe ser visitado estrictamente 1 vez por una ruta asignada a un solo vehículo $k \in K$. La restricción (3) se asocia con la capacidad de los vehículos. El grupo de restricciones (4) y (5) aseguran la continuidad de cada ruta y determina que cada una de ellas inicie y finalice en el depósito. La restricción de los subtours es satisfecha mediante el grupo de restricciones (6). El conjunto de restricciones (7) se asocian con la satisfacción de la demanda de cada producto por cada uno de los clientes. La restricción (8) evita el flujo de productos desde los clientes hacia el depósito. El grupo de restricciones (9) y (10) se asocian al acotamiento y no negatividad de las cantidades del producto m a transportar de un nodo a otro en el vehículo k . Finalmente, el grupo de restricciones (11) hace referencia a la variable binaria del modelo para la asignación de rutas.

Resultados y discusión

Luego de haber definido los parámetros, variables, función objetivo y restricciones del modelo se procedió a codificarlo en GAMS y posteriormente ejecutado en un computador con procesador Intel Core i5 (2.8 GHz) con 4 GB de memoria RAM, obteniendo una solución óptima. (Tablas 7, 8, 9, 10).

Tabla 7
Rutas establecidas y cantidades a enviar de cada producto.

Ruta/producto	1	2	3	4	5	6	7
X_{134}	810	746	0	0	320	275	300
X_{344}	0	420	0	0	320	275	300
X_{414}	0	0	0	0	0	0	0

Nota. Fuente: construcción propia.

Tabla 8

Rutas establecidas y cantidades a enviar de cada producto.

Ruta/producto	1	2	3	4	5	6	7
X_{153}	1550	245	480	240	0	0	0
X_{523}	730	245	0	0	0	0	0
X_{213}	0	0	0	0	0	0	0

Nota. Fuente: construcción propia.

Tabla 9

Rutas establecidas y cantidades a enviar de cada producto.

Ruta/producto	1	2	3	4	5	6	7
X_{162}	0	350	200	100	0	0	350
X_{612}	0	0	0	0	0	0	0

Nota. Fuente: construcción propia.

Tabla 10

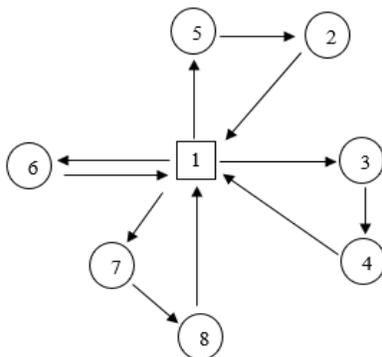
Rutas establecidas y cantidades a enviar de cada producto.

Ruta/producto	1	2	3	4	5	6	7
X_{175}	1650	250	150	70	0	0	150
X_{785}	750	0	150	70	0	0	150
X_{815}	0	0	0	0	0	0	0

Nota. Fuente: construcción propia.

Esta solución establece 4 rutas para atender la demanda de los 7 clientes, como se evidencia en la figura 4. La primera es visitar a los clientes 3 y 4 en la ruta asignada al vehículo 4. Como segunda ruta se establece atender a los clientes 5 y 2 en el vehículo 3. La tercera ruta visita al cliente 6 en el vehículo 2. Por último, la ruta 4 atiende a los clientes 7 y 8 en el vehículo 5.

Figura 4
Cadena de suministro a nivel mundial y nacional.



Nota. Fuente: construcción propia.

Este sistema de ruteo arroja un valor de **Z** de \$3.135.000, los cuales corresponden a los costos logísticos de transporte.

Por tal razón, teniendo en cuenta la comparación de los costos actuales de transporte que la empresa presenta frente a los costos de transporte arrojados por el modelo, se puede decir que existe una diferencia de \$415.000 lo que equivale a una disminución del 11,69% de ellos.

Costo de transporte actual: \$3.550.000

Costo de transporte hallado: \$3.135.000

Conclusiones

Tras la realización de este documento, a manera de conclusión, se puede decir que actualmente es necesario que tanto la alta gerencia como los empleados conozcan a fondo las actividades vinculadas a la cadena de suministro, debido a que esto le genera a la organización un valor agregado para la ventaja competitiva de la misma, teniendo en cuenta que la correcta gestión de la cadena de suministro es un factor clave para identificar, solucionar y prevenir problemáticas en los procesos vinculados a la operación de la empresa. Tener claro cómo opera en su totalidad cada tarea facilitará la toma de decisiones en cuanto a eficiencia, eficacia, sostenibilidad y sustentabilidad.

Por otro lado, se puede decir que el aumento de la competitividad que se está viviendo actualmente en los mercados tanto nacionales como internacionales ha generado una gran inquietud en las organizaciones, haciéndolas caer en cuenta que, para perdurar y aumentar sus ganancias en ambientes con un nivel de exigencia mayor, es fundamental no quedarse con lo que pasa solo en las cuatro paredes de una planta. Al contrario, es de gran importancia el intercambiar ya sea información, recursos, entre otros elementos claves, con todo aquello que se encuentre vinculado a su cadena de suministro (proveedores, clientes, etc.), mediante la integración de sus actividades y la aplicación de nuevas técnicas innovadoras que aporten algún tipo de beneficio conjunto.

Ahora bien, de acuerdo a la problemática descrita, se recomienda a las organizaciones diseñar sistemas de ruteo estratégicos que permitan seleccionar la mejor ruta con el mínimo de costo, ya que este es uno de los problemas que mayormente se presentan en las empresas y, por ende, uno de los que mayor impacto genera.

Teniendo en cuenta lo anterior, se puede decir que el presente trabajo podrá servir como modelo o guía para el desarrollo de investigaciones enfocadas en esta misma área.

Agradecimientos

Para llevar a cabo el desarrollo de esta investigación fue necesaria la colaboración del ingeniero José Luis Ruiz Meza y la productora de ladrillos Cerámicas El Cinco, a los cuales se les agradece pues fueron quienes nos suministraron asesorías, información confidencial y el conocimiento indispensable para la elaboración de esta investigación.

Referencias

- Ballou, R. (2004). *Logística: Administración de la cadena de suministro*. México: Prentice Hall.
- Chopra, S., & Meindl, P. (2016). *Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation* (6ta ed.). México DF: Pearson educación.
- Daza, J., Montoya, J., & Narducci, F. (2013). Resolución del problema de enrutamiento de vehículos con limitaciones de capacidad utili-

zando un procedimiento metaheurístico de dos fases. *Revista EIA*, 6(12), 23-38.

- Escobar, J. W., Linfati, R., & Toth, P. (2013). A two-phase hybrid heuristic algorithm for the capacitated location-routing problem. *Computers & Operations Research*, vol. 40, 70–79.
- Gutiérrez, E., Fuquen, H., & Abril, D. (2010). Planificación integrada de producción y distribución para un conglomerado industrial. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*(53), 88-105.
- Joshi, S., & Kaur, S. (2015). Comparative Analysis of Two Different Heuristics for Model of VRP. *2015 Second International Conference on Advances in Computing and Communication Engineering*, 124-127.

CAPÍTULO 5



Modelo de ruteo de vehículos capacitado y multiproducto aplicado a una empresa distribuidora de materiales para la construcción en Sincelejo, Sucre

Fernando Morales Botero¹, Harold Martínez García²,
Jesús Sierra Manrique³, Gustavo Vergara Hoyos⁴

Resumen

En la actualidad, existen diversos factores que inciden negativamente en la competitividad y equilibrio de las empresas, uno de estos se debe a problemáticas de planificación de estrategias que ayuden a reducir los costos de operación. En el siguiente estudio se plantea una herramienta para la planificación del sistema de distribución de productos, la cual fue aplicada en una empresa dedicada al despacho al por mayor y al detal de productos para la construcción, ubicada en la ciudad de Sincelejo. Se construyó un modelo de programación entera mixta de ruteo de vehículos (VRP) que considera variantes de multiproducto, capacitado con flota heterogénea, con el cual se logró obtener mejoras en el proceso de asignación de rutas de la empresa, mejorando la eficiencia del sistema a través del aprovechamiento de la capacidad por envío en cada vehículo; además, se estructuró una nueva organización de tiempos de pedidos. De esta manera, se logró un aumento del 8.22% del beneficio sobre el proceso de distribución.

1 Ingeniero Industrial. Corporación Universitaria del Caribe-CECAR. Correo: fernando.moralesb@cecar.edu.co; Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-7331-4567>

2 Ingeniero Industrial. Corporación Universitaria del Caribe-CECAR. Correo: harold.garciam@cecar.edu.co; Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8630-1450>

3 Ingeniero Industrial. Corporación Universitaria del Caribe-CECAR. Correo: jesus.sierram@cecar.edu.co; Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0483-7687>

4 Ingeniero Industrial. Corporación Universitaria del Caribe-CECAR. Correo: gustavo.vergara@cecar.edu.co; Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-9034-7208>

Palabras clave: sistemas de distribución, ruteo de vehículos, modelo de optimización, CVRP, GAMS.

Multi-product capacitated vehicle routing model applied to a construction materials distribution company in Sincelejo, Sucre

Abstract

At present, there are several factors that negatively affect the competitiveness and balance of companies, one of which is oriented to planning problems of strategies that help reduce operating costs. The following study proposes a tool aimed at contributing to the planning of the product distribution system, which was applied in a company dedicated to the wholesale and retail sale of products for construction, located in the city of Sincelejo. The tool emphasizes in a model of optimization of routing vehicles (CVRP) subject to exact methods of mixed linear programming with binary variables, by means of which it was possible to propose improvements in the methods of assigning routes to each of these by a number determined of orders, including multi-products and multi-customers, improving the efficiency of the system through the use of the capacity per shipment in each vehicle, highlighting that in the research orders were taken for time windows established, in addition, the proposed model consider reference nodes distributed throughout the city

Keywords: distribution systems, vehicle routing, optimization model, CVRP, gams.

Introducción

El transporte integra un factor relevante en la cadena de suministro, todos los días las organizaciones enfrentan el reto de planificar sus distribuciones de forma eficiente, garantizando la capacidad de sus vehículos para así cumplir con la demanda y la particularidad específica de cada orden. En la investigación de (Integrado et al. 2013) afirman que la complejidad de la distribución de productos, desde ciertos centros de acopio a sus clientes finales, contribuye en la gestión de algunos sistemas logísticos. Por lo tanto, el considerar una planificación adecuada puede llevar a un cuantioso ahorro, reflejado en la proyección de la empresa, dado que se estima que los costes del transporte figuran entre el 10% y el 20% del costo final de los productos.

El problema de ruteo de vehículos (VRP) puntualiza en la actividad de conseguir soluciones cercanas a la optimización y reducción de los costos de operación, también permite maximizar el nivel de clientes atendidos (Bermeo Muñoz and Calderón Sotero 2009). Además de ser un tema de alta relevancia, facilita el desarrollo de la planificación y regulación de sus componentes.

En la actualidad, aunque estemos inmersos en niveles de tecnificación, la mayoría de las organizaciones con operaciones de distribución y despachos continúan con el planteamiento de diseñar rutas de manera empírica, obviando herramientas de apoyo que los orienten a la mejora continua (González Vargas and González Aristizábal 2006). Un ejemplo claro es el caso de la PYME comercializadora y productora, ubicada en la ciudad de Sincelejo, Sucre. Esta es una empresa que fabrica y distribuye productos no metálicos para la construcción, además posee una flota de vehículos con diferentes capacidades, utilizados para el transporte de sus productos en todo el municipio.

En síntesis, la importancia de realizar una planificación de las rutas para la entrega del producto, se enfoca en la organización de la flota de vehículos para abastecer los pedidos o demanda pronosticada fundamentalmente, generando un valor agregado al eslabón de la distribución (Tokito 2018) Por lo cual, la siguiente investigación busca determinar las rutas, tipo de vehículos y cantidades de producto a enviar en la PYME de estudio,

logrando programar los envíos de los pedidos con un tiempo de captura, con el fin de optimizar los recursos de la empresa.

Marco teórico

La investigación realizada parte de definiciones del área involucrada, a las cuales se hace referencia con la intención de contextualizar.

Cadena logística de transporte

Es un componente de la gestión de la cadena de suministro que gestiona, planifica e inspecciona los procesos de aprovisionamiento, producción y distribución, y tiene como finalidad la satisfacción del consumidor final (Lama and Genaro 2013).

Problema de enrutamiento de vehículos (VRP)

Está centrado en un problema de optimización combinatoria que conlleva a un análisis surgido a partir de distribuciones reales y aplicaciones logísticas de enrutamiento, integrado por los siguientes componentes: la red de carreteras, los depósitos, los clientes, los vehículos y los conductores (Cornejo Sánchez and Puente 2005).

Problema de ruteo de vehículo con capacidad limitada (CVRP)

Se enfoca en las restricciones adicionales de las capacidades limitadas de los vehículos, encargados de distribuir los productos conforme a la demanda de los clientes, considerado como un problema de optimización de tipo NP-Hard (Ochoa-Ortíz *et al.* 2015).

Programación lineal entera mixta

El sistema de este modelo de programación puntualiza en la existencia de algunas variables enteras, continuas y binarias (Cornejo Sánchez and Puente 2005).

Transporte multiproductos

Implica la traslación de varios productos que se agrupan en las empresas productoras, centradas en ofrecer más de un producto con un gran poder de mercado (Fallis 2013).

Materiales y métodos

Actualmente, la planificación de estrategias orientadas a los sistemas de distribución de productos en las empresas juega un papel importante en la viabilidad financiera de la misma, debido al margen de contribución con el que esta actividad participa en la estructura de costos de cada uno de estos productos. Se resaltan problemáticas provocadas por la distribución, tales como prioridad de pedidos, vehículo a asignar, condiciones de entrega, producto a entregar y demás variables de alta envergadura (Xing et al. 2017).

Caracterización del sistema de distribución

La empresa utilizada como objeto de estudio se dedica principalmente a la producción y comercialización de materiales para la construcción, siendo líderes en extracción y aprovechamiento de recursos naturales, los cuales se transforman mediante procesos como trituración y clasificación para ser distribuidos en la región sabana. Nosotros identificamos problemas de planificación en la asignación de rutas y vehículos a pedidos realizados por sus clientes, razón por la cual se procedió a proponer una herramienta matemática que minimizara los costos sujetos a estas decisiones. Para el desarrollo del modelo, se hizo necesario la cuantificación de variables y parámetros inmersos dentro del sistema, entre los cuales se consideraron el modelo conceptual, las demandas de productos y sus especificaciones técnicas. Adicionalmente, se tuvieron en cuenta la flota de vehículos disponibles y sus respectivas capacidades de carga, costos de distribución, cálculo de distancia de nodo a nodo, entre otros.

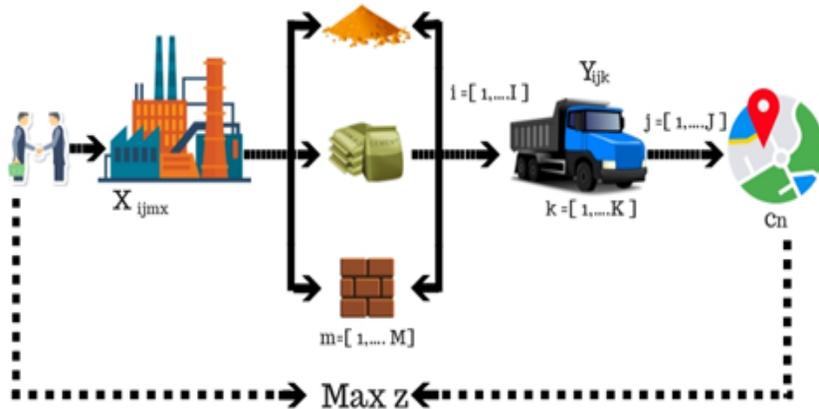
Modelo conceptual

El modelo matemático responderá al siguiente gráfico, el cual cuenta con un solo despacho, con m productos y k vehículos, a diferentes nodos i , por lo cual la variable X_{ijkm} denotan las cantidades a enviar de cada producto.

La asignación de la ruta y vehículo se da en la variable Y_{ijk} , con el objetivo de maximizar la utilidad.

Portafolio de productos

Figura 1
 Modelo conceptual.



Nota. Fuente: construcción propia.

Esta empresa es capaz de ofrecer una gran variedad de productos para la construcción, en donde es posible identificar diferentes referencias de estos, sin embargo, estas se encuentran inmersas en familias de productos tales como bloques vibrados, calados, gravilla, triturado, polvillo, arena, balastro, sika, cemento, alambre, varilla, Entre otros.

Tabla 1
 Demanda y utilidad semanal de familia de productos.

Producto	Cantidad	Unidad	Utilidad unitaria	Utilidad total
Gravilla	132	m	\$ 50.000	\$ 6.600.000
Bloque	8640	uds	\$ 420	\$ 3.628.800
Arena	162	m	\$ 20.714	\$ 3.355.668
Cemento	600	uds	\$ 3.380	\$ 2.028.000
Varillas	768	m	\$ 1.500	\$ 1.152.000
Balastro	21	Mk	\$ 18.000	\$ 378.000
Triturado	6	m	\$ 57.000	\$ 342.000

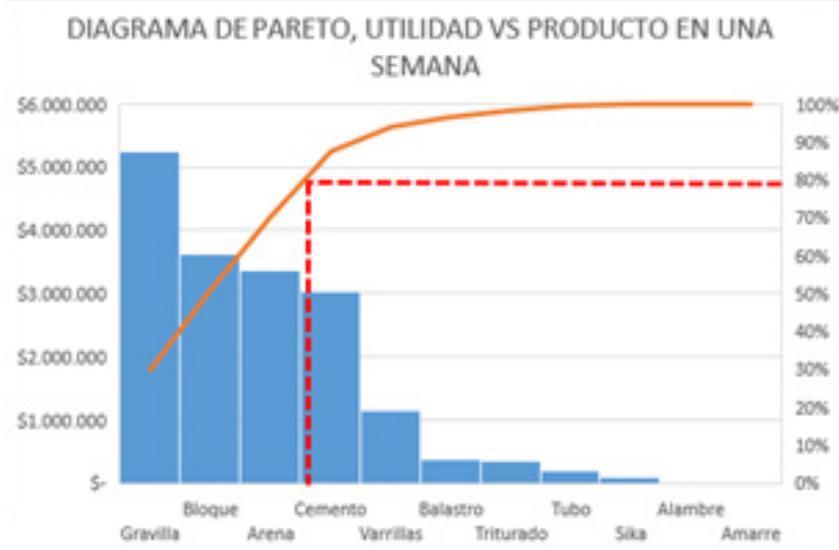
Producto	Cantidad	Unidad	Utilidad unitaria	Utilidad total
Tubo	24	m	\$8000	\$192000
Sika	18	kg	\$5000	\$90000
Alambre	18	kg	\$900	\$16200
Amarre	18	Cajas	\$100	\$1800

Nota. Fuente: construcción propia.

Para determinar la importancia de cada una de estas familias en las finanzas de la empresa, se realizó un análisis de Pareto, el cual tuvo como objeto identificar los mayores márgenes de utilidad en ventas por una semana, orientado a cada una de estas familias, logrando mejorar la objetividad del estudio y minimizar los sesgos.

Figura 2

Diagrama de Pareto enfocado a utilidades semanales por familia de productos.



Nota. Fuente: construcción propia.

Ahora bien, a partir del gráfico 1 es posible identificar las familias con mayor contribución semanal en las utilidades de la compañía, entre las cuales se encuentran la gravilla, el bloque, la arena y el cemento, representando el 80% de las utilidades totales de la empresa en una semana. Cabe resaltar que estas fueron calculadas y seleccionadas para el desarrollo de la investigación, por lo cual se consideran productos.

Especificaciones técnicas del producto

Las familias de productos seleccionados presentan diferentes relaciones de peso en toneladas por unidad, dependiendo del tipo de referencia. En este caso, en los productos como la gravilla y la arena se da una relación de 1,2 toneladas por metro cúbico; el bloque, de 0,01 tonelada; y el cemento, de 0,425 toneladas por unidades, respectivamente.

Flota de vehículos

La empresa cuenta con una flota de vehículos para la distribución de sus productos, entre los cuales se tiene:

Tabla 2
Vehículos para distribución.

Flota de vehículos		
	Camión 300	Volqueta
Nº vehículos	3	3
Capacidad (ton)	5	7

Nota. Fuente: construcción propia.

Estos vehículos presentan las siguientes capacidades por cada familia de producto seleccionado

Tabla 3
Capacidad de cada vehículo por producto.

Capacidad de cada vehículo por producto en m³		
	Camión 300	Volqueta
Gravilla	4,46	6,25
Arena	4	5,6
Bloque	500	700
Cemento	12	16

Nota. Fuente: construcción propia.

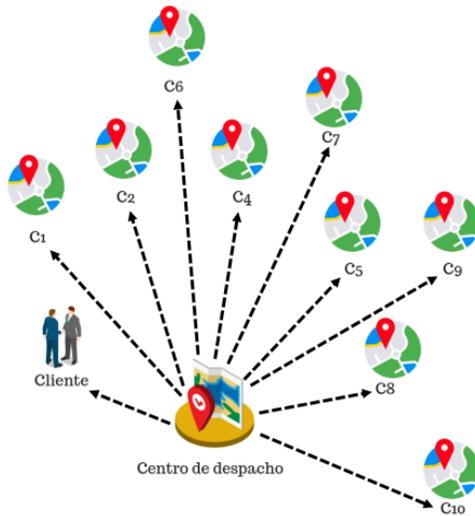
Por lo cual se consideran vehículos k y una capacidad de cada vehículo por cada producto .

Identificación de nodos y cálculo de distancias

La empresa se encuentra ubicada en el municipio de Sincelejo, en donde posee la mayor concentración de sus clientes, por lo cual tomamos las comunas como base para la asignación de distancias a cada pedido:

Por lo cual se consideran nodos de inicio $i = \{1,2,..,9\}$, y la distancia en km del nodo i al nodo j (Dis_{ij}).

Figura 3
Grafo de Nodos por comunas.



Nota. Fuente: construcción propia.

Figura 4
Mapa del distrito capital de Sucre.



Nota. Fuente: construcción propia.

Representación gráfica

La empresa incurre en ciertos costos que se han dividido en 3 fases: costos variables, los cuales se deben calcular según los galones de gasolina por kilómetros recorridos; los costos fijos, atribuidos al dinero que se deba cancelar día a día; y los costos asociados a la asignación de cada vehículo a una ruta según su tipo. Los costos se presentan a continuación:

Por lo cual se consideran el costo variable de asignar el vehículo k , por km recorrido ($Cost Var_k$), un costo de asignar el vehículo k ($Cost As_k$) y un costo fijo de mantener el vehículo k en la empresa ($Cost Fijo_k$), se estipula una base del galón de ACPM en \$ 8.700.

Tabla 4
 Costos de distribución del camión 300.

	Vehículos	Combustible	Costos de viáticos
Camión 300	Costo variable	0,14 gl/km	
	Costo de asignar		5.000
Volqueta	Costo variable	0,103 gl/km	
	Costo de asignar		10.000

Nota. Fuente: construcción propia.

Modelo matemático de ruteo capacitado

El problema de la empresa estudiada se encuentra en el momento de distribuir los productos solicitados por los clientes en sus respectivas localidades, para lo cual, la empresa cuenta con vehículos que realizan dichas actividades. La dificultad radica en cómo programar dichos vehículos para que los recorridos sean los mínimos y puedan disminuir los costos de distribución, para ello, se plantea un modelo de programación lineal mixta de ruteo capacitado (CVRP), dado que son diferentes vehículos con capacidades de distribución heterogéneas.

Conjuntos

$$i = \text{Nodos}, i = \{1, 2, 3, \dots, I\}$$

$$m = \text{Producto}, m = \{1, 2, 3, \dots, M\}$$

$k = \text{Vehículos } k = \{1, 2, 3, \dots, K\}$

Variables

$X_{ijkm} = \text{Cantidad de productos } m \text{ a enviar}$
 $\text{al nodo } i, \text{ en el vehículo } k$

$Y_{ijk} = 1 \text{ si se asigna el vehículo } k,$
 $\text{con el producto } m \text{ para el nodo } i, 0 \text{ lo contrario}$

$Z = \text{Utilidad generada por la distribución}$

$U_i = \text{Variable de holgura para evitar}$
 sub-ciclos

Parámetros

$Cap_{km} = \text{Capacidad de cada vehículo } k,$
 $\text{con el producto } m$

$Ped_{im} = \text{Pedido a enviar en el } i, \text{ del producto } m$

$CostVar_k = \text{Costo variable de asignar el vehículo } k,$
 $\text{Por kilómetro recorrido}$

$CostAs_k = \text{Costo de asignar el vehículo } k,$

$CostFijo = \text{Costo Fijo por la distribución,}$

$Dis_{ij} = \text{Distancia del nodo } i$

$Uti_m = \text{Utilidad generada por la distribución del}$
 $\text{producto } m$

$CG = \text{Costo del galón de combustible}$

$n = \text{Cantidad de nodos}$

Restricciones

$$\begin{aligned}
 \text{Max } Z = & \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{M=1}^M (X_{ijkm} * Uti_m) \\
 - & \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K [(Y_{ijk} * \text{CostVar}_k * \text{Dis}_{ij} * \text{CG}) + (Y_{ijk} * \text{CostAs}_k)] \\
 - & \text{CostFijo} \quad (1)
 \end{aligned}$$

$$\sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K Y_{ijk} = 1 \quad \forall i \in N - [1] \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^J Y_{1jk} \leq 1 \quad \forall k \in N, j - [1] \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K X_{ijmk} - X_{jimk} = \text{Ped}_{im} \quad \forall j, m \in N, j - [1] \text{ y } i \neq j \quad (4)$$

$$X_{ijkm} \leq Y_{ijk} * \text{Cap}_{km} \quad \forall i, j, k, m \in N, i \neq j \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^I Y_{i,h,k} = \sum_{j=1}^J Y_{h,j,k} \quad \forall h, k \in N, i \neq h \text{ y } j \neq h \quad (6)$$

$$U_i - U_j + n * Y_{ijk} \leq n - 1 \quad \forall i, j, k \in N, i - [1] \text{ y } j - [1] \quad (7)$$

$$X_{i1km} = 0 \quad \forall i, j, k, m \quad (8)$$

$$X_{i1km} \leq Mu * Y_{ijk} \quad \forall i, j, k, m \quad (9)$$

$$\forall X_{ijkm}, U_i \geq 0 \quad (10)$$

$$\forall Y_{ijkm} = [0,1]$$

El anterior modelo declara las variables de cantidad, asignación y holgura del ruteo. Los parámetros descritos y las restricciones actúan de la siguiente forma:

La restricción (1) busca maximizar la utilidad de distribuir los productos; la restricción (2) establece que solo se puede salir una vez por el mismo nodo; la restricción (3) determina que, para una asignación, como

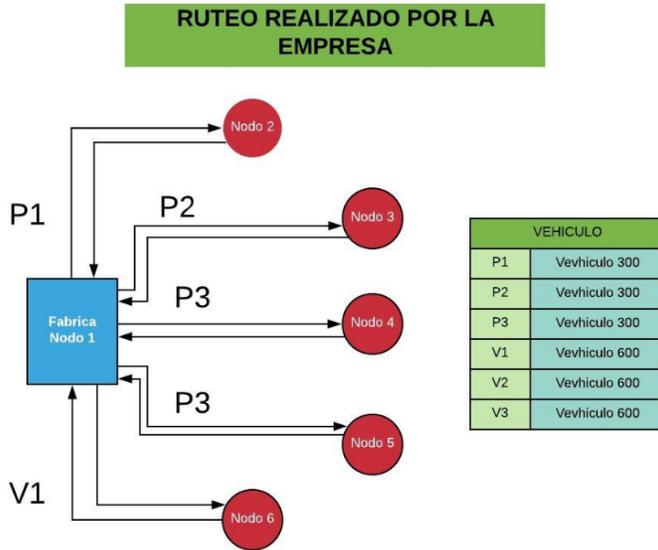
máximo se puede escoger un vehículo, y no se puede utilizar este para repetir pedidos; la restricción (4) realiza un control de flujo, obligando a que todos los pedidos que realicen los clientes deban cumplirse; la restricción (5) restringe la capacidad de los vehículos; la restricción (6) es una ecuación de balance, con el fin de establecer que el nodo de llegada deba ser igual al nodo de inicio en el siguiente arco del vehículo k , asegurando la consecuencia de la ruta; la restricción (7) controla los subciclos que se puedan generar en las interacciones, logrando igualar la cantidad de nodos existentes con la cantidad de nodos a visitar en el ruteo resultante; la restricción (8) determina que las cantidades al final del ruteo deben ser siempre cero, para todos los productos y vehículos, con el objetivo de que el vehículo siempre regrese a la fábrica sin productos; la restricción (9) realiza un artificio matemático, con el fundamento de que la variable de cantidad, siempre y cuando la binaria lo active, realice alguna actividad; finalmente, las restricciones (10) y (11) determinan la naturaleza de las variables.

Solución

El modelo fue verificado mediante una captación de pedidos con una ventana de 1 hora, realizando una comparación de lo que la empresa realiza cotidianamente y lo que el modelo arroja.

El modelo planteado fue solucionado con los datos tomados en la empresa, mediante el software GAMS en la versión 23.5, con un procesador AMD A10 – 9620P Radeon R5, demostrando tiempo de solución bajos, logrando obtener el siguiente ruteo.

Figura 5
 Ruteo realizado por la empresa.



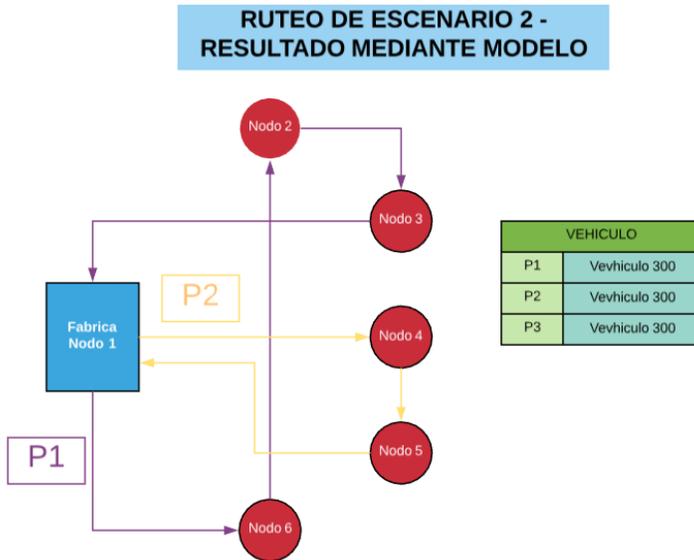
Nota. Fuente: construcción propia.

Tabla 5
 Utilidad generada mediante ruteo tradicional.

Utilidad generada mediante ruteo tradicional				
Vehículos	Costo por recorrido	Costo por asignación	Costos fijos	Beneficio
Camión 300-1	\$ 9.013	\$ 10.000		\$ 180.080
Camión 300-2	\$ 4.385	\$ 10.000	\$	\$ 70.714
Camión 300-3	\$ 12.911	\$ 10.000	15.000	\$ 54.514
Volqueta - 1	\$ 5.568	\$ 30.000		\$ 83.428
Total		\$ 106.877		\$ 388.736
Utilidad				\$ 281.859

Nota. Fuente: construcción propia.

Figura 6
Ruteo realizado por modelo dos.

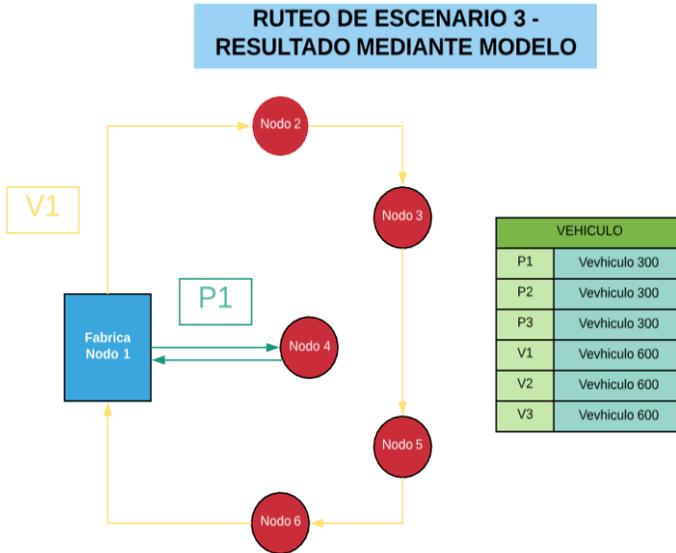


Nota. Fuente: construcción propia.

Es necesario un cambio de ruta dado que la empresa envía los pedidos cada que esta se ejecuta, provocando desperdicios de capacidad en ciertos vehículos.

Resultado y discusión

Figura 7
 Ruteo realizado por el modelo tres.



Nota. Fuente: construcción propia.

El ruteo realizado por la empresa dispone de 4 camiones, debe entregar y volver a cargar el pedido, creando excesos de tiempo de entrega.

El ruteo realizado por el modelo utiliza 2 vehículos, aprovechando al máximo las capacidades de cada vehículo, aumentando el beneficio por distribuir los productos.

Tabla 7
 Utilidad obtenida mediante el modelo.

Utilidad generada mediante modelo matemático				
Vehículos	Costo por recorrido	Costo por asignación	Costos fijos	Beneficio
Camión 300-1	\$ 6.090	\$ 10.000	\$ 15.000	\$ 33.800
Volqueta-1	\$ 22.620	\$ 30.000	\$ 354.936	
Total		\$ 83.710		\$ 388.736
Utilidad		\$ 305.026		

Utilidad generada mediante modelo matemático					
Vehículos	Costo por recorrido	Costo por asignación	Costos fijos	Beneficio	
Utilidades					
				Ruteo tradicional	\$ 281.859
				Ruteo del modelo escenario dos	\$ 282.508
				Ruteo del modelo escenario tres	\$ 305.026

Nota. Fuente: construcción propia.

El ruteo de la empresa generó un beneficio de \$ 281.859; el presentado por el modelo en el escenario 2, \$ 282.508; y en el escenario 3, \$ 305.206, produciendo un incremento de 0.23% y 8.22%, respectivamente, para los dos últimos casos. Esto es ocasionado en un solo ruteo de los 10 o 15 que la organización realiza a diario.

Conclusiones

El problema de ruteo capacitado (CVRP), modelado matemáticamente mediante programación lineal mixta, obtiene resultados muy favorables para las organizaciones, representando mejoras en el ruteo con tiempos de solución bajos, ayudando al área de despacho a tomar decisiones que maximicen el beneficio de la empresa.

La empresa actualmente asigna los vehículos en el momento de generación del pedido, con la intención de disminuir los tiempos de entrega, aunque esto provoca desperdicios de capacidad y obliga a fijar mayor cantidad de vehículos para los mismos pedidos.

Esta investigación contribuye a las nuevas propuestas de ruteo de vehículos, determinando un modelo matemático multiproductos, con diferente capacidad, acercándose un poco más a las necesidades reales de las empresas.

Agradecimientos

A Dios por bendecirnos, por guiarnos en nuestra existencia, ser el apoyo y fortaleza en nuestra carrera.

A la empresa referenciada en el estudio de nuestra investigación, por la oportunidad y el apoyo brindado.

Al Ing. José Ruiz Meza que con su sabiduría y conocimiento fue nuestra guía en el desarrollo de esta investigación.

Referencias

- Bermeo Muñoz, Elver A., and Jaime Hernán Calderón Sotero. 2009. “Diseño de Un Modelo de Optimización de Rutas de Transporte.” *El Hombre y La Máquina* 32(enero-junio):52–67.
- Cornejo Sánchez, Christian, and Miguel Mejía Puente. 2005. “Modelo de Programación Lineal Entera Mixta Para El Planeamiento de Las Importaciones En Régimen Aduanero Definitivo PARTE I The Mixed Integer Linear Programming Model for the Import Planning in Definitive Customs Regime PART I.”
- Fallis, A. . . 2013. “Análisis De Las Características Y Aplicaciones De Los Sistemas De Ruteo De Vehículos.” *Journal of Chemical Information and Modeling* 53(9):1689–99. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.
- González Vargas, Guillermo, and Felipe González Aristizábal. 2006. “Metaheurísticas Aplicadas Al Ruteo de Vehículos. Un Caso de Estudio. Parte 1: Formulación Del Problema.” *Revista Ingeniería e Investigación* 26(3):149–57.
- Integrado, Modelo, De Capacidad De Madurez, Hugo Arboleda, Andrés Paz, and Rubby Casallas. 2013. “Estudios Gerenciales.” 29(122):177–88. doi: 10.1016/j.estger.2014.09.003.
- Lama, Miranda-de, and C. Genaro. 2013. “Artículo de Revisión Transporte y Logística Pre-Sacrificio :” 44:31–56.
- Ochoa-Ortíz, Alberto, Francisco Ornelas-Zapata, Lourdes Margain-Fuentes, Miguel Gastón Cedillo-Campos, Jöns Sánchez-Aguilar, Rubén Jaramillo-Vacio, and Isabel Ávila. 2015. “Capacitated Vehicle Routing Problem for PSS Uses Based on Ubiquitous Computing: An Emerging Markets Approach.” *Dyna* 82(191):20–26. doi: 10.15446/dyna.v82n191.51141.
- Tokito, Shohei. 2018. “Environmentally-Targeted Sectors and Linkages in the Global Supply-Chain Complexity of Transport Equipment.”

Ecological Economics 150(July 2017):177–83. doi: 10.1016/j.ecolecon.2018.04.017.

Xing, Meiyu, Kwame Awuah-Offei, Suzanna Long, and Shoaib Usman. 2017. “The Effect of Local Supply Chain on Regional Economic Impacts of Mining.” *Extractive Industries and Society* 4(3):622–29. doi: 10.1016/j.exis.2017.05.005.

CAPÍTULO 6



Aplicación de metodologías para la eficiencia de la cadena de suministro: caso aplicado a una empresa de calzado en el municipio de Chinú, Córdoba

German Aguas Jiménez¹, José Ruiz-Meza², María Burgos Díaz³,
Paula Martínez Rivero⁴, Yeison Madera Angulo⁵

Resumen

Dentro de la cadena de suministro, la gestión de aprovisionamiento es considerada como uno de los aspectos más relevantes a lo largo de los sistemas productivos, debido a que comprende la planificación, ejecución y control de flujo eficiente y rentable de las materias primas necesarias para los procesos, lo cual permite alcanzar una mayor productividad. En este trabajo se aplicaron estrategias de control de la cadena de suministro de una empresa del sector cuero, calzado y marroquinería ubicada en el municipio de Chinú, Córdoba. Se identificaron distintos problemas enfocados en las políticas de planeación de la producción y la estandarización de tiempos de procesamiento, de manera que, mediante la estandarización de los procesos, pronósticos de demanda, selección proveedores y un modelo de planeación de la producción, se generaron escenarios de solución

1 Ingeniero Industrial. Corporación Universitaria del Caribe-CECAR. Correo: german.aguas@cecar.edu.co; Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3341-3306>

2 PhD(c) en Logística y Gestión de Cadenas de Suministro. Maestría en Logística Integral. Ingeniero Industrial. Docente de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia-UNAD. Corporación Universitaria del Caribe-CECAR, Grupo de investigación Simulación de Tecnologías para Procesos Industriales y Gestindustriales EOCA. Investigadornivel Junior MinCiencias. Correo: jose.ruizm@cecar.edu.co; Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9155-5612>

3 Ingeniera Industrial. Corporación Universitaria del Caribe-CECAR. Correo: maria.burgos@cecar.edu.co; Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5630-8456>

4 Ingeniera Industrial. Corporación Universitaria del Caribe-CECAR. Correo: paula.martinezr@cecar.edu.co; Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8739-4038>

5 Ingeniero Industrial. Corporación Universitaria del Caribe-CECAR. Correo: yeison.madera@cecar.edu.co; Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-7609-6959>

para los problemas identificados. Se evaluaron diferentes modelos de pronósticos tomando como mejor opción el modelo ARIMA, el cual presentó una señal de seguimiento bastante aproximada a la realidad. Se aplicaron dos modelos para la selección de proveedores (el modelo análisis jerárquico-AHP y el modelo de ponderación), con los cuales se identificaron los proveedores que cumplen con las especificaciones de la empresa. Por último, se desarrolló un modelo matemático de planeación de la producción, el cual determinó las cantidades óptimas que se deben fabricar para maximizar las ganancias de la empresa.

Palabras clave: planeación de la producción, pronósticos, demanda, análisis jerárquico.

Application of methodologies for the efficiency of the supply chain: case applied to a footwear company in the municipality of Chinú, Córdoba

Abstract

Within the supply chain, supply management is considered as one of the most relevant aspects along the productive systems, because it includes the planning, execution and control of efficient and profitable flow of raw materials necessary for the processes, which allows to reach a higher productivity. In this work, supply chain control strategies were applied in a company of the leather, footwear and leather goods sector located in the municipality of Chinú, Córdoba. Different problems focused on production planning policies and standardization of processing times were identified, so that, through process standardization, demand forecasts, supplier selection and a production planning model, solution scenarios were generated for the problems identified. Different forecasting models were evaluated, taking the ARIMA model as the best option, which presented a tracking signal fairly close to reality. Two models were applied for supplier selection (the hierarchical analysis-AHP model and the weighting model), which were used to identify suppliers that meet the company's specifications. Finally, a mathematical production planning model was developed, which determined the optimal quantities to be manufactured in order to maximize the company's profits.

Keywords: production planning, forecasting, demand, hierarchical analysis

Introducción

El cuero, calzado y marroquinería es uno de los sectores que ha crecido, tanto así que los empresarios de este sector alrededor del mundo han tomado medidas para posicionar sus productos con altos estándares de calidad internacional, con el fin de satisfacer a la gran variedad de clientes que existen para este mercado cada vez más exigente (Sectorial 2017). Según Revista del Calzado (2018), la producción mundial de calzado alcanzó un monto de 24.200 millones de pares, aproximadamente el 2,7% más que en el año 2017, siendo China, India, Vietnam, Indonesia y Brasil los cinco principales países productores (Revista Calzado 2019). En Colombia, el sector se encuentra agrupado por la Asociación Colombiana de Industriales del Calzado, el Cuero y sus Manufacturas (ASICAM), constituida en un 98% por micros, pequeñas y medianas empresas. Además, el sector es uno de los más significativos de la industria colombiana, pues representa cerca del 1% de la producción y participa con más del 3% en la generación de empleo a nivel nacional (Asociación Colombiana de Industriales de Calzado, 2019).

Dentro de cada empresa existen una serie de actividades logísticas que contribuyen al desarrollo de un objetivo planteado, con la finalidad de maximizar la productividad a través de un manejo efectivo de los recursos disponibles (Alcocer-Quinteros and Knudsen-González 2019). Así, se genera un proceso de evaluación en cada una de estas actividades que involucra diversas estrategias, criterios, métodos y alternativas para la toma de decisión que, incluso, pueden entrar en conflicto con otras actividades (Osorio Gómez and Orejuela Cabrera 2008).

Como parte de ello, es imprescindible el desarrollo de estrategias entorno a la gestión de inventarios, selección de proveedores y distribución de los productos, sin olvidar que la eficiencia en el proceso de gerencia de la cadena de suministro involucra a la administración de los activos y los flujos de productos, con los cuales se puede maximizar la rentabilidad de la misma (Camacho *et al.* 2012). Así es que para administrar una cadena de suministro se hace necesario tomar en cuenta todas las actividades presentes en cada una de las etapas de los procesos. Por tal motivo, uno de los principales objetivos radica en la realización de pronósticos acertados que permitan mantener un adecuado nivel de inventarios y generar planes

de producción eficientes, sin omitir las políticas de costos-beneficio y de marketing establecidas previamente (Julian Andres Zapata Cortes 2014).

Por otra parte, de manera proporcional al crecimiento que ha presentado el mercado mundial del calzado en los últimos años, se producen desperdicios de muchos recursos dentro de los sistemas de producción; esto conlleva a que los clientes tomen la voz para que estos sistemas de fabricación sean más amables con el ambiente sin que se vean afectados en lo que respecta a la innovación en los diseños y los tiempos de entrega de los productos finales (Ald *et al.* 2018).

En este sentido, con la implementación de herramientas que midan la gestión del mismo sistema, se pueden obtener procesos logísticos que sean eficientes, generando así indicadores que reflejarán una serie de resultados para la toma de medidas orientadas a mejorar continuamente el sistema (Alcocer-Quinteros and Knudsen-González 2019).

Dentro del desarrollo de este artículo se plantearon estrategias de control para la cadena de suministro, tomando como caso de estudio una empresa productora de calzado del municipio de Chinú, Colombia. El objetivo planteado se centró en solucionar los problemas encontrados a lo largo de la cadena de suministro, con el fin de aumentar la productividad y permitirle a la empresa alcanzar un mayor crecimiento y reconocimiento en la región. Todo ello, mediante la estandarización de tiempos, el pronóstico de la demanda, la selección de proveedores y un modelo de planeación de la producción, para los cuales se utilizaron, como soporte para los cálculos, las herramientas Microsoft Excel, Statgraphics y el software de optimización GAMS.

En este sentido, se establece un proceso general que consta de diversos modelos estratégicos y de optimización aplicados a un caso realista que detalla su implementación para la solución de diversos problemas observados en la organización. Asimismo, el modelo matemático que se propone considera la especificidad de los problemas reales del caso de estudio, generando así una oportunidad para ser implementado en cualquier otro tipo de sistema similar.

El resto de este documento se estructura de la siguiente manera: en la sección 2 se realiza una caracterización del sistema productivo de la empresa caso de estudio; la sección 3 detalla los modelos aplicados a

los diferentes problemas identificados en la organización; finalmente, la sección 4 resume las conclusiones.

Caracterización del sistema productivo

El estudio desarrollado aborda la planeación de la producción, la cual implica estandarizar tiempos, seleccionar proveedores y pronosticar la demanda partiendo de datos históricos de 6 periodos, que equivalen a 6 semanas, en una empresa del sector cuero, calzado y marroquinería que se encarga de la fabricación y distribución de calzado.

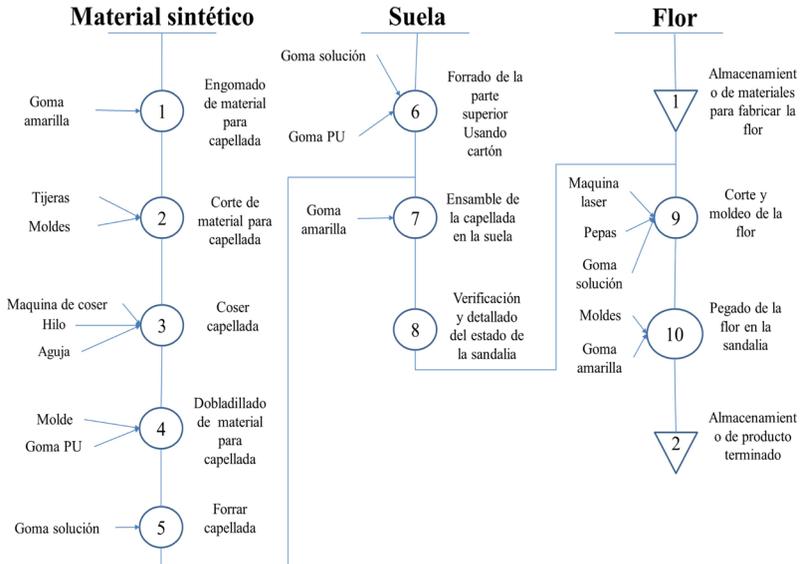
Este estudio maneja diversos alcances investigativos: descriptivo, debido a que se realizó una caracterización de la empresa; y exploratorio, debido a que se visitó la empresa y se observaron las actividades que se realizan en ella teniendo en cuenta las variables y situaciones que lo afectan.

El proceso de fabricación de calzado que se lleva a cabo actualmente en la empresa ha venido presentando ciertos problemas en sus diferentes etapas, dentro de las cuales se encontró que la empresa no cuenta con políticas de planeación al momento de realizar los pedidos a sus proveedores, ocasionando que la materia prima no cumpla con un estándar mínimo de calidad y que los tiempos de entrega, tanto de la materia prima como de los productos terminados, se incumplan.

De igual manera, dentro de la fabricación del producto se analizó que los tiempos de producción y las operaciones no están estandarizados y, consecuente a ello, se realizó un estudio de tiempo aplicando un método de medición directa que describe un enfoque metodológico definido para la toma de tiempos con cronómetro (Bures and Pivodova 2015). Mediante este estudio se calcularon los tiempos observados, normales y, posteriormente, se agregaron los suplementos para el cálculo de los tiempos estandarizados. Se tomó como base la construcción del diagrama de operaciones con el fin de establecer parámetros claros de todo el proceso e identificar las tareas a medir.

Figura 1

Diagrama de operaciones del sistema de producción actual.



Nota. Fuente: construcción propia.

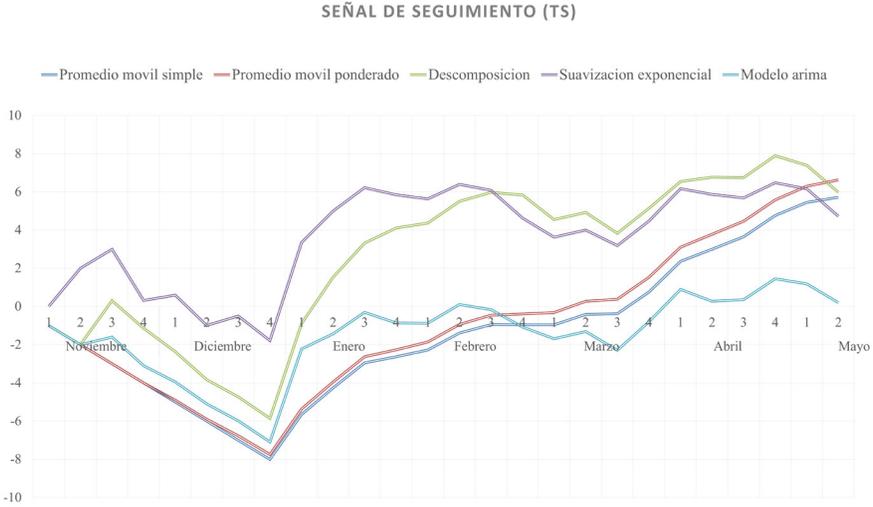
Posteriormente, se toma como base un número de 20 observaciones base según los criterios del estudio de tiempos por cronómetros de Niebel (Freivalds 2014). Asimismo, se aplica la ecuación para el cálculo del tamaño de las muestras y se procede a tomar las observaciones y la realización de los cálculos de los tiempos normales y estandarizados.

Aplicación de metodologías

Pronosticando la demanda usando Statgraphics y Microsoft Excel

Luego de caracterizar el sistema, se procedió a realizar un pronóstico de ventas de la empresa por medio de datos históricos desde el mes de noviembre hasta la mitad del mes de mayo, con el fin de pronosticar 6 periodos (cada periodo es equivalente a una semana). Para ello, se aplicaron diferentes modelos, entre ellos el promedio móvil simple, el promedio móvil ponderado, la descomposición, la suavización exponencial y los modelos ARIMA, para obtener una perspectiva global y a la vez parcializada de todos los datos que se obtuvieron, además de reducir la incertidumbre de la demanda (Suhermi et al. 2018).

Figura 2
Señales de seguimiento de cada modelo de pronóstico aplicado.



Nota. Fuente: construcción propia.

Al comparar las señales de seguimiento (TS) de cada uno de los modelos aplicados para estimar valores aproximados a las demandas reales de la empresa, se evidencia que el modelo ARIMA tiene un comportamiento muy ajustado al comportamiento de los datos históricos de la empresa. Por consiguiente, los resultados de este modelo serán utilizados más adelante para planear la producción. A continuación, se evidencian en tabla 1 los resultados obtenidos.

Tabla 1
Demandada proyectada por cada cliente.

Periodo	Comerciante 1	Comerciante 2
1	38	41
2	40	38
3	41	38
4	42	37
5	43	37
6	44	37

Nota. Fuente: construcción propia.

En este sentido, se proyecta un pronóstico para satisfacer la demanda de cada comerciante durante 6 periodos para que la empresa se centre en el diseño de estrategias de producción que permitan el aumento de su rentabilidad.

Selección de proveedores mediante el modelo AHP y modelo de ponderación

Debido a la falta de políticas de planeación para la eficiencia de los pedidos y la adquisición de materiales e insumos requeridos para la producción, se hace necesario que se fijen tiempos de entrega con lapsos permisibles, además de otras restricciones o requisitos que apunten a la optimización del desempeño de los proveedores. Por consiguiente, se emplearon dos modelos para determinar la identificación y selección de nuevos proveedores de cuero.

Inicialmente, se aplicó el modelo de Proceso de Análisis Jerárquico o AHP creado por Thomas Saaty (Saaty 1988) el cual permite evaluar varias estrategias cuando se consideran diferentes criterios (Benmouss et al. 2019) para la selección de la alternativa que presente un mayor peso en función del objetivo que se plantee (Wolnowska and Konicki 2019). En este caso se consideraron 4 peleterías ubicadas en el municipio de Chinú, Córdoba, y los criterios evaluados fueron: costo de la materia prima, costo de transporte, tiempo de aprovisionamiento y el rendimiento de la materia prima para una docena de producto.

Una vez definidos los criterios, se realizó el análisis por pares, es decir, se compararon cada una de las alternativas de proveedor frente a cada uno de los criterios asociándolos par por par y se les asignó una ponderación de acuerdo a la escala de comparación creada por Saaty (Sabaei, Erkoyuncu, and Roy 2015; Wolnowska and Konicki 2019), la cual se muestra en la tabla 2.

Una vez establecida cada comparación se normalizó la matriz, dividiendo cada término entre la suma de sus columnas, a partir de las cuales se realiza un promedio y se crea el vector de prioridad que se usa posteriormente para el resultado final. Ahora bien, para comprobar que las ponderaciones realizadas el coeficiente de consistencia fue calculado, el cual no debe ser mayor a 0,1 para que sea considerada aceptable la ponderación realizada. Para este caso, el coeficiente fue de 0,091, es decir, es aceptable y

los resultados sí podrán ser usados para tomar una decisión. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 3.

Tabla 2
Escala de comparación de SAATY.

Escala	Definición	Explicación
1	Igualmente, preferida	Los dos criterios contribuyen igual al objetivo
3	Moderadamente preferida	La experiencia y el juicio favorecen un poco a un criterio frente al otro
5	Fuertemente preferida	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente a un criterio frente al otro
7	Muy fuertemente preferida	Un criterio es favorecido muy fuertemente sobre el otro. En la práctica se puede demostrar su dominio.
9	Extremadamente preferida	La evidencia favorece en la más alta medida a un factor frente al otro

Nota. Fuente: construcción propia (Saaty 1988).

Tabla 3
Resultados obtenidos con el modelo AHP.

Criterio/ Alternativa	Costo Materia Pima	Costo Transporte	Tiempo Aprovisiona- miento	Rendimiento Mp X Docena	Prioriza- ción
Peletería La Esperanza	0,26	0,09	0,41	0,48	0,39
Peletería La Esperanza N° 2	0,08	0,54	0,32	0,28	0,24
Peletería La Matraca	0,50	0,14	0,17	0,06	0,20
Portamateriales del Caribe	0,16	0,22	0,09	0,18	0,17
Ponderación	0,29	0,04	0,09	0,57	

Nota. Fuente: construcción propia.

La principal opción para proveedor de la empresa es la peletería La Esperanza debido a que presentó el mejor comportamiento frente a las demás, con un porcentaje de 39%. De manera que puede cumplir con los

criterios establecidos por la empresa para el aprovisionamiento de materias primas.

Adicionalmente, se aplicó un modelo de promedio ponderado para seleccionar al proveedor más adecuado y verificar si seguía los resultados obtenidos con el AHP.

Se consideraron criterios de precios, rendimiento del material y el servicio de entrega del mismo. Para los cuales se les asignó porcentajes de 40%, 40% y 20%, respectivamente, los cuales denotan la importancia de cada criterio. De igual manera, la empresa estipuló un presupuesto de

\$13500 para comprar el material del cual se requieren 71,3 cm para producir una docena de zapatos. Ahora bien, para la selección de proveedores a través de este método, se aplica la ecuación . Los resultados se muestran en la tabla 4.

$$Er = \frac{(P_c C + P_s S + P_p P)}{P_c + P_s + P_p} \quad (1)$$

Tabla 4
Resultados de los modelos de ponderación.

Oferta de los proveedores			Selección de proveedores							
Empresa	Indicadores			Ponderaciones			Empresa seleccionada			
	Calidad P_c	Servicio P_s	Precio P_p	Calidad P_c	Servicio P_s	Precio P_p		Precio P_p		
Peletería La Esperanza	75 cm	100%	14000	95,6%	100%	96,4%	40%	40%	20%	96,6%
Peletería La Esperanza N° 2	85 cm	100%	13600	83,6%	100%	99,3%	40%	40%	20%	87,4%
Peletería La Matraca	80 cm	80%	16800	89,6%	80%	80,4%	40%	40%	20%	87,4%
Portamateriales del Caribe	90 cm	95%	14700	79,7%	95%	91,8%	40%	40%	20%	83,1%

Nota. Fuente: construcción propia.

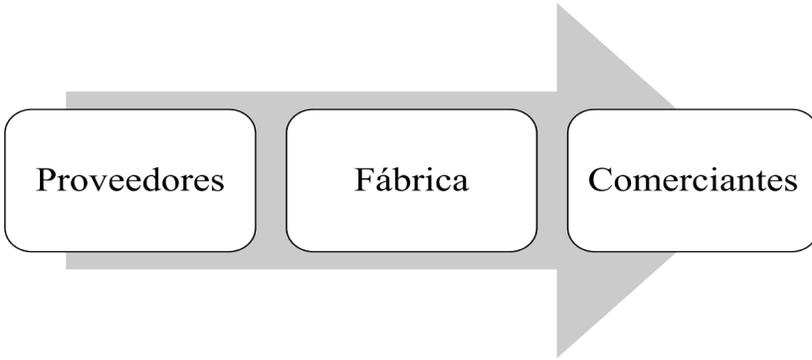
Al igual que el modelo AHP, la peletería La Esperanza es el proveedor que cumple con un valor porcentualmente más alto acorde a las especificaciones solicitadas por la empresa.

Modelo de planeación de la producción

El flujo de la cadena se presenta de manera lineal. Figura 3. Los fabricantes no tienen una relación directa con clientes finales. Asimismo, la empresa estudiada labora con base a un sistema bajo pedido, es decir, los

inventarios siempre son cero (0) con el fin de que no se produzcan costos por inventario (Puchkova, Le Romancer, and McFarlane 2016).

Figura 3
Alcance de la cadena de suministro



Nota. Fuente: construcción propia.

Acorde a las problemáticas de producción que se presentan en la empresa, se desarrolla un modelo matemático para la planeación de la producción, el cual toma como base los cálculos previos de selección de los proveedores, estandarización de tiempos y el pronóstico de la demanda de cada comerciante por cada periodo de tiempo. El modelo matemático se detalla a continuación.

Conjuntos

I Conjunto de materias primas

J Conjunto de clientes

T Periodos de tiempo

Parámetros

TE_t Tiempo estándar de la fabricación de una unidad por periodo t .

$Cmpn_i$ Cantidad de materia prima i necesaria para la fabricación de una unidad.

CmP_i Costos de materia prima i .

Cif_t Otros costos indirectos por periodos t .

$TTPP_t$ Tiempo de trabajo disponible por periodo t .

$DispMP_i$ Disponibilidad de materia prima i por periodo t .

Dem_{jt} Demandas pronosticadas de cada cliente j en el periodo t .

PgP_t Presupuesto general para cada periodo t .

Mon_t Mano de obra en el periodo t .

$CMon_t$ Costo de mano de obra por unidad a producir en el periodo t .

Cp_t Capacidad de producción de la planta por periodo t .

Pv_t Precio de venta de cada unidad en cada periodo t .

Variables

TO_t Tiempo de ocio que poseen los trabajadores en cada periodo de tiempo t .

x_{jt} Cantidades de productos a vender a cada cliente j por periodo pronosticado t .

Ipp_{jt} Ingresos que posee la empresa por cada cliente j en cada periodo t .

$Ccpp_{jt}$ Costos de la empresa por cada cliente j en cada periodo t .

Gpp_{jt} Utilidades que genera la empresa luego de restar costos a los ingresos por cada cliente j por cada periodo de pronóstico t .

Función objetivo

$$\text{Max } Z = \sum_j \sum_t Gpp_{jt} \quad (2) \text{ Restricciones}$$

$$x_{jt} = Dem_{jt} \quad \forall j, \forall t \quad \forall i, \forall t \quad (3)$$

$$\sum_j TE_t x_{jt} \leq TTPP_t \quad \forall t \quad (4)$$

$$\sum_j x_{ij} Cmpn_i \leq DispMP_i \quad \forall i, \forall t \quad (5)$$

$$\sum_i^I \sum_j^J Cmpn_i Cmon_i x_{jt} + Cmon_t + Cif_t \leq PgP_t \quad \forall t \quad (6)$$

$$\sum_j^J x_{jt} \leq Cp_t \quad \forall t \quad (7)$$

$$TTPP_t - \sum_j^J TE_t x_{jt} = TO_t \quad \forall t \quad (8)$$

$$x_{jt} Pv_t = Ipp_{jt} \quad \forall j, \forall t \quad (9)$$

$$\sum_i^I Cmpn_i Cmp_i x_{jt} + Cmon_t + Cif_t = Ccpp_{jt} \quad \forall j, \forall t \quad (10)$$

$$Ipp_{jt} - Ccpp_{jt} = Gpp_{jt} \quad \forall j, \forall t \quad (11)$$

$$x_{jt}, Ipp_{jt}, Ccpp_{jt}, TO_t \geq 0 \quad \forall j, \forall t \quad \forall j, \forall t \quad (12)$$

$$Gpp_{jt} \in \square \quad \forall j, \forall t \quad (13)$$

La ecuación pretende la maximización de las utilidades que se generan en la empresa. La restricción asegura el cumplimiento de la demanda pronosticada. La restricción evita que se sobrepase el tiempo disponible de producción. La restricción asegura que no se exceda el uso de materia prima disponible. La ecuación determina el uso del presupuesto para la producción. La restricción asegura que no se exceda la capacidad de producción de las instalaciones. La ecuación calcula el tiempo de ocio de los trabajadores. Las restricciones , y calculan los ingresos, costos totales y las utilidades del negocio, respectivamente. Por último, las restricciones y definen la naturaleza de las variables.

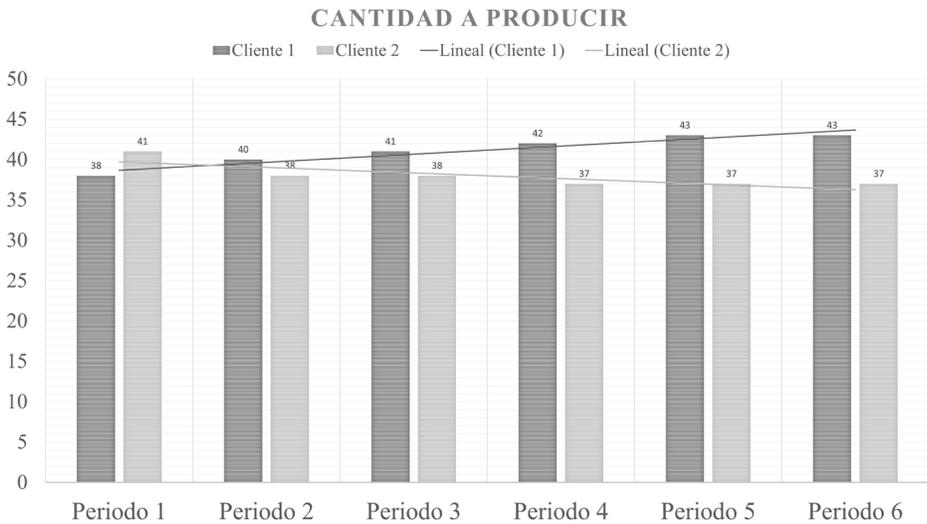
Resultados obtenidos con el modelo de optimización

El modelo fue codificado en el software GAMS y resuelto mediante el solver CPLEX en un computador con 20Gb de RAM, procesador Intel Core-i7 8th Generación y DD de 1Tb.

Las cantidades de productos que la empresa debe producir para satisfacer la demanda de cada cliente en cada uno de los seis periodos pronosticados se muestra en la Figura 4. Paralelamente, se puede

observar que las cantidades a producir para el cliente uno presentan un comportamiento ascendente en la medida en que pasa el tiempo mientras que las cantidades de producto a fabricar para el cliente dos disminuyen. De igual manera, se permite observar que en el periodo seis las cantidades a producir llegan a un máximo de 43 unidades frente a un mínimo de unidades de 38. Sin embargo, desde un punto de vista global, se puede inferir que las cantidades máximas que la empresa debe fabricar aproximadamente son de 80 en los periodos 5 y 6. Lo que relativamente se va a ver reflejado de forma positiva para la empresa.

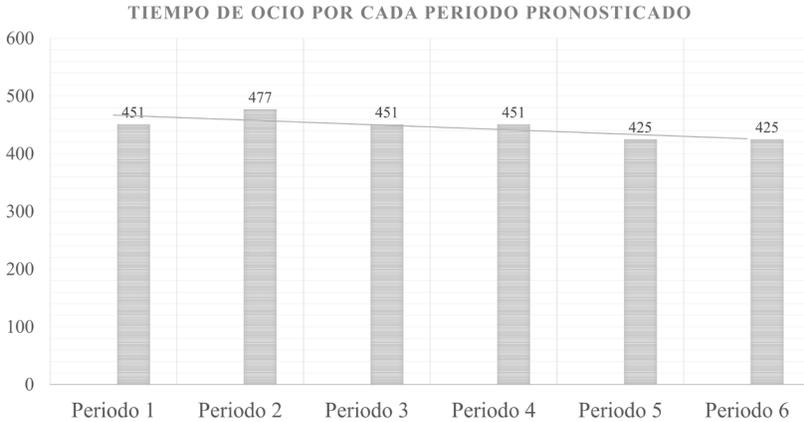
Figura 4
Satisfacción de la demanda.



Nota. Fuente: construcción propia.

Los tiempos de ocio varían de acuerdo con las cantidades que se deben fabricar por cada periodo pronosticado. Es decir, que el periodo en que más tiempo de ocio se podría presentar es el dos mientras que en el periodo 5 y 6 los tiempos de ocio son los menores. Figura 5.

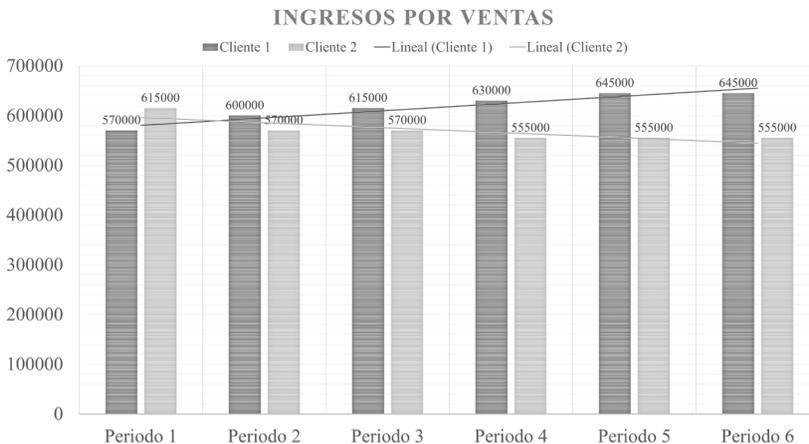
Figura 5
Tiempo de ocio por periodo pronosticado.



Nota. Fuente: construcción propia.

Como es de esperar, los ingresos por ventas en los periodos 5 y 6 son los más altos con valores equivalentes mientras que los menores ingresos se presentarían en el periodo 2. Figura 6. En el mismo sentido, se estima que los menores ingresos por ventas por cada periodo se ven afectados de manera proporcional por las demandas del cliente uno a lo largo del tiempo.

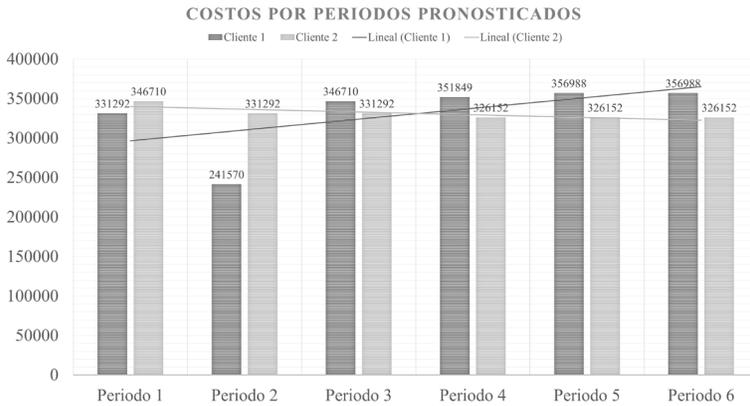
Figura 6
Ingresos por ventas.



Nota. Fuente: construcción propia.

Por otra parte, se destaca la relación creciente de los costos que conservan los periodos 5 y 6; siendo estos los más altos mientras que los menores costos son presentados por el total de productos fabricados en el periodo 2. Figura 7.

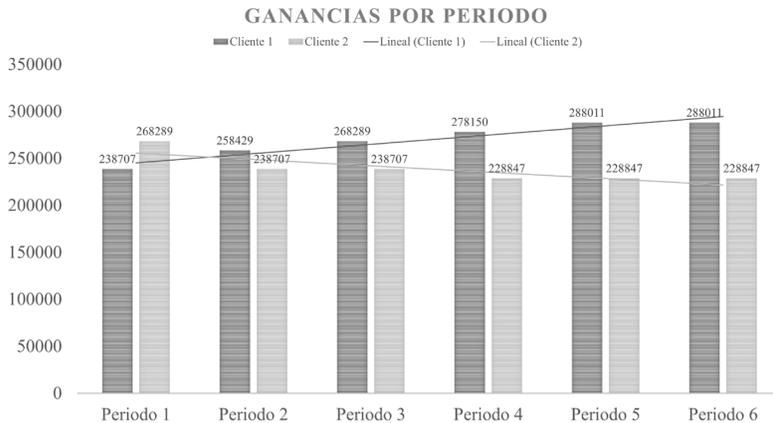
Figura 7
Costos por periodos pronosticados.



Nota. Fuente: construcción propia.

Como resultado esperado, se puede observar que las mayores ganancias se presentaron en el periodo 5 y 6 con un resultado total individual de \$516858 Figura 8.

Figura 8
Utilidades generadas.



Nota. Fuente: construcción propia.

Conclusiones

La aplicación de diferentes metodologías de optimización en la gestión de la cadena de suministro permite alcanzar mayores niveles de productividad, mediante el control y eficiencia de cada una de las actividades que se realizan en los eslabones. Lo que se refleja en una buena administración de activos y el flujo de los productos con los cuales se puede maximizar la rentabilidad.

Los problemas identificados en la empresa caso de estudio asociados a la planeación de la producción, elección de proveedores y pronóstico de demanda afectan tanto a la empresa misma como a la cadena de suministro en general, por lo cual se aplicaron diferentes metodologías para generar soluciones eficientes.

En este sentido, los métodos iniciales aplicados arrojaron como resultado los parámetros requeridos para poder desarrollar el modelo matemático de planeación de la producción. Con esto, se generó un modelo de toma de decisiones para mantener un flujo eficiente de los productos y satisfacer las necesidades de los eslabones aguas abajo de la cadena que, en este caso particular, corresponde a los dos comerciantes. Así bien, las cantidades a producir mediante un flujo eficiente de materia prima y las utilidades que se esperan del negocio fueron calculadas para un total de 6 periodos pronosticados.

Referencias

- Alcocer-Quinteros, Patricio Rubén, and José Alberto Knudsen-González. 2019. "Desempeño Integral de Los Procesos Logísticos En Una Cadena de Suministro." *Ingeniería Industrial* 40(1):78–87.
- Ald, Darwin Santiago, Portalanza Molina, Byron Andr, Chipantiza Ganan Dar, and Escuela Superior Polit. 2018. "Dialnet-GestionDeLosTiemposDePreparacionEnAparadoConLaMeto-6501349."
- ASOCIACION COLOMBIANA DE INDUSTRIALES DEL CALZADO, CUERO Y SUS MANUFACTURAS. 2019. *¿Como Va El Sector?–Enero a Octubre 2019*.
- Benmouss, Khaoula, Majida Laaziri, Samira Khouliji, Mohamed Larbi Kerkeb, and Abir El Yamami. 2019. "AHP-Based Approach for Evalua-

- ting Ergonomic Criteria.” *Procedia Manufacturing* 32:856–63. doi: 10.1016/j.promfg.2019.02.294.
- Bures, Marek, and Pavlina Pivodova. 2015. “Comparison of Time Standardization Methods on the Basis of Real Experiment.” *Procedia Engineering* 100(January):466–74. doi: 10.1016/j.proeng.2015.01.392.
- Camacho, Hernando Camacho, Karol Lorena, Gómez Espinosa, and Camilo Andrés Monroy. 2012. *Importancia de La Cadena de Suministros En Las Organizaciones*. Panama.
- Freivalds, Andris. 2014. *Ingeniería Industrial de Niebel: Métodos, Estándares y Diseño Del Trabajo*. McGraw-Hill Interamericana Editores, SA de CV.
- Julian Andres Zapata Cortes. 2014. *Fundamentos de La Gestión de Inventarios*. Vol. 1. 1st ed. edited by D. A. Londonño Pulgarin. Medellín.
- Osorio Gómez, Juan, and Juan Orejuela Cabrera. 2008. “El Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) y La Toma de Decisiones Multicriterio. Ejemplo de Aplicación.” *Scientia et Technica* 2(39):247–52. doi: 10.22517/23447214.3217.
- Puchkova, Alena, Julien Le Romancer, and Duncan McFarlane. 2016. “Balancing Push and Pull Strategies within the Production System.” Pp. 66–71 in *IFAC-PapersOnLine*. Vol. 49. Elsevier B.V.
- Revista Calzado. 2019. *Anuario Del Sector Mundial Del Calzado: Año 2018–Revista Del Calzado*. Madrid.
- Saaty, Thomas L. 1988. “What Is the Analytic Hierarchy Process?” Pp. 109–21 in *Mathematical models for decision support*. Springer.
- Sabaei, Davood, John Erkoyuncu, and Rajkumar Roy. 2015. “A Review of Multi-Criteria Decision Making Methods for Enhanced Maintenance Delivery.” *Procedia CIRP* 37:30–35. doi: 10.1016/j.procir.2015.08.086.
- Sectorial. 2017. “La Ilegalidad, El Principal Protagonista Del Sector Cuero y Calzado.”
- Suhermi, Novri, Suhartono, Dedy Dwi Prastyo, and Baharuddin Ali. 2018. “Roll Motion Prediction Using a Hybrid Deep Learning and ARIMA Model.” *Procedia Computer Science* 144:251–58. doi: 10.1016/j.procs.2018.10.526.

Wolnowska, Anna E., and Wojciech Konicki. 2019. "Multi-Criterial Analysis of Oversize Cargo Transport through the City, Using the AHP Method." *Transportation Research Procedia* 39(2018):614–23. doi: 10.1016/j.trpro.2019.06.063.

CAPÍTULO 7



Análisis, modelado y simulación de un sistema de colas en el sector bancario utilizando el software ProModel

Frank Camilo Atencio Loreth¹, Daniel Eduardo Bolaño Villalba²,
Gean Pablo Mendoza Ortega³, Eduard de Jesús Díaz Ramos⁴

Resumen

Esta investigación se centró en analizar y simular el comportamiento de una línea de espera de un banco, utilizando softwares estadísticos y de simulación como ProModel y StatFit. Los resultados hallados sugieren una modificación del modelo actual (M/M/3) a uno que provea más servidores para distribuir mejor el exceso de carga en los servidores. De esta investigación se concluye que la configuración del sistema debe tener un mínimo de 18 servidores, M/M/18, para tener una mejora sustancial de la calidad del servicio, reduciendo los tiempos de espera de los clientes a un 59.73% en comparación con el 88.8% del modelo actual (M/M/3).

Palabras clave: modelamiento de sistemas, ProModel, simulación por computadora, teoría de colas.

1 Ingeniero Industrial. Corporación Universitaria del Caribe-CECAR. Correo: Frank.atencio@cecar.edu.co; Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9274-5215>

2 Ingeniero Industrial. Corporación Universitaria del Caribe-CECAR. Correo: daniel.bolanov@cecar.edu.co; Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8621-0388>

3 Estudiante PhD. en Logística y gestión de cadenas de suministro, Maestría en logística integral. Ingeniero Agroindustrial. Universidad de Sucre. Docente investigador de la Corporación Universitaria del Caribe – CECAR. Facultad Ciencias Básicas, Ingenierías y Arquitectura. Grupo de Investigación Gestión de la Innovación Empresarial y Social-GIES. Categorizado por Minciencias en el nivel Junior. Correo: Gean.mendoza@cecar.edu.co; Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4601-6185>

4 Magíster en Logística Integral. Ingeniero Industrial. Corporación Universitaria del Caribe-CECAR. Correo: eduard.diaz@cecar.edu.co; Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-9683-578X>

Analysis, modeling and simulation of a queuing system in the banking sector using ProModel software

Abstract

This research focused on analyzing and simulating the behavior of a bank waiting line, using statistical and simulation software such as ProModel and StatFit. The results found suggest a modification of the current model (M/M/3) to one that provides more servers to better distribute the excess load on the servers. From this research it is concluded that the system configuration must have a minimum of 18 servers, M/M/18, to have a substantial improvement in the quality of service, reducing the waiting times of the clients to 59.73% compared to 88.8% of the current model (M/M/3).

Keywords: computer simulation, ProModel, systems modeling, queuing theory.

Introducción

En la vida cotidiana se presenta un fenómeno muy recurrente: las líneas de espera. Esto se origina cuando la demanda del servicio supera la disposición existente de quienes prestan un servicio, por ejemplo, los tiempos de espera en un semáforo y las colas de atención al cliente en establecimientos comerciales, bancarios o de cualquier otra índole. Las áreas más destacadas que emplean la teoría de colas son los hospitales y las entidades bancarias debido a la alta ocurrencia de eventos discretos y no discretos, y a que los servidores deben actuar lo más rápido posible, así como tomar decisiones con la misma prontitud con la que actúan (Gómez, 2011; Jahn, Theurl, Siebert & Pfeiffer 2010).

Este proceso de generación de líneas de espera trae consigo diferentes tipos de inconvenientes que se reflejan a corto y mediano plazo. Por tal motivo, se cuenta con un conjunto de modelos matemáticos que se enmarcan en el área de “la teoría de colas” (De Arias, Montoya, & Hen, 2010).

El tener que esperar en una cola es una experiencia que se considera desagradable, especialmente si se tiene que esperar de pie. Los periodos largos de espera irritan a las personas y las invitan a desertar, a irse a otra parte e incluso a no regresar. Esta situación que afecta los beneficios potenciales puede gestionarse en forma eficiente utilizando la teoría de colas (Orrego, 2012)

El objetivo de la teoría de colas es modelar sistemas de espera que funcionen de la siguiente manera: existe un medio al que llegan clientes demandando cierto servicio. Luego, a consecuencia de que la demanda no puede ser satisfecha inmediatamente, se forma una cola (o línea de espera) de clientes en espera de ser atendidos por el o los servidores correspondientes. Los tiempos entre arribo de clientes consecutivos al sistema y los tiempos de servicio son aleatorios y son representados por variables aleatorias con alguna distribución de probabilidad (Abad, 2002).

Durante la segunda etapa de la revolución industrial (1870 – 1914), el crecimiento exponencial de la industria comenzó a ser notable y era necesario tener en cuenta el control de la calidad del producto y del proceso mismo. En ese entonces se desarrollaron muchos métodos a partir

de la ingeniería metódica, entre ellos, la teoría de colas que se utilizó para obtener información acerca de los cuellos de botella presentes en las líneas de montajes, para posteriormente optimizar dichas líneas, logrando agilizar el ensamblaje de vehículos (Cerutti & Valdaliso, 2003).

El origen de la teoría de colas se remonta a un estudio realizado por el matemático danés Agner Krarup Erlang (Dinamarca, 1878–1929), en el cual se estudiaba el tráfico de llamadas telefónicas con el propósito de apaciguar la demanda del servicio en la ciudad de Copenhague. El resultado de este estudio fue el nacimiento de esta teoría la cual corresponde a un tópico de la investigación operativa y se utiliza actualmente como herramienta de optimización de tiempos en las líneas de espera (Benites & Virhuez, 2019)

La simulación por computadora ha sido empleada muchas veces en distintas áreas, enfocándose en sistemas de manufactura y servicios. El uso de la computación para la simulación de sistemas ha tenido un gran desarrollo durante los últimos años debido al crecimiento progresivo de las herramientas de cómputo, además, esta tiene la capacidad de incluir información adicional que no se ajusta a modelos tradicionales de la teoría de colas. Los modelos tradicionales son aquellos cuyo comportamiento conlleva a tener resultados erróneos en el análisis de las medidas de desempeño (Pérez & Riaño, 2007; Márquez, 2010).

La importancia de esta teoría radica en la capacidad de modelar un sistema, abstraerlo en términos matemáticos y simularlo en un software de simulación como ProModel; dicho modelo, acompañado de datos recolectados del sistema real, nos permite obtener una base teórica y simulada para evaluar y comparar con el modelo real, encontrando similitudes o discrepancias que arrojen una respuesta para la toma de decisiones. Dicha simulación sirve para no comprometer el sistema real y mejorarlo o corregirlo con base a los resultados obtenidos del modelo simulado.

Para todas las empresas que prestan un servicio, el número de clientes complacidos o satisfechos es un factor sustancial al momento de ofrecer productos o servicios, maximizándolos cuando se trata de productos inmateriales, en los que el ambiente que rodea la entrega del producto sea lo que permita generar el valor agregado. En tales circunstancias, dicho valor

agregado se fundamentará en controlar el tiempo de espera de atención a un cliente o usuario.

Dada la alta demanda de usuarios y a la capacidad de los servidores con los que cuenta Bancamía, una sucursal bancaria localizada en la ciudad de Sincelejo, se presentan demoras en el servicio de atención al cliente. Esta situación aqueja y deja insatisfechos a muchos de sus usuarios, resultando en la notable afectación de la imagen de la entidad bancaria y ocasionando una posible pérdida de usuarios. Para la realización de sus actividades la sucursal cuenta con un total de 3 servidores, quienes se encargan de atender a los usuarios. Además, la sucursal planea introducir un servidor extra para dar una solución al problema en búsqueda de mejorar el servicio. A partir de una indagación, se conoció que la sucursal no cuenta con estudios anteriores que den una solución a su problema, por ello, se les presentó una propuesta de estudio basada en el análisis y simulación de sus tiempos de atención al cliente con el fin de obtener resultados y realizar recomendaciones para la mejora del servicio.

En muchas ocasiones, lo que determina el éxito o el fracaso de una empresa es la calidad de sus servicios. La razón de este estudio aborda la calidad del servicio al cliente de la sucursal bancaria Bancamía, con el propósito de identificar los problemas que producen los cuellos de botella en el sistema. Los cuellos de botella son aquellos elementos que perjudican un proceso dentro de una empresa, ocasionando que se disminuya la producción y se incrementen los tiempos de espera, lo cual reduce la productividad, generando costos extras (Gavilanes, Acosta, Gaibor, & Tenorio, 2018). Al identificar estos cuellos de botella, la entidad evitará contratiempos y reducirá sus pérdidas. Además, con la simulación del sistema se evita comprometer el sistema real.

El objetivo principal de esta investigación consiste en analizar y simular la conducta de una línea de espera. También se pretende tomar muestras de los tiempos de espera de los clientes para luego modelar un sistema utilizando software de simulación y software estadístico, obteniendo así resultados que nos permitan realizar una propuesta de mejora en el servicio e identificar si es necesaria la implementación de más servidores en la sucursal.

La estructura de este documento se distribuye así: al inicio se presenta una sección introductoria; seguida de una sección donde se describe la metodología empleada; un apartado referente a los resultados; después, la conclusión y las recomendaciones; y, por último, la bibliografía.

Materiales o metodología

La metodología empleada se basó en la metodología de planeación del modelo de simulación propuesto por García Dunna y Azarang Esfandiari (1996), la cual está compuesta por una descripción del sistema, la formulación del modelo, la recolección de datos, la codificación del modelo y, por último, la obtención de resultados y experimentación. A continuación, se describen las etapas mencionadas anteriormente.

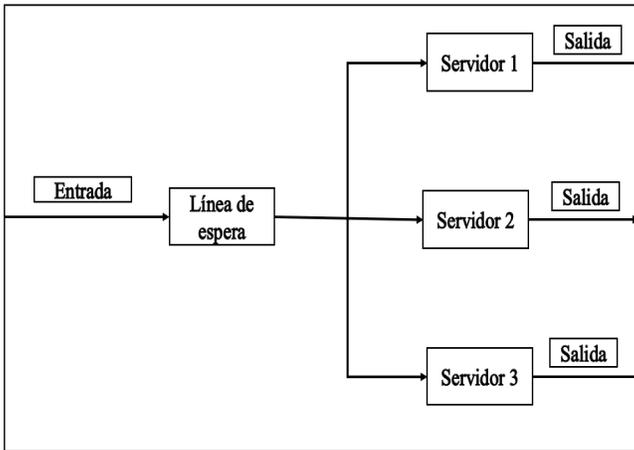
Descripción del sistema

En cuanto a la descripción del sistema, se procedió a identificar los elementos, considerando que el sistema cuenta con tres servidores y una sola línea de espera, teniendo un sistema de colas tipo M/M/3, en la que un conjunto de N clientes ingresan al sistema en busca de un servicio, estos esperan en una cola hasta que sea su turno y abandonan el sistema una vez son atendidos.

Formulación del modelo

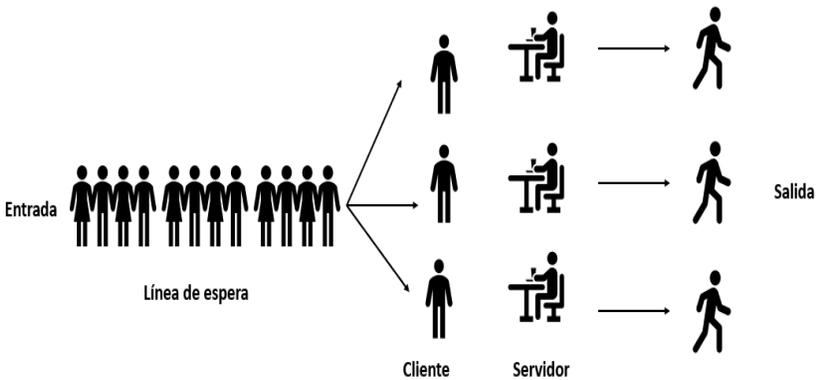
Por otra parte, para la formulación del sistema se procedió con la identificación de las locaciones, las entidades, los procesos, los recursos, los arribos y la forma en que estos se distribuyen a lo largo del sistema. A continuación, se muestra, a manera de diagrama de flujo, el sistema en general, seguido de una forma más detallada, (figura 1 y figura 2).

Figura 1
Diagrama de flujo del sistema.



Nota. Fuente: Atencio, Bolaño y Díaz.

Figura 2
Diagrama de flujo detallado del sistema.



Nota. Fuente: Atencio, Bolaño y Díaz.

Recolección de datos

Referente a la recolección de los datos, se tomaron tres mediciones de tiempo utilizando un cronómetro, dados en minutos: el tiempo entre llegadas al sistema, el tiempo de espera en cola y el tiempo de atención. Se registró una muestra de cuarenta muestras durante una semana laboral (lunes – viernes), obedeciendo al horario laboral (8:00 a.m. – 4:00 p.m.) Los datos fueron tabulados en Microsoft Excel y luego se realizó un análisis de

ajuste para encontrar las distribuciones con el software estadístico EasyFit. Las mediciones y distribuciones de probabilidad se pueden observar detalladamente en la sección de resultados.

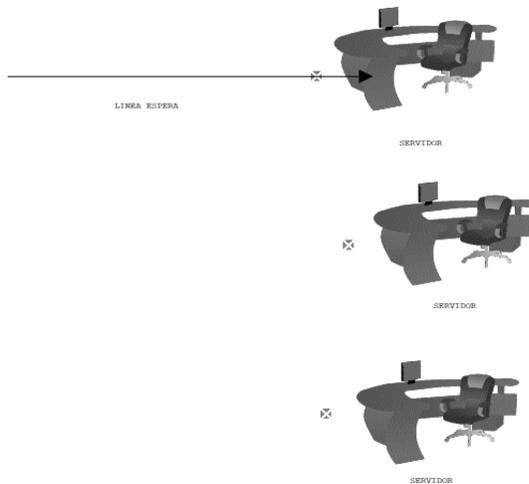
Codificación del modelo en PC

En las siguientes figuras se mostrará la codificación del modelo planteado en la formulación del modelo haciendo uso del software de simulación ProModel.

Locaciones

En esta sección se definieron y configuraron dos locaciones: la primera, la línea de espera; y, la segunda, los servidores.

Figura 3
Definición de locaciones utilizando ProModel.



Nota. Fuente: Atencio, Bolaño y Díaz.

Figura 4
Definición de locaciones utilizando ProModel.



con	Nombre	Cap.	idad:	TMs...	stadis	Reglas...	Notas...
	SERVIDOR	1	3	Ninguna	Series	Más Tiempo,	
	SERVIDOR.1	1	1	Ninguna	Series	Más Tiempo	
	SERVIDOR.2	1	1	Ninguna	Series	Más Tiempo	
	SERVIDOR.3	1	1	Ninguna	Series	Más Tiempo	
	LINEA_ESPERA	INFII	1	Ninguna	Series	Más Tiempo,	

Nota. Fuente: Atencio, Bolaño y Díaz.

Entidades

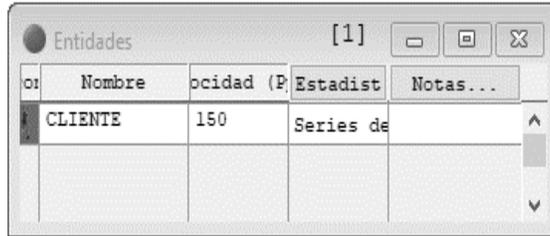
En esta sección se definió la entidad, quien es el cliente que recibe el servicio.

Figura 5
Definición de entidades utilizando ProModel.



Nota. Fuente: Atencio, Bolaño y Díaz.

Figura 6
Configuración de entidades utilizando ProModel.



Nota. Fuente: Atencio, Bolaño y Díaz.

Llegadas o arribos

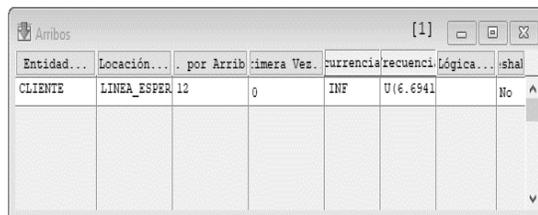
En esta sección se configura el comportamiento de cómo los clientes llegan al sistema.

Figura 7
Definición de arribos utilizando ProModel.



Nota. Fuente: Atencio, Bolaño y Díaz.

Figura 8
Configuración de arribos utilizando ProModel.

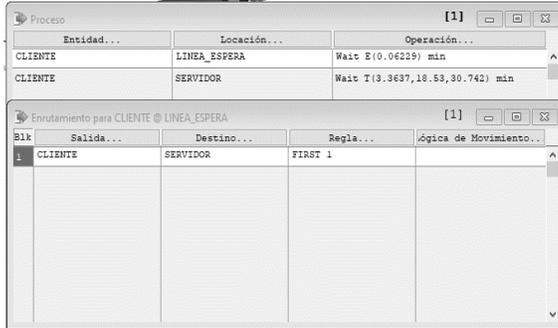


Nota. Fuente: Atencio, Bolaño y Díaz.

Procesos

En esta sección se definen los procesos del modelo. Estos incluyen la llegada, la espera y la atención del cliente.

Figura 9
Configuración de proceso utilizando ProModel. Pt.1



Nota .Fuente: Atencio, Bolaño y Díaz.

Figura 10
Configuración de proceso utilizando ProModel. Pt.2



Nota. Fuente: Atencio, Bolaño y Díaz

Resultados y análisis

En este apartado se muestran los resultados obtenidos de las mediciones y del modelo descrito anteriormente.

Mediciones

Las mediciones de los tiempos están dadas en minutos y están tabuladas en las siguientes tablas; luego, se presentan una gráfica que describe el comportamiento de los datos tabulados y una tabla de distribución de

probabilidades según el tipo de medición, producto de un análisis con EasyFit para ajustar los datos a una distribución de probabilidad.

Tabla 1
Mediciones de los tiempos entre llegadas.

Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5
21	24,75	11,23	5,95	18,95
9,44	16,4	4,54	48,01	22,08
11,66	27,01	14,77	27,22	67,45
8,43	19,7	3,46	8,89	50,23
9,86	10,07	33,95	11,3	39,9
13,97	18,02	36,76	33,81	47,01
10,3	3,51	12,76	27,46	67,7
5,48	11,33	25,14	7,98	63,84
10,96	25,06	6,25	28,2	13,49
10,15	23,5	39,71	10,09	18,27
25,14	11,73	38,4	39,75	26,36
10,46	10,23	17,17	45,91	45,45
5,69	23,89	25,89	15,78	23,8
24,89	6,56	6,49	48,47	25,78
23,74	15,56	38,14	21,79	60,51
28,42	11,53	33,4	7,83	29,92
9,33	28,15	14,71	44,15	16,29
8,36	18,39	17,52	22,32	43,08
24,31	28,11	23,33	12,17	21,77
25,3	3,45	8,1	24,91	19,46
23,6	6,34	26,19	17,65	40,67
18,01	29,74	3,44	23,76	3,39
20,11	22,9	29,99	24,79	62,07
26,88	28,32	37,16	35,33	36,87
9,14	24,63	25,98	2,05	64,97
18,06	9,03	36,99	45,42	17,51
16,91	10,05	39,64	27,1	29,75
7,93	13,82	38,82	23,81	26,06
7,99	19,96	16,75	17,53	52,59

Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5
28,62	22,6	6,97	35,13	26,88
26,08	15,15	29,26	8,82	50,55
17,95	3,79	3,19	5,4	34,45
8,79	15,34	31,07	7,24	2,07
20,21	24,97	27,31	41,87	45,95
16,4	21,78	15,98	2,1	48,94
16,56	28,79	24,5	38,32	36,61
23,59	27,81	19,71	32,62	42,72
25,01	11,04	9,49	22,15	66,39
6,84	3,61	8,27	21,87	24,99
6,63	8,02	22,66	10,27	59,09

Nota. Fuente: Atencio, Bolaño y Díaz.

Tabla 2
Mediciones de los tiempos en línea de espera.

Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5
14,42	27,48	24,55	45,49	4,48
10,13	22,03	27,94	20,14	6,82
9,81	2,96	8,64	9,37	54,42
6,67	4,81	18,52	15,22	19,69
17,75	5,91	39,39	24,31	25,62
16,51	9,7	10,16	9,08	28,61
10,85	12,67	15,03	42,86	64,13
10,1	10,29	21,72	18,48	37,52
23,88	30,29	17,67	9,92	17,91
21,04	4,05	1,87	2,99	32,78
17,21	22,16	14,62	17,12	68,35
27,99	22,12	8	5,44	57,89
21,98	7,66	25,25	11,11	1,87
13,05	18,39	39,91	47,55	13,45
22,36	10,06	22,06	21,11	6,03
23,83	11,75	36,34	16,42	65,39
28,13	10,7	34,67	4,9	50,19

Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5
18,32	28,57	23,42	11,38	18,63
21,23	7,57	8,65	35,42	8,47
27,93	28,4	22,53	38,99	67,12
9,24	7,75	35,63	19,89	41,15
21,71	28,06	38,48	5,43	9,01
27,51	28,1	26,66	8,07	7,67
15,54	8,22	32,83	35,68	21,13
18,42	10,23	40,11	10,07	6,74
19,9	24,51	9,59	6,27	41,26
28,05	30,4	33,91	6,82	33,26
10,3	14,86	30,42	33,79	31,24
7,49	16,16	5,44	26,74	34,7
17,96	16,23	15,34	17,08	11,65
24,19	29,76	3,8	48,66	46,33
14,65	19,35	3,65	4,42	5,25
22,28	5,02	11,42	11,45	39,53
23,83	9,19	9,09	9,16	64,48
24,54	7,9	4,18	5,87	20,63
5,43	17,05	30,68	8,18	5,95
10,91	10,9	5,47	9,03	66,61
19,71	25,8	4,85	35,97	27,64
26,38	3,79	11,12	15,03	34,53
16,95	3,4	32,28	41,53	4,77

Nota. Fuente: Atencio, Bolaño y Díaz.

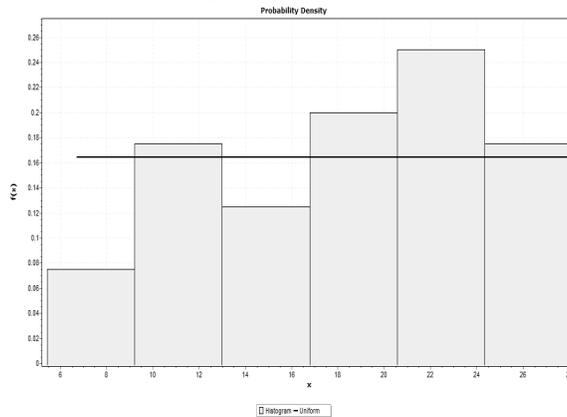
Tabla 3
Mediciones de los tiempos de atención.

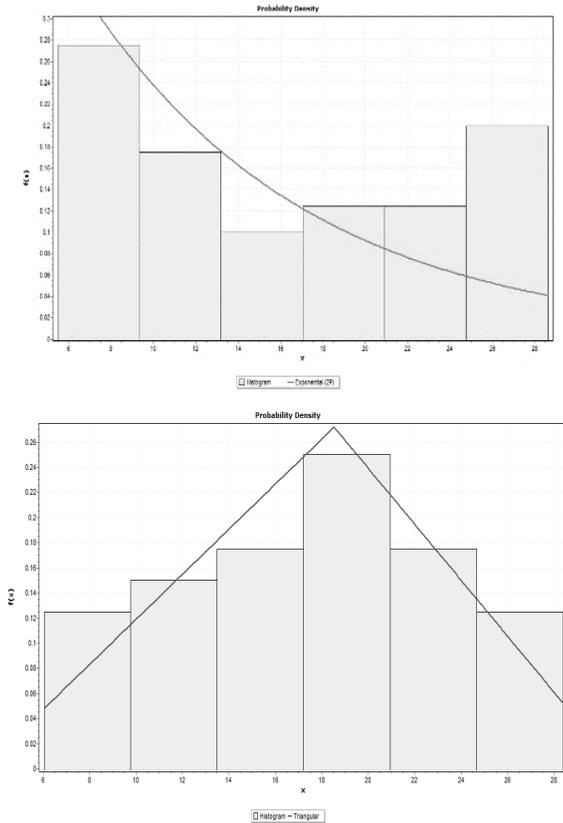
Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5
16,68	25,17	37,84	44,12	43,52
13,16	26,41	20,7	3,37	63,06
11,17	27,86	35,86	15,42	48,77
20,81	23,48	40,47	22,26	40,02
28,39	9,71	34,65	10,15	21,42
16,37	6,72	14,78	21,82	35,4
6,05	26,14	32,02	33,9	57,07
15,95	27,23	20,04	32,22	42,81
6,73	6,15	28,93	43,54	7,09
25,81	21,77	27,66	32,13	7,6
9,38	22,49	23,39	14,1	16,34
20,64	8,01	24,33	12,3	33,5
23,23	18,79	21,71	10,6	27,57
25,92	18,21	5,44	45,32	19,74
18,53	24,33	26,23	20,11	12,92
21,73	19,04	9,32	6,81	2,29
8,36	23,5	27,2	37,37	48,3
20,22	29,24	7,48	33,35	7,1
18,38	3,73	35,23	29,15	13,5
6,1	20,71	7,29	33,16	68,67
17,87	21,05	9,38	36,22	13,05
25,18	16,63	19,5	1,37	6,38
24,4	16,16	29,35	30,79	18,12
24,32	9,29	26,6	4,22	57,82
18,12	19,64	17,82	35,41	20,64
28,28	29,32	15,35	2,78	31,51
12,57	25,4	27,45	32,4	9,97
22,51	12,03	15,28	27,26	61,73
17,4	14,54	1,75	4,26	35,36
12,39	26,03	24,67	40,58	25,43
20,51	6,5	11,54	16,13	22,32

Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5
16,45	3,47	26,78	9,13	29,14
18,54	15,51	21,67	33,19	49,3
11,02	11,78	22,44	21,63	48,96
16,36	7,2	14,74	37,81	63,97
17,21	25,52	13,22	45,84	9,07
13,32	19,55	1,45	23,17	63,51
13,54	16,65	22,02	49,1	63
24,43	8,45	2,24	21,19	67,89
22,41	11,79	6,84	27,92	69,91

Nota. Fuente: Atencio, Bolaño y Díaz.

Figura 11
 Comportamiento de los datos recolectados en los tiempos de llegada, línea de espera y atención.





Nota. Fuente: Atencio, Bolaño y Díaz.

Distribuciones de probabilidades

En la siguiente tabla (tabla 4) se verán reflejadas las distribuciones de probabilidad, junto a los parámetros a emplear en el modelo simulado.

Tabla 4
Distribuciones de probabilidad y parámetros para cada tipo de tiempo.

Tipo de tiempo	Distribución	Parámetros
Tiempo entre llegadas	Uniforme	$a = 6.6941, b = 29.715$
Tiempo de espera	Exponencial	$\lambda = 0.06229$
Tiempo de atención	Triangular	$a = 3.3637, b = 18.53, c = 30.742$

Nota. Fuente: Atencio, Bolaño y Díaz.

Validación del modelo de simulación

En esta sección se realizó una simulación previa de 30 réplicas de 8 horas para obtener información del comportamiento del modelo y compararlo con los datos reales, haciendo uso del teorema de Tchebycheff para el cálculo del número de réplicas y las pruebas de hipótesis, con el fin de corroborar si el sistema se comporta como el sistema real. La variable de observación escogida para esta prueba es el tiempo de atención.

Cálculo del número óptimo de corridas

La siguiente tabla muestra los parámetros utilizados para el cálculo óptimo de corridas.

Tabla 5
Parámetros y datos utilizados para el cálculo del número óptimo de corridas.

Distr. Normal	No
Valor de significancia (α)	0,05
Desviación estándar (σ)	0,748
Error (E)	0,2
Número de corridas	279,84 \approx 280

Nota. Fuente: Atencio, Bolaño y Díaz.

El número de corridas óptimo para la simulación es de aproximadamente 280.

Prueba de hipótesis

En este apartado se realizará una prueba de hipótesis de dos colas, basados en la media del sistema real.

$$H_0: \mu(\text{modelo}) = \mu(\text{real})$$

$$H_1: \mu(\text{modelo}) \neq \mu(\text{real})$$

La siguiente tabla muestra los resultados de la prueba Z para media de dos colas.

Tabla 5
Resultados de la prueba Z para media de dos colas.

z	0,057231
P ($Z \leq z$) una cola	0,477181
Valor crítico de z (una cola)	1,644854
Valor crítico de z (dos colas)	0,954361
Valor crítico de z (dos colas)	1,959964

Nota. Fuente: Atencio, Bolaño y Díaz.

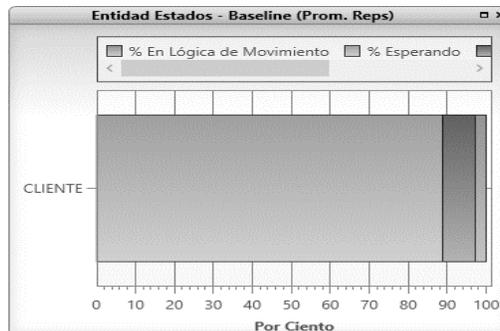
Como se puede observar en la tabla anterior, el Z calculado es menor que el valor crítico, por lo tanto, este valor se encuentra dentro del rango. En consecuencia, no se tienen las suficientes pruebas estadísticas para rechazar la hipótesis nula lo que significa que el sistema simulado se comporta como el sistema real.

Análisis y experimentación de los resultados de la simulación.

En las siguientes gráficas se muestran los resultados de la simulación utilizando tres servidores y una cola, las cuales se analizarán para posteriormente determinar la viabilidad de incorporar un nuevo servidor en la sucursal.

La siguiente gráfica evidencia que, en promedio, el 88.80% de los clientes debe esperar, lo cual indica un alto grado de tiempo de espera.

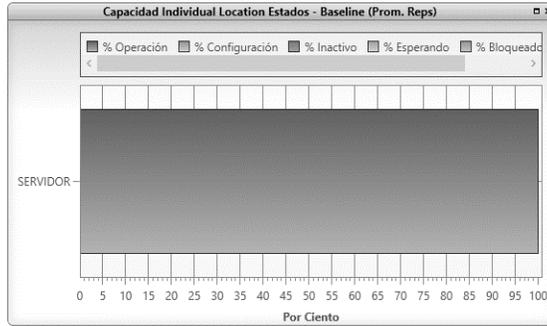
Figura 12
Porcentaje promedio de espera de los clientes en el sistema.



Nota. Fuente: Atencio, Bolaño y Díaz.

La siguiente gráfica muestra el porcentaje de ocupación de los servidores, teniendo un porcentaje de ocupación cercano al 100%, con un porcentaje exacto del 99.94% de ocupación.

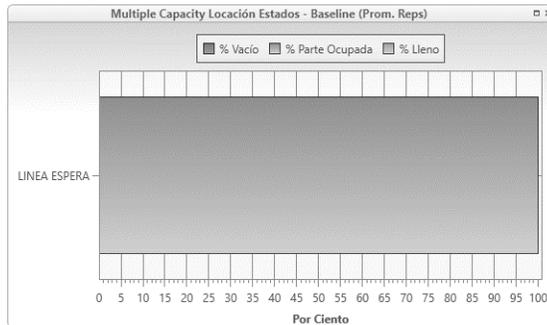
Figura 13
Porcentaje promedio de ocupación de los servidores.



Nota. Fuente: Atencio, Bolaño y Díaz.

La siguiente gráfica muestra la línea de espera con un porcentaje de ocupación del 100%.

Figura 14
Porcentaje promedio de ocupación de la línea de espera.



Nota. Fuente: Atencio, Bolaño y Díaz.

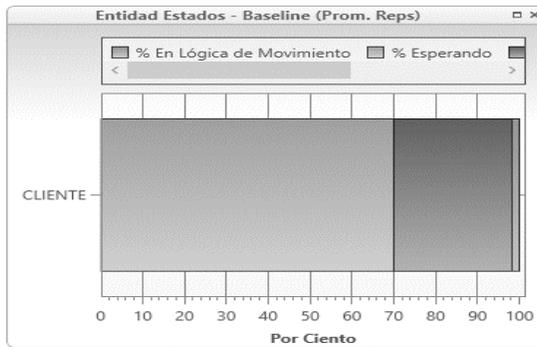
Lo anteriormente mostrado en las gráficas 4, 5 y 6 evidencia que el sistema está trabajando casi a su máxima capacidad, con el principal cuello de botella en la atención al cliente. No hay suficientes servidores para atender a todos los usuarios, lo cual hace que el sistema sea lento; es un cuello de botella generado por falta de más servidores.

A continuación, se muestra una experimentación con el sistema, de tal forma que se aumentara el número de servidores para contrastar con el comportamiento del sistema de 3 servidores (M/M/3). En esta experimentación se busca reducir el tiempo de espera del cliente y el tiempo de atención distribuyendo la carga en más servidores.

Adicionando 12 servidores al sistema, se tiene que los porcentajes de ocupación de los servidores y de la línea de espera disminuyen con respecto al modelo actual a la vez que el porcentaje de espera por parte del cliente se aminora. Se cambió el modelo M/M/1 a M/M/15 para la experimentación. A continuación, se muestran las gráficas obtenidas de la simulación del modelo M/M/15.

Para el cliente se tiene un 70.12%, un 18.68% menos que en el modelo principal de tres servidores y una cola.

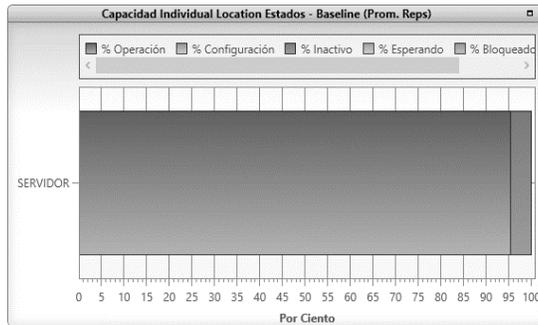
Figura 15
Porcentaje promedio de espera de los clientes en el sistema, modelo de 12 servidores y 1 cola.



Nota. Fuente: Atencio, Bolaño y Díaz.

Por otra parte, para los servidores se tiene un 95.41%, un 4.53% menos que en el modelo principal de tres servidores y una cola.

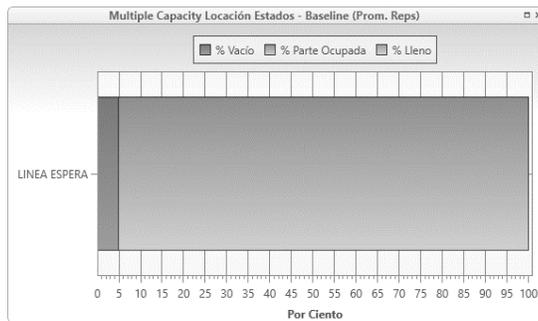
Figura 16
Porcentaje promedio de ocupación de los servidores en el sistema, modelo de 12 servidores y una cola.



Nota. Fuente: Atencio, Bolaño y Díaz

Por otro lado, para la cola de espera se tiene un porcentaje de ocupación del 89.05%, un 10.95% menos que el modelo principal de tres servidores y una cola.

Figura 17
Porcentaje promedio de ocupación de la línea de espera en el sistema, modelo de 12 servidores y una cola.



Nota. Fuente: Atencio, Bolaño y Díaz

De lo anterior se puede decir que, al añadir más servidores, el tiempo de espera de los clientes disminuye y, por tanto, la sobrecarga de los servidores también se aminora. A continuación, se muestran los resultados en una tabla con distintas configuraciones de servidores en contraste con el sistema original M/M/3, evidenciando que el modelo actual no es el indicado para el sistema en producción.

Tabla 7
Comparación de configuraciones de servidores del sistema.

Modelo	% promedio de espera del cliente	% promedio de ocupación del servidor	% de ocupación de la cola
M/M/3 (actual)	88,8	99,94	100
M/M/15	70,12	95,41	89,05
M/M/18	59,73	91,38	81,21
M/M/20	50,07	85,81	71,42
M/M/25	33,79	73,02	48,47

Nota. Fuente: Atencio, Bolaño y Díaz

Conclusiones

Dentro del análisis expuesto es posible vislumbrar la factibilidad de agregar más servidores al sistema para mejorar el servicio, dado que con el modelo actual (M/M/3) el sistema no tiene la capacidad necesaria para atender largas líneas de espera puesto que se genera un cuello de botella en la atención al usuario. Los resultados de la experimentación demostraron que, al incrementar el número de servidores, los tiempos de espera por parte del usuario y el tiempo de atención disminuyen considerablemente, exponiendo que el sistema presenta una relación inversamente proporcional.

Los resultados tabulados en la tabla 7 muestran la disminución de la sobrecarga del sistema al balancear la carga entre los diferentes servidores, siendo el modelo M/M/15 el que presenta mejoras significativas con el modelo M/M/3.

Por lo anterior, es recomendable que el gerente a cargo de la sucursal modifique el sistema en busca de mejorar la calidad del servicio añadiendo 15 servidores, teniendo un total de 18.

Cabe mencionar que la simulación no es completamente infalible debido a que es la aplicación de un supuesto, no arregla el problema de fondo, solo ofrece una mejora temporal.

Referencias

- Jahn, B., Theurl, E., Siebert, U., & Pfeiffer, K. (2010). Tutorial in Medical Decision Modeling Incorporating Waiting Lines and Queues Using Discrete Event Simulation. *Value Heal*, 13(4), 501–506. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1524-4733.20>
- Abad, R. (2002). *Introducción a la simulación ya la teoría de colas*. Netbiblo.
- Benites, J., & Virhuez, K. (2019). Teoría de colas para la reducción del tiempo de ciclo de los ascensores de la torre principal de una universidad privada. Lima.
- Cerutti, M., & Valdaliso, J. (2003). Empresariado, industria y desarrollo regional en la periferia. Historia Mexicana. En *Monterrey y Bilbao (1870-1914)* (págs. 905-940).
- De Arias, L., Montoya, L., & Hen, S. (2010). Análisis de líneas de espera a través de teoría de colas y simulación. *Sci. Tech*, 3(46), 56–61.
- Esfandiari, R., & Dunna, M. (1996). Simulación y análisis de modelos estocásticos.
- Gavilanes, S., Acosta, M., Gaibor, J., & Tenorio, G. (2018). Cuellos de botella. *Caribeña de Ciencias Sociales*.
- Gómez, F. (2011). Aplicación de teoría de colas en una entidad financiera: herramienta para el mejoramiento de los procesos de atención al cliente. *Rev. Univ. EAFIT*, 44(150), 51–63.
- Márquez, I. (2010). La simulación como aprendizaje: educación y mundos virtuales. En *Documento presentado en el II Congreso Internacional de Comunicación* (Vol. 3).
- Orrego, R. (2012). La Calidad del servicio, la gestión de flujos y la teoría de colas. *Rev. Univ. EAFIT*, 30(94), 23-29.
- Pérez, J., & Riaño, G. (2007). Análisis de colas para el diseño de una cafetería mediante simulación de eventos discretos. *Rev. Ing*, 12–21.

CAPÍTULO 8



Diseño de un Modelo de Inventarios (EOQ) y Simulación en Redes de Petri para una empresa artesanal productora y comercializadora de trapeadores

María José Torres Mancera¹, Julio Adrián Orozco Guevara²,
Angélica Torregróza Espinosa³, Desmond Mejía Ayala⁴

Resumen

El estudio presentado en este artículo diseña una propuesta de mejora para el sistema de abastecimiento e inventarios de una empresa artesanal productora y comercializadora de trapeadores en Sincelajo, Sucre. Esta propuesta tiene el objetivo de minimizar los costos en el inventario de materias primas y generar mayores ingresos al negocio, en cuanto a utilidades monetarias. Todo esto mediante estrategias de planificación del control de abastecimiento o compra de materiales. Para ello, se clasifican los productos mediante el método ABC, de acuerdo al aporte de los mismos en las ventas totales de la empresa, se diseña un modelo de cantidad óptima de pedido (EOQ) para administrar la información de las materias primas e insumos que se utilizan frecuentemente en el sistema productivo y que se deben tener a la mano en las bodegas de almacenamiento. Lo anterior permite establecer los registros y pronósticos de los productos, así como determinar los lotes óptimos a pedir, los puntos de reorden de

1 Ingeniera Industrial. Corporación Universitaria del Caribe-CECAR. Correo: maria.torresm@cecar.edu.co; Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-1872-8553>

2 Ingeniero Industrial. Corporación Universitaria del Caribe-CECAR. Correo: julio.orozco@cecar.edu.co; Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5698-1261>

3 PhD(c) en Proyectos; Magíster en Ciencias Agroalimentarias; Ingeniera Agroindustrial; Corporación Universitaria del Caribe-CECAR. Líder del grupo gestión de la innovación empresarial y social-GIES. Investigadora Asociado Minciencias. Correo: angelica.torregróza@cecar.edu.co; Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8948-0914>

4 Candidato a Doctor en Educación por UCV Perú. Magíster en Gestión de operaciones UPC España. Magíster en Dirección de operaciones y logística UPC Perú. Ing. Industrial UNMSM Perú. Docente de pre grado y postgrado en UNMSM – USIL – UPC. Correo: dmejiaa@ucv.edu.pe; Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3749-3569>

pedidos en un determinado tiempo, asegurando los menores costos y el momento justo en que se debe generar la orden de pedidos a los proveedores. De manera experimental, el modelo describe el sistema productivo de trapeadores artesanales en la herramienta HP Sim (Redes de Petri), donde se simula el proceso productivo, obteniendo como resultado que el inventario arrojado por el EOQ garantiza el funcionamiento del sistema, abarcando la producción y generando los inventarios requeridos para tener el flujo de fabricación constante.

Palabras clave: bastón, máquina artesanal, pabito de algodón, sistema productivo, trapeador.

Design of an Inventory Model of Optimal Quantity of Orders (EOQ) and Simulation in Petri Nets of a handicraft company producer and marketer of mops

Abstract

The study carried out in the article designs an improvement proposal for the supply system and inventories of an artisan production and marketing company of mops in the city of Sincelejo Sucre, with the objective of minimizing costs in the inventory of raw materials and generating greater income in terms of monetary profits to the business, all this through planning strategies of supply control or purchase of materials. To do this, the products are classified using the ABC method, according to the contribution of the same in the total sales of the company. Next, a model of optimal quantity of order (EOQ) is designed to manage the information of the raw materials and supplies that are frequently used in the production system and that should be kept at hand in the storage warehouses, establishing the records and forecasts of the products and determine the optimal batches to be ordered, the reorder points of orders in a bucket time, ensuring the lowest costs and the right moment in which must generate the order of orders to suppliers. Experimentally, the model describes the productive system of artisanal mops, in the HP Sim tool (Petri nets), where the production process is simulated, obtaining as a result that the inventory thrown by the EOQ guarantees the operation of the system covering the production and generating the inventories required to have the constant manufacturing flow.

Keywords: walking stick, Artisan machine, cotton wick, Production system, Mop.

Introducción

El interés de la humanidad por la limpieza y el orden constante va en aumento. De allí que tanto en los hogares como en todos los entornos en que se desenvuelven las personas sea inevitable mantener cada cosa limpia. Es por ello que, cada vez más, se acrecienta la producción artesanal de herramientas de aseo como traperos, escobas, cepillos, entre otros, los cuales permiten tener, a un bajo costo, diferentes utensilios para mantener el espacio en el que se convive en condiciones óptimas de higiene.

Al cierre de 2012, la producción de implementos de aseo representó el 1.5% del PIB nacional y el 12.4% del PIB industrial de Colombia, ocupando el quinto lugar del mercado de cosméticos y artículos de aseo en Latinoamérica, con un consumo per cápita de US\$79,8, se estima que en 2020 la producción de esta industria representará US\$5.754 millones.

Actualmente, Bogotá es el principal centro de operaciones de las compañías del sector, pues cerca del 40% de la industria se encuentra concentrada allí; 30% en Antioquia; y otro 30%, en el Valle del Cauca (Dinero, 2017). Asimismo, el crecimiento de las ventas del sector de productos de línea del hogar y aseo se aceleró durante 2012. Después de este cambio en el crecimiento de las ventas del sector, el ritmo de producción también se aceleró, razón por la cual cada día se están fabricando más bienes de este tipo (Benchmark, 2016).

“De la misma manera como los productos han evolucionado, la logística en el mundo competitivo está cambiando a unas velocidades sorprendentes” (Acero, 2006). Los empresarios colombianos tienen que pensar con una mentalidad más amplia, lo cual implica que cada uno de ellos debe acoger estrategias logísticas como la administración de su cadena de suministro, involucrando los distintos tipos de eslabones para que trabajen en forma conjunta, donde el flujo y abastecimiento de materiales se encuentre relacionado a la velocidad del mercado.

La creación de microempresas de productos de aseo es la que abastece la demanda en el departamento de Sucre, puesto que se busca la manera de fabricar utensilios accesibles para la ciudadanía, al tiempo que se genera trabajo para personas que no cuentan con una oportunidad en el mercado laboral.

En la empresa objeto de estudio existen fallas en el registro y control de la materia prima y de la mercancía o artículos terminados, ya que no se lleva el control de inventarios y stock; por esta razón, la empresa requiere de un sistema que controle realmente el inventario que se necesita para fabricar los productos demandados. Con el diseño de este sistema se evitarían los problemas que actualmente se presentan a menudo en la empresa, como el no saber con qué inventario se cuenta, el agotamiento de alguna materia prima que se cree tener en stock, demasiadas materias primas de la misma referencia, entre otros. Lo anterior ocasiona caos en el área de producción de la empresa. (Laveriano, 2010)

Por todo lo anterior, elaborar un diseño de control de inventario EOQ (Economic Order Quantity), cantidad óptima de pedido, permite la interacción directa entre el área de ventas, de producción y los inventarios, con el objetivo de determinar la cantidad óptima de pedido y el instante en que debe pedirse (Holguín, 2005). Esto ayuda a coordinar eficientemente la cadena de suministro con el proveedor, pasando por la mejora de los procesos internos de la empresa como lo describe Laveriano (Laveriano, 2010) en su informe titulado *Importancia del control de inventarios*. Con tal propuesta se busca satisfacer la necesidad de toda la población Sucreña, mediante productos de buena calidad, en el tiempo requerido, en las cantidades necesarias y a buen precio, para ser utilizados tanto en los hogares como en cualquier otro recinto.

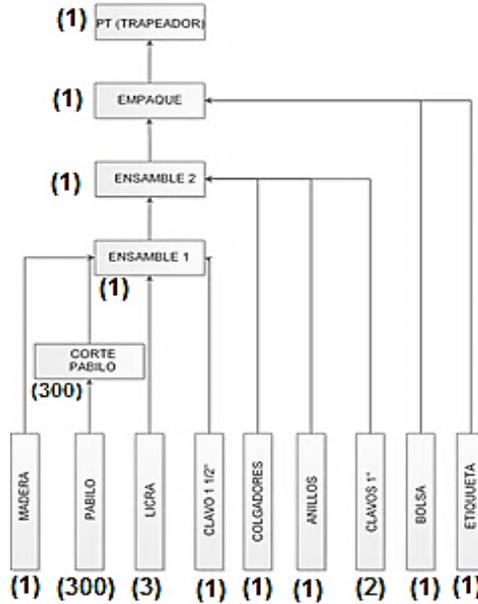
Materiales y métodos

Producto de la visión y emprendimiento del señor Carlos Lugo, en Julio del 2009, se origina la idea de crear una empresa que produzca trapeadores de manera artesanal, con la intención de aprovechar una oportunidad de negocio que presenta el mercado de Sincelejo y Sucre. La microempresa es de origen familiar, se encuentra ubicada en el barrio El Bosque de la ciudad de Sincelejo, Sucre. Actualmente, su proceso productivo se basa en la fabricación de traperos mediante máquinas artesanales. Su mano de obra son personas empíricas, pero experimentadas en cada una de las actividades que se desarrollan en la línea de producción.

Productos

Trapeadores de pabilo de algodón blanco.

Figura 1
 Diagrama BOM.

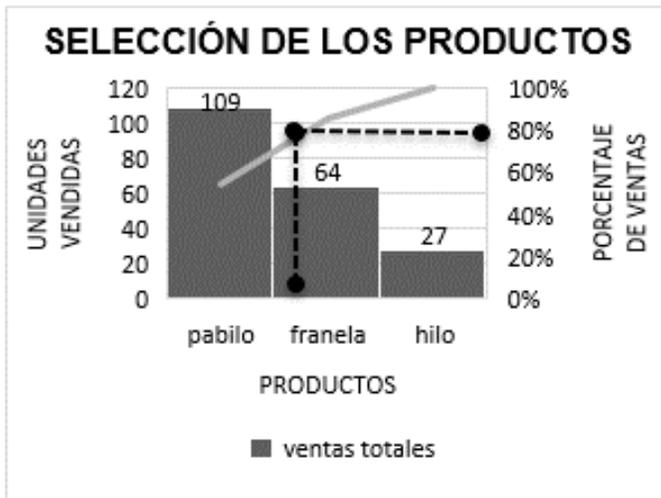


Nota. Fuente: construcción propia.

Modelamiento y simulación

La estructura del modelo es muy importante en este trabajo, pues por medio de esta se pueden incluir las variables que se desean abarcar en el estudio, tales como las unidades que se pueden producir en un horizonte de tiempo, la materia prima, insumos requeridos para fabricar cierta cantidad de productos y demás aspectos involucrados en cada uno de los centros de trabajo (Gaviria & Zapata, 2006). Para escoger el producto se desarrolló un análisis de ABC basado en la información suministrada por los trabajadores y el propietario del negocio. La gráfica 4 describe que el trapeador de mayor venta es el antes mencionado.

Figura 2
Gráfica aplicación ABC.



Nota. Fuente: construcción propia.

Planeación cantidad óptima de pedido (EOQ)

Para el diseño de un sistema MRP es necesario conocer la demanda de los productos que ofrece la empresa, con ella se puede calcular de forma oportuna y precisa la demanda dependiente de las cantidades de materias primas e insumos, generada por las demandas de los productos finales. En contraste, un **EOQ** facilita el control de abastecimiento de materia prima en cuanto a cantidades, tiempos de pedido, puntos de reorden de materias primas, costos de pedido, costos de mantener, entre otros aspectos (Holguín, 2005).

El trabajo de esta investigación está basado en el modelo **EOQ**, por medio del cual se establecieron y denominaron las variables que influyeron en el estudio, como son:

- Las cantidades demandadas del producto (D).
- El Lead Time o tiempo de entrega por parte de los proveedores.
- El inventario, el cual es reordenado cuando llega a cero.
- En este estudio no se consideran descuentos por volumen de pedido.

- Los costos de ordenar un pedido, el cual es igual al costo de realizar un pedido (S), multiplicado por la demanda del producto (D), entre la cantidad de unidades de pedido (Q), representados en la ecuación 1.

$$\text{Costo ordenar} = S * \frac{D}{Q} \quad (1)$$

Los costos por comprar suministros, los cuales están dados por el costo unitario de compra (C), multiplicado por la demanda del producto (D). Ver ecuación 2.

$$\text{Costo de Compra} = C * D \quad (2)$$

Los costos unitarios de mantener el inventario (H), que está dado por el costo de mantener inventario expresado en porcentaje (i), multiplicado por el costo unitario de compra (C). Ver ecuación 3.

$$\text{Costo de Mantener Inventario} = i * C \quad (3)$$

Tamaño óptimo de pedido (Q), el cual se expresa mediante la ecuación 4 del modelo de cantidad económica (EOQ) de pedido.

$$Q^* = \sqrt{\frac{2SD}{H}} \quad (4)$$

Seguidamente, se realiza la proyección de la demanda para los siguientes años con base a las ventas registradas en años anteriores, utilizando el método de análisis de regresión lineal según plantean en la referencia (Richard B. Chase, 2009), debido a que estos se asemejan a un comportamiento lineal en sus ventas. La tabla 1 muestra los resultados del pronóstico.

Tabla 1
Pronóstico de la demanda.

AÑO	Demanda pronosticada años siguientes			
	Docenas Año	Docenas Mes	Docenas Semana	Docenas Día
2018	3501	438	109	16
2019	3853	482	120	17
2020	4206	526	131	19
2021	4558	570	142	20
2022	4910	614	153	22

AÑO	Demanda pronosticada años siguientes			
	Docenas Año	Docenas Mes	Docenas Semana	Docenas Día
2023	5262	658	164	23

Nota. Fuente: construcción propia.

Construcción del modelo

El modelo fue construido en Excel y HPSim redes de Petri, en el cual se usa un modelo de producción bajo pedido EPP, donde se seleccionan los recursos necesarios para fabricar el promedio semanal del trapeero según las condiciones estudiadas en la empresa.

Las variables de decisión establecidas en el modelo son:

Tabla 2
Variables de decisión.

Variables de decisión
1. Unidades producidas bajo pedido
2. Cantidad óptima de pedido de materia prima
3. Punto de reorden del pedido
4. Costos totales de pedidos y mantener

Nota. Fuente: construcción propia.

Luego se simula en HP Sim bajo el entorno con una línea de producción, donde las redes de Petri permiten crear escenarios que ayudan a observar el comportamiento de estos en sus distintas fases y lograr varias alternativas de solución. Esta simulación de escenario utiliza nodos o lugares representados mediante plazas (circunferencias), así como transiciones representadas por rectángulos, los antes mencionados se unen mediante arcos o flechas. Todo lo anterior resulta necesario para abarcar los procesos, los cuales se representan mediante triángulo compuesto por plazas, arcos y transiciones, y agregando un punto en el interior del círculo. La figura 7 describe los elementos principales para simular en HPSim.

Figura 3
 Elementos de redes de Petri.



Nota. Fuente: construcción propia.

Resultados y discusión

La aplicación del modelo **EOQ** en la siguiente tabla (3) describe el lote económico de pedido, es decir, las cantidades a pedir por parte de la empresa al proveedor que le traerá menores costos, cuyo lote está en 609 kilogramos de pabilo de algodón; el punto de reorden de la materia prima es de 173 kilogramos; los días que debe haber entre cada pedido, los cuales están en alrededor de 15 días entre cada una; entre otros aspectos.

Del mismo modo, la siguiente gráfica describe la comparación de los costos entre las cantidades óptimas de pedido arrojadas por el modelo **EOQ** y diferentes cantidades de lotes de pedido, los cuales representan los costos totales anuales por pedir y mantener el inventario. Se observa que el lote a pedir dado por el modelo **EOQ** es el que representa los menores costos en comparación con los demás, los cuales se encuentran en \$289.828; el costo por pedir se encuentra en \$144,882 al año; y el de mantener inventario, en \$144,945 al año.

Tabla 3
 Modelo EOQ pabilo de algodón.

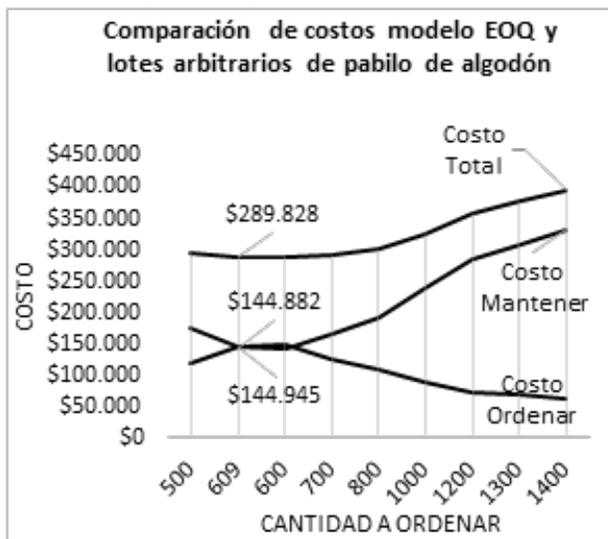
Modelo cantidad económica de pedido (EOQ) pabilo de algodón		
Ítem	Datos	Detalle
Demanda (D)	3501	Docenas Anuales
Demanda (D)	12605	Kg anuales de pabilo
Costo de ordenar (S)	\$7,000	Por orden
Costo de mantener (H)	\$476	Anual (kg)
Nº de días de trabajo	298	Por año
Costo (C)	\$1,519	Por Gramos/ud.
Cantidad óptima de pedido Q*	608.9	Se deben pedir 609 kg por orden

Modelo cantidad económica de pedido (EOQ) pabilo de algodón

Ítem	Datos	Detalle
Número esperado de órdenes (N)	20.7	Se realizan 21 órdenes de pedido al año
Tiempo esperado entre órdenes (L)	14.4	El tiempo entre órdenes es de 15 días
Punto de reorden (R)	172.7	Cuando el nivel de inventario esté en 173 kg, se debe colocar una nueva orden
Tiempo de entrega proveedor	5.0	Tiempo de entrega del proveedor en días
Tiempo de entrega proveedor	0.014	Tiempo de entrega del proveedor en años
Costo total (CT)	\$19,331,770	El costo total anual de inventario es de \$19331771
Costo de ordenar	\$144,882	El costo anual de ordenar es de \$144,882
Costo de mantener	\$144,945	El costo anual de mantener es de \$144914

Nota. Fuente: construcción propia.

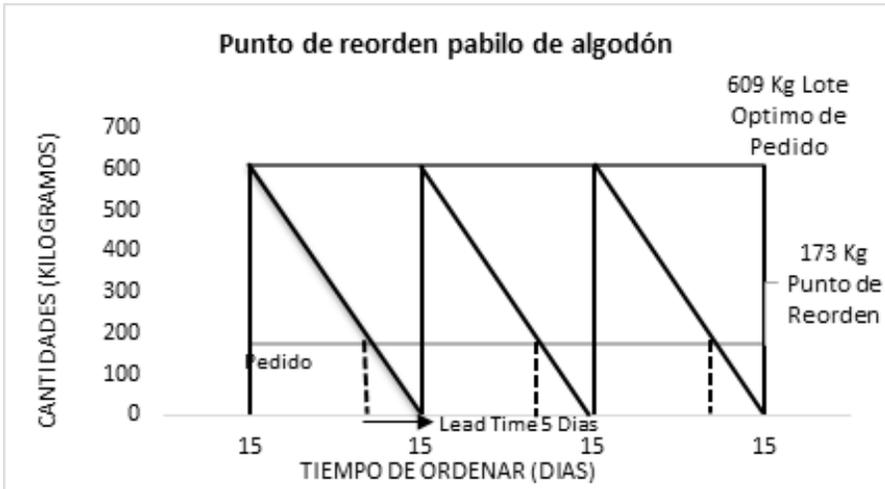
Figura 4
Gráfica comparación costos totales.



Nota. Fuente: construcción propia.

En la figura 5 se gráfica el punto de reorden del pedido, lo que quiere decir que la orden de pedido de pabilo de algodón debe tener un tiempo estimado de 15 días entre cada pedido y un tiempo de entrega de 5 días por parte del proveedor.

Figura 5
Gráfica punto de reorden.



Nota. Fuente: construcción propia.

A cada materia prima proveniente de la ciudad de Medellín, Antioquia, (bastones de madera, colgadores, anillos y licra de amarre), se les realizó lo descrito anteriormente en la tabla 3 (Modelo cantidad económica de pedido **EOQ**), la figura 4 (Gráfica de comparación costos totales) y la figura 5 (Gráfica punto de reorden).

En los apéndices A, B, C, D y E anexos se describen las comparaciones entre las cantidades del lote económico de pedido (se subraya en negrilla) y las cantidades de otros lotes arbitrarios de pedido.

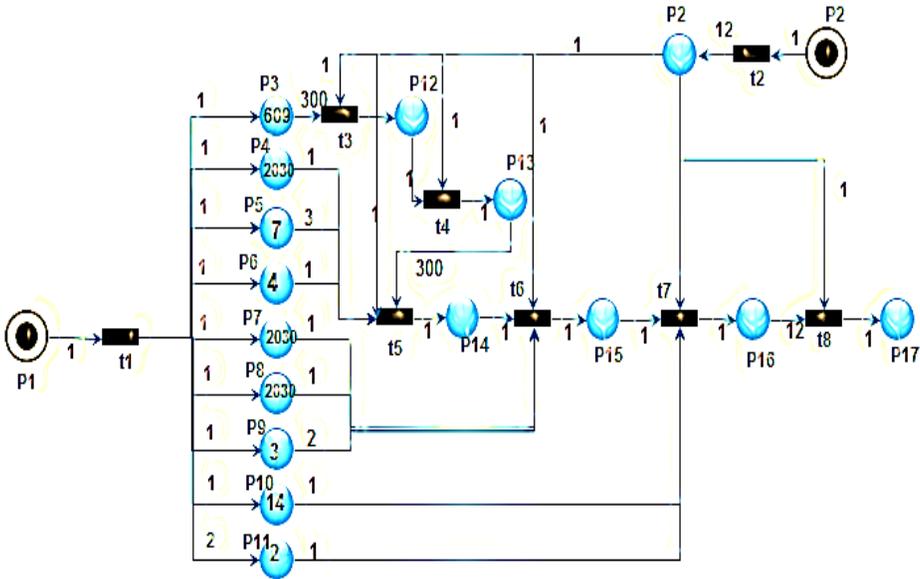
Al comparar los costos en cada una de las tablas de los apéndices anteriormente mencionados, se observa que el **EOQ** es el que presenta menores costos totales en comparación con los diferentes tamaños de lote a pedir, lo cual describe que el modelo sí está arrojando los resultados que garantizan que el lote de pedido económico es el que acarrea menores costos.

En el apéndice F se describe el resumen de todos los costos de las materias primas necesarias para la elaboración del trapeador, como se evidencia en el diagrama BOM (figura 2).

En el apéndice G se describe el resumen de todos los puntos de reorden de las materias primas necesarias para la elaboración del trapeador, como se evidencia en el diagrama BOM (figura 2).

Durante la simulación en el software HP Sim se arma la estructura de la línea de producción como se trabaja en el sistema real, poniendo en práctica las unidades de abastecimiento dadas en el modelo EOQ realizado, dando como resultado las mismas cantidades de lote económico e inventarios que se obtienen para la producción de un lote de pedido promedio de 109 docenas a la semana, es decir, produce las 109 unidades consumiendo las materias primas necesarias y dejando el resto en los inventarios.

Figura 6
Simulación redes Petri Software HP Sim.



Nota. Fuente: construcción propia.

Las tablas representadas seguidamente describen cada una de las estructuras usadas en la figura 8, su significado y la interpretación de cada elemento empleado en la simulación realizada con redes de Petri, bajo el modelo EPP y EOQ señalado a lo largo del artículo.

Tabla 4
Representación de los lugares de la Redes Petri.

Lugares	Descripción
P1	Cantidad a pedir al proveedor
P2	Cantidad demanda/semana
P3	Bodega Pabilo de Algodón EOQ 609 kg
P4	Bodega Bastones Madera EOQ 2030 uds.
P5	Bodega Licra de amarre EOQ 7 kg
P6	Bodega Clavos 1,5" 4 cajas por 700 uds.
P7	Bodega Colgadores EOQ 2030 uds.
P8	Bodega Anillos EOQ 2030 uds.
P9	Bodega Clavos 3 cajas por 900 uds.
P10	Bodega Bolsas 14 pacas por 100 uds.
P11	Bodega etiquetas 2 pacas por 1000 uds.
P12	Cantidad de pabilo transportado por el operario
P13	Cantidad de pabilo cortado por el operario
P14	Cantidad de trapeadores ensamblados (ensamble 1)
P15	Cantidad de trapeadores ensamblados (ensamble 2)
P16	Cantidad de trapeadores empacados
P17	Cantidad de trapeadores embalados

Nota. Fuente: construcción propia.

Tabla 5
Representación de las transiciones de redes de Petri.

Transiciones	Descripción
t1	Sistema EPP (Pedido al proveedor)
t2	Sistema EPP (Pedido del cliente/semana)
t3	Transporte de pabilo a zona de corte
t4	Corte de pabilo en 300 gramos
t5	Ensamble traperero (pabilo, madera, licra, clavos)
t6	Ensamble colgador, anillos, clavos
t7	Empacado de traperos/ ud.
t8	Embalaje por docenas

Nota. Fuente: construcción propia.

Tabla 6
Representación de los arcos de las redes de Petri.

Arcos	Descripción
P1-t1	1 cantidad de pedido a enviar el proveedor
t2-P2	1 cantidad de demanda semanal 109 docenas
t1-P3	1 cantidad de pedido a enviar el proveedor 609 kg
t1-P4	1 cantidad de pedido a enviar el proveedor 2030 uds.
t1-P5	1 cantidad de pedido a enviar el proveedor 4 cajas
t1-P6	1 cantidad de pedido a enviar el proveedor 7 kg
t1-P7	1 cantidad de pedido a enviar el proveedor 2030 uds.
t1-P8	1 cantidad de pedido a enviar el proveedor 2030 uds.
t1-P9	1 cantidad de pedido a enviar el proveedor 3 cajas
t1-P10	1 cantidad de pedido a enviar el proveedor 14 pacas
t1-P11	1 cantidad de pedido a enviar el proveedor 2 pacas
P3-t3	300 transporte de pabilo por ud. de trapero 300 gr
t3-P12	1 cantidad de pabilo almacenado sin cortar
P12-t4	1 cantidad de pabilo cortado 300gr/ud.
t4-p13	1 cantidad de pabilo cortado almacenado
p13-t5	1 cantidad ensamble 1 de traperos
p4-t5	1 cantidad de madera a ensamblar
p5-t5	1 cantidad de licra a ensamblar
p6-t5	1 cantidad de clavos a ensamblar
t5-p14	1 cantidad de traperos ensamblados a almacenar
p7-t6	1 cantidad de colgadores a ensamblar
p8-t6	1 cantidad de anillos a ensamblar
p9-t6	1 cantidad de clavos a ensamblar
p14-t6	1 cantidad de traperos en ensamble 2
t6-p15	1 cantidad de traperos almacenados en ensamble 2
p10-t7	1 cantidad de bolsas a ensamblar
p11-t7	1 cantidad de etiquetas a ensamblar
p15-t7	1 cantidad de traperos a empacar
t7-p16	1 cantidad de traperos a almacenar
p16-t8	1 cantidad de traperos a embalar 12 uds.
t8-p17	1 cantidad de traperos a almacenar 1 docena

Nota. Fuente: construcción propia.

Conclusiones

Mediante escenarios modelados del problema real es posible discutir diferentes medidas y recursos que conlleven a la solución del mismo. Estos sirven de apoyo para tomar decisiones en la planeación de las diferentes áreas de la empresa, lo que contribuye a manejar eficientemente los tiempos de abastecimiento, producción y entrega del producto terminado, para cumplir con la producción de bienes que exige el mercado. Todo esto puede conducir al crecimiento y desarrollo del negocio.

Asimismo, la aplicación de modelos de inventarios EOQ permite integrar variables que influyen en el flujo de los abastecimientos de materiales, facilitando la obtención de datos relevantes a la realidad del negocio. Es por ello que se aconseja a la empresa utilizar e invertir en la implementación de este tipo de herramientas, para mejorar su proceso y obtener beneficios, como el saber qué cantidades de pedido debe solicitarse al proveedor y cada cuanto tiempo pedir. Esto produce la reducción de los costos de pedir materiales, almacenar inventarios, por materiales faltantes y todos aquellos que intervienen desde que el cliente genera una orden de pedido hasta que se le entrega el producto solicitado.

Agradecimientos

Principalmente a Dios por darnos la vida, a nuestros padres y familiares por el apoyo constante, al propietario de la microempresa y sus trabajadores por su colaboración e información necesaria para llevar a cabo este estudio de campo. Además, al ingeniero José Luis Ruiz Meza por su guía en el transcurso del trabajo.

Referencias

- Acero, M. (27 de 09 de 2006). *portafolio.com*. Obtenido de <http://www.portafolio.co/economia/finanzas/cadenas-suministros-globales-hoy-realidad-colombia-260936>
- Benchmark, B. (24 de 02 de 2016). *BPR Benchmark*. Obtenido de https://nanopdf.com/download/informe-sectorial_pdf
- Dinero, r. (28 de septiembre de 2017). *www.dinero.com*. Obtenido de <http://www.dinero.com/edicion-impresa/negocios/articulo/como-le-va-al-negocio-de-cosmeticos-y-aseo-en-colombia/250404>

- escobaslanegra.com. (28 de 4 de 2018). *escobaslanegra.com*. Obtenido de <http://www.escobaslanegra.com/#!/producto/33/>
- Flores, F. O., Anastacio, I. S., Rodríguez, M. L., Ramírez, C. S., & Juárez, A. G. (2011). Analisis de alternativas de automatización en planta de rendimientos mediante simulación. *Revista de la ingeniería industrial*, 5, 21.
- Gaviria, J. Z., & Zapata, G. E. (2006). Simulación de un Proceso de Producción. *Revista Avances en Sistemas e Informática, Universidad Nacional de Colombia*, 7.
- Holguín, C. J. (2005). *FUNDAMENTOS DE GESTIÓN DE INVENTARIOS*. Santiago de Cali COLOMBIA: Universidad del Valle – Facultad de Ingeniería.
- Jimenez, A. O., Sanchez, J. I., Martinez, G. S., & Barriguete, J. L. (2006). La Simulación como apoyo a la optimización de procesos. *informatica y calidad*, 4, 5.
- Landeta, J. M., Cortés, C. B., & Pérez, E. Z. (2015). Cálculo del punto de reorden cuando el tiempo de entrega y la demanda están correlacionados. *Universidad Autónoma de San Luis Potosí Facultad de Ingeniería, México*, 9.
- Laveriano, W. (2010). *Importancia del control de inventarios en la empresa*. Lima Perú: Actualidad Empresarial.
- MOHAMMAD R. AZARANG, E. G. (1996). *SIMULACION Y ANALISIS DE MODELOS ESTOCASTICOS*. MEXICO: McGRAW-HILL INTERAMERICANA EDITORES. S.A. DE C.V.
- RICHARD B. CHASE, F. R. (2009). *ADMINISTRACIÓN DE OPERACIONES Producción y cadena de suministros*. México, D.F: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Sippper, D. (1998). *Planeación y control de*. México, D.F: McGRAW-HILL INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Zapata Gaviria, J., & Peña Zapata, G. E. (2006). Simulación de un Proceso de Producción . *Revista Avances en Sistemas e Informática*, 7.

Apéndice A

Tabla comparación de costos EOQ y costos de lotes arbitrarios

Tamaño de lote (ud.)	Costo de ordenar	Costo de mantener	Costo total
1000	\$294,111	\$71,401	\$365,512
1200	\$245,092	\$85,682	\$330,774
1300	\$226,239	\$92,822	\$319,061
1400	\$210,079	\$99,962	\$310,041
2030	\$144,882	\$144,945	\$289,828
2100	\$140,053	\$149,944	\$289,996

Apéndice B

Tabla comparación de costos EOQ y costos de lotes arbitrarios

Tamaño de lote (ud.)	Costo de ordenar	Costo de mantener	Costo total
1000	\$294,111	\$71,402	\$365,512
1200	\$245,092	\$85,682	\$330,774
1300	\$226,239	\$92,822	\$319,061
1400	\$210,079	\$99,962	\$310,041
2030	\$144,882	\$144,945	\$289,828
2100	\$140,053	\$149,944	\$289,996

Apéndice C

Tabla comparación de costos EOQ y costos de lotes arbitrarios			
Tamaño de lote (kg)	Costo de ordenar	Costo de mantener	Costo total
5	\$176,466	\$119,003	\$295,469
7	\$126,047	\$166,604	\$292,651
10	\$88,233	\$238,006	\$326,239
15	\$58,822	\$357,009	\$415,831
20	\$44,117	\$476,011	\$520,128
25	\$35,293	\$595,014	\$630,307

Apéndice D

Tabla comparación de costos EOQ y costos de lotes arbitrarios			
Tamaño de lote (ud.)	Costo de ordenar	Costo de mantener	Costo total
1000	\$ 294,11	\$ 71,40	\$ 365,51
1200	\$ 245,09	\$ 85,68	\$ 330,77
1300	\$ 226,24	\$ 92,82	\$ 319,06
1400	\$ 210,08	\$ 99,96	\$ 310,04
2030	\$ 144,88	\$ 144,95	\$ 289,83
2100	\$ 140,05	\$ 149,94	\$ 290,00

Apéndice E

Tamaño de lote (kg)	Costo de ordenar	Costo de mantener	Costo total
500	\$176,466	\$119,002	\$295,469
609	\$144,882	\$144,945	\$289,828
600	\$147,055	\$142,803	\$289,859
700	\$126,047	\$166,604	\$292,651
800	\$110,291	\$190,405	\$300,696
1000	\$88,233	\$238,006	\$326,239

Apéndice F

Materia Prima	EOQ	Costo de ordenar	Costo de mantener	Costo total
Pabilo de algodón	609	\$144,882	\$144,945	\$289,828
Madera	2030	\$144,882	\$144,945	\$289,828
Licra amarre	7	\$126,047	\$166,604	\$292,651
Colgador	2030	\$144,882	\$144,945	\$289,828
Anillos	2030	\$144,882	\$144,945	\$289,828

Apéndice G

Materia prima	Cantidades óptimas de pedido	Punto de reorden	Lead time proveedor (días)	Tiempo entre orden (días)
Pabilo de algodón	609 kg	173 kg	5	15
Madera	2030 uds.	705 uds.	5	15
Licra amarre	7 kg	3 kg	5	15
Colgador	2030 uds.	705 uds.	5	15
Anillos	2030 uds.	576 uds.	5	15

CAPÍTULO 9



La importancia del cálculo integral en la ingeniería, caso específico: volumen de oleoductos ortogonales

Diego Carrillo Carvajal¹, Karina Velásquez Flórez²,
Dairo Alfredo Causil Zúñiga³

Resumen

El diseño Volumen de oleoductos ortogonales pretende evidenciar cómo el cálculo integral es de gran utilidad en las ingenierías, destacando la posibilidad de encontrar el volumen de determinados objetos (Iglesias, Alonso, & Gorina, 2017); en este caso, se trata del volumen común de dos cilindros del mismo radio que se cortan ortogonalmente, problema de suma importancia por su incidencia en los costos operacionales. Entre los materiales y recursos para la elaboración del diseño se encuentran tubos de papel higiénico, Colbón, silicona, tijeras, cartón cartulina, regla, cinta métrica, GeoGebra, entre otros. Este permite presentar el problema de volumen utilizando tanto el método teórico, con ayuda de la integral definida, como el método práctico con base en el software Geogebra de Geometría Dinámica (Villagrán, Cruz, Barahona-Avecilla, Barrera-Cárdenas, & Insuasti-Castelo, 2018). Los resultados obtenidos son el diseño del recipiente en cartón cartulina con su respectivo volumen,

1 Magíster en Ciencias Matemáticas, Licenciado en Matemáticas. Jefe del Departamento de Ciencias Básicas de la Corporación Universitaria del Caribe–CECAR. Facultad de Ciencias Básicas, Ingenierías y Arquitectura. Líder de la colegiatura de Razonamiento Cuantitativo. Correo: diego.carrillo@cecar.edu.co; Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-5112-7771>

2 Estudiante de Ingeniería Industrial. Corporación Universitaria del Caribe–CECAR. Correo: karina.velasquez@cecar.edu.co; Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-3485-2952>

3 Estudiante de doctorado en Ciencias Físicas, Magíster en Ciencias Físicas y Físico. Docente e investigador de la Corporación Universitaria del Caribe–CEGAR. Departamento de Ciencias Básicas, grupo de investigación “Ciencia, Entorno y Optimización”. Correo: dairo.causil@cecar.edu.co; Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-6651-7913>

en el cual se evidencia de manera práctica que dicho sólido logra ajustarse con exactitud en la intersección de los oleoductos; lo anterior ayuda a señalar la importancia que tiene el aprendizaje del cálculo diferencial e integral para la ingeniería, al demostrar que con este conocimiento un ingeniero puede llegar a realizar diseños más precisos en áreas como la construcción de secciones de tuberías para oleoductos así como para cualquier proyecto que se pretenda realizar que necesite de un proceso de diseño.

Palabras clave: intersección, cilindro, integral, perpendicular, ortogonal.

The importance of integral calculus in engineering, specific case: volume of orthogonal pipelines

Abstract

The design “Volume of Orthogonal Oil Pipelines” aims to show how the integral calculation is very useful in engineering, where the possibility of finding the volume of certain objects stands out; in this case it is the common volume of two cylinders of the same radius that intersect orthogonally. This is a very important problem due to its impact on operating costs. Among the materials and resources for the elaboration of the design are tubes of toilet paper, glue, silicone, scissors, cardboard, ruler, measuring tape, GeoGebra, among others, which allows to present the volume problem using both the theoretical method with help of the definite integral as the practical method based on the Dynamic Geometry Geogebra software. The results obtained are the design of the cardboard container with its respective volume, in which it is evident in a practical way that said solid manages to fit exactly at the intersection of the pipelines. From the aforementioned design it can be concluded that it is vitally important to train engineers with the ability to appropriate the different concepts of calculation for solving problems, which are located mainly in fields related to their professional profile.

Keywords: intersection, cylinder, integral, perpendicular, orthogonal.

Introducción

El hecho de enlazar dos o más partes en un oleoducto es un problema importante que si bien puede ser minimizado, ya sea controlando o tomando en cuenta factores topográficos en el trazado del mismo, no puede ser evitado; aun cuando se pueda minimizar el número de estos, siempre implicará costos adicionales. De aquí radica la importancia de estudiar los distintos tipos de empalme y la determinación de algunas características resultantes, entre las que destacan ciertas magnitudes asociadas a un cuerpo geométrico.

Para el caso de este trabajo, se plantea el estudio de la figura resultante del enlace de dos piezas cilíndricas del mismo diámetro en forma ortogonal, el cual es un problema que se aborda a partir del volumen común de dos cilindros que se cortan ortogonalmente. Este artículo de carácter pedagógico-divulgativo tiene como objeto de estudio un tema que se presenta con recurrencia en la disertación de diferentes profesores, donde se expone el análisis a fondo de la determinación de la magnitud mencionada a través del concepto de integral definida para su contextualización en aplicaciones de la ingeniería, en el cual es común comprobar la coincidencia de los resultados y así confirmar la exactitud de los conceptos del cálculo.

En ese sentido, el mencionado problema se encuentra planteado en diferentes libros como *El cálculo* de Louis Leithold (Leithold, 1994) y *El cálculo integral* de Jorge Sáenz (Saenz, 2009). Este último se toma como referencia principal para el diseño a realizar pues dicho libro tiene un enfoque para ciencias e ingeniería; en este documento se destaca la utilización del método teórico básico de las rebanadas, con el cual se obtiene una visión lo suficientemente clara para la elaboración del sólido resultante de la intersección de los oleoductos.

Materiales y métodos

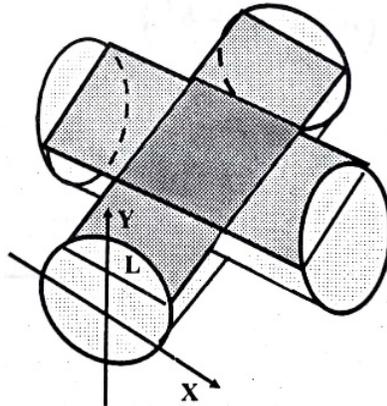
El método teórico empleado es el de rebanadas, según el cual se corta el sólido en secciones transversales que son perpendiculares a uno de los ejes coordenados y, para el volumen, se calcula la integral definida del área de las secciones, donde los límites de integración están determinados por

la oscilación de dichas secciones. Otro método teórico consiste en expresar el volumen a través de una integral doble, se debe tener mayor cuidado pues para este caso hay un ligero cambio dependiendo de la ubicación de los cilindros en el sistema tridimensional. Por otro lado, un método mucho más práctico y preciso que sirve para confirmar el resultado teórico es a través del software GeoGebra (Categoría:Tutoriales de Diseño–GeoGebra Manual, s.f.), además, es posible tener una mejor perspectiva del sólido y, de esa manera, poder elaborar con material reciclable la intersección de los cilindros, evidenciando experimentalmente que logra ajustarse con exactitud.

Resultados y discusión

El volumen deseado se puede obtener tanto con la integral definida como con la integral doble. El interés principal consiste en mostrar lo obtenido a partir de la primera opción. En primer lugar, se ubican en un sistema de coordenadas los dos cilindros del mismo radio r que se cortan ortogonalmente.

Figura 1
Cilindros ortogonales

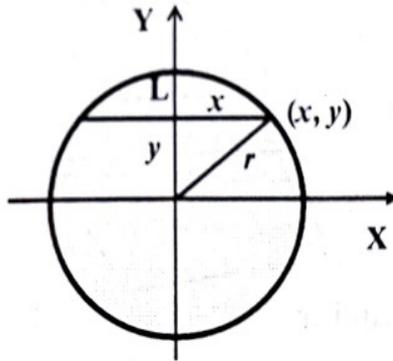


Nota. Fuente: tomado de Geogebra manual.

El problema consiste en hallar el volumen del sólido encerrado por la intersección de dichos cilindros. Para ello se toma como referencia la circunferencia de radio r que está sobre el plano XY , de tal manera que al cortar el sólido con un plano perpendicular al eje Y y a una altura de y

unidades, da como resultado una sección correspondiente a un cuadrado, cuyo lado se muestra a continuación (Tomás & Sacta, 2020).

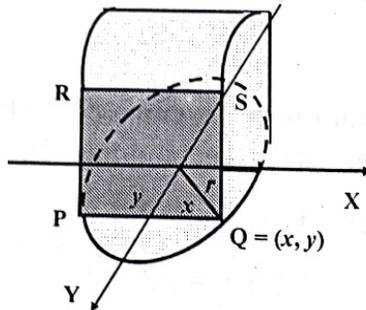
Figura 2
Circunferencia de referencia.



Nota. Fuente: tomado de (Saenz, 2009).

De acuerdo a lo anterior, el lado del cuadrado más grande está determinado por el diámetro de la circunferencia.

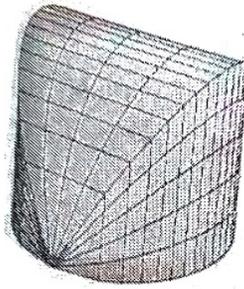
Figura 3
Sección transversal.



Nota. Fuente: tomado de Geogebra manual

En la imagen anterior se muestra el cuadrado cortando perpendicularmente al eje Y a una altura de y unidades, cuya longitud del lado es igual a $2x$. Ahora bien, para obtener el sólido deseado se deben colocar los cuadrados concéntricamente, de tal forma que se abarque toda la circunferencia.

Figura 4
Superficie de respuesta estimada.



Nota. Fuente: tomado de (Saenz, 2009).

Finalmente, como el área de cada cuadrado está dada por $A(x) = (2x)^2 = 4x^2 = 4(r^2 - y^2)$, entonces, teniendo cuenta la simetría se obtiene (Briceño, 2010):

$$V = \int_{-r}^r 4(r^2 - y^2)dy = 8 \left[r^2y - \frac{y^3}{3} \right]_0^r = \frac{16}{3} r^3 \quad (1)$$

Por otro lado, se realiza el diseño del recipiente con material reciclable, donde se evidencia experimentalmente que dicho sólido logra ajustarse con exactitud en la intersección de los oleoductos. Los aspectos que entran en discusión hacen referencia principalmente al método teórico, pues se busca determinar el camino adecuado que ilustre propiedades suficientes para la elaboración del sólido en consideración. Lo primero que se destaca al examinar el método teórico dado por integrales dobles es la posibilidad de obtener ya sea la octava parte o la dieciseisava parte del volumen buscado, de acuerdo a la ubicación de los cilindros en el sistema tridimensional. Sin embargo, el aspecto que toma relevancia es el hecho de demostrar con total claridad el proceso que se debe llevar a cabo para obtener un objeto preciso, en el cual se representa el volumen común de los cilindros cortados ortogonalmente.

Conclusiones

Se puede afirmar la importancia que tiene el aprendizaje del cálculo diferencial e integral para la ingeniería, al evidenciar que con este conocimiento un ingeniero puede llegar a realizar diseños más precisos en áreas como la construcción de secciones de tuberías para oleoductos, así como para cualquier proyecto que se pretenda realizar que necesite de un proceso de diseño. Asimismo, de la aplicación del cálculo diferencial e integral se obtiene una amplia información con la que se pueden diseñar modelos que simulen procesos reales ya sea a través de softwares o con maquetas interactivas como la que se realizó en el presente trabajo (Tejero Ruiz, 2015).

Agradecimientos

Agradecemos principalmente a quien fue nuestro profesor de Cálculo durante la licenciatura, por sus enseñanzas en la elaboración de diferentes sólidos; así como los profesores Javier Vélez y Orlando García, por su orientación en el diseño de la figura; de la misma forma, agradecemos a la estudiante de Cálculo Integral, Karina Velásquez, por su compromiso y colaboración con el diseño realizado.

Referencias

- Briceño, F. J. (2010). *Cálculo Diferencial e Integral–Volumen de un sólido*. Retrieved from <http://prof.usb.ve/bfeijoo/dat/MA1112/Guia09-I-2010-A.pdf>
- Categoría:Tutoriales de Diseño–GeoGebra Manual*. (n.d.). Retrieved from https://wiki.geogebra.org/es/Categor%C3%ADa:Tutoriales_de_Dise%C3%B1o
- Iglesias, N., Alonso, I., & Gorina, A. (2017). El Cálculo Diferencial e Integral en las carreras de ciencias técnicas. Especificidades de su enseñanza. *Maestro y Sociedad*.
- Leithold, L. (1994). *El Cálculo*. México: Fidecio Mata Conzáles.
- Saenz, J. (2009). *Cálculo Integral para Ciencias e Ingeniería*. Barquisimeto.
- Tejero Ruiz, J. F. (2015). *EXPLORACIÓN DEL CÁLCULO INTEGRAL DESDE EL CONTEXTO DE LA GEOMETRÍA DINÁMICA*. Bogotá.
- Tomás, R. T., & Sacta, T. M. (2020). *GUÍA DIDÁCTICA PARA MEJORAR LA ENSEÑANZA DE LA INTEGRACIÓN MÚLTIPLE APLICADA*

AL CÁLCULO DE ÁREA Y VOLUMEN DE SÓLIDOS CON APOYO DE RECURSOS EDUCATIVOS. Ecuador.

Villagrán, W. J., Cruz, E. L., Barahona-Avecilla , F. R., Barrera-Cárdenas, O. B., & Insuasti-Castelo, R. M. (2018). Utilización de GEOGEBRA como herramienta metodológica en la enseñanza de la geometría Analítica y su incidencia en el control del rendimiento académico de estudiantes del primer semestre de ingeniería. *Dominio de las Ciencias*, 4(4).



Edición digital

Soluciones de ingeniería aplicadas a problemas en la industria

Diciembre de 2021

Sincelejo, Sucre, Colombia

Soluciones de Ingeniería Aplicadas a Problemas en la Industria

Angélica María Torregroza Espinosa

José Luis Ruiz Meza

Editores/compiladores

La necesidad de aprender a diseñar y construir es inherente a la ingeniería. Se considera como uno de los rasgos que componen el concepto de la ingeniería desde su enfoque diferenciador de las ciencias básicas, y que es validado desde lo disciplinar por las ciencias de la ingeniería. Estas últimas, se reconocen como herramientas que permiten alcanzar o implementar metas a través del proceso de diseño. Así bien, en el proceso de diseño de soluciones a problemas reales a través de la ingeniería, se aplica una amplia gama de herramientas asociadas entre otros campos, a la gestión de la calidad y la investigación de operaciones. Las herramientas pueden basarse en control de la calidad, modelos de inventarios, de transporte, almacenamiento, selección de proveedores, pronósticos, producción, localización de centros, distribución en planta, entre otras. El objetivo de estos diseños consiste en encontrar soluciones exactas o aproximadas; desde el campo de la investigación de operaciones, se focaliza el desarrollo de modelos de optimización, simulación o combinaciones de estos, que permitan tomar decisiones eficientes.