

INGENIERÍA INDUSTRIAL







INGENIERÍA INDUSTRIAL

Ingeniería Industrial

Revista de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura
de la Universidad de Lima
Carrera de Ingeniería Industrial
Núm. 38, junio del 2020

Director: Nicolás Salazar Medina

Editora: María Teresa Noriega Aranibar

Comité Editorial:

Juan Jaramillo Posada	(Adelphi University, Estados Unidos)
Sergio Caporali Filho	(Universidad de Puerto Rico, Puerto Rico)
Gonzalo Redondo de Cardeño	(CEU Universities, España)
Alfonso Sarmiento Vásquez	(Universidad de La Sabana, Colombia)
Gabriela Gallardo Marcos	(Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Argentina)
Marcos Ruiz Ruiz	(Universidad de Lima, Perú)
Silvia Ponce Álvarez	(Universidad de Lima, Perú)
José L. Zayas-Castro	(University of South Florida, Estados Unidos)

© Universidad de Lima
Fondo Editorial
Av. Javier Prado Este 4600
Urb. Fundo Monterrico Chico, Lima 33
Apartado postal 852, Lima 100, Perú
Teléfono: 437-6767, anexo 30131
fondoeditorial@ulima.edu.pe
www.ulima.edu.pe

Edición, diseño y carátula: Fondo Editorial de la Universidad de Lima

Imagen de portada: David Moreno Hernández/Shutterstock.com

Publicación semestral

Impresa en el Perú

Los trabajos firmados son de responsabilidad de los autores. Queda prohibida la reproducción total o parcial de esta revista, por cualquier medio, sin permiso expreso del Fondo Editorial.

ISSN 1025-9929

Hecho el depósito legal en la Biblioteca Nacional del Perú n.º 95-0832

COMITÉ EVALUADOR

Andrea Flórez Rendón	(Instituto Tecnológico Metropolitano de Medellín, Colombia)
Alex Pastuña Pullutasig	(Universidad Técnica de Ambato, Ecuador)
Camilo Cáceres Flórez	(Universidad Militar Nueva Granada, Colombia)
César Trujillo Rodríguez	(Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia)
Eduardo Pastás Gutiérrez	(Universidad Tecnológica Israel, Ecuador)
Esteban Valtierra Pacheco	(Colegio de Postgraduados, México)
Ezilda Cabrera Gil-Grados	(Universidad de Lima, Perú)
Jesús Cruz Álvarez	(Universidad Autónoma de Nuevo León, México)
Julio Vinueza Gálarraga	(Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Ecuador)
Manuel Suarez Barraza	(Universidad de las Américas Puebla, México)
Mauricio Hualpa Zúñiga	(Universidad de La Salle, Colombia)
Miguel Ávalos Ortecho	(Universidad de Lima, Perú)
Norma Barnes	(Universidad Nacional de Tucumán, Argentina)
Orlando Enderica Armijos	(Universidad Técnica de Machala, Ecuador)
Rino Nicanor Sotomayor	(Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú)
Samir Mejía	(Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú)

ÍNDICE

PRESENTACIÓN	9
PRESENTATION	11
GESTIÓN DE LA PRODUCCIÓN / PRODUCTION MANAGEMENT	
Aplicación de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar la disponibilidad de la máquina remalladora de una empresa textil	15
<i>Sophia Cristina Uribe</i>	
Análisis de factibilidad para el incremento de capacidad instalada en el almacén del centro de distribución de una empresa en Cancún	33
<i>Juan Felipe Pérez, Paola Alfaro, Luz María De la Garza, Francisco Lerma</i>	
CALIDAD Y MEDIOAMBIENTE / QUALITY AND ENVIRONMENT	
Un índice de capacidad de procesos para distribuciones multivariadas normales y no normales, de variables correlacionadas y no correlacionadas	67
<i>Erasmus Rafael Salazar</i>	
Liderazgo como factor crítico de éxito para la gestión de las pymes. Reflexiones para la discusión	97
<i>Roselin Santamaría-Peraza, Agustín Mejías-Acosta</i>	
Mejora de procesos para mitigar el impacto ambiental en una lavandería industrial	113
<i>Walter Montoya</i>	
INGENIERÍA DE NEGOCIOS / BUSINESS ENGINEERING	
¿Cómo generar crecimiento rentable de las pymes de ingeniería? Análisis a través de un estudio de caso	135
<i>Mauricio Mathey</i>	

Evolución financiera de la banca múltiple peruana 2007-2017	159
<i>Lourdes Emmerich</i>	
Análisis de las ventas empleando redes complejas: comunidades y centralidad de productos	181
<i>Salvador Hernández-González, José Eduardo Hernández-Torres, Manuel Darío Hernández-Ripalda</i>	
PROYECTOS EMPRESARIALES INDUSTRIALES / INDUSTRIAL BUSINESS PROJECTS	
Proceso de producción de colchones de espuma viscoelástica en el Perú	199
<i>Caterina Strobbe</i>	
CIENCIA Y TECNOLOGÍA / SCIENCE AND TECHNOLOGY	
Diseño y construcción de un prototipo de máquina selladora y clasificadora de huevos de gallina por peso, en la empresa peruana Aviporc S.A.C	221
<i>Ryan León, Andy Boy, Luciana Peláez, Lucésita Tacanga</i>	
AUTORES	241
INFORMACIÓN PARA LOS COLABORADORES Y NORMAS PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS	249

PRESENTACIÓN

Este año 2020 va a quedar escrito en la historia de la humanidad, principalmente, tendrá que vencer la crisis sanitaria y humanitaria, teniendo que usar al máximo no solo sus capacidades de entrega, solidaridad, resistencia y resiliencia, sino también el conocimiento científico alcanzado en las áreas de la medicina, biología, farmacología, epidemiología, estadística, seguridad y otras, entre las que se encuentra la ingeniería, presente con sus especialidades en diseño, electrónica, mecánica e industrial. La ingeniería industrial aporta temáticas referentes a logística, cadena de suministros, mejora de métodos, gestión, planeamiento, control de calidad (herramientas esenciales para armar líneas de ensamblaje productivas y eficientes) que entreguen los alimentos, medicinas, suministros y equipos necesarios a tiempo.

Esta situación está cambiando la manera de desarrollar y ejecutar procesos, siendo vital el manejo de información y el uso de recursos y herramientas que las tecnologías de la información están poniendo a disposición de las personas, para que ellas puedan cumplir con sus objetivos y la satisfacción de sus necesidades, tanto personales como profesionales. La ingeniería industrial no es ajena a esos procesos de cambio, por lo que las organizaciones las han estado incorporando, sin embargo, la coyuntura actual está acelerando esa adaptación.

En esta oportunidad tengo la satisfacción de presentarles el número 38 de la *Revista Ingeniería Industrial*, publicación indexada de la Carrera de Ingeniería Industrial de la Universidad de Lima, publicación que tiene como objetivo entregar a la comunidad académica artículos científicos en ingeniería industrial, los cuales han pasado por un riguroso proceso de revisión y son resultado de investigaciones de profesionales, tanto peruanos como extranjeros.

Los artículos que encontrarán en la presente revista pertenecen a algunas de las áreas más importantes en las que se desenvuelve la ingeniería industrial; tales como la agroindustria, mantenimiento, manufactura, proyectos y gestión.

Presentación

El presente número no se hubiese concretado ni podido llegar a ustedes sin el trabajo de autores, equipo revisor y editorial, a quienes tengo que agradecer por su compromiso.

Es por ello que pongo a su disposición el presente número, agradeciéndoles de antemano por su difusión.

Nicolás Salazar Medina

Director

PRESENTATION

This year 2020 will be written in the history of mankind. Health and human crisis must be firstly overcome. People will have to use the full extent of not only the capacities for commitment, solidarity, resistance and resilience but also the scientific knowledge achieved in the areas of medicine, biology, pharmacology, epidemiology, statistics, security and others, among which is engineering with its different disciplines: design, electrical, mechanical and industrial. Industrial engineering addresses issues related to logistics, supply chain, improved methods, management, planning, quality control (essential tools for creating productive and efficient assembly lines) that timely deliver the required food, medicine, supplies and equipment.

This situation is changing the manner of developing and executing processes: it is vital to handle the information and use the resources and tools that information technologies are making available to people so that they may fulfil their objectives and meet their needs, both personal and professional. Industrial engineering is no stranger to those change processes; therefore, organizations have been incorporating it. However, current juncture is speeding up such adaptation.

On this occasion, I am pleased to present you the 38th issue of the *Ingeniería Industrial* journal, an indexed publication of the Industrial Engineering Undergraduate Program of the University of Lima. This publication aims to provide to the academic community scientific articles in industrial engineering, which have undergone a rigorous review process and are the result of research made by professionals, both Peruvians and foreigners.

The articles you will find in this journal are related to some of the most important areas in which industrial engineering develops, such as agroindustry, maintenance, manufacturing, projects and management.

Presentation

This issue could not have been completed nor could it have been read by you without the work of the authors, review and editorial team, whom I have to thank for their commitment.

Finally, I make this issue available to you and thank you in advance for its dissemination.

Nicolás Salazar Medina
Director

**GESTIÓN
DE LA PRODUCCIÓN**

Production Management

APLICACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE LA MÁQUINA REMALLADORA DE UNA EMPRESA TEXTIL

SOPHIA CRISTINA URIBE*
Universidad de Lima, Perú

Recibido: 28 de febrero del 2020 / Aprobado: 16 de abril del 2020

doi: 10.26439/ing.ind2020.n038.4812

RESUMEN: La presente investigación tuvo como objetivo aplicar un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad de la máquina remalladora de una empresa textil, debido a su baja disponibilidad por paradas prolongadas de mantenimiento correctivo que se presentaban durante la jornada de trabajo. Se elaboró un programa de mantenimiento mediante el análisis de criticidad; luego, se desarrolló el análisis de modo y efecto de fallas para así analizar la situación y escoger, de forma idónea, las acciones a realizar, lo cual permitió mejorar su disponibilidad de manera significativa.

Palabras clave: mantenimiento centrado en la confiabilidad / análisis de modo y efecto de fallas / industria textil

IMPLEMENTATION OF A RELIABILITY-CENTERED MAINTENANCE PLAN TO IMPROVE THE AVAILABILITY OF A TEXTILE COMPANY'S OVERLOCK MACHINE

ABSTRACT: This research aimed to implement a reliability-centered maintenance plan to improve the availability of a textile company's overlock machine with long corrective maintenance downtime during a workday. A maintenance program was developed using a criticality analysis. Then, a failure mode and effects analysis was conducted to analyze the machine's condition and choose the appropriate actions to be carried out. This process allowed to significantly improve the overlock machine's availability.

Keywords: reliability-centered maintenance / failure mode and effects analysis / textile industry

* sophiacabzasuribe@gmail.com

1. INTRODUCCIÓN

El mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM, por sus siglas en inglés, *reliability centred maintenance*) surgió durante la Segunda Guerra Mundial, específicamente, en el sector de la aviación, en donde se registraban alrededor de dos accidentes aéreos diarios, los cuales se originaban por fallas internas del motor del avión. Si bien es cierto, se empezaron a realizar revisiones periódicas que redujeron los accidentes a uno cada dos semanas; aquellas se efectuaban cuando el motor empezaba a fallar (Barreda, 2015).

Hoy en día, el RCM cuenta con un procedimiento para su implementación mediante el cual es pertinente un estudio de los activos fijos, evaluar la criticidad de los equipos, para después, mediante un análisis de fallo, determinar las tareas de mantenimiento, logrando reducir las paradas prolongadas de los equipos y sus costos asociados. Por lo tanto, para la aplicación de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad es necesario realizar un análisis de modos y efectos de falla (AMEF) y el análisis de criticidad.

Por un lado, el AMEF es un procedimiento de análisis de fallas a través del cual cada falla de un equipo es analizada, de tal forma que permita determinar los efectos sobre las mismas mediante una clasificación de cada falla y así ayudar a reducir la ocurrencia de las mismas (Valdivieso, 2010). Mientras que el análisis de criticidad es una metodología que establece prioridades de procesos, sistemas y equipos, facilitando así la toma de decisiones, enfocándose en las áreas donde más se requiera, para mejorar la confiabilidad operacional según el contexto actual (Salamanca, Velazco y Acevedo, 2016).

La presente investigación tiene como propósito aplicar un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para una máquina remalladora de una empresa pequeña del sector textil, logrando así prolongar su vida útil, reduciendo el tiempo y los costos que conllevan.

2. PROBLEMÁTICA

En la actualidad, la industria textil es considerada como uno de los sectores manufactureros con mayor importancia en la economía peruana, por ello es fundamental que dichas empresas cuenten con un plan de mantenimiento para sus equipos (Ruiz, 2016). Por tanto, al no contar con una matriz de análisis de modos y efectos de fallas de las actividades del mantenimiento, es imposible determinar cuál equipo es el más crítico afectando directamente los costos de producción, ya que se ocasionan paradas prolongadas por falta de repuestos o capacitación del personal, referido al mantenimiento autónomo. Por las razones expuestas, el objetivo de la investigación es elaborar un plan de mantenimiento basado en la metodología RCM.

Es importante mencionar que las demandas actuales de las empresas textiles requieren procesos productivos, seguros y confiables para lograr con ello altos niveles

de producción a través de la utilización óptima de los recursos con los que cuenta (Córdova, 2018).

Para las medianas y grandes empresas es fundamental aplicar estrategias de mantenimiento que permitan incrementar la vida útil de los equipos, mejorando así su disponibilidad y confiabilidad, lo que conlleva a efectos positivos en la productividad.

La empresa textil, en estudio, se dedica a la producción de prendas de 100 % algodón y algodón pima, para damas y niñas, con las siguientes máquinas:

- a) Máquina recta
- b) Máquina recubridora
- c) Máquina remalladora
- d) Cortadora

Con el paso de los años y al surgir empresas cada vez más competitivas, se hace necesario realizar cambios en el área de mantenimiento, para así contar con procesos más eficientes, que conllevarán a lograr una reducción de costos considerable. Es por ello que el mantenimiento ha ido adquiriendo mayor relevancia, debido a que es un factor fundamental en lo que respecta a la optimización del proceso productivo en una empresa, de esta forma se contribuye a mejorar la confiabilidad de los equipos, ya que se reducen las paradas no previstas y, en ocasiones, prolongadas, minimizando costos asociados al mantenimiento y logrando así mejorar la productividad dentro del proceso de producción de una empresa.

Mediante la aplicación del plan RCM, se logrará contar con un mayor control en relación a las fallas más frecuentes, además, según su ocurrencia, sus costos incurridos, su impacto que genera en la producción, entre otros, al identificar la falla más crítica y elaborar un cronograma de mantenimiento con instructivos que serán de ayuda para la empresa.

A continuación, se presentan las fallas recurrentes en las máquinas remalladoras que ocasionaron baja disponibilidad, obtenidas por medio de su respectiva hoja de control de reparaciones:

- Prenda con manchas de aceite
- Rotura de hilo de aguja
- Falla del motor
- Falla de la correa
- Aguja despuntada

En la figura 1 se observa el diagrama causa-efecto de las fallas mencionadas en la máquina remalladora:

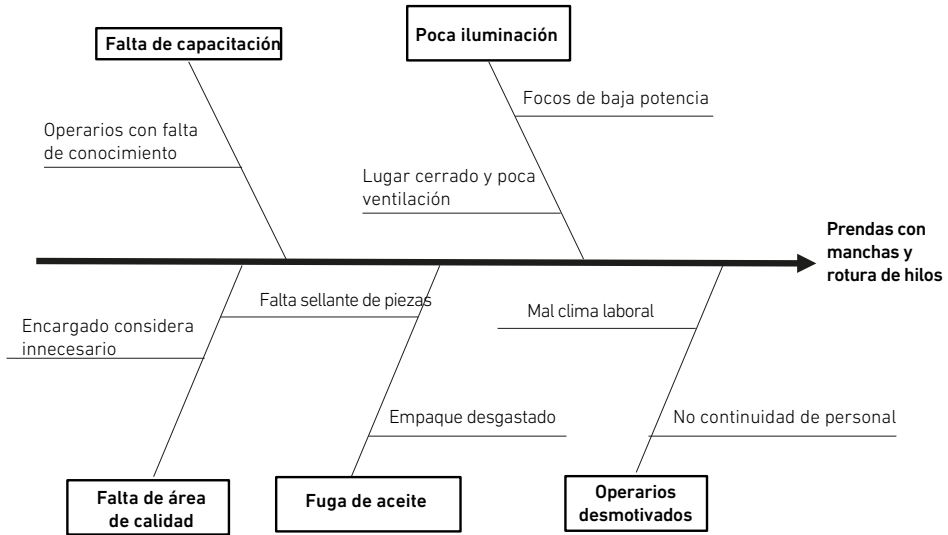


Figura 1. Diagrama causa-efecto de las fallas de prendas con mancha de aceite, rotura del hilo de aguja y aguja despuntada

Elaboración propia

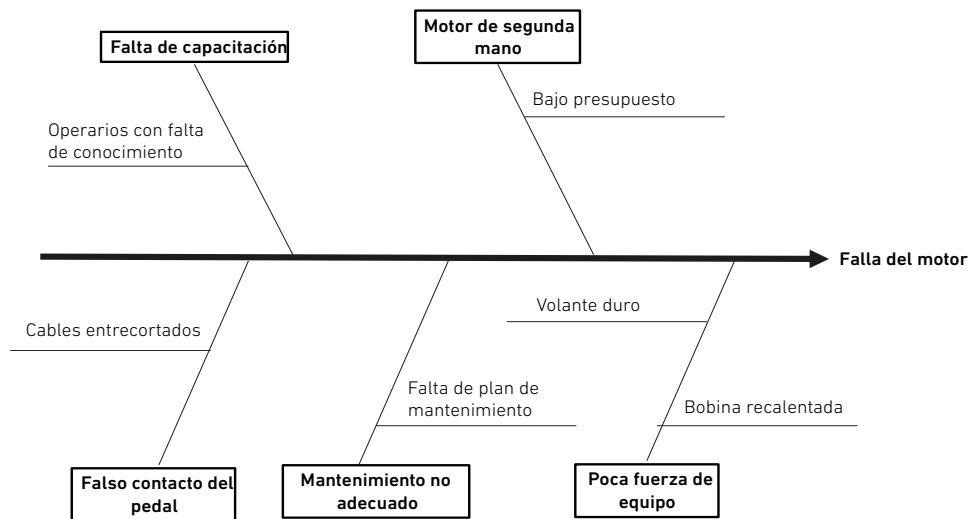


Figura 2. Diagrama causa-efecto de la falla del motor

Elaboración propia

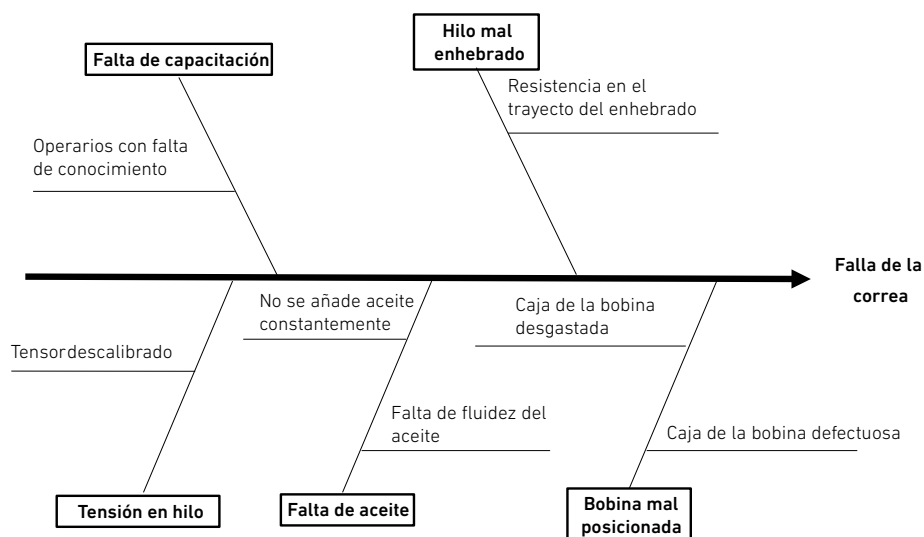


Figura 3. Diagrama causa-efecto de la falla de la correa

Elaboración propia

Las fallas mencionadas, que se presentaban de una manera constante, generaban una serie de mantenimientos correctivos que afectaban directamente a los costos de la empresa, además, al proceso productivo de las prendas de vestir. En la tabla 1 se observa, a modo de resumen, el impacto que estas fallas generaron en la empresa:

Tabla 1
Impacto en la empresa

Descripción	Costo (soles)	Costo total de julio a noviembre (soles)	Tiempo promedio por defecto de julio a noviembre (minutos)	Productividad teórica (unidades producidas/horas hombre utilizadas)	Productividad real (unidades producidas/horas hombre utilizadas)
Prenda con manchas de aceite	8,50	1 037,00	6 773	9,1	8,95
Rotura de hilo de aguja	0,0015	39,43	556	9,1	9,09
Falla del motor	150,00	1 050,00	5 360	9,1	8,95
Falla de la correa	0,0015	360,00	144	9,1	9,04
Falla en las cuchillas	4,00	48,00	225	9,1	9,09
Aguja despuntada	0,50	23,14	411	9,1	9,09
Total	163,00	2 557,57	13 469		

Elaboración propia

Durante los meses de julio a noviembre del 2019 se obtuvieron las siguientes pérdidas a causa de las fallas mencionadas:

- 122 prendas por manchas de aceite
- 5 prendas por rotura de hilo de aguja
- 124 prendas por falla del motor
- 43 prendas por falla de la correa
- 6 prendas por falla en las cuchillas
- 3 prendas por aguja despuntada

3. METODOLOGÍA

El tipo de investigación es *aplicada*, pues se utilizan los conocimientos para resolver un problema de la empresa. El diseño de investigación es *no experimental*, ya que no se manipulan las variables (Hernández, Fernández y Baptista, 2014). Asimismo, es *transaccional*, puesto que la recolección de la información se realizó en un único período de tiempo, de julio a diciembre del 2019.

Los instrumentos utilizados para la investigación fueron los siguientes: para la recolección de la información fue pertinente utilizar la hoja de control de reparaciones, la cual incluye las reparaciones que se realizaron, los costos asociados, los tiempos de operación, entre otros.

Por otro lado, para la aplicación del plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad, el instrumento utilizado fue la hoja *check list*, en la cual se describen las acciones a tener en consideración: diarias, semanales y mensuales. Además, se tuvieron en cuenta las pautas de trabajo que están relacionadas a las acciones de mantenimiento del *check list* y que se deben realizar en la máquina según los requerimientos.

Para llevar a cabo la metodología RCM, se optó por el procedimiento que se desarrolla en las siguientes etapas (Alegoría, 2018):

- a) Jerarquizar la criticidad de las máquinas y escoger el más crítico
- b) Determinar los modos de falla
- c) Determinar los efectos de falla
- d) Determinar las causas de las fallas
- e) Valorar las consecuencias de las fallas
- f) Elaborar un plan de mantenimiento según el árbol lógico de decisiones

En la figura 4 se detalla un diagrama de bloques de la metodología RCM:

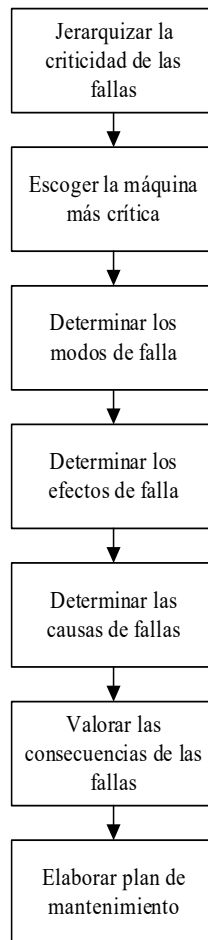


Figura 4. Diagrama de bloques

Fuente: Alegría (2018)

La máquina escogida para la aplicación de la metodología RCM con la herramienta de análisis de modo y efecto de fallas fue la remalladora, ya que era la que presentaba una menor disponibilidad en comparación con las otras máquinas de la empresa, tal como se detalla en la tabla 2.

Tabla 2
Disponibilidad de las máquinas

Descripción	Máquina recubridora	Máquina recta	Máquina remalladora	Cortadora
Tiempo en reparaciones en horas	13	18	45	21
Tiempo planeado en horas	176	176	176	176
Porcentaje de disponibilidad (%)	92,6	89,8	74,4	88,1

Elaboración propia

Cabe mencionar que para el cálculo de la disponibilidad en cada máquina se utilizó la fórmula (1):

$$Disponibilidad = \frac{Tiempo\ planeado - Tiempo\ en\ reparaciones}{Tiempo\ planeado} \quad (1)$$

De (1) y de la tabla 2 se obtuvo que la disponibilidad de la máquina remalladora era inferior a la diferencia de las otras máquinas con un valor del 74,4 %.

4. RESULTADOS

En primer lugar, se detallaron los tipos de máquinas de la empresa textil, las cuales presentaban fallas con un alto nivel de frecuencia:

Tabla 3
Tipo de máquinas en la empresa textil

Tipo de máquina	Modelo	Cantidad
Máquina recubridora	Mf-7523	3
Máquina recta	Ddl 8100	2
Máquina remalladora	Mo-644d	2
Cortadora	Brute Eastman	1

Elaboración propia

4.1 Análisis de criticidad

Después de haber recopilado el número de fallas y el impacto económico de estas en la empresa, fue pertinente hacer un análisis de criticidad para identificar las máquinas de mayor riesgo, según su importancia; para ello se realizó un análisis de modos y efectos de fallas para identificar las actividades apropiadas de mantenimiento.

Para jerarquizar los equipos, se procedió a realizar una evaluación del riesgo, que se representa de la siguiente manera (Concha, 2017):

$$Riesgo = FFx (IOxFO + CM + SO) \quad (2)$$

donde:

FF: frecuencia de fallas en un mes de trabajo

IO: impacto operacional que se produce debido a una falla en una determinada máquina

FO: flexibilidad operacional, que está referido al tiempo que podría demorar la reparación de una de las máquinas

CM: costo promedio en reparar una falla de una máquina específica

SO: seguridad ocupacional o instalaciones en caso de ocurrir una falla

Tabla 4
Frecuencia de falla

Frecuencia de fallas	Cifra
Mayor a 7 fallas/mes	8
Entre 5 y 7 fallas/mes	6
Entre 2 y 4 fallas/mes	4
Menor a 2 fallas/mes	2

Fuente: Concha (2017)

Tabla 5
Impacto operacional de la falla

Impacto operacional	Cifra
Detiene sistema productivo	12
Disminuye producción	8
Produce costos operacionales	5
No genera un efecto negativo	1

Fuente: Concha (2017)

Tabla 6
Flexibilidad operacional de la falla

Flexibilidad operacional	Cifra
No existe repuesto en <i>stock</i>	6
Repuestos compartidos	3
Repuesto disponible en <i>stock</i>	1

Fuente: Concha (2017)

Tabla 7
Costo de mantenimiento

Costos de mantenimiento en soles	Cifra
De 151 a más	10
De 101-150	7
De 51-100	4
De 0-50	1

Fuente: Concha (2017)

Se procedió a realizar una evaluación de las máquinas que conforman el proceso de producción de las prendas de vestir, siendo sometido al juicio del gerente general de la empresa. A continuación, se detalla los resultados al aplicar la fórmula (2):

Tabla 8
Jerarquización de las máquinas

Jerarquización	Frecuencia	I.O.	F.O.	C.M.	S.O.	Total
Máquina recubridora	4	5	3	1	1	68
Máquina recta	2	1	3	1	1	10
Máquina remalladora	8	5	3	4	1	160
Cortadora	2	2	6	4	1	34

Elaboración propia

De la tabla 8, destaca la máquina remalladora por dos factores fundamentales; en primer lugar, la frecuencia de fallas que presenta cada mes y, en segundo lugar, el impacto operacional que conlleva a mayores costos operacionales. Asimismo, es la que representa un menor índice de disponibilidad tal como se detalló en la tabla 8. Por lo tanto, fue materia de estudio para el análisis de modos y efectos de fallas.

4.2 Análisis de modos y efectos de fallas

En la tabla 9 se detalla el análisis de modos y efectos de fallas de la máquina remalladora.

Tabla 9
Análisis de modos y efectos de fallas de la máquina remalladora

Máquina remalladora	Componentes:	AMEF número:	1	
	Pie prensa telas	Página:	1	
	Impelentes			
	Barra de la aguja			
	Placa de la aguja	Fecha de inicio:	1/11/2019	
	Tira hilo superior	Fecha de fin:	31/01/2020	
	Mecanismo diferencial			
	Guardas de aguja	Responsables:		
	Garfio	Jefe de producción		
	Regulador de puntada	Analista de calidad		
	Conjunto de tensores	Técnico mecánico		
	Mecanismos de cuchillas			
	Filtro y visor de aceite			
	Conjunto de volante			
Cabezal				
Funciones	Falla funcional	Modo de falla	Frecuencia de ocurrencia de falla	Efectos de falla
1. Sirve para el acabado del borde de las prendas.	Prenda con manchas de aceite	Desprende aceite	8	Rehacer la prenda
2. Permite remallar y terminar costuras internas o colocar complementos.	Rotura de hilo de aguja	Salto de puntada	8	Desgaste de la aguja
	Falla del motor	Puntada floja	4	Se detiene la producción
	Falla de la correa	Mucho ruido al funcionar	4	Reducción de la eficiencia en el proceso
	No corta las prendas	Cuchillas sin afilar	6	Reducción de la eficiencia en el proceso
	Aguja despuntada	Rotura de aguja	6	Reducción de la eficiencia en el proceso

Elaboración propia

4.3 Análisis de las consecuencias de las fallas

Para un mejor análisis de los efectos de cada modo de falla y la evaluación de las consecuencias, se tuvo en consideración un análisis de criticidad para jerarquizar las fallas, permitiendo así una mejor toma de decisiones con respecto a las tareas de mantenimiento. En la fórmula (3) se presenta el número de prioridad de riesgo (NPR):

$$NPR = S \times O \times D \quad (3)$$

donde:

S: severidad, es decir, la estimación de la gravedad del efecto del modo de falla

O: ocurrencia, la probabilidad de que una causa en específico resulte en un modo de falla

D: detección, el valor para clasificar la probabilidad de encontrar una falla antes de que se lleve a cabo

Tabla 10

Escala de severidad, ocurrencia y detección

Intervalo	Severidad (S)	Ocurrencia (O)	Detección (D)
9-10	Muy alta severidad	Muy alta probabilidad de ocurrencia	Casi imposible de detectar
6-8	Inconveniente mayor	Alta probabilidad de ocurrencia	Baja capacidad de detección
3-5	Inconveniente menor	Moderada probabilidad de ocurrencia	Alta capacidad de detección
1-2	Mínimo efecto	Baja probabilidad de ocurrencia	Muy alta capacidad de detección

Fuente: Concha (2017)

En la tabla 11 se presenta la clasificación de los modos de falla a que fue sometida, a juicio del gerente general de la empresa, de acuerdo al nivel de riesgo según la fórmula (3):

Tabla 11

Nivel de riesgo

Modos de falla	Severidad	Ocurrencia	Detección	Riesgo
Desprende aceite	6	4	5	120
Salto de puntada	3	4	3	36
Puntada floja	7	5	6	210
Mucho ruido al funcionar	3	4	3	36
Cuchillas sin afilar	4	6	5	120
Rotura de aguja	3	5	3	45

Elaboración propia

De la tabla 11, se puede apreciar que el modo de falla fue la puntada floja la que representó un mayor impacto, siendo una falla funcional por falla del motor, ya que cuando ocurrió se detuvo la producción, lo que conllevó a una reducción de la eficiencia de la producción.

En la figura 5 se detalla el árbol lógico de decisiones que se tuvo en cuenta para la elaboración del plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad.

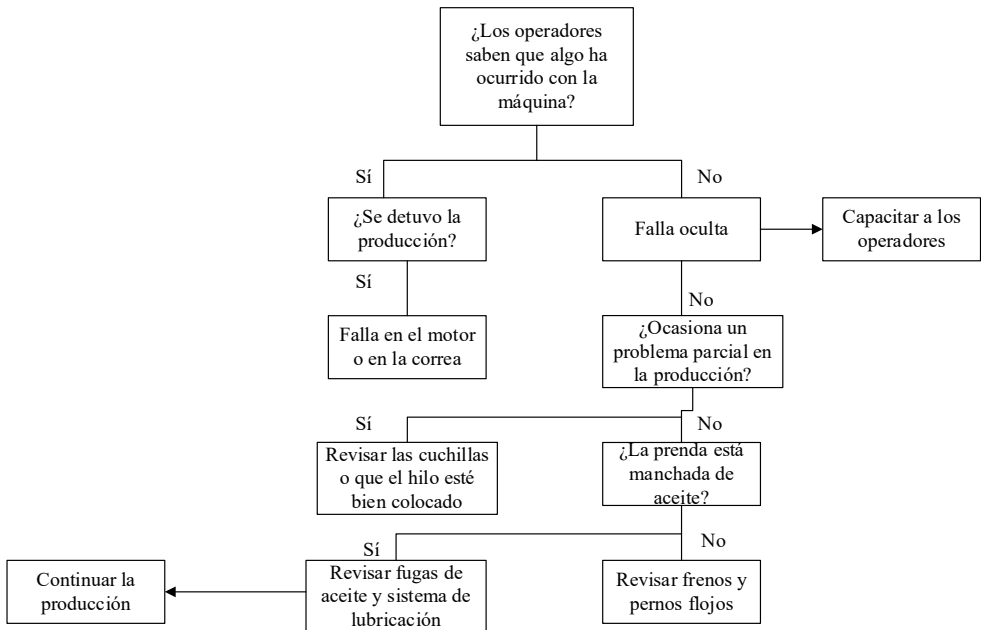


Figura 5. Árbol lógico de decisión RCM

Elaboración propia

De acuerdo con las fallas descritas del análisis de modos y efectos de falla, estas se originaron debido a la aplicación de un mantenimiento correctivo; es decir, cuando la falla ya se había presentado.

Para la aplicación de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad, se tuvieron en consideración las causas de las fallas, de tal forma que permitieron mejorar la disponibilidad de la máquina en estudio. En la tabla 12 se detalla la frecuencia de mantenimiento de cada actividad.

Tabla 12
Frecuencia de mantenimiento

Actividades	Frecuencia de mantenimiento		
	Frecuencia		
	Diario	Semanal	Mensual
Limpieza externa	X		
Revisión de sistemas de lubricación	X		
Revisión de fugas de aceite	X		
Revisión de pernos flojos		X	
Revisión de sistemas neumáticos			X
Revisión de ajustes eléctricos			X
Calibración de embragues y frenos		X	
Limpieza interna		X	

Elaboración propia

En la figura 6 se muestra el cronograma de actividades de acuerdo con la frecuencia de cada actividad, tal como se aprecia, se inició el 6 de enero del 2020 y está programado hasta el 30 de junio, del mismo año, de tal forma que pueda realizarse una segunda revisión de las tareas de mantenimiento que se están ejecutando.

Descripción	Frecuencia	Ene-20				Feb-20				Mar-20				Abr-20				May-20				Jun-20								
		5	12	19	26	2	9	16	23	1	8	15	22	29	5	12	19	26	3	10	17	24	31	7	14	21	28			
Limpieza externa	Diario	█																												
Revisión de sistemas de lubricación	Diario	█																												
Revisión de fugas de aceite	Diario	█																												
Revisión de pernos flojos	Semanal	█		█		█		█		█		█		█		█		█		█		█		█		█		█		
Calibración de embragues y frenos	Semanal		█		█		█		█		█		█		█		█		█		█		█		█		█		█	
Limpieza interna	Semanal		█		█		█		█		█		█		█		█		█		█		█		█		█		█	
Revisión de sistemas neumáticos	Mensual				█				█				█				█				█				█				█	
Revisión de ajustes eléctricos	Mensual								█											█										█

Figura 6. Cronograma de mantenimiento

Elaboración propia

En la tabla 13 se detalla el presupuesto asignado para la ejecución del plan de mantenimiento, cabe mencionar que fue pertinente realizar capacitaciones a los operarios que solían utilizar las máquinas, ya que, de acuerdo con la hoja del control de reparaciones, eran muy repetitivas algunas fallas, como la rotura de hilo de la aguja o las prendas que se manchaban con aceite. Por lo tanto, se está aplicando el mantenimiento autónomo para que detecten, a tiempo, dichas fallas, así como la falla del motor y las otras.

Tabla 13
Presupuesto asignado

Responsable	Sophia Uribe
Presupuesto asignado	Monto (en soles)
Supervisión de las actividades de mantenimiento	1500,00
Repuestos	500,00
Mantenimiento autónomo	800,00
Material de apoyo	200,00
Otros	100,00
Total	3100,00

Elaboración propia

Una vez aplicado el plan de mantenimiento, se obtuvo una mejora significativa desde el segundo mes de la puesta en marcha del plan, en relación al indicador de disponibilidad de la máquina remalladora, debido a la reducción en los tiempos de reparación a 14 horas por mes, siendo el tiempo inicial planeado de 176 horas, se procedió a realizar la variación de la disponibilidad en la siguiente ecuación:

$$Disponibilidad = \frac{176 - 14}{176} = 92 \% \quad (4)$$

De acuerdo a (4) se obtuvo un índice de disponibilidad del 92 %, incrementando en un 18 % en relación a la disponibilidad inicial, lo que demostró la importancia de contar con un plan de mantenimiento en una empresa.

5. CONCLUSIONES

- De los resultados obtenidos, se destaca la necesidad de prevenir las fallas que pueden ocurrir en las máquinas operadoras, y que interfieren en los tiempos de producción, para mejorar la disponibilidad de las mismas.

- Se demostró que, con una inversión de 3100 soles, para la puesta en marcha del plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad y una capacitación de los operarios para que apliquen el mantenimiento autónomo, se pudo mejorar de forma considerable la disponibilidad de la máquina remalladora.
- Se logró definir el método del mantenimiento centrado en la confiabilidad por medio de equipos de trabajo y delegando acciones a cada trabajador aplicando el método del árbol lógico de decisiones.
- Se diseñó un plan de mantenimiento preventivo como referencia del historial de fallas de las máquinas, análisis de criticidad y el nivel de riesgo.
- Mediante el plan de mantenimiento se aprecia una mejora significativa de la disponibilidad a un 92 % de la máquina remalladora, logrando así el objetivo de la presente investigación.

6. RECOMENDACIONES

- Se considera pertinente que la empresa establezca un inventario de repuestos y herramientas como *stock* de seguridad, de tal forma que garantice una adecuada gestión de mantenimiento.
- Se aconseja realizar un seguimiento de otros indicadores de mantenimiento para evaluar la mejora antes y después de haber aplicado el plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad.
- Debe ejecutarse un plan de mantenimiento para las otras máquinas de la empresa para así garantizar la disponibilidad de las mismas y evitar las paradas prolongadas por las reparaciones que se realicen.
- La empresa puede aplicar la metodología del mantenimiento productivo total, ya que los operarios ya se encuentran capacitados con respecto al mantenimiento autónomo para detectar las fallas en las máquinas. Asimismo, se podría alcanzar con dicha metodología una mayor eficiencia de la gestión de mantenimiento.

REFERENCIAS

- Alegría, R. (2018). *Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM en el sistema de freno neumático de los buses puma katari* (tesis para optar el título de mecánico automotriz), Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia. Recuperada de <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/16748>
- Barreda, S. (2015). *Plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) en la EDAR de Nules-Vilavella* (tesis para optar el título de ingeniero mecánico). Universitat Jaume I, Castellón de la Plana, España.

- Concha, A. A. (2017). *Elaboración de plan de mantenimiento frigorífico Fiordosur* (tesis para optar el título de técnico en mantenimiento industrial). Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso, Chile. Recuperada de <https://repositorio.usm.cl/handle/11673/43889>
- Córdova, K. M. (2018). *Implementación de mantenimiento preventivo para la mejora de la productividad en el área de producción de la empresa Creaciones Oswel SAC* (tesis para optar el título de ingeniero industrial). Universidad César Vallejo. Recuperada de <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/22921>
- Diestra, J., Esquivel, L., y Guevara, R. (2017). Programa de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) para optimizar la disponibilidad operacional de la máquina con mayor criticidad. *Revista Ingeniería: Ciencia, Tecnología e Innovación*, 4(1), 1-10.
- Espín, H. I. (2018). *El RCM (mantenimiento centrado en la confiabilidad) de los equipos del área húmeda y de acabados del cuero de la empresa Tenería Díaz CÍA. LTDA.* (tesis para optar el título de ingeniero industrial). Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador. Recuperada de <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/28584>
- Fornés, R., Ochoa, L., Cano, A., y González, E. (2016). Gestión de mantenimiento centrado en confiabilidad en el área de laboratorios de una institución de educación superior. *Revista de Aplicaciones de la Ingeniería*, 3(8), 77-86.
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2004). *Metodología de la investigación* (5.ª ed.). México D. F.: McGraw-Hill.
- Ruiz, L. C. (2016). Diseño de un plan de mantenimiento preventivo basado en la confiabilidad para mejorar la disponibilidad y confiabilidad en máquinas circulares en la empresa textil Wg SAC. *Innovación en Ingeniería*, 2(1), 1-19.
- Salamanca, J. E., Velazco, J. A., y Acevedo, A. (2016). Análisis de criticidad y árboles de diagnóstico de fallas para transformadores de potencia. *Revista Colombiana de Tecnologías Avanzadas*, 1(27), 104-111.
- Uzcátegui, J. Y., Varela, A., y Díaz, J. I. (2016). Aplicación de herramientas de clase mundial para la gestión de mantenimiento en empresas cementeras basado en la metodología MCC. *Respuestas*, 21(1), 77-88.
- Valdivieso, J. C. (2010). *Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para la empresa Extruplas S.A.* (tesis para optar el título de ingeniero mecánico). Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador. Recuperada de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/831>

ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD PARA EL INCREMENTO DE CAPACIDAD INSTALADA EN EL ALMACÉN DEL CENTRO DE DISTRIBUCIÓN DE UNA EMPRESA EN CANCÚN

FELIPE PÉREZ, PAOLA ALFARO,
LUZ MARÍA DE LA GARZA
Y FRANCISCO LERMA*

Universidad del Caribe, Quintana Roo, México

Recibido: 14 de febrero del 2020 / Aprobado: 22 de abril del 2020

doi: 10.26439/ing.ind2020.n038.4813

RESUMEN: La investigación se desarrolló en el almacén del centro de distribución Sigma Alimentos Cancún, empresa dedicada al almacenamiento y distribución de alimentos congelados. El problema se centró en determinar la capacidad real de almacenamiento de la empresa y encontrar una propuesta para el incremento en el almacenamiento en frío que satisfaga la demanda de los próximos años. Se utilizó una metodología de planeación y evaluación de proyectos de 4 fases de estudio: de mercado, técnico, económico-financiero y de resultados. En el desarrollo del proyecto están los análisis de los 3 estudios y sus respectivos resultados. Al final de esta investigación se propone la expansión del espacio de almacenamiento, aumentando su capacidad instalada en 67 500 kilogramos, lo que permitirá su correcto funcionamiento en al menos 5 años, demostrando que, incluso, podría ser operado por 9 años más.

Palabras clave: estudios de viabilidad / capacidad de almacenamiento / centros de distribución / alimentos congelados

* jperez@ucaribe.edu.mx, paoalfaro.2@gmail.com, luzmadgarza@gmail.com, davidlermaa32@gmail.com

FEASIBILITY ANALYSIS FOR INCREASING THE INSTALLED CAPACITY OF A COMPANY'S DISTRIBUTION CENTER/WAREHOUSE IN CANCUN

ABSTRACT: The project was conducted at the distribution center/warehouse of Sigma Alimentos Cancún, a frozen-food warehouse and distribution company. The company aimed at determining its actual storage capacity and presenting a proposal to increase its cold storage capacity to meet the demands of the coming years. A four-phase project planning and evaluation methodology was used: market study, technical study, financial and economic study, and results. During the project, these three studies and their results were analyzed. The results of this research suggest to expand the warehouse by increasing its installed capacity to 67,500 kilograms. This expansion will allow the correct operation of the distribution center/warehouse during a minimum of 5 years and even for 9 years.

Keywords: feasibility studies / storage capacity / distribution centers / frozen foods

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos 10 años la tasa de crecimiento poblacional en el estado de Quintana Roo (México) ha aumentado un 2,49 %, de acuerdo con datos obtenidos por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, s.f.). Este crecimiento poblacional sumado a los cambios en las tendencias de los consumidores ha originado que la empresa Sigma Alimentos Cancún incremente la adquisición de productos para satisfacer la demanda e introducirse a nuevos mercados. Debido a esto, el almacén de la empresa, ubicado en la ciudad de Cancún, ha sobrepasado su capacidad de almacenaje de 80 toneladas y, actualmente, tienen entre 100 y 120 toneladas diarias para poder abastecer la mayor parte de la demanda. El gerente del almacén ha solicitado una ampliación, sin embargo, hasta el momento no se cuenta con ningún estudio o evidencia documental que pruebe que el almacén sobrepase su capacidad máxima y sea necesaria una ampliación. La figura 1 muestra el *layout* con la distribución actual del almacén.

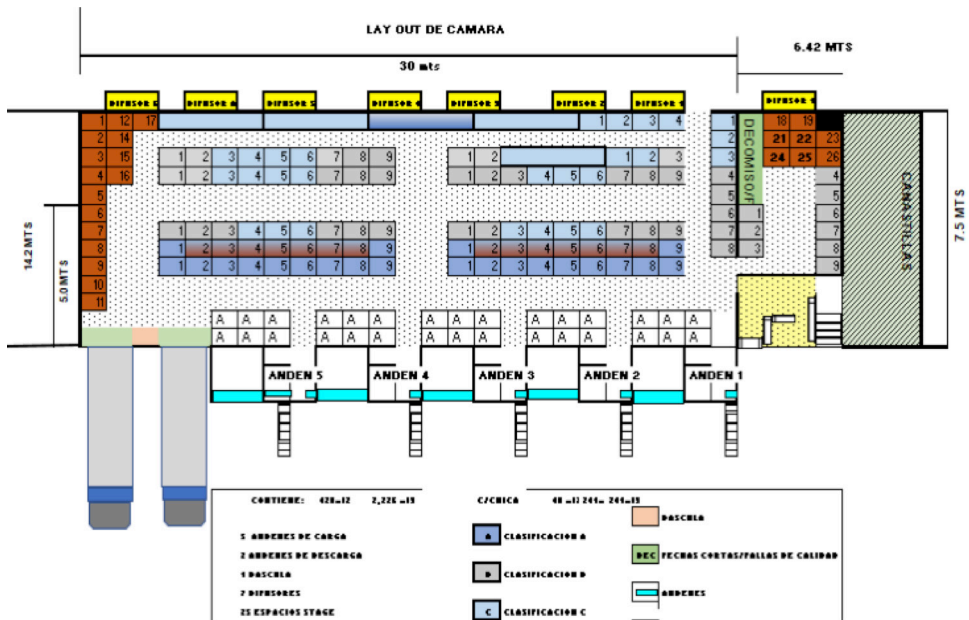


Figura 1. Layout del almacén del centro de distribución (CEDIS) de Cancún

Fuente: Sigma Alimentos Cancún (2017)

La figura 2 muestra dos panorámicas de la distribución del almacén que inicialmente se estableció al comienzo de las operaciones del centro de distribución (CEDIS). La clasificación desde su inicio fue ABC. Sin embargo, dicha distribución actualmente puede variar de acuerdo con el espacio y el acomodo de los productos dentro del almacén.

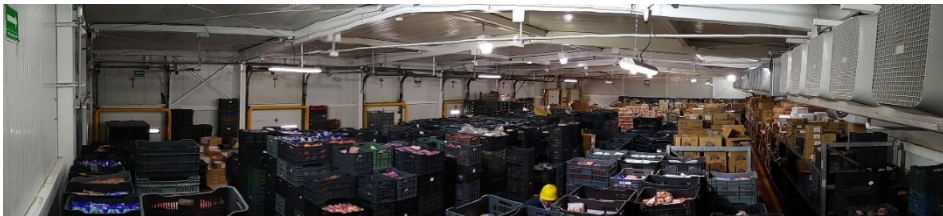


Figura 2. Fotografía panorámica en dos ángulos diferentes del almacén Sigma Alimentos Cancún
Fuente: Sigma Alimentos Cancún (2019)

Sigma Alimentos es una compañía dedicada a la elaboración, comercialización y distribución de alimentos refrigerados. En la actualidad se encuentra en una etapa de crecimiento, expandiendo sus mercados, innovando con nuevos productos y creando alianzas estratégicas por todo el mundo. En el año 2017, Sigma Alimentos adquirió la Sociedad Suizo Peruana de Embutidos, S.A. (Supemsa), compañía que se dedica a la producción y comercialización de carnes frías y lácteos en el Perú. En el mismo año, Sigma Alimentos adquirió el 51 % de las acciones de Caroli Foods Group, B.V. (Caroli), compañía que se dedica a la producción y comercialización de carnes frías y comidas preparadas en Rumania (Vivanco, 2017). Se piensa que estas acciones demandan mayor eficiencia en sus procesos de almacenaje y distribución.

Sigma Alimentos inicia operaciones en la ciudad de Cancún una década anterior, en 1999, y en ese mismo año construye el centro de distribución (CEDIS) para el almacenamiento y distribución de sus productos, esto debido al crecimiento que estaba teniendo la zona sureste del país y por el incremento en la demanda de los productos. La sucursal de Sigma Alimentos Cancún se ubica en la carretera Costera del Golfo, 1009. En el almacén se resguardan diariamente más de 100 toneladas de 547 tipos de productos que son

distribuidos hacia las zonas de Cancún, Isla Mujeres, Cozumel, Puerto Morelos, Playa del Carmen, Holbox y Tulum.

El CEDIS de Sigma Alimentos Cancún cuenta con 271 empleados distribuidos en el área administrativa y operativa, en áreas de oficina y en un almacén frío, el cual cuenta con un equipo de refrigeración con un monitor de temperatura y 4 compresores que mantienen una temperatura de 0,23 a 5 °C.

Las ventas están dirigidas a 3 tipos de clientes: autoservicio, conveniencia y ventas al detalle. Los clientes de autoservicio son grandes cadenas de supermercados como Soriana, Chedraui, Sams, Costco, Walmart y San Francisco de Asís. Los clientes de tiendas de conveniencia son mayoristas, pero con una demanda menor que los de autoservicio, empresas como Dunosusa, Oxxo, Extra, Circle K. Por último, los clientes de venta al detalle son pequeñas tiendas locales como abarrotes y fruterías que, a diferencia de los otros dos tipos de cliente, no realizan pedidos, sino que los conductores actúan como vendedores directos a este tipo de clientes, llevando productos en las camionetas y surten lo que se les solicita en el momento o con lo que cuenta el conductor en el vehículo.

Debido a que era necesario determinar la capacidad real del almacén para diseñar una propuesta de ampliación y satisfacer la demanda de los próximos años, se revisaron trabajos relacionados a la gestión, optimización de espacios y estudios de factibilidad para ampliaciones de almacenes.

Contreras y Quintero (2012) realizaron una propuesta de mejora para la gestión de varios almacenes de materia prima de una empresa del sector químico y del calzado. Utilizaron una metodología bajo el esquema de un proyecto factible con ayuda de fuentes documentales, observación, entrevistas y herramientas analíticas como diagramas de flujo, diagrama de Ishikawa, cálculo del costo-beneficio de la aplicación y el método de clasificación ABC.

Dematteis y Croci (2014) elaboraron un estudio de optimización de un almacén de insumos para la elaboración de cerveza, con escaso espacio para el acomodo de los insumos, incurriendo en otros problemas como mayor tiempo de movimiento dentro del almacén, mayor tiempo de carga y descarga que representan costos adicionales al proceso de almacenaje. Para ello escogieron la metodología de rediseño y mejora de procesos, esto es una combinación entre información documental y de campo, utilizando herramientas de recolección de datos, como entrevistas, cuestionarios al personal del almacén, diagramas causa-efecto, gráficas y análisis de costos de operación. Se tomaron en cuenta las inversiones necesarias para cada opción, así como también sus períodos de repago. También calcularon indicadores, tales como el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR).

Albán (2016) realizó un estudio de factibilidad para la ampliación y diversificación de un almacén que resguarda productos de pañalera y diversos artículos para niños, el cual surgió como parte de la necesidad de la empresa de querer tener un mejor sistema de almacenamiento para sus productos y poder administrar mejor la diversificación de los mismos, con el fin de incrementar los niveles de rentabilidad del almacén. Se basó en una adaptación de la metodología de Baca Urbina (2013), que abarca los cuatro tipos de estudio, y con ello obtuvo la información necesaria para una correcta toma de decisiones final para comprobar la factibilidad de ampliar el almacén.

Estos son ejemplos en donde se ha avanzado en ese campo, experiencias nacionales e internacionales, en los últimos años.

2. METODOLOGÍA

Para este análisis de factibilidad, se utilizó una metodología con tres tipos de estudios para obtener los resultados deseados, tomando como base los estudios planteados en la metodología de Baca Urbina (2013) para la formulación y evaluación de proyectos. Esta metodología tiene un enfoque cuantitativo.

Para fines del proyecto, el estudio económico y financiero se realizó en conjunto, y el estudio socio-económico no se ejecutó debido a que el impacto del proyecto no era del todo conocido con certeza, además, la decisión final era de la empresa. Las fases de la metodología antes mencionada son:

Fase 1. Estudio de mercado: es la determinación y cuantificación de la demanda y la oferta, el análisis de los precios y el estudio de la comercialización.

Fase 2. Estudio técnico: el estudio técnico puede subdividirse en cuatro partes: determinación del tamaño óptimo de la planta, determinación de la localización óptima de la planta, ingeniería del proyecto y análisis organizativo.

De acuerdo con la información obtenida sobre la infraestructura del almacén, equipos, herramientas y productos, se analizó la capacidad instalada y distribución del almacén y los equipos utilizados en la operación para poder realizar el análisis de la situación y evaluar una posible propuesta.

Fase 3. Estudio económico-financiera: comienza con la determinación de los costos totales y de la inversión inicial, a partir de los estudios de ingeniería. Continúa con la determinación de la depreciación y amortización de toda la inversión inicial. Los aspectos que sirven de base son la determinación de la tasa de rendimiento mínima aceptable y el cálculo de los flujos netos de efectivo. Ambos, tasa y flujos, se calculan con y sin financiamiento. Los flujos provienen del estado de resultados proyectados para el horizonte de tiempo seleccionado. Cuando se habla de "financiamiento" es necesario mostrar cómo

funciona y cómo se aplica en el estado de resultados, pues modifica los flujos netos de efectivo. De esta forma se seleccionó un plan de financiamiento, mostrando su cálculo tanto en la forma de pagar intereses como en el pago del capital.

Con base a la información recaudada, previamente y después de la realización del análisis técnico, se determinó la inversión inicial incremental, cálculo de depreciación y amortización de la propuesta, tomando en cuenta nuevas adquisiciones en equipo, costos y un estado de resultados incremental. De igual manera, se realizó la determinación de la rentabilidad económica.

Fase 4. Resumen y conclusiones: con los resultados obtenidos en los 3 análisis, se obtuvo un resultado final sobre la factibilidad de ampliación del almacén frío de la empresa, mostrando que sí es factibles, en todos los aspectos, la ampliación del almacén.

3. RESULTADOS

3.1 Fase 1: estudio de mercado

La empresa Sigma Alimentos ya tenía identificado su mercado por lo cual la investigación se limita a los estudios técnico y al económico-financiero.

3.2 Fase 2: estudio técnico

Para la proyección de la demanda se tomaron los datos históricos proporcionados por la empresa sobre las ventas en kilogramos de los últimos tres años y las ventas obtenidas de los primeros 5 meses del año 2019. Los cuales se capturaron en el *software* Minitab 18, para obtener la ecuación de regresión lineal y la gráfica de la línea ajustada de los valores, mostradas en la figura 3.

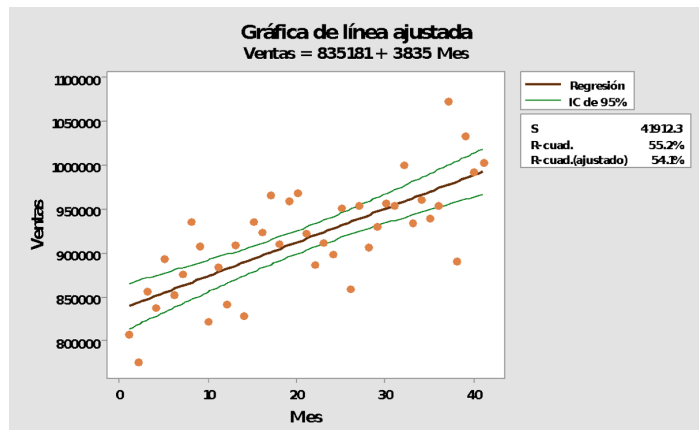


Figura 3. Ecuación de regresión lineal y gráfica de línea de valores ajustados

Elaboración propia

El resultado de la R cuadrada ya con los datos ajustados, arrojó un 54,05 %. El ajuste de regresión lineal a nuestro modelo de ventas no es totalmente confiable, sin embargo, con el resultado del análisis de varianza (figura 4) con una F de 48,05, un valor P menor al nivel de significancia estándar de $\alpha = 0,05$ y la comprobación de los supuestos de los residuales de la muestra (figura 5) dieron un resultado favorable, y se tomó como fidedigna la ecuación de regresión lineal para la estimación de la demanda futura. Sin embargo, se realizó otro modelo estadístico para comparar ambos modelos.

Análisis de varianza

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Regresión	1	8,44126E+10	8,44126E+10	48,05	0,000
Error	39	6,85088E+10	1,75664E+09		
	40	1,52921E+11			

Figura 4. Resumen del modelo de regresión lineal simple de ventas y meses

Elaboración propia

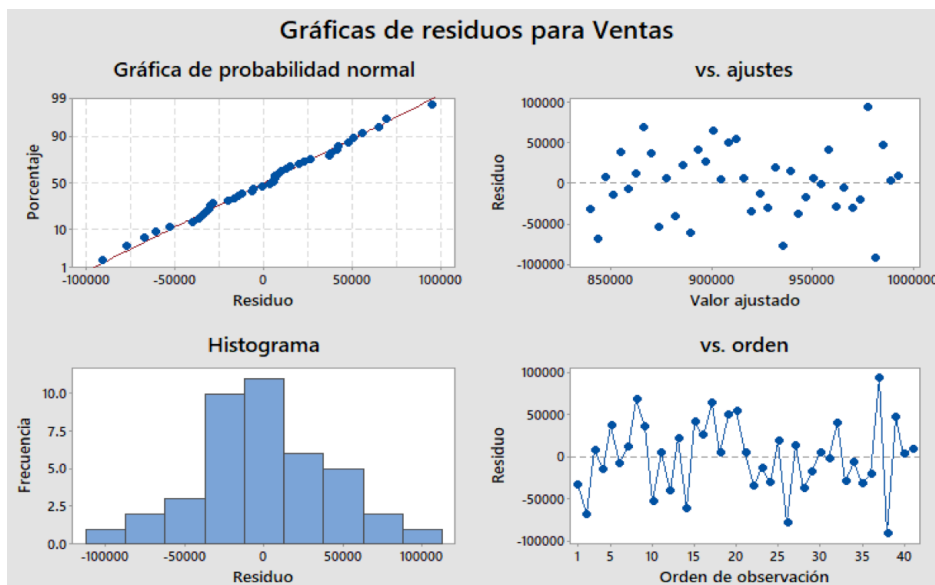


Figura 5. Comprobación de supuestos de normalidad

Elaboración propia

3.2.1 Demostración de resultados con modelo series de tiempo

Para tener una comparativa del modelo de regresión lineal mostrado anteriormente, se realizó un modelo de series de tiempo para comprobar y comparar el pronóstico del mes número 60, utilizando la ecuación de regresión comparándola con el resultado obtenido del modelo de series de tiempo.

El resultado del valor en kilogramos vendidos en el mes número 60, con el método de regresión lineal fue 1 249 361.

Se considera el mismo período de tiempo y se ingresan los valores al programa Minitab 18:

- Se realizó la gráfica de series de tiempo y se observó el comportamiento de los datos, detallando que la pendiente tenía tendencia positiva.
- Se comprobó, con el método por descomposición de series de tiempo, a través de regresión lineal e índices estacionales, que la longitud estacional son los 12 pronósticos (meses del año).

El estudio nos arrojó los siguientes resultados:

- MAPE-Error porcentual absoluto medio (es decir, que por cada vez que pronosticamos nos equivocamos, con respecto a datos reales), que es el 2 % de la desviación.
- MAD-Desviación media absoluta-promedio, cuánto me desvíó en funciones de unidades absolutas.
- MSD-Desviación cuadrática media, tipo de varianza que existe entre nuestro conjunto de datos.

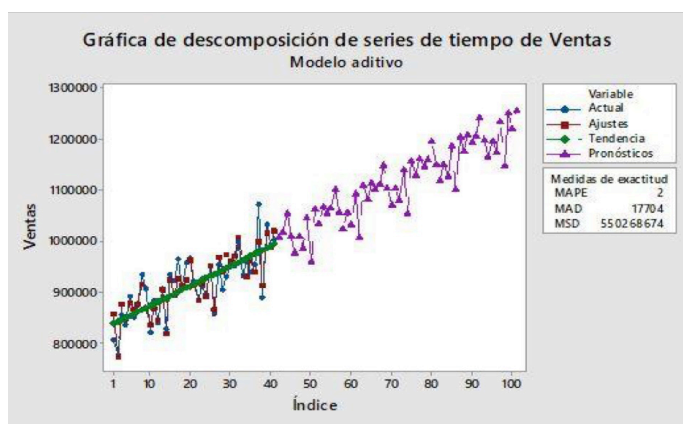


Figura 6. Modelo aditivo de series de tiempo

Elaboración propia

3.2.2 Estimación de la demanda

Después de corroborar con el método de series de tiempo la similitud del resultado del mes 60, se prosiguió con el primer método para la estimación de la demanda futura, acorde a la metodología establecida.

Con la obtención de la ecuación de regresión lineal, la cual es $835\,181 + 3835 \times \text{mes}$, se pronosticó la demanda de los productos para los próximos 5 años, la cual se muestra en la figura 7.

La demanda que se necesitará abastecer en el mes 60, es decir, en el mes de diciembre del año 2024, será de 1 249 361 kilogramos.



Figura 7. Estimación de demanda de Sigma Alimentos Cancún

Elaboración propia

3.2.3 Estimación de la capacidad instalada actual

Una vez encontrada la proyección de la demanda de los próximos 5 años, se debe establecer la capacidad instalada con la cual tendrá que contar el almacén del CEDIS para poder abastecer, de forma óptima, aquella demanda. Para ello, primero es importante conocer la capacidad actual, ya que las 80 toneladas que se establecieron en 1999 fueron planteadas para esa época y se han realizado modificaciones a la distribución a causa del incremento de la demanda en los pasados 20 años.

Para determinar la capacidad actual, se tomó como base el *layout* y se dividieron las secciones en las cuales se almacena el producto, sin tomar en cuenta los andenes, enumerándolas del 1 al 8. Posteriormente, se contó el número de tarimas por sección,

de acuerdo a las dimensiones de las tarimas, obteniendo así las áreas totales de cada sección.

Una vez con las secciones y el número de tarimas definidas, se estimó el peso promedio por tarima con registros obtenidos. De esta forma se pudo estimar la capacidad actual real en kilogramos, al igual que el área y el volumen totales destinados para almacenamiento.

Tabla 1
Capacidad instalada por sección

Área delimitada	Número de tarimas	Peso promedio	Peso en kilogramos por área	Metros cuadrados	Metros cúbicos
1	17	750	12 750	20,4	40,8
2	18	750	13 500	21,6	43,2
3	27	750	20 250	32,4	64,8
4	18	750	13 500	21,6	43,2
5	27	750	20 250	32,4	64,8
6	20	750	15 000	24	48
7	8	750	6 000	9,6	19,2
8	17	750	12 750	20,4	40,8
Total	152		114 000	182,4	364,8

Elaboración propia

De acuerdo con la tabla 1, la capacidad actual del almacén es de 114 000 kilogramos en óptimas condiciones; se refiere a cuando se hace uso, únicamente, de las áreas definidas para almacenamiento, ya que en ocasiones fue usual que los pasillos se viesan comprometidos, cuando la capacidad en el año 2019 no era suficiente.

3.2.4 *Estimación de capacidad instalada a 5 años*

Después de la obtención de la demanda futura y la capacidad real actual, se estimó la capacidad adicional necesaria para abastecer la totalidad de la demanda que tendría el almacén en los próximos 5 años.

Para ello, fue necesario conocer el tiempo promedio de vida de los productos dentro del almacén, el cual se tiene en cuenta desde el momento en que el producto ingresa por medio de los andenes, al momento en el que sale por los mismos. El proceso incluye el tiempo de recepción, tiempo de almacenaje y tiempo de armado de pedidos. Dicha

información forma parte del KPI (por sus siglas en inglés, *key performance indicator*), establecido por la empresa para monitorear la eficiencia en el proceso de almacenaje. De acuerdo con estos KPI, el tiempo promedio de vida de los productos dentro del almacén es de 3,5 días.

Para poder estimar la capacidad instalada por mes, medida de tiempo utilizada para el pronóstico de ventas, se dividió el número promedio de días de los meses, entre el tiempo promedio de vida de los productos en el almacén, y el resultado obtenido fue 8,57, es decir, que generalmente durante un mes se cumplen 8,57 períodos de vida de los productos entrantes.

Posteriormente, se multiplicó el número de períodos de vida de los productos por la capacidad real actual, para estimar los kilogramos disponibles en un mes.

El resultado fue: 977 142,85 kilogramos.

A este resultado se le restó la venta de cada mes pronosticado y se dividió entre el número de períodos de vida de los productos, los resultados se muestran en la figura 8.



Figura 8. Estimación de capacidad de Sigma Alimentos Cancún
Elaboración propia

Es decir, en el mes número 60 pronosticado, se necesitarán 31 758,78 kilogramos de capacidad adicional para abastecer la totalidad de la demanda en dicho período.

3.2.5 Determinación del tamaño óptimo del almacén

Los resultados obtenidos, previamente, determinaron la capacidad instalada futura con la que debía cumplir el almacén para satisfacer su demanda en los próximos 5 años. Por ello, se consideró la siguiente propuesta para cumplir con el incremento de 31 758 kilogramos de producto.

3.2.6 Propuesta: ampliación del almacén

La propuesta evaluada para el proyecto fue determinada en conjunto con el jefe de almacén al mostrar los avances del proyecto, se llegó a la decisión de considerar una ampliación menor que pudiera aprovecharse al máximo, sin necesidad de afectar la operación del almacén.

Al costado derecho del almacén se encuentra un espacio el cual es utilizado, en ocasiones, para resguardar tarimas que no se encuentran en uso. Agregando a este espacio las oficinas administrativas del almacén y el área de resguardo, se logra obtener un área de 9,42 x 14,2 metros, la idea esencial consiste en aprovechar la ampliación para modificar el espacio y obtener mayor altura en el almacenamiento para el uso de 2 racks fijos en forma de ele, uno de 12 metros de altura por 5 de largo y otro de 12 metros de altura por 14 de largo.

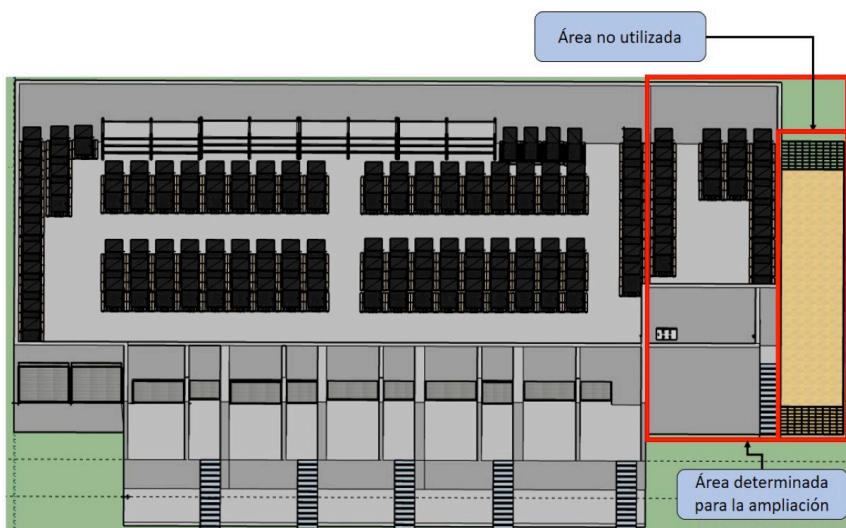


Figura 9. Almacén actual Sigma Alimentos Cancún

Elaboración propia

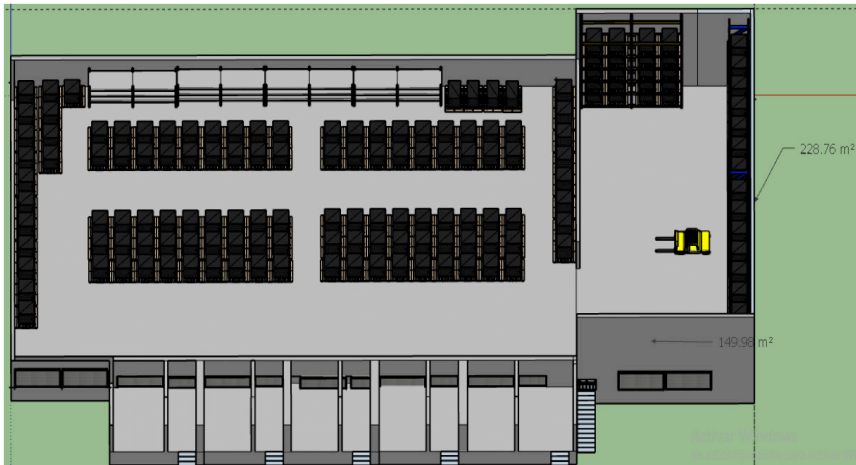


Figura 10. Propuesta 2, ampliación de almacén

Elaboración propia

3.2.7 Solución para la propuesta

Ya que el almacén es frío, el material de construcción que se utiliza no es el convencional, la ampliación debe ser realizada con paneles de aislamiento térmico para asegurar que la temperatura sea la adecuada para los productos. Para esto, Mecalux Soluciones de Almacenaje provee los servicios requeridos para la construcción del almacén en las condiciones señaladas. Asimismo, cuentan con racks fijos de múltiples niveles con las especificaciones requeridas para laborar en climas fríos.

Esta propuesta es conveniente porque no se modificaría el método actual de almacenamiento, solo se agregaría un espacio extra al actual, de forma que tampoco se afectaría la operación durante su construcción. Asimismo, incrementaría 90 tarimas al almacén tradicional, lo que representa un incremento de 67 500 kilogramos, satisfaciendo igualmente la demanda estimada a 5 años y agregando 35 741 kilogramos más, lo que representa un 212 %.

Ingeniería del proyecto

Tabla 2
Equipos y herramientas actuales

Concepto	Cantidad	Descripción
Camionetas transportadoras	47 unidades	Cuentan con una capacidad de toneladas y se utilizan para distribuir el producto a los diferentes clientes.
Equipo de refrigeración	8 difusores	Monitor de control de temperatura y 4 compresores que mantienen una temperatura de 0,23 a 5 °C.
Tarimas	152 (en promedio)	Las tarimas son utilizadas para almacenar las canastillas de productos.
Canastillas	41 (en promedio)	Cada tarima cuenta con aproximadamente 41 canastillas para almacenar productos.
Patines hidráulicos	5	Los patines se utilizan para transportar las tarimas.
Carros transportadores	5	Se utilizan para transportar hasta 5 canastillas.
Equipo de seguridad personal	15 kits	Casco, chamarra para frío, botas antiderrapantes, pantalón para frío y guantes de carga.

Elaboración propia

Tabla 3
Equipos y herramientas adicionales para la propuesta

Concepto	Cantidad	Descripción
Rack fijo	2 racks	Racks fijos para almacenes fríos de 5 niveles.
Montacargas Raymond	1	Montacargas para pasillos angostos, elevación de hasta 12 metros de altura y con capacidad máxima de 1500 kilogramos.
Paneles de aislamiento térmico	656 metros cuadrados	Paneles con chapas de acero galvanizado, se perfilan con un acabado grecado, que las hace más resistentes y rígidas.
Compresor tipo tornillo	1 unidad	Compresor de tipo tornillo marca FERMON modelo EAS-50 de 50 HP utilizado para el sistema de refrigeración.
Condensador	1 unidad	Condensador marca FRICK ECH 806-103 para el sistema de refrigeración.

(continúa)

(continuación)

Evaporador industrial de plafón	4 unidades	Evaporador para cámaras frigoríficas marca Stefani con 4 salidas.
Candil reflector industrial	6 unidades	Reflector industrial de campana 14" de 85 watts.

Elaboración propia

3.2.8 Procedimiento

Mediante la herramienta de mapeo de la cadena de valor o *value stream mapping* (VSM) de los procesos que se llevan a cabo, se muestra el suministro de los productos del almacén.

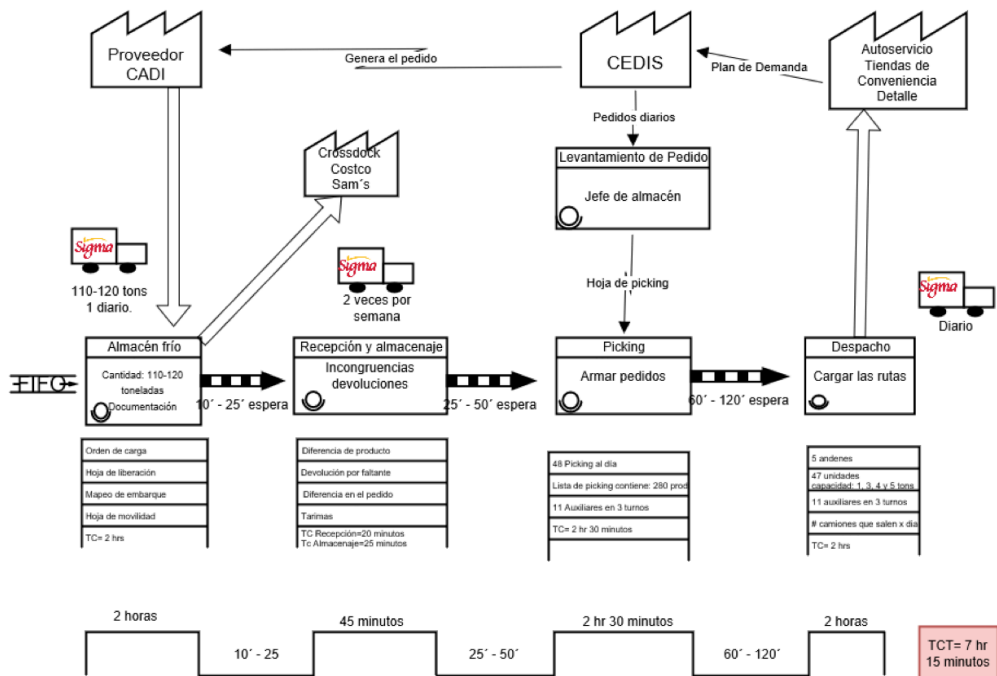


Figura 11. Esquema de la cadena de valor (VSM)

Elaboración propia

El CEDIS de Cancún tiene como proveedor principal al centro de acopio de distribución (CADI) de Tepetzotlán, México, cuya planta de producción elabora y almacena los alimentos refrigerados y los envía diariamente a las zonas centro y sur del país. Este estudio se centralizó en el proceso de suministro del CADI hacia el CEDIS de Cancún,

para la recepción, almacenamiento y despacho de sus productos. Particularmente, el proceso involucra la descarga y el acomodo de los productos en el almacén frío, debido a que este implica, según los investigadores, un factor de complejidad para el área del almacén de la empresa.

Mediante el VSM se detectó que en donde se desarrolla, principalmente, el proyecto es en el proceso de almacén frío. A continuación, se detallan las actividades implicadas en dicho proceso. Sin embargo, es importante mencionar todos los procesos involucrados.

- *Almacén frío.* El almacén frío es el espacio físico determinado por el CEDIS para el resguardo de la mercancía que surte diariamente el CADI. Cada día ingresan al almacén frío 115 toneladas, en promedio.
- *Recepción.* Esta actividad inicia a las 10:30 p. m., cuando el tráiler con producto enviado del CADI llega al andén correspondiente del almacén frío.
- *Almacenaje y distribución.* Una vez recibido el pedido, se dedican 2 horas diarias al acomodo del producto de acuerdo con la orden del día y tomando en cuenta la distribución y clasificación ABC del almacén.
- *Picking.* Esta actividad inicia con el pedido que genera el jefe de almacén en el sistema. La cantidad de surtido se determina por la cantidad de producto disponible.
- *Despacho.* Empieza cuando el jefe de almacén valida la cantidad de pedido y surtido que se generó en el *picking*. El pedido lo realiza el jefe de almacén en el sistema, dependiendo de las tiendas de autoservicio. Una vez realizado esto, las unidades de transporte son cargadas por los auxiliares del almacén en los 5 andenes que tiene el almacén frío.

3.2.9 Propuesta para el procedimiento y la distribución

El procedimiento general del almacén permanecería intacto y no se modificaría la distribución actual ni al procedimiento, debido a que únicamente se realizarían remodelaciones a 91 metros cuadrados del almacén, los cuales corresponden al área de producto resguardado, la oficina del jefe de almacén y un área externa al almacén la cual se utiliza en ocasiones para resguardar tarimas en malas condiciones.

3.2.10 Análisis de información

Para la propuesta, el producto sería trasladado dentro del almacén, principalmente, en tarimas de aproximadamente 750 kilogramos. Cada tarima cuenta con un promedio de 18 canastillas, las cuales contienen unidades sueltas de un solo producto de las diferentes familias.

Con la propuesta, el área anexada aumentaría la altura del almacén a 13 metros, aproximadamente, por lo que las tarimas de esa área deberían ser trasladadas con el uso de un montacargas, cumpliendo todas las medidas de seguridad planteadas en la NOM-006-STPS-2014.

3.3 Fase 3: estudio económico-financiero

De acuerdo con la información obtenida, el almacén frío del CEDIS podría continuar operaciones por 5 años, inclusive 9 años, para poder, así, satisfacer la demanda potencial insatisfecha en su totalidad.

Con los resultados referentes a la capacidad futura, derivada del estudio técnico, se decidió evaluar la propuesta de inversión planteada.

3.3.1 Costos de consumo de energía eléctrica

Para la determinación de los costos por consumo eléctrico, corresponde a los equipos de enfriamiento que se adquirirían, así como se determinó en el estudio técnico. Para el cálculo se tomó en cuenta la cantidad y el consumo por equipo, en kilovatios hora (kWh), así como el tiempo de uso promedio por equipo. Este tiempo de uso se refiere a las horas en las que el equipo alcanza la mayor cantidad de energía para su funcionamiento en el almacén. En la tabla 4 se muestra el costo (en pesos mexicanos, MXN) por consumo eléctrico correspondiente.

Tabla 4
Tabla de consumo de energía eléctrica

Consumo de energía eléctrica						
Nombre del equipo	Cantidad	Consumo en kilovatios	Horas de uso al día	Consumo kWh/día	Costo en MXN kWh /día	Costo total en MXN por día
Compresor de tornillo	1	37	16	592	846,56	846,56
Evaporador	4	3,6	24	86,4	123,55	494,21
Condensador	1	8	12	96	137,28	137,28
Candil reflector industrial	6	0,85	24	20,4	29,17	175,03
Total						1 653,08
Total mensual						49 592,40
Total anual						603 374,20

Elaboración propia

3.3.2 Costos de mano de obra directa

Para determinar los costos de mano de obra directa se estimó el número de auxiliares adicionales que serían necesarios de acuerdo con el incremento de la capacidad que existe en la situación actual y con la capacidad futura pronosticada.

Una vez obtenido lo anterior, se determinó el costo de mano de obra considerando a los 3 auxiliares. En la tabla 5 se muestra el cálculo del costo de mano de obra directa.

Tabla 5
Tabla de costo de mano de obra directa (en pesos mexicanos, MXN)

Costo de mano de obra directa					
Plaza	Cantidad	Turnos por día	Sueldo mensual	Sueldo anual	Sueldo total anual
Auxiliares	3	3	11 000,00	132 000,00	396 000,00
Subtotal					396 000,00
Prestaciones			35 %		
Total					534 600,00

Elaboración propia

3.3.3 Costos de obra civil

De acuerdo con la segunda alternativa propuesta, el terreno adicional que se pretende tendría dimensiones de 14,2 m × 9,42 m, según estudio técnico. Para ello, será necesario hacer unas adecuaciones en el terreno previas a la instalación de los paneles aislantes Isopol. En la tabla 6 se muestra el costo de la obra civil para adecuar el terreno adicional.

Tabla 6
Tabla de costo de obra civil (en pesos mexicanos, MXN)

Costo de obra civil				
Cantidad	Unidad de medida	Concepto	Precio unitario	Precio total
1		Limpieza de terreno adicional	10 000,00	10 000,00
4	14 m ³	Desalojo de escombro	4 000,00	16 000,00
12	Horas	Retroexcavadora	800,00	9 600,00
1	14 m ³	Cargado a mano	4 400,00	4 400,00
656	m ²	Levantamiento de nivel del piso	120,00	78 720,00

(continúa)

(continuación)

5	14 m ³	Relleno	2 000,00	10 000,00
42,6	m ³	Cimentación	1 926,00	82 047,60
42,6	m ²	Preparación del suelo	120,00	5 112,00
42,6	m ³	Aditivo	365,00	15 549,00
			Subtotal	231 428,60
			IVA 16 %	37 028,58
			Total	268 457,18

Elaboración propia

3.3.4 Determinación de la depreciación

Para este proyecto se atribuyen los cargos de depreciación a los costos totales de producción. La determinación de costos totales de depreciación (en pesos mexicanos, MXN) aparece en la tabla 7.

Tabla 7
Tabla de depreciación (en pesos mexicanos, MXN)

Concepto	Valor unitario	%	Depreciación				
			Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Montacargas	85 000,00	0,25	21 250,00	21.250,00	21 250,00	21 250,00	21 250,00
Obra civil	268 457,18	0,05	13 422,86	13 422,86	13 422,86	13 422,86	13 422,86
Equipo de enfriamiento e instalación eléctrica	1 928 455,89	35,0	674 959,56	674 959,56	674 959,56	674 959,56	674 959,56
Total			709 632,42	709 632,42	709 632,42	709 632,42	709 632,42

Elaboración propia

3.3.5 Costos totales de producción

Con la obtención de todos los costos anteriores se calcula el costo total de producción como se muestra en la tabla 8.

Tabla 8

Tabla de costos totales de producción (en pesos mexicanos, MXN)

Costos totales de producción	
Concepto	Costo total
Costo de equipo de refrigeración	68 164,00
Costo de mano de obra directa	534 600,00
Costo de obra civil	268 457,18
Depreciación	709 632,44
Total	1 542 253,59

Elaboración propia

3.3.6 Costos de venta

Para poder satisfacer los 3 diferentes canales de distribución, el CEDIS cuenta con 47 unidades vehiculares con capacidad desde 1 tonelada y media hasta 5 toneladas, de marca ISUZU. Repartiéndose las camionetas de la siguiente forma: 10 para autoser-vicio, 12 para conveniencia y 25 para venta por detalle.

Para la determinación de los costos de venta se consideran los conceptos de mante-nimiento a la flotilla anual y el consumo de combustible (tabla 9).

Tabla 9

Gastos de venta y comercialización (en pesos mexicanos, MXN)

Gastos de venta	
Comercialización	
Concepto	Costo anual
Mantenimiento anual	33 634,94
Combustible	227 664,00
Total	261 298,94

Elaboración propia

3.3.7 Costos totales de operación

De acuerdo con lo obtenido en la determinación de costos, se obtiene el costo total de operación del almacén frío del CEDIS, así como se muestra en la tabla 10.

Tabla 10

Tabla de costos totales de operación (en pesos mexicanos, MXN)

Costos totales de operación	
Concepto	Costo total anual
Consumo de energía eléctrica	603 374,20
Costo de equipo de refrigeración	168 164,00
Costo de mano de obra directa	534 600,00
Costo de obra civil	268 457,18
Costo de venta	261 298,94
Depreciación	709 632,42
Total	2 545 526,73

Elaboración propia

3.3.8 Determinación de las inversiones

Se determinan los activos fijos y diferidos para obtener el monto de la inversión total de la propuesta, para este punto no se incluye el capital de trabajo, ya que no se tomó en consideración para el monto total de la inversión.

El monto de la inversión total requerida se muestra en la tabla 11.

Tabla 11

Tabla de la inversión total de activos fijos y diferidos (en pesos mexicanos, MXN)

Inversión total en activos fijos y diferidos	
Concepto	Costo total
Activos fijos de producción	3 610 774,95
Activos diferidos de producción	309 345,87
Subtotal	3 920 120,82
Imprevistos 5 %	196 006,04
Total	4 116 126,86

Elaboración propia

3.3.9 Determinación de la TMAR (tasa mínima aceptable de rendimiento)

Para la determinación de la TMAR, se sugiere considerar la estabilidad de las ventas; anteriormente, se ha demostrado que los registros de las ventas proyectadas han ido incrementando año con año, mostrando tendencia en su comportamiento, lo cual no representa un riesgo para las ventas. Así como lo siguiere Baca Urbina (2013), en la

metodología para el desarrollo del estudio económico financiero, se considera un 15 % anual equivalente a la TMAR sin inflación.

3.3.10 Determinación del costo de inventario

Para la determinación del costo de inventario se considera el precio de venta por kilo, el cual se estimó en 62,05 MXN, en promedio a cada kilo vendido obtienen una ganancia del 45 %. Esto quiere decir que la diferencia entre el precio de venta por kilo y la ganancia se obtiene el costo por kilo, es decir, 34,13 MXN. En la tabla 12 se muestra el costo de inventario por kilo para el almacén frío.

Tabla 12

Tabla de costo de inventario por kilo (en pesos mexicanos, MXN)

Costo de inventario por kilo	
Precio de venta	62,05
Porcentaje de ganancia	45
Ganancia	27,92
Precio costo	34,13
Capacidad en kilos	115 000,00
Total	3 924 950,00

Elaboración propia

3.3.11 Determinación del punto de equilibrio

Con base en la determinación de los costos totales de producción, los ingresos y los costos totales, se podrá calcular el punto en donde se igualan los ingresos con los costos variables y fijos.

Esto se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{CF}{(P - V)}$$

donde:

Q: punto de equilibrio

CF: costos fijos

P: precio de venta por kilogramo

V: costo variable unitario (costo por kilogramo)

Sustituyendo la fórmula, se determina la cantidad de equilibrio:

$$Q = \frac{1\,969\,680,56}{(62,05 - 34,13)} = 70\,547,30$$

Esto quiere decir que se deberán vender 70 547,30 kilos para poder llegar al punto de equilibrio.

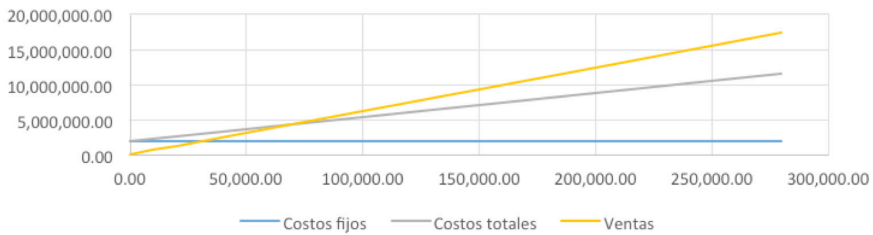


Figura 12. Punto de equilibrio

Elaboración propia

Con base en el punto de equilibrio encontrado, se determina que el tiempo que tomará llegar a este punto será de 9,5 meses.

3.3.12 Determinación de los ingresos por ventas sin inflación

El incremento de la demanda de productos incrementa cada año, con base en el registro de ventas pasadas se determinaron las ventas estimadas en kilos para los próximos 5 años. De igual forma, se estimó el precio de venta 62,05 MXN por kilo.

A partir de la información obtenida, se calcularon los ingresos que se tendrían de acuerdo con las ventas estimadas y el precio por kilo. El cálculo de los ingresos sin inflación se muestra en la tabla 13.

Tabla 13

Tabla de ingresos sin inflación (en pesos mexicanos, MXN)

Ingresos sin inflación			
Año	Ventas estimadas en kilos	Precio por kilo	Ingreso total
1	1 065 281,00	62,05	66 100 686,05
2	1 111 301,00	62,05	68 956 227,05
3	1 157 321,00	62,05	71 811 768,05
4	1 203 341,00	62,05	74 667 309,05
5	1 249 361,00	62,05	77 522 850,05

Elaboración propia

3.3.13 Determinación del estado de resultados proforma

Para el desarrollo de los estados de resultados, se presentarán 2 diferentes escenarios, los cuales se describen detalladamente.

La obtención de estos estados de resultados, permitirán la toma de decisiones que competen principalmente al almacén frío y al CEDIS de Sigma Alimentos Cancún.

3.3.13.1 Estado de resultados sin inflación, sin financiamiento y con producción constante

Para la construcción de este primer escenario, se toman las cifras de la inversión inicial del proyecto calculada anteriormente, corresponde al momento antes de realizar la inversión. No se considera la inflación y los flujos netos de efectivo permanecerán iguales cada año desde el año 1 al 5.

Tabla 14

Tabla de estados de resultados sin inflación, sin financiamiento y con producción constante (en pesos mexicanos, MXN)

Estado de resultados sin inflación, sin financiamiento y con producción constante		
+	Ingresos	5 513 922,22
-	Costo de producción	1 542 253,59
-	Costo de ventas	261 298,94
=	Utilidades antes de impuestos	3 710 369,69
-	Impuestos 35 %	1 298 629,39
=	Utilidad después de impuestos	2 411 740,30
+	Depreciación	709 632,42
=	Flujo neto de efectivo	3 121 372,72

Elaboración propia

3.3.13.2 Estado de resultados con inflación, sin financiamiento y con producción constante

Para este segundo escenario, se construye con las cifras obtenidas de los ingresos y los costos, solo que ahora se verán afectadas por la inflación. La tasa de inflación del año 2020 al 2024 incrementará en promedio un 3 %, aproximadamente, según la página web Statista (3 de mayo del 2020).

Tabla 15

Tabla de estado de resultados con inflación, sin financiamiento y con producción constante (en pesos mexicanos, MXN)

Estado de resultados con inflación, sin financiamiento y con producción constante						
Año	0	1	2	3	4	5
+ Ingresos	5 513 922,22	5 679 339,89	5 849 720,08	6 025 211,69	6 205 968,04	6 392 147,08
- Costo de producción	1 542 253,59	1 588 521,20	1 636 176,84	1 685 262,14	1 735 820,01	1 787 894,61
- Costo de ventas	261 298,94	269 137,91	277 212,04	285 528,41	294 094,26	302 917,09
= Utilidades antes de impuestos	3 710 369,69	3 821 680,78	3 936 331,20	4 054 421,14	4 176 053,77	4 301 335,38
- Impuestos 35 %	1 298 629,39	1 337 588,27	1 377 715,92	1 419 047,40	1 461 618,82	1 505 467,38
= Utilidad después de impuestos	2 411 740,30	2 484 092,51	2 558 615,28	2 635 373,74	2 714 434,95	2 795 868,00
+ Depreciación	709 632,42	730 921,39	752 849,03	775 434,50	798 697,54	822 658,47
= Flujo neto de efectivo	3 121 372,72	3 215 013,90	3 311 464,31	3 410 808,24	3 513 132,49	3 618 526,47

Elaboración propia

3.3.13.3 Estado de resultados sin inflación, sin financiamiento y con producción constante

Considera la inversión inicial y el flujo neto de efectivo obtenido del año 1 al 5. Adicional a esto, se calcula el valor de salvamento de la depreciación de activos en pesos mexicanos (MXN).

Con la misma TMAR del 15 % se calcula el VPN.

Tabla 16
Cálculo del VPN y TIR del escenario 1

Años	Flujo neto de efectivo (en pesos mexicanos, MXN)	
0	- 4 116 126,86	
1	3 121 372,72	Valor salvamento (en pesos mexicanos, MXN)
2	3 121 372,72	26 061,30
3	3 121 372,72	
4	3 121 372,72	
5	3 121 372,72	
<hr/>		
Porcentaje TMAR	15	
<hr/>		
VAN en pesos mexicanos	6 360 155,67	
<hr/>		
Porcentaje TIR	70,62	
<hr/>		

Elaboración propia

Con una TMAR del 15 %, el cálculo del VPN es 6 360 155,67 MXN. Dado que el VPN calculado es un valor positivo y mayor a cero, el proyecto es convincente.

Con la obtención del VPN, podemos decir que la empresa, además de obtener el costo de los egresos y de recuperar los gastos, gana 6 360 155,67 MXN de rentabilidad, eso significa el VPN. En caso de que fuera negativo, significa que la empresa no logra recuperar la inversión, por lo tanto, no se recomendaría la realización de la propuesta.

Con la TIR se quiere lograr que el VPN se iguale a cero, y eso se va a determinar con la obtención del porcentaje de la tasa interna de retorno, así se comprueba que se ha realizado correctamente. Significa que la TIR es del 70,02 %, la que hace que el VPN sea cero.

Hasta este punto, de acuerdo con esos parámetros, se puede concluir que el proyecto es viable y conveniente económicamente para la empresa. Para comprobar lo anterior, se realiza el cálculo del VPN y TIR del segundo escenario.

3.3.13.4 Estado de resultado con inflación, sin financiamiento y con producción constante

Para este escenario, en caso de que se realizara el proyecto, se toma la inversión inicial determinada, así como también los flujos netos de efectivo, con el incremento en la tasa de inflación que tuvieron del año 1 al 5 significativamente.

De igual forma, el valor de salvamento para este escenario, sufre los efectos de la inflación.

Valor salvamento (en pesos mexicanos, MXN)

30 212,19

Finalmente, la TMAR, para este escenario, sufre un incremento debido a la inflación. Se calcula una TMAR del 18 %.

El cálculo del VPN con la TIR se puede ver en la tabla 17.

Tabla 17

Tabla de cálculo del VPN y TIR del escenario 2

Años	Flujo neto de efectivo (en pesos mexicanos, MXN)
0	- 4 116 126,86
1	3 215 013,90
2	3 311 464,31
3	3 410 808,24
4	3 513 132,49
5	3 648 738,66
<hr/>	
Porcentaje TMAR	18
VAN en pesos mexicanos	6 360 155,67
Porcentaje TIR	75,74

Elaboración propia

En el primer escenario, con una TMAR del 15 %, el proyecto arrojó una TIR del 70,02 %, es decir, se obtuvo una ganancia por arriba de la TMAR del 55,02 % puntos porcentuales.

En el segundo escenario, con una TMAR del 18 %, el proyecto arroja una TIR del 75,4 %, se obtiene así una ganancia por encima de la TMAR del 57,74 % puntos porcentuales.

3.3.14 Evaluación económica

Una vez que se hayan determinado los flujos netos de efectivo del proyecto, se pueden calcular el VPN (valor presente neto) y la TIR (tasa interna de retorno). Posteriormente, se comparan los valores obtenidos y se podrá determinar la conveniencia del proyecto.

4. CONCLUSIONES Y DIRECCIONES PARA FUTURAS INVESTIGACIONES

Los resultados obtenidos en el presente proyecto comprueban que al utilizar la metodología de análisis de proyectos realizando los estudios técnico y económico-financiero se puede llegar a propuestas de mejora para el funcionamiento de un almacén.

Se concluye que:

- Al realizar la expansión e inversión se aumentaría la capacidad de almacenaje de la empresa y podría abastecer la demanda futura, en al menos 9 años más, en el entendido que las ventas de la empresa siguiesen la misma tendencia de crecimiento.
- Mejoraría la seguridad de las áreas de trabajo, puesto que no habría necesidad de sobrepasar las áreas delimitadas para el almacenamiento de los productos.
- La empresa podría ser capaz de seguir abasteciendo las zonas actuales y tendría la capacidad de incrementar su mercado.
- Por las razones expuestas, se concluye que el proyecto sería viable comercial, técnica y financieramente.

Después de la puesta en marcha de la presente propuesta sobre la ampliación del almacén de Sigma Alimentos Cancún, las investigaciones consecuentes que podrían agregar valor a la empresa serían las relacionadas al estudio en conjunto con el área comercial referentes a la expansión de las rutas de transporte, ampliación de la cartera de clientes, con el fin de aprovechar el área adicional desde el primer año.

Contreras y Quintero (2012) realizaron una propuesta de mejora para la gestión de varios almacenes de materia prima de una empresa del sector químico, en ese proyecto utilizaron la metodología de evaluación de proyectos en la cual obtuvieron como resultado una modificación para gestionar la forma de almacenamiento, pudiendo incrementar la capacidad del almacén. En caso contrario, Sigma Alimentos Cancún modificó la forma de almacenamiento previamente al desarrollo de esta investigación, aprovecharon áreas del almacén que sobrepasaban la capacidad de almacenamiento de los productos sin

dejar el área adecuada para la circulación de los trabajadores, incurriendo así en riesgos para sus colaboradores.

Albán (2016) realizó un estudio de factibilidad para la ampliación y diversificación de un almacén que resguardaba productos de pañalera y diversos artículos para niños. La propuesta de ampliación implicaba el cierre total del almacén, por un período de 3 meses, además, después de dicho período, el almacén tenía que ir abriendo parcialmente ciertas áreas, con lo cual el estudio financiero estimó pérdida de venta de productos. En el caso de la ampliación propuesta de Sigma Alimentos Cancún no se tiene que hacer ningún cierre que afecte la operación del almacén.

REFERENCIAS

- Albán, V. (2016). *Estudio de factibilidad de ampliación y diversificación de productos de almacén Rosarito de Babahoyo* (tesis de grado). Universidad Regional Autónoma de los Andes, Quevedo, Ecuador. Recuperada de <http://dspace.uniandes.edu.ec/bitstream/123456789/7482/1/TUBADM048-2016.pdf>
- Baca Urbina, G. (2013). *Evaluación de proyectos* (7.ª ed.). México D.F.: McGraw-Hill.
- Cabrera Calva, R. C. (2017). VSM: Mapeo del flujo de valor. Análisis del mapeo de la cadena de valor. Recuperado de <https://orion2020.org/archivo/cadenadevalor/VSM22.pdf>
- Contreras, F., y Quintero, M. (2012). *Propuesta de mejora para la gestión de almacén de las bodegas de materia de una empresa del sector químico y calzado* (tesis de grado). Universidad Católica Andrés Bello, Caracas, Venezuela. Recuperada de <http://biblioteca2.ucab.edu.ve/anexos/biblioteca>
- Cruz, G., y Cháux, S. (2014). *Análisis de factibilidad para la creación de un almacén de abastecimiento para un grupo de franquicias del sector alimentos* (tesis de grado). Instituto Colombiano de Estudios Superiores de Incolda, Bogotá, Colombia. Recuperada de http://repository.icesi.edu.co/biblioteca_digital/bitstream/10906/78671/1/analisis_factibilidad_creacion_2014.pdf
- Dematteis, M., y Croci, S. (2014). *Estudio de optimización del almacén de insumos en la planta sur de Quilmes* (tesis de grado). Instituto Tecnológico de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina. Recuperado de <https://ri.itba.edu.ar/bitstream/handle/123456789/193/Tesis%20Final%202023%20de%20Abril.pdf?sequence=1&isAllowed=>
- Ferrer, J. (2017). *Proyecto de ampliación del almacenamiento de materias primas corrosivas en una empresa de fertilizantes ecológicos y evaluación de los riesgos del personal profesionalmente expuesto en dicho almacén* (trabajo de investigación).

- Universidad de Valencia, Valencia, España. Recuperada de https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/106484/53944288L_TFG_15307910592654901979259234866614.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- INEGI. (s.f.). Quintana Roo. Recuperado de <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/qroo/>
- Locher, D. (2008). *Value stream mapping for lean development: a how to guide for stramling time to market*. New York: Taylor & Francis Group.
- Muñoz Negrón, D. F. (2009). *Administración de operaciones. Enfoque de administración de procesos de negocios*. México D.F.: Cengage Learning Editores.
- Muther, R., y Haganas, K. (1970). *Systematic handling analysis* (2.ª ed.). Management & Industrial Research Publications.
- Núñez, E. (1997). Contenido y alcance del estudio de factibilidad. En *Guía para la preparacion de proyectos de servicios públicos municipales* (pp. 37-45). Instituto Nacional de Administración Pública, A. C. Recuperado de <https://archivos.juridicas.unam.mx/www/bjv/libros/3/1430/6.pdf>
- Sigma Alimentos. (31 de diciembre del 2017). Reporte anual. Recuperado de <https://www.sigma-alimentos.com/wp-content/uploads/2019/03/Annual-Report-2017.pdf>
- Sigma Alimentos. (13 de junio del 2019). This is Sigma. Recuperado de <https://www.sigma-alimentos.com/our-company/>
- Statista. (3 de mayo del 2020). Tasa de inflación global de 2014 a 2024. Recuperado de <https://es.statista.com/estadisticas/495587/tasa-de-inflacion-global-respecto-al-ano-anterior/>
- Vivanco, J. (2017). *Sigma adquiere empresa con operaciones en Rumania*. Recuperado de [https://www.sigma-alimentos.com/wp-content/uploads/2019/03/2017-Sigma-adquiere-empresa-con-opera Vivanco ciones-en-Rumania-.pdf](https://www.sigma-alimentos.com/wp-content/uploads/2019/03/2017-Sigma-adquiere-empresa-con-opera-Vivanco-ciones-en-Rumania-.pdf)
- White, S. A., y Miers, D. (2009). *Guía referencia y modelado BPMN. Comprendiendo y utilizando BPMN*. Lighthouse Point, Florida: Future Strategies Inc. Recuperado de http://futstrat.com/books/book_images/Guia%20de%20Referencia%20y%20Modelado%20BPMN%20chap1-2.pdf

**CALIDAD
Y MEDIOAMBIENTE**

Quality and Environment

UN ÍNDICE DE CAPACIDAD DE PROCESOS PARA DISTRIBUCIONES MULTIVARIADAS NORMALES Y NO NORMALES, DE VARIABLES CORRELACIONADAS Y NO CORRELACIONADAS

Erasmus Rafael Salazar*

UNIVERSIDAD DE ORIENTE, NÚCLEO DE SUCRE, VENEZUELA

Recibido: 31 de enero del 2020 / Aprobado: 7 de mayo del 2020

doi: 10.26439/ing.ind2020.n038.4814

RESUMEN: En el análisis de capacidad de procesos multivariados existen muchos índices que solo se aplican cuando los datos son *normales* y otros cuando los datos son *no normales*; lo mismo ocurre cuando las variables de calidad están *correlacionadas* y *no correlacionadas*. En este trabajo se propone un índice de capacidad multivariado *CPME*, desarrollado bajo el uso inicial de un índice univariado, según sea el caso normal o no normal, y cualquier correlación entre variables, para luego, a través de una función característica, extenderlo para el caso multivariado. Este índice puede ser aplicado para todos los casos anteriores. Como utilidad, presentamos ejemplos de aplicación de esta alternativa sobre un conjunto de datos reales y simulados, donde se encontró un amplio desempeño del índice propuesto frente a otros de capacidad similares.

Palabras clave: índice de capacidad de proceso multivariado / índice de capacidad univariado / distribución no normal / distribución normal / métodos estadísticos

A PROCESS CAPABILITY INDEX FOR MULTIVARIATE NORMAL AND NON-NORMAL DISTRIBUTIONS OF CORRELATED AND UNCORRELATED VARIABLES

ABSTRACT: The multivariate process capability analysis includes many indices that are only used when the data is normal and others, when the data is not normal. The same occurs with correlated and uncorrelated quality variables. In this research work, a CPME multivariate capability index was developed by initially using a univariate

* erasmo10464407@gmail.com

index—depending on whether the data was or not normal—and any correlation between variables, and then through a characteristic function for the multivariate data. This index may be used in all the aforementioned cases. Some examples of this alternative are presented on a set of real and simulated data, where a broad performance of our proposed index was found against other similar capability indices.

Keywords: multivariate process capability index / univariate capability index / non-normal distribution / normal distribution / statistical methods

1. INTRODUCCIÓN

Los estudios de los índices de capacidad de procesos (*ICP*) se han desarrollado en el campo univariado y multivariado (*ICPM*) y son estimaciones numéricas de la capacidad del proceso, es decir, nos dan una idea de a qué nivel el proceso cumple con las especificaciones establecidas. Los *ICP* son estadísticos útiles, ya que aparte de ser sencillos de calcular, no tienen unidades de medida; por lo que permiten comparar distintos procesos. Básicamente, son el cociente entre la amplitud tolerable del proceso (la distancia entre los límites de tolerancia o límites de especificación), y la amplitud real o natural del proceso (habitualmente, la distancia entre los límites de control es de 6 sigma). Algunos de estos estadísticos se definen a partir de la media del proceso o del objetivo. Los índices de capacidad asociados con la variación a corto plazo son C_p , C_{pk} , CPU y CPL ; y por otro lado, los asociados con la variación a largo plazo son P_p , P_{pk} , PPU , PPL y C_{pm} . En la práctica, se suele considerar que 1,33 es el valor mínimo aceptable para un índice de capacidad; es decir, cualquier valor por debajo de esta cifra indicaría que, aunque esté bajo control estadístico, el proceso no cumple con las especificaciones deseadas. Estos índices se usan bajo el supuesto de que el valor de las mediciones de las variables de calidad representa valores de variables aleatorias independientes con distribución normal y que el proceso se encuentra en control estadístico, como lo establece Montgomery (2009); pero si la distribución fundamental es no normal, entonces se pueden generar resultados erróneos. En la industria, existen muchos procesos de manufactura donde la variabilidad del proceso se puede describir por una distribución normal y otros por una distribución no normal. En este último caso de poca literatura, no se deberían usar las fórmulas de la distribución normal, pues Somerville y Montgomery (1996) reportaron que el uso de índices de capacidad de procesos no normales, en vez de normales, generan resultados no confiables para este tipo de procesos. Sin embargo, podemos usar el método de percentil de Clements para estimar los índices de capacidad para estos procesos. Este método se utiliza para calcular los índices C_p y C_{pk} mediante una familia de curvas de Pearson y consiste en estimarlos mediante una simple modificación de los *ICP* normales, utilizando los valores de los puntos percentiles de distribuciones no normales, usando la mediana como medida central y no la media. Salazar y Fermín (2016 y 2017) definen un índice multivariado para distribuciones normales y luego para distribuciones no normales, respectivamente, aplicando estadísticos univariados, como los de Clements, para casos no normales, y otros comunes, para los casos normales; donde se trabaja en ambos casos con variables correlacionadas y no correlacionadas. Cabe destacar, muchos autores de índices no toman en consideración la correlación de las variables, hecho que es muy importante. En los estudios de índices de capacidad multivariados, según Foster, Barton y Gautam (2005), aún no hay una metodología que sea consistente para calcular índices de capacidad multivariados (*ICPM*) y, sobre todo, para el caso no normal; por lo tanto, hasta la fecha no existe consenso sobre el uso de un índice en

particular. Cuamea y Rodríguez (2014) señala también que los índices de capacidad más usados suponen que las variables de calidad sean no correlacionadas. Por lo tanto, no existe un *ICPM* que sea consistente y suficiente para el caso normal y no normal, para variables correlacionadas y no correlacionadas. De aquí que el diseño del índice *CPME* viene a constituir un índice que puede ser aplicado para cualquier tipo de dato multivariado y cualquier tipo de correlaciones, a diferencia de los otros índices multivariados que solo se aplican a un caso particular; lo que constituye una herramienta de amplio uso en el campo de la capacidad de procesos.

El método de percentiles de Clements, propuesto para determinar los *ICP*, reemplaza en la ecuación del C_p el valor 6σ por la longitud del intervalo entre el límite superior e inferior de los puntos percentiles 0,135 y 99,865 de una distribución X , esto es respectivamente $U_p - L_p$.

$$CC_p = \frac{U - L}{U_p - L_p} \quad (1)$$

donde U_p es el percentil 99,865 y L_p es el percentil 0,135.

Para el C_{pk} , la media del proceso μ es estimado por la mediana M_d y los valores de 3σ son estimados por $M_d - L_p$ y $U_p - M_d$, respectivamente. Así se obtienen las siguientes expresiones:

$$CC_{pl} = \frac{M_d - L}{M_d - L_p} \quad (2)$$

$$CC_{pu} = \frac{U - M_d}{U_p - M_d} \quad (3)$$

$$CC_{pk} = \min \{CC_{pk}, CC_{pu}\} \quad (4)$$

Los *ICPM*, en general, pueden ser obtenidos de tres maneras: a) desde la proporción de una región de tolerancia a una región de proceso, b) calculando la probabilidad de productos que no cumplen con las reglas y c) por los enfoques en los que las funciones de pérdida son empleadas. Además, según Cuamea y Anaya (2009):

En el estudio multivariado, las variables críticas deben estar dentro de sus respectivas especificaciones para que el producto se considere aceptable. Si solo una de ellas no cumple con las especificaciones esto será suficiente para que el cliente considere inaceptable el producto.

En base a esto se continúa el índice para el caso multivariado, en donde se hace el estudio univariado a cada variable de datos normales y no normales, para luego concluir respecto al caso multivariado.

2. ÍNDICES DE CAPACIDAD DE PROCESOS MULTIVARIADOS

Citando algunos autores, como Hubele, Shahiari y Cheng (1991), se tiene que, usando la distribución multivariada normal, definen un *ICPM* como la razón de una región de tolerancia rectangular y una región de tolerancia modificada que es el rectángulo más pequeño alrededor de la elipse con un error especificado de tipo I ($\alpha = 0,0027$). El número de las variables de calidad en el proceso es tenido en cuenta tomando la v -ésima raíz de la proporción, donde v representa el número de las variables de calidad.

$$C_{PM} = \sqrt[v]{\frac{\text{Volumen de la región de tolerancia de ingeniería}}{\text{Volumen de la región de procesos de ingeniería}}}$$

Taam, Subbaiah y Liddy (1993) definen un índice de capacidad multivariado (MC_{PM}) como la razón del volumen de la región de tolerancia modificada y el volumen de la escala 99,73 % de la región de proceso. La región de tolerancia modificada es definida como el elipsoide más grande centrado en el blanco totalmente ubicado dentro de la región de tolerancia original. Luego, para ajustar el cálculo estimado del índice de capacidad normal multivariado, usaron:

$$\widehat{MC}_{PM} = \frac{C_{PM}}{\widehat{D}}$$

donde:

$$\widehat{D} = \sqrt{1 + \frac{n}{n-1} (\bar{X} - \mu_0) S^{-1} (\bar{X} - \mu_0)^T}$$

\bar{X} es el vector media muestral

S es la matriz de varianza-covarianza muestral

μ_0 es la media objetivo del proceso

Wang, Hubele, Lawrence, Miskulin y Shahriari (2000) compararon los *ICPM* mencionados, anteriormente, y presentaron algunos ejemplos gráficos para ilustrarlos. Sin embargo, la correlación entre las variables no fue tenida en cuenta. Castagliola y Castellanos (2005) prolongaron el método univariado de Castagliola a la distribución multivariada, reemplazando la función de densidad de probabilidad univariada, $f(x)$, con su versión multivariada. Mientras que Wang y Du (2000) proponen un método que utiliza el análisis de componentes principales para describir el comportamiento de un

proceso para datos multivariados. Cuamea y Anaya (2009) proponen los índices C_{PM} y C_{PKM} para una distribución normal multivariada para variables múltiples con correlación, sin embargo, C_{PM} puede usarse para variables sin correlación.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Como se mencionó, los $ICPM$ pueden ser obtenidos desde la proporción de una región de tolerancia a una región de proceso; y éste es nuestro asunto. En el caso univariado, se tiene que los límites de especificación inferior y superior, para el control de la variable de calidad X , el objetivo que se persigue es que: $(LEI \leq X \leq LES)$, donde LEI y LES son los límites de especificación inferior y superior establecidos para la variable. Ahora, para el caso multivariado, lo anterior alcanzaría a extenderse y el intervalo sería reemplazado por una región de especificación; dicha región estaría construida por los intervalos de especificación para cada una de las variables de calidad. La región de especificación sería representada mediante las desigualdades:

$$I_{i=1}^v (LEI_i \leq X_i \leq LES_i)$$

Como se puede observar, en todos trabajos de $ICPM$, los índices expuestos se basan en un solo caso de distribución: normal o no normal. Además, como lo señala Cuamea y Rodríguez (2014), ninguno considera la correlación que pudiera existir entre las variables. En este trabajo consideramos X_1, X_2, \dots, X_v v variables aleatorias obtenidas de un proceso de calidad, modeladas por una función de distribución multivariada normal o no normal, correlacionadas o no correlacionadas.

La metodología consiste en que, dado el caso de las variables consideradas, según la distribución de los datos y definida la región de tolerancia del proceso, se obtienen las estimaciones de los parámetros para el cálculo de cada ICP para cada $X_i, i = 1, v, \dots, v$. Luego, se aplica una función característica a cada ICP para cada $X_i, i = 1, v, \dots, v$, para luego determinar el índice multivariado CPME (capacidad de proceso multivariado estadístico), el cual será comparado con otros índices multivariados.

Se usaron varias muestras de diferentes tamaños donde las variables estuvieron correlacionadas y no correlacionadas.

3.1 Proposición de índice de capacidad proceso (CPME)

Sea v el número de variables que se consigue del estudio de un proceso de calidad, donde se obtiene de un muestreo un conjunto de datos modelados por una distribución, normal o no normal, de la cual se consiguen las estimaciones de los parámetros para determinar el $ICPM$ que va fijar la capacidad del proceso de producción. En función a esto, se

evaluó el desempeño de los métodos de estimación de capacidad existentes, para datos con variables de calidad multivariados normal y no normal; y variables correlacionadas y no correlacionadas.

Sea $\mathbf{X} = (X_1, X_2, \dots, X_v)'$ el vector de las v variables de calidad del proceso

Sea $\boldsymbol{\mu} = (\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_v)'$ el vector de medias y Σ su matriz de covarianzas

Sea $S = \{\mathbf{X} \in \mathbb{R}^v: LEI_i \leq X_i \leq LES_i\} i = 1, \dots, v$, la región de tolerancias del proceso

Se obtienen las estimaciones de los parámetros para el cálculo de cada ICP para cada $X_i, i = 1, \dots, v$ y se propone el $ICPM$ definido de la siguiente manera:

Sea

$$\chi_{A_i}(Icp_i) = \begin{cases} 1 & \text{si } Icp_i \in A_i \\ 0 & \text{si } Icp_i \notin A_i \end{cases}$$

donde

$A_i = \text{Rango}(Icp_i) = \{Icp_i/Icp_i \geq 1,33\}$ para cada $X_i, i = 1, \dots, v$

Icp_i es un índice de capacidad univariado seleccionado

$Icp = CC_p$ es adecuado para el caso no normal; caso normal $Icp = C_p$ o PP

Se define el índice propuesto, $CPME$ como:

$$CPME = \frac{\sum_{i=1}^v \chi_{A_i}(Icp_i)}{v}$$

Ahora bien, por definición de $CPME$ se tiene que:

Si $CPME = 1$, entonces el proceso de producción es estable, ya que todas las variables están en el rango de especificación dado.

Si $CPME \neq 1$, entonces el proceso de producción no es estable, ya que existe al menos una $X_i, i = 1, \dots, v$ que está fuera del rango de especificación dado.

4. RESULTADOS

En las siguientes secciones están los ejemplos de la obtención del índice de capacidad $CPME$ propuesto en este trabajo y su comparación con otros índices; tomando en consideración los casos con variables no normales y normales, con variables correlacionadas y no correlacionadas.

4.1 Cálculo de CPME caso no normal y normal. Comparación con otros índices propuestos

4.1.1 Caso no normal

En este proceso se usaron varios casos de muestras diferentes de datos no normales simulados, obtenidos a través del método de Monte Carlo, y se trabajó con las variables correlacionadas y no correlacionadas. En cada uno de los casos se calcularon índices univariados; luego, el índice multivariado propuesto en este trabajo, y se compararon con otros índices obtenidos. Además, para que el estudio fuera eficiente y suficiente, se generaron aleatoriamente las variables C_1 y C_2 y no normales, para los 6 tamaños diferentes de muestras $n = 10, 20, 50, 100, 1000$ y $10\ 000$.

Este caso se analizó de manera univariante y bivariante, usando los paquetes estadísticos de Minitab 17, para el caso univariante, y Statgraphics Centurion, para el caso multivariante. Sin embargo, ya que las variables son no normales, se escogió la técnica aplicada de Box y Cox (1964), para el cálculo de los índices multivariados de Cuamea y Rodríguez (2014), Capacidad del Proceso Multivariante (MCP) y de Taam *et. al.* (1993). Así, se obtienen las siguientes tablas de resultados.

4.1.1.1 Variables correlacionadas

Tabla 1

Resumen descriptivo para las variables no normales C_1 y C_2 para diferentes tamaños de muestras

Muestra		n = 10			
Variable	LEI	LES	Objetivo	Media	Desv.Est.(General)
C_1	0,2	3,2	1,2	1,17	1,1
C_2	0,05	10,3	5,0	3,6	3,4
Muestra		n = 20			
Variable	LEI	LES	Objetivo	Media	Desv.Est.(General)
C_1	0,01	3,6	1,2	0,9	0,97
C_2	0,2	20,0	5,0	5,9	5,6
Muestra		n = 50			
Variable	LEI	LES	Objetivo	Media	Desv.Est.(General)
C_1	0,01	2,9	1,2	0,99	0,79
C_2	0,17	21,9	5,0	4,8	4,81
Muestra		n = 100			
Variable	LEI	LES	Objetivo	Media	Desv.Est.(General)
C_1	0,05	7,2	1,2	1,1	1,18
C_2	0,17	29,0	5,0	6,6	6,7
Muestra		n = 1000			

(continúa)

(continuación)

Variable	LEI	LES	Objetivo	Media	Desv. Est. (General)
C_1	0,00008	7,0	1,2	1,07	1,07
C_2	0,0017	38,0	5,0	5,2	5,25
Muestra			n = 10 000		
Variable	LEI	LES	Objetivo	Media	Desv. Est. (General)
C_1	0,00001	9,7	1,2	1,01	1,01
C_2	0,0002	44,0	5,0	5,02	5,01

Elaboración propia

Tabla 2
ICP univariado de las variables no normal C_1 y C_2 para diferentes tamaños de muestras

Variables	Tamaño de muestra											
	n = 10		n = 20		n = 50		n = 100		n = 1000		n = 10 000	
	C_1	C_2	C_1	C_2	C_1	C_2	C_1	C_2	C_1	C_2	C_1	C_2
Índice de capacidad												
PP	0,49	0,29	0,57	0,51	1,39	0,93	1,08	0,69	0,96	1,06	1,44	1,32
PPI	0,79	0,98	0,99	0,95	0,94	0,95	0,94	0,97	1,00	1,00	1,00	1,00
PPu	0,44	0,25	0,52	0,46	1,47	0,71	1,10	0,65	0,96	1,06	1,49	1,25
P_{pk}	0,44	0,25	0,52	0,46	0,94	0,71	0,94	0,65	0,96	1,00	1,00	1,00
CC_p	1,00	0,99	0,98	1,00	0,98	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,44	1,28
CC_{pk}	0,98	0,99	0,98	0,99	0,98	1,00	1,00	1,00	1,00	0,98	1,00	1,00
Correlación de Pearson	0,904		0,982		0,953		0,951		0,997		1,00	

Elaboración propia

Ahora, para el caso multivariado, los *ICPM* fueron los siguientes:

Tabla 3
Cálculo de *ICPM* para diferentes tamaños de muestra respecto a la variable $C=(C_1, C_2)$ no normal

Índice de capacidad multivariado		n = 10	n = 20	n = 50	n = 100	n = 1000	n = 10 000
Cuamea y Rodríguez (2014)	C_{pM}	0,44	0,44	0,57	0,6	21,5	82,06
Statgraphics (2015)	MCP	0,35	0,42	0,52	0,60	0,78	0,86
Taam <i>et al.</i> (1993)	MC_p	3,8	5,7	6,8	4,15	12,3	∞
Índice propuesto en esta investigación	$CPME$ (CC_p)	$\neq 1$	$\neq 1$	$\neq 1$	$\neq 1$	$\neq 1$	$\neq 1$

Elaboración propia

Los gráficos de tolerancia para algunos casos se observan en la figura 1.

Gráfico de tolerancia para C_1, C_2 . Variables correlacionadas. n=10

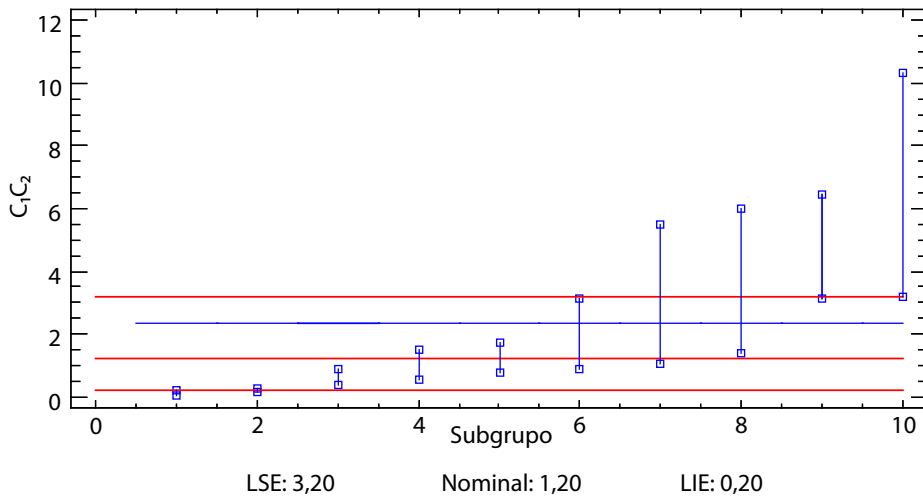


Gráfico de tolerancia para C_1, C_2 . Variables correlacionadas. $n=20$

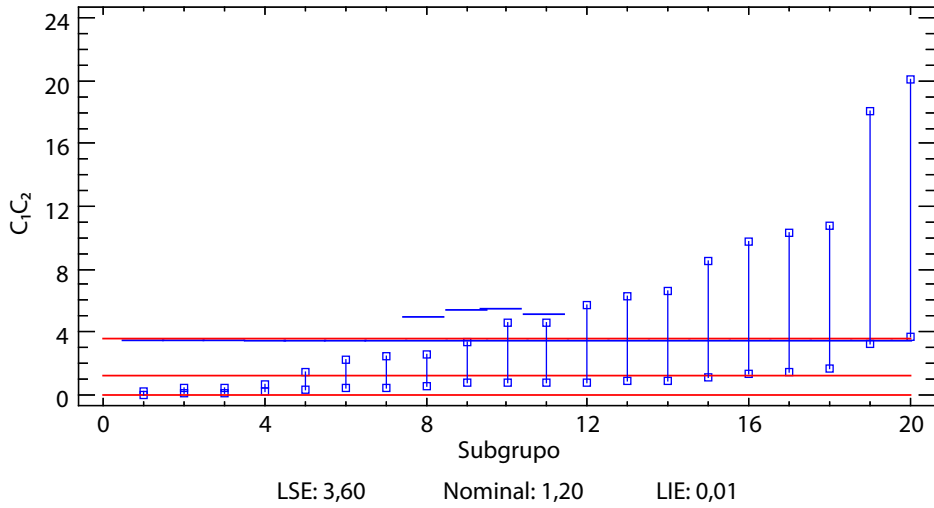


Gráfico de tolerancia para C_1, C_2 . Variables correlacionadas. $n=50$

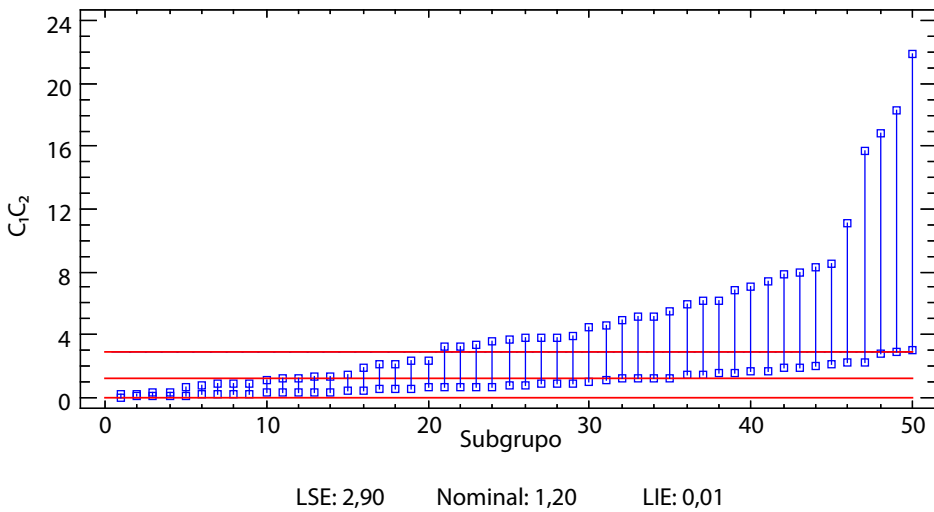


Gráfico de tolerancia para C_1, C_2 . Variables correlacionadas. $n=100$

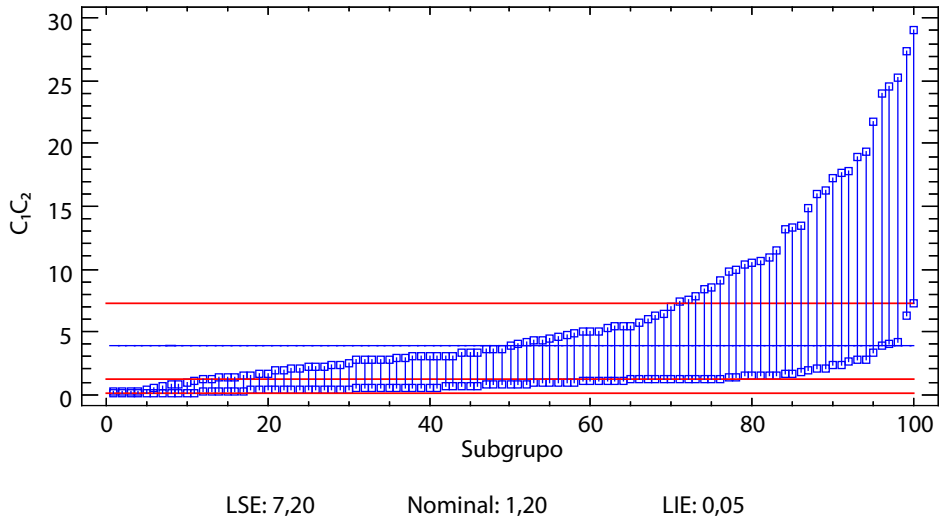


Gráfico de tolerancia para C_1, C_2 . Variables correlacionadas. $n=1000$

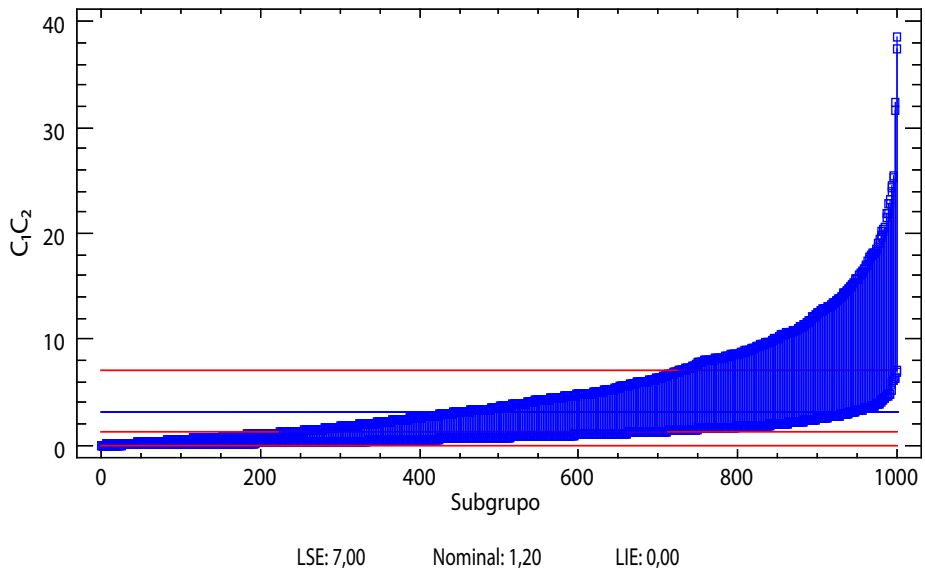


Gráfico de tolerancia para C_1, C_2 . Variables correlacionadas. $n=10\ 000$

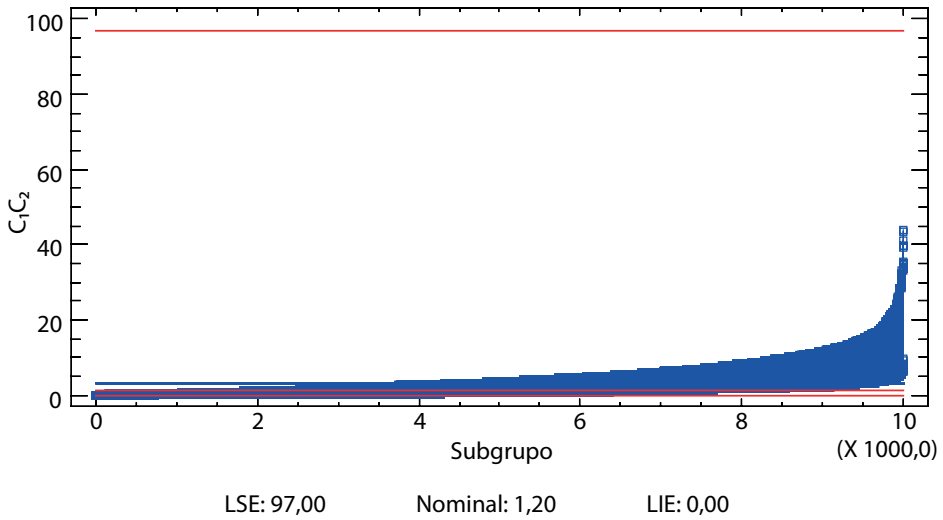


Figura 1. Gráficos de tolerancia para las variables C_1, C_2 . Caso variables correlacionadas. 10, 20, 50, 100, 1000 y 10 000

Elaboración propia

4.1.1.2 Caso de variables no correlacionadas

Para el estudio del caso de variables no correlacionadas, los resultados fueron los siguientes:

Tabla 4

Resumen descriptivo de las variables no normales C_1 y C_2 para diferentes tamaños de muestras

Muestra		n = 10			
Variable	LEI	LES	Objetivo	Media	Desv.Est.(General)
C_1	0,04	1,2	0,4	0,51	0,408
C_2	0,05	13,0	6,0	4,63	4,235
Muestra		n = 20			
Variable	LEI	LES	Objetivo	Media	Desv.Est.(General)
C_1	0,02	3,7	0,4	0,954	0,999
C_2	0,25	21,1	6,0	6,116	6,186

(continúa)

(continuación)

Muestra n = 50					
Variable	LEI	LES	Objetivo	Media	Desv.Est.(General)
C ₁	0,08	3,6	0,4	1,09	0,963
C ₂	0,02	19,9	6,0	4,71	4,431
Muestra n = 100					
Variable	LEI	LES	Objetivo	Media	Desv. Est. (General)
C ₁	0,01	7,2	0,4	1,04	1,164
C ₂	0,004	22,8	6,0	5,02	4,857
Muestra n = 1000					
Variable	LEI	LES	Objetivo	Media	Desv. Est. (General)
C ₁	0,001	7,0	0,4	1,032	1,041
C ₂	0,008	22,8	6,0	4,956	4,910
Muestra n = 10 000					
Variable	LEI	LES	Objetivo	Media	Desv. Est. (General)
C ₁	0,04	4,0	0,4	1,3333	0,5095
C ₂	0,16	3,2	1,7	0,5695	0,4781

Elaboración propia

Tabla 5
ICP univariado de las variables no normales C₁ y C₂ para diferentes tamaños de muestras

	Tamaño de muestra											
	n = 10		n = 20		n = 50		n = 100		n = 1000		n = 10 000	
Variables	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂
Índice de capacidad												
C _p	0,42	0,38	0,58	0,52	0,62	0,70	0,88	0,66	1,03	0,7	1,28	1,15
P _{pl}	0,90	0,98	0,97	0,94	0,91	1,00	0,99	1,00	1,00	1,00	1,06	1,12
P _{pu}	0,34	0,32	0,49	0,47	0,57	0,66	0,88	0,63	1,03	0,67	1,43	1,18
P _{pk}	0,34	0,32	0,49	0,47	0,57	0,66	0,88	0,63	1,00	0,67	1,06	1,12
CC _p	1,00	0,99	0,98	1,00	0,98	1,00	2,00	1,14	1,00	0,7	1,40	1,38
CC _{pk}	0,77	0,99	0,97	1,00	0,98	1,00	1,09	1,00	1,00	0,66	1,04	1,12
Correlación de Pearson	- 0,22		- 0,174		- 0,229		- 0,055		- 0,025		0,003	

Elaboración propia

Ahora, para el caso multivariado, los *ICPM* fueron los siguientes:

Tabla 6
Cálculo de *ICPM* para diferentes tamaños de muestra respecto a la variable $C = C_1 C_2$ no normal

Índice de capacidad multivariado		n = 10	n = 20	n = 50	n = 100	n = 1000	n = 10 000
Cuamea y Rodríguez (2014)	C_{pM}	0,40	0,67	0,71	0,67	0,87	0,96
Statgraphics (2015)	MCP	0,23	0,35	0,44	0,60	0,79	1,00
Taam <i>et al.</i> (1993)	MC_p	1,1	1,00	1,03	1,00	1,00	1,00
Índice de esta investigación	$CPME$ (CC_p)	≠ 1	≠ 1	≠ 1	≠ 1	≠ 1	1

Elaboración propia

Los gráficos de tolerancia para algunos casos se observan en la figura 2.

Gráfico de tolerancia para C_1, C_2 . Variables no correlacionadas. n=10

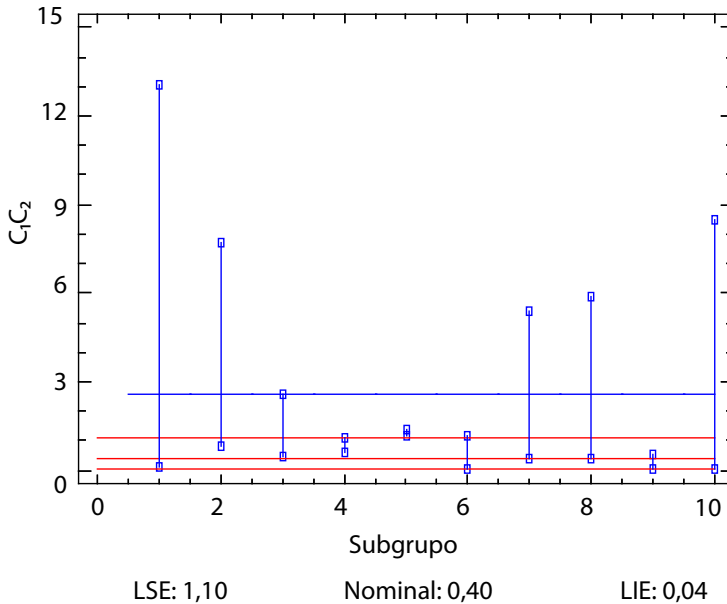


Gráfico de tolerancia para C_1, C_2 . Variables no correlacionadas. $n=20$

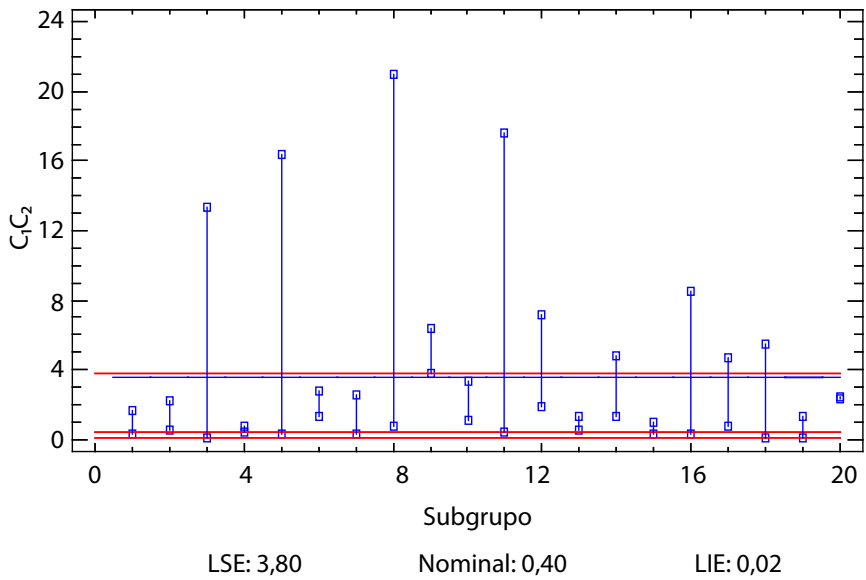


Gráfico de tolerancia para C_1, C_2 . Variables no correlacionadas. $n=50$

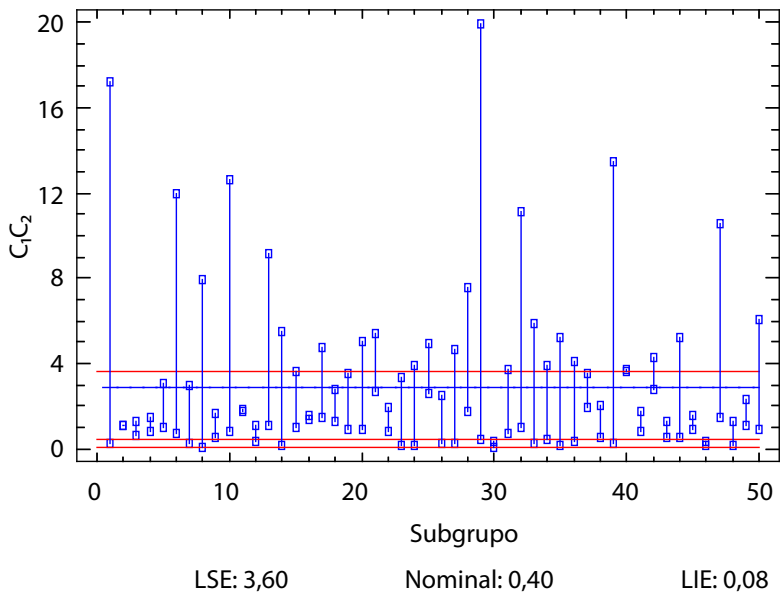


Gráfico de tolerancia para C_1, C_2 . Variables no correlacionadas. $n=100$

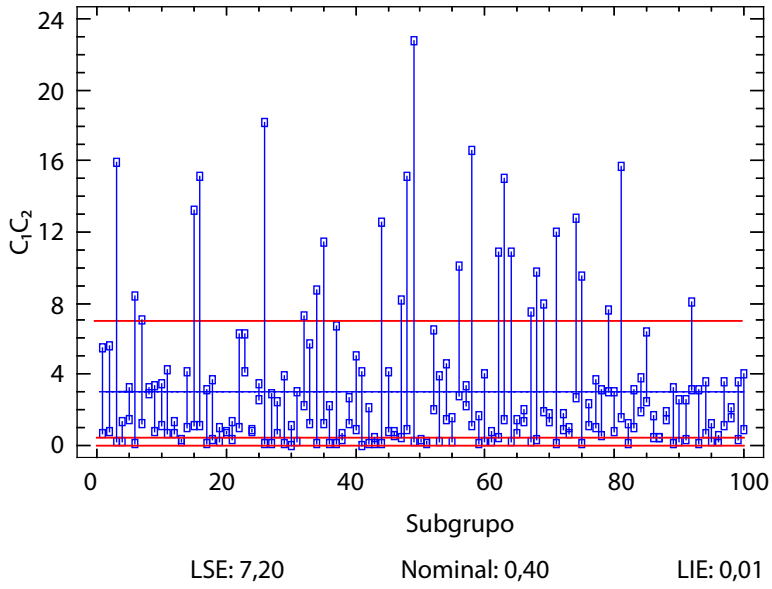


Gráfico de tolerancia para C_1, C_2 . Variables no correlacionadas. $n=1000$

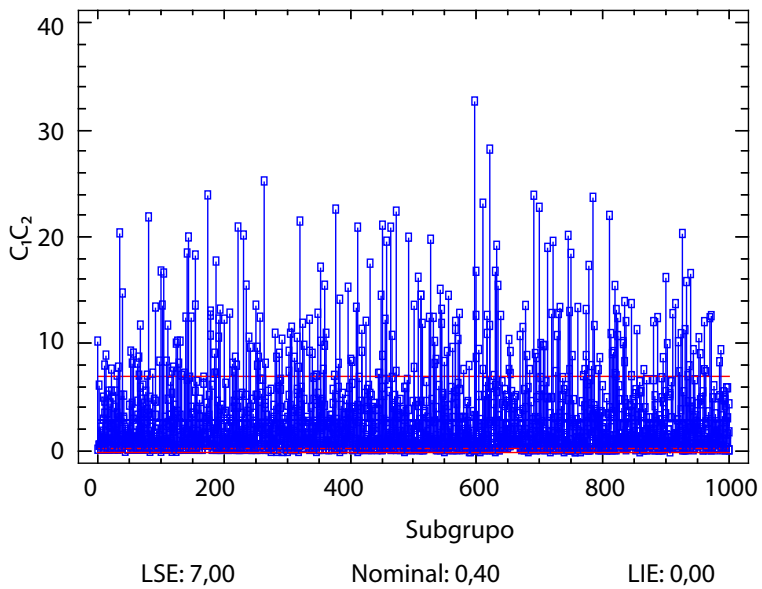


Gráfico de tolerancia para C_1, C_2 . Variables no correlacionadas. $n=10\ 000$

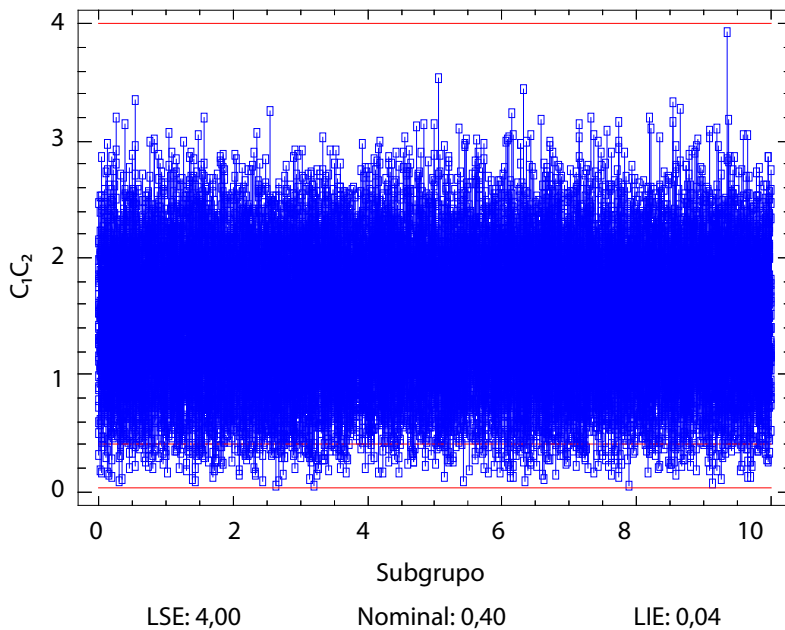


Figura 2. Gráficos de tolerancia para las variables C_1, C_2 . Caso variables no correlacionadas. 10, 20, 50, 100, 1000 y 10 000

Elaboración propia

El paquete estadístico Statgraphics emplea el $ICPM$, $MCP = \frac{Z}{K/2}$, donde Z es el valor de la variable aleatoria normal estándar correspondiente a los DPM calculados. El DPM es el índice de capacidad defecto por millón, que representa el número estimado de las muestras por millón que estarían fuera de la especificación en una o más variables. K es el múltiplo del sigma; en general, $K = 6$. Además, con el paquete estadístico Minitab 17, se calcularon los índices de capacidad de procesos para el caso no normal PP, PPI, PPu y Ppk . Otros índices calculados se determinaron usando el software Matlab V. 7.6.0, Excel y el paquete estadístico SPSS V. 15.0 para Windows.

Siendo así las cosas, la aplicación del índice $CPME$, para variables no normales, donde se presentaron casos para variables correlacionadas y no correlacionadas, resultó útil y reflejó la capacidad del proceso, tal como lo presentan los gráficos, ya que pocos índices logran evidenciar el proceso y algunos se distorsionan al aumentar el tamaño de la muestra. Hubo poca coincidencia del reflejo de la capacidad del proceso con otros índices, como lo fue con el índice MCP y el índice C_{pm} , en algunos casos de muestras pequeñas.

4.1.2 Caso normal

En Chen (1994) se discuten dos ejemplos numéricos, donde se aplicaron tres de los índices de capacidad que aparecen en la literatura. En este trabajo se usaron los datos de Chen (1994) y se trabajó con los casos de variables correlacionadas y no correlacionadas. Utilizando los datos del primer ejemplo, se calculó el índice de capacidad propuesto y se comparó con los índices obtenidos por las tres propuestas; el resumen se presenta en la tabla 7. El ejemplo trata de una distribución normal bivariada, en la cual la dureza Brinell (H) y la resistencia a la tensión (S) son dos variables de calidad de un producto industrial. Las tolerancias de ingeniería, para ambas variables de calidad, vienen dadas por [112,3; 241,3] y [32,7; 73,3], respectivamente; y el vector de valores nominales para H y S , por [177, 53].

4.1.2.1 Caso variables con correlación

Después de realizar la colección de 25 mediciones de ambas variables de calidad, se obtuvieron los valores de la tabla 7. Al realizar la prueba de Shapiro-Wilk, se encontró que las 25 mediciones seguían una distribución normal multivariada con el vector de medias [177,52; 52,188] y la siguiente matriz de varianzas covarianzas:

	H	S
H	329,093 (25)	91,8898 (25)
S	91,8898 (25)	38,8653 (25)

Tabla 7
Dureza Brinell (H) y resistencia a la tensión (S) para un producto industrial

H	S	H	S	H	S
143	31,0	141	47,3	178	50,9
200	57,0	175	57,3	196	57,9
168	47,5	187	58,5	160	45,5
181	53,4	187	58,2	183	53,9
148	47,8	186	57,0	179	51,2
178	51,5	172	49,4	194	57,5
162	45,9	182	57,2	181	55,6
215	59,1	177	50,6		
161	48,4	204	55,1		

Fuente: Cuamea y Rodríguez (2014)

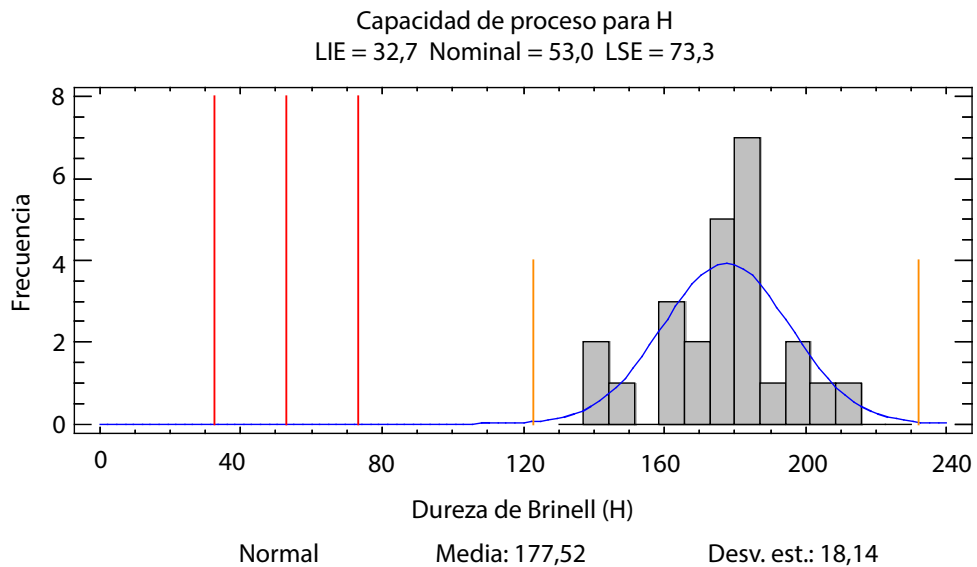
Con un $p > 0,150$, se concluye, según la prueba Kolmogorov-Smirnov, que H y S siguieron una distribución normal.

KS = 0,129 y KS = 0,140, para H y S , respectivamente.

Tabla 8
Índices de capacidad univariado para las variables H y S

Variable	Índice de capacidad	Capacidad (dentro de)	Capacidad general
H	C_p/P_p	1,06602	1,18517
	C_{pk}/P_{pk}	1,05412	1,17194
	C_{pm}		1,18
S	C_p/P_p	1,1211	1,08541
	C_{pk}/P_{pk}	1,07625	1,04199
	C_{pm}		1,16
Correlación de Pearson		0,813	

Elaboración propia



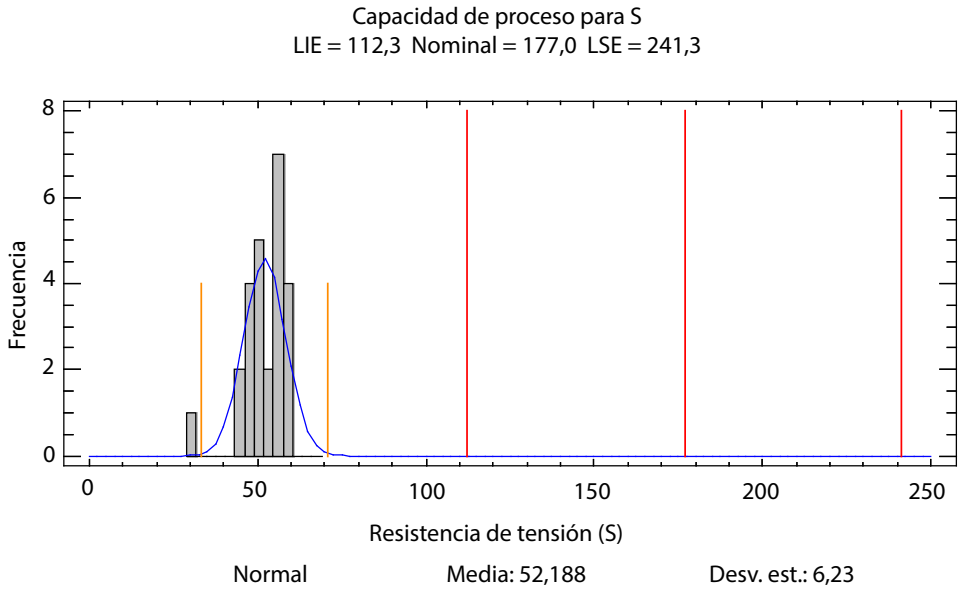


Figura 3. Gráficos de capacidad del proceso para la dureza (H) y la resistencia a la tensión (S). Caso variables correlacionadas

Elaboración propia

Para realizar el cálculo del índice de capacidad potencial, que se propone en este trabajo, se ubicó el promedio del proceso en el centro de las especificaciones.

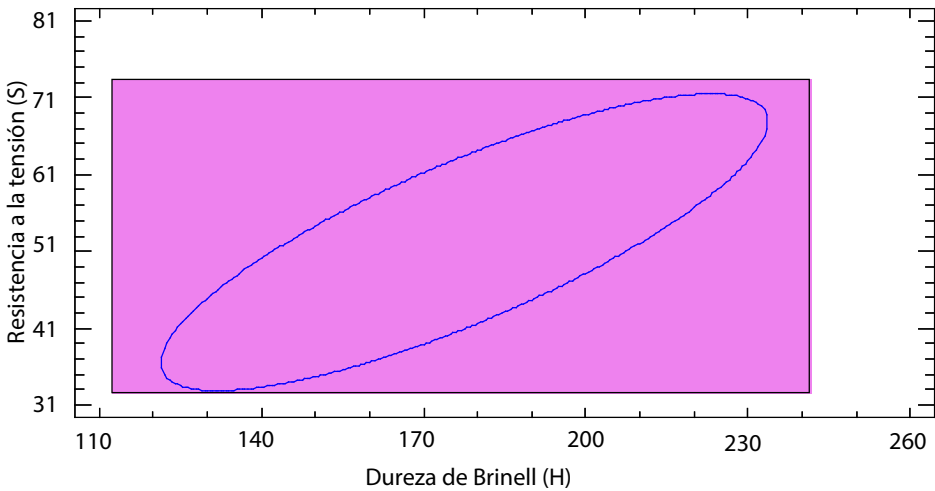


Figura 4. Elipse de capacidad del proceso para la dureza (H) (a) y la resistencia a la tensión (S). (b) Caso variables correlacionadas

Elaboración propia

Tomando $I_{cp_i} = C_p$, entonces:

$$CPME = \frac{\sum_{i=1}^p X_{A_i}(C_p)}{v} = \frac{0+0}{2} = 0, \text{ así } CPME(C_p) < 1.$$

De forma análoga, se obtuvieron los resultados que se muestran en la tabla 9.

En la figura 4 se observa que el proceso se salió ligeramente de la región de especificación, lo que estará reflejado por el cálculo del *CPME*, el cual para este proceso deberá tener un valor de este índice menor que 1.

Tabla 9
Comparación de varios índices de capacidad para 2 variables de calidad con correlación

Taam et al. (1993)		Índice de Cuamea y Rodríguez (2014)	Índice de Statgraphics (2016)	Índice <i>CPME</i>
\widehat{MC}_p	\widehat{MC}_{pM}	C_{pM}	<i>MCP</i>	<i>CPME</i> (C_p) <i>CPME</i> (P_p) <i>CPME</i> (C_{pm})
1,71	1,65	0,95	1,05	< 1

Elaboración propia

4.1.2.2 Caso variables no correlacionadas

Después de efectuar 25 mediciones de ambas variables de calidad, se obtuvieron los valores de la tabla 10. Al realizar la prueba de Shapiro-Wilk, se encontró que las 25 mediciones seguían una distribución normal multivariada con el vector de medias [177,106; 53,157] y la siguiente matriz de varianzas covarianzas:

	H	S
H	0,765983 (25)	- 0,0296604 (25)
S	- 0,0296604 (25)	1,09009 (25)

Tabla 10

Dureza Brinell (H) y resistencia a la tensión (S) para un producto industrial

H	S	H	S	H	S
176,437	53,5317	175,588	52,3967	176,818	54,1309
176,596	54,7648	176,807	52,1516	176,800	51,9326
176,092	51,7810	177,441	52,7447	176,051	54,0050
176,566	53,5707	176,926	52,0609	178,095	51,8588
176,940	53,1057	177,540	54,6906	178,384	53,9194
178,321	53,8484	177,634	53,5954	179,515	52,6633
177,161	52,4804	176,789	52,2339	177,645	52,7505
177,128	53,0898	175,812	54,4680		
177,209	55,3306	177,357	51,8202		

Elaboración propia

Con un $p > 0,150$, se concluyó, según la prueba Kolmogorov-Smirnov, que para H y S no había evidencia suficiente que sugiriera que los datos no siguen una distribución normal $KS = 0,109$ y $KS = 0,131$ para H y S , respectivamente.

Tabla 11

Índices de capacidad univariado para las variables H y S

Variable	Índice de capacidad	Capacidad (dentro de)	Capacidad general
H	C_p/P_p	24,33	24,37
	C_{pk}/P_{pk}	24,22	24,45
	C_{pm}		24,30
S	C_p/P_p	6,34	6,48
	C_{pk}/P_{pk}	6,29	6,43
	C_{pm}		6,41
Correlación de Pearson		- 0,033	

Elaboración propia

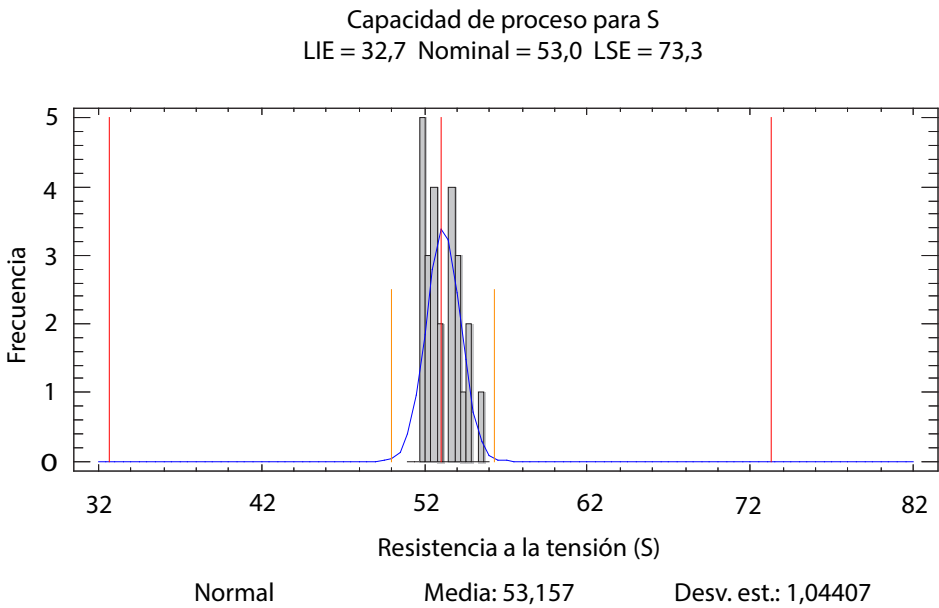
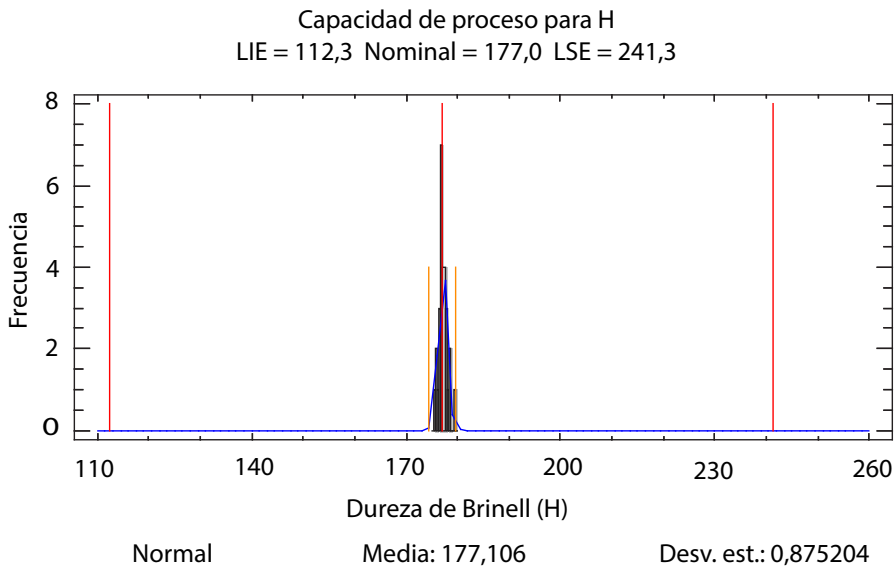


Figura 5. Gráficos de capacidad del proceso para la dureza (H) (c) y la resistencia a la tensión (S).
(d) Caso sin correlación

Elaboración propia

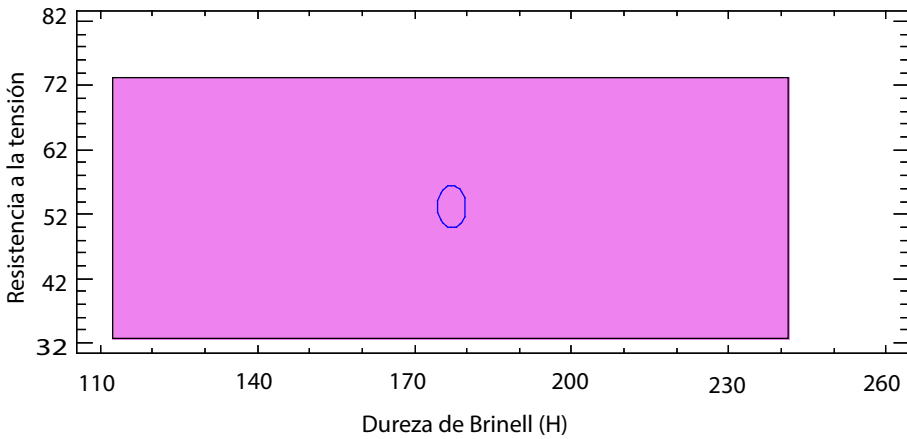


Figura 6. Elipse de capacidad del proceso para la dureza (H) y la resistencia a la tensión (S)
Elaboración propia

En la figura 6 se observa que el proceso está totalmente contenido en la región de especificación, lo que estará reflejado por el cálculo del $CPME$, el cual tendrá un valor de este índice igual que 1, para este proceso.

Tabla 12

Comparación de varios índices de capacidad para dos variables de calidad sin correlación

Taam <i>et al.</i> (1993)		Índice de Cuamea y Rodríguez (2014)	Índice de Statgraphics (2016)	Índice
\widehat{MC}_P	\widehat{MC}_{PM}	C_{pM}	MCP	$CPME (C_p)$ $CPME (P_p)$ $CPME (C_{pm})$
1,0	0,81	1,433	> 1,33	1

Elaboración propia

Así las cosas, la aplicación del índice $CPME$ para variables normal, donde se presentan casos para variables correlacionadas y no correlacionadas, resultó útil y evidenció la capacidad del proceso tal como lo presentan los gráficos, dado que pocos índices reflejan el proceso y algunos se distorsionan al aumentar el tamaño de la muestra. Hubo coincidencia del reflejo de la capacidad del proceso con otros índices, como lo fue con el índice MCP y el índice C_{pM} .

5. DISCUSIÓN

Para el estudio de variables no normal, en los casos estudiados de variables con correlación y sin correlación, estas variables pueden modelarse a través de una distribución de Weibull multivariada.

En el caso para variables correlacionadas, para los tamaños muestrales $n = 10, 20, 50$ y 100 , nuestro índice *CPME* coincidió con el índice de Cuamea y Rodríguez (2014), en cuanto a la indicación de que el proceso no era capaz; pero no hay coincidencia para los casos muestrales $n = 1000$ y $n = 10\ 000$. Sin embargo, el índice de Taam *et al.* (1993) indicó que el proceso era capaz para todos los casos muestrales y el índice de Statgraphics coincidió con nuestro índice, en cuanto a que el proceso no era capaz para todos los casos muestrales. En la figura 1 se ve que el proceso no era capaz para los diferentes casos muestrales, corroborando la información indicada por nuestro índice *CPME* y el índice obtenido por Statgraphics.

Para el caso de variables no correlacionadas, nuestro índice *CPME* mostró que, para los tamaños muestrales $n = 10, 20, 50, 100$ y 1000 , el proceso no era capaz, hecho que coincidió con los índices de Cuamea y Rodríguez (2014), Taam *et al.* (1993) y Statgraphics; sin embargo, para el caso de $n = 10\ 000$, solo nuestro índice *CPME* indicó que el proceso era capaz, hecho que no lo muestran los índices de Cuamea y Rodríguez (2014), Taam *et al.* (1993) y Statgraphics. Además, nuestro índice es respaldado por los gráficos de tolerancia de la figura 2, lo que indica su fortaleza.

Para el caso normal, también se estudiaron variables correlacionadas y no correlacionadas, las variables fueron modeladas a través de una distribución normal multivariada, y en ambos casos nuestro índice de capacidad *CPME* resultó con fortaleza. Su interpretación iba acorde con la situación presentada por los datos, además, fue aplicable para cualquier dimensión.

En el primer caso, la figura 4 muestra que el proceso se salió ligeramente de la región de especificación, reflejado por el índice *CPME*, el cual indicó que, en ese caso, la capacidad de proceso bivariable (H, S) no era estable; cuestión que no es reflejada por los índices de Taam *et al.* (1993). Sin embargo, para el siguiente caso, la figura 6 muestra que el proceso está totalmente contenido en la región de especificación, lo cual es reflejado por el cálculo del *CPME* el que indica que la capacidad de proceso bivariable (H, S) es estable, cuestión que es reflejada por los demás índices.

Como se observa, el uso de gráficos y regiones de especificación para procesos multivariados resultan de gran ayuda, ya que facilitan la comprensión de los índices de capacidad de procesos y, en particular, el índice *CPME* expresa mejor la situación del proceso que los demás índices.

La metodología del cálculo del índice *CPME* es fácil y tiene alta efectividad, pues puede ser aplicado para los casos donde la distribución de datos es normal y no normal; y para variables con correlación (caso más complicado, ya que los otros *ICPM* fueron distorsionados por este caso) y sin correlación, obteniendo resultados semejantes a otros índices. Vale la pena anotar, que para los casos en que hay discrepancia, el gráfico de la capacidad de proceso respalda nuestro índice, mostrando su fortaleza y efectividad. Así, el índice *CPME* viene a constituir un nuevo índice multivariado de aplicación más amplia que los demás índices multivariados, pues estos son aplicados a casos particulares.

REFERENCIAS

- Box, G., y Cox, D. R. (1964). An analysis of transformation. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B*, 26(2), 211-243. <https://doi.org/10.1111/j.2517-6161.1964.tb00553.x>
- Castagliola, P., y Castellanos, J. V. G. (2005). Capability indices dedicated to the two quality characteristics case. *Quality Technology and Quantitative Management*, 2(2), 201-220. <https://doi.org/10.1080/16843703.2005.11673094>
- Castagliola, P., y Castellanos, J. V. G. (2008). Process capability indices dedicated to bivariate non-normal distributions. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 14(1), 87-101. <https://doi.org/10.1108/13552510810861969>
- Chen, H. (1994). A multivariate process capability index over a rectangular solid tolerance zone. *Statistica Sinica*, 4(2), 749-758.
- Chou, Y., Polansky, A., y Mason, R. (1998). Transforming non-normal data to normality in statistical process control. *Journal of Quality Technology*, 30(2), 133-141. <https://doi.org/10.1080/00224065.1998.11979832>
- Cuamea, G., y Anaya, C. (2009). Evaluación de la calidad en productos o procesos con múltiples características de calidad correlacionadas. *Epistemos*, 6, 12-16.
- Cuamea, G., y Rodríguez, M. (2014). Propuesta para evaluar la capacidad de procesos de manufactura multivariados. *Revista Ingeniería Industrial*, 13(2), 35-47.
- Foster, E. J., Barton, R. R., y Gautam, N. (2005). The process-oriented multivariate capability index. *International Journal of Production Research*, 43(10), 2135-2148. <https://doi.org/10.1080/00207540412331530158>
- Hubele, N., Shahiari, H., y Cheng, C. (1991). A bivariate capability vector. En J. B. Keats y D. C. Montgomery (Eds.), *Statistics and design in process control: Keeping pace with automated manufacturing* (pp. 229-310). Marcel Dekker.
- Johnson, N. L. (1949). System of frequency curves generated by methods of translation. *Biometrika*, 36(2), 149-176. doi:10.2307/2332539

- Liu, P. H. y Chen, F. L. (2006). Process capability analysis of non-normal process data using the Burr XII distribution. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 27(9), 975-984. <https://doi.org/10.1007/s00170-004-2263-8>
- Montgomery, D. (2009). *Statistical quality control. A modern introduction* (6.^a ed.). John Wiley and Sons, Inc.
- Polansky, A. M., Chou, Y. M., y Mason, R. L. (1998). Estimating process capability indices for a truncated distribution. *Quality Engineering*, 11(2), 257-265. <https://doi.org/10.1080/08982119808919237>
- Salazar, E., y Fermín, J. (2016). Un índice de capacidad de procesos para distribuciones multivariadas normales de variables correlacionadas y no correlacionadas. *Ingeniería Industrial*, (34), 57-73. doi:10.26439/ing.ind2016.n034.1337
- Salazar, E., y Fermín, J. (2017). Un índice de capacidad de procesos para distribuciones multivariadas no normales de variables correlacionadas y no correlacionadas. *Ingeniería Industrial*, (35), 55-75. doi:10.26439/ing.ind2017.n035.1790
- Shahriari, H., y Abdollahzadeh, M. (2009). A new multivariate process capability vector. *Quality Engineering*, 21(3), 290-299. <https://doi.org/10.1080/08982110902873605>
- Shinde, R. L., y Khadse, K. G. (2009). Multivariate process capability using principal component analysis. *Quality and Reliability Engineering International*, 25(1), 69-77. <https://doi.org/10.1002/qre.954>
- Somerville, S., y Montgomery, D. (1996). Process capability indices and non-normal distributions. *Quality Engineering*, 9(2), 305-316. <https://doi.org/10.1080/08982119608919047>
- Statgraphics (16.1.15) [Software] (2015). Recuperado de <https://statgraphics.net/>
- Taam, W., Subbaiah, P., y Liddy, J. W. (1993). A note of multivariate capability indices. *Journal of Applied Statistics*, 20(3), 339-351. <https://doi.org/10.1080/02664769300000035>
- Tang, L. C., y Than, S. E. (1999). Computing process capability indices for non-normal data: a review and comparative study. *Quality and Reliability Engineering International*, 15(5), 339-353. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1638\(199909/10\)15:5<339::AID-QRE259>3.0.CO;2-A](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1638(199909/10)15:5<339::AID-QRE259>3.0.CO;2-A)
- Wang, F. K. (2006). Quality evaluations of a manufactured Product with multiple characteristics. *Quality and Reliability Engineering International*, 22(2), 225-236. doi:<https://doi.org/10.1002/qre.712>
- Wang, F. K., y Du, T. C. (2000). Using principal component analysis in process performance for multivariate data. *Omega*, 28(2), 185-194. [https://doi.org/10.1016/S0305-0483\(99\)00036-5](https://doi.org/10.1016/S0305-0483(99)00036-5)

- Wang, F. K., Hubele, N. F., Lawrence, F. P., Miskulin, J. D., y Shahriari, H. (2000). Comparison for three multivariate process capability indices. *Journal of Quality Technology*, 32(3), 263-275. <https://doi.org/10.1080/00224065.2000.11980002>
- Yeh, A., y Chen, H. (2001). A nonparametric multivariate process capability index. *International Journal of Modelling and Simulation*, 21(3), 218-223. <https://doi.org/10.1080/02286203.2001.11442205>

LIDERAZGO COMO FACTOR CRÍTICO DE ÉXITO PARA LA GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LAS PYMES. REFLEXIONES PARA LA DISCUSIÓN

ROSELIN SANTAMARÍA-PERAZA, AGUSTÍN MEJÍAS-ACOSTA*

Universidad de Carabobo, Venezuela

Recibido: 20 de agosto del 2019 / Aprobado: 12 de marzo del 2020

doi: 10.26439/ing.ind2020.n038.4815

RESUMEN: El objetivo de este estudio es establecer las variables que determinan el liderazgo, como factor crítico para el éxito de la gestión de la calidad. La investigación es de tipo documental con un nivel descriptivo. Como hallazgo principal, se resalta la importancia del liderazgo, en la conducción de los procesos relacionados con la calidad y mejora de esta. Así mismo, se establece que una de las características más resaltantes de un líder es su capacidad de facilitarle a los demás para que actúen y lo sigan, así como su orientación a los resultados.

Palabras clave: liderazgo / gestión de la calidad total / pequeñas y medianas empresas

LEADERSHIP AS A CRITICAL SUCCESS FACTOR FOR SMALL AND MEDIUM ENTERPRISES' QUALITY MANAGEMENT. REFLECTIONS FOR DISCUSSION

ABSTRACT: The objective of this study is to establish the variables that determine leadership as a critical factor for quality management success. The research was conducted as a documentary analysis with a descriptive approach. The main finding of the research was the importance of leadership to carry out processes related to its quality and improvement. Moreover, it is concluded that the most prominent skills of leaders are their ability to influence others to act, their ability to be followed, and their willingness to achieve results.

Keywords: leadership / total quality management / small and medium enterprises

* roselin2602@gmail.com, amejiasa@uc.edu.ve

1. INTRODUCCIÓN

La globalización de los mercados es un elemento de la nueva economía, en ella existe un intercambio entre los mercados, tanto nacionales como internacionales, implicando esto una mayor competencia, requiriendo estrategias que permitan a las empresas garantizar su participación en el mercado para ser la primera opción de los consumidores. Por ello las organizaciones constantemente se encuentran mejorando y haciéndose más eficaces para certificar su persistencia en el entorno donde se desarrollan, debido a que los requerimientos de los mercados cambian en la búsqueda de la satisfacción de clientes cada vez más exigentes.

El sector empresarial está conformado por grandes, medianas y pequeñas empresas, siendo, de acuerdo con Franco y Urbano (2010), las pymes las organizaciones que generan mayor cantidad de empleos, en algunos casos hasta un 73 %; así mismo, se puede señalar que estas representan, aproximadamente, el 99 % del total de compañías, contribuyendo así con el 30 % del producto interno bruto (PIB) en América Latina y con el 60 % en Europa, de acuerdo con lo expuesto por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, 2012) y la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE), respectivamente. Por otra parte, la OCDE en conjunto con el Banco de Desarrollo de América Latina (OCDE y CAF, 2019), recientemente, señalan que más del 99,5 % de las empresas en América Latina y el Caribe son pymes, las cuales generan el 60 % del empleo productivo formal, convirtiéndose en motores críticos para el crecimiento y la inclusión social a nivel regional. Sin embargo, estas empresas, a nivel de Latinoamérica, se enfrentan a la competencia del sector informal y a una brecha de productividad significativa respecto a las grandes empresas; de ahí la importancia de realizar estudios que les permitan a las pymes mejorar dentro del contexto productivo, así como potenciarlas para ser agentes de cambio estructural del tejido empresarial.

Debido a la importancia de las pymes para el desarrollo de las comunidades donde se encuentran, estas deben buscar mecanismos para su desarrollo, orientando sus acciones en el análisis de sus factores internos y así contrarrestar a los factores externos, para generar una capacidad estratégica clave que las lleve a una posición diferenciada en el mercado. Por lo que, cuando una empresa genera mecanismos que le permiten mantenerse en función del tiempo, se considera que es exitosa y sostenible (Arrieta *et al.*, 2014).

De acuerdo con Wanjiru y Kilika (2016), las competencias son el vínculo entre los recursos internos de la empresa y su entorno; una adecuada gestión de estos factores internos para adaptarse a los cambios y lograr sobresalir hacen que las organizaciones sean consideradas competitivas; es decir, compañías con capacidad para mantener sistemáticamente ventajas competitivas que les permitan alcanzar, sostener y mejorar una determinada posición en el entorno socioeconómico donde se encuentren (Luna, 2012).

Dos empresas pueden poseer recursos de fuentes comunes, pero la manera como son utilizados para crear procesos, difíciles de imitar, que le permitan sobresalir entre todos, en el desarrollo de ventajas competitivas, es la diferencia del éxito entre una de ellas (Wanjiru y Kilika, 2016). Considerando ello, existen factores que permiten alcanzar ventajas competitivas, tales como, la calidad, la innovación, la capacitación del personal, el enfocarse al cliente, la mejora continua, la gestión del conocimiento, entre otros.

Sin embargo, hay investigadores que apoyan la calidad como fuente de ventaja competitiva, estos son Ramseook-Munhurrún, Munhurrún y Panchoo (2011), Rougan (2015), Hitt, Ireland y Hoskisson (2015), García-Cabrera y García-Soto (2016), entre otros; quienes consideran que la satisfacción al cliente es una de las formas para permanecer en el mercado y sobresalir entre los otros competidores. Al considerar la calidad como fuente de ventaja, es necesario revisar los modelos de gestión, ya que la utilización de estos proporciona a las empresas un marco para el desarrollo de políticas, estrategias y compromisos que les permite alcanzar los objetivos propuestos mediante la satisfacción de los clientes.

La calidad puede abarcar todos los procesos de la empresa, considerando incluso modelos de gestión de la calidad (González, Tapia, Hernández y Luna, 2016), ya que estos poseen un enfoque integrado que busca obtener y mantener, a través de la mejora continua, niveles de producción de calidad, considerando que el mejor sistema es el basado en la filosofía de control total de la calidad, siendo un elemento clave para mantener una ventaja competitiva (Talib, Ali e Idris, 2013).

Considerando lo anterior, el presente artículo realiza un análisis descriptivo de los diferentes modelos y filosofías de la gestión de la calidad con la finalidad de establecer los requisitos de un buen liderazgo que apoye dichos procesos de gestión de la calidad, a partir de una investigación documental.

2. METODOLOGÍA

Con la finalidad de alcanzar las metas trazadas del estudio, este se enmarca en la investigación de tipo descriptiva, debido a que mediante esta se busca especificar propiedades y características importantes del liderazgo en la gestión de la calidad. Su desarrollo se realiza como una investigación de tipo documental, debido a que se fundamenta en el análisis de contenido utilizando resúmenes y análisis de la información. Para ello, se tomaron como fuente primaria artículos relacionados, considerando las bases de datos, buscando palabras claves tales como: gestión de la calidad, normas ISO, filosofías de mejora continua, modelos de gestión de la calidad, competitividad, ventaja competitiva, pymes.

Esta es la parte inicial de un estudio el cual tiene como finalidad establecer los factores críticos de la variable *liderazgo*.

3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Un factor importante en el desarrollo de los procesos de la calidad es el liderazgo. Según Díaz Figueroa, Medina Quintero y de la Garza Ramos (2011), el líder influye con su conducción en la forma de tomar riesgos, como se involucra en el futuro de los empleados y teniendo en cuenta las opiniones de sus subalternos. Para Gil-Osorio e Ibarra-Lopesierra (2014), el liderazgo es el arte de influir en la conducta de las personas con la finalidad de lograr los objetivos de las organizaciones, este y los factores críticos del éxito son claves para lograr un impacto significativo en la consecución de objetivos de una organización en los actuales mercados. De acuerdo con el modelo de excelencia europea, un fuerte liderazgo en conjunto con una dirección estratégica clara, se logra el éxito sostenido (Fundación Europea para la Gestión de la Calidad [EFQM], 2018). Leonard (2010) señala que el liderazgo organizacional junto con un núcleo ético, centrado en las personas, la responsabilidad social y la calidad de la vida laboral, son elementos esenciales de la calidad, citando a Deming, Juran y Feigenbaum.

Ayuso y Herrera (2017) señalan que los líderes que son capaces de adaptarse para satisfacer las demandas de cada situación particular tienen mayor capacidad de influenciar en el comportamiento de su equipo. Por otra parte, si se desea mejorar el nivel de madurez de un colaborador, para que este asuma una responsabilidad significativamente mayor, lo mejor que puede hacer un líder es reducir la conducta de tarea y aumentar la conducta de relación, con base en ello se señala que la conducta de relación no solo favorece la percepción de mejor clima laboral, sino además disminuye la percepción de presión y control en el trabajo.

El líder, fundamentado en lo anterior, es la persona que debe orientar o guiar a los demás en el proceso de alcanzar los objetivos. En una organización esa función, en algunos casos, la ejerce el gerente, sin embargo, no necesariamente es quien realmente posee la capacidad de motivar a las personas, pero es quien debe ejercer el liderazgo de la forma más adecuada según las necesidades de la organización.

Se considera como *calidad* a la traducción de los requerimientos de los clientes en características capaces de ser percibidas por ellos, tales como que el producto cumpla con las especificaciones de diseño, así como que no posea disconformidades, y que los consumidores puedan pagarlo. Esta concepción de *calidad* ha generado un creciente interés como factor de competitividad, desarrollándose modelos de gestión que tienen como finalidad orientar esfuerzos para obtener servicios o productos con altos estándares, pero que el consumidor pueda pagar (Santamaría Peraza, 2017).

Para establecer la relación entre liderazgo y calidad, se revisan a continuación algunos modelos de gestión de la calidad, así como filosofías de mejora, los cuales buscan integrar funciones de forma estructurada con el propósito de alcanzar los objetivos. Entre los modelos y filosofías más utilizados se encuentran:

3.1 Modelo de gestión de la calidad basado en procesos (ISO 9000)

Este modelo lo conforma un conjunto de normas pertenecientes a la familia ISO 9000, las cuales son un consenso internacional de buenas prácticas de gestión, con el objetivo de que una organización pueda entregar productos y servicios que satisfagan los requisitos de calidad de los clientes. Estas normas son publicadas y mantenidas por la Organización Internacional de Estandarización (ISO, por sus siglas en inglés, International Organization for Standardization). Además, aportan reglas básicas para desarrollar un sistema de calidad, independiente del fin de la empresa o del producto o servicio que proporcione.

Este modelo considera los siguientes principios para la administración de la calidad: enfoque para el cliente, liderazgo, participación de la gente, enfoque hacia el proceso, enfoque de sistemas para la administración, mejora continua, enfoque hacia la toma de decisiones basados en hechos y datos, relación con los proveedores para beneficio mutuo. De acuerdo con Cruz, López y Ruiz (2017), estas normas apoyan al proceso de mejora continua de las organizaciones, permitiendo la optimización de los productos ofrecidos al consumidor final.

3.2 El modelo del premio Malcolm Baldrige

El modelo Baldrige, en honor al secretario de comercio de los Estados Unidos de Norteamérica, Malcolm Baldrige, quien fue un defensor de la gestión de calidad como elemento clave para la prosperidad y sostenibilidad del país, nació como objetivo de mejorar la competitividad de las empresas norteamericanas, ampliándose luego hacia la atención sanitaria y a las organizaciones de educación, así como a las organizaciones sin fines de lucro y a las organizaciones gubernamentales. Hoy en día es una guía para mejorar la calidad de los productos y servicios de muchas organizaciones en diferentes países (Schniederjans, Mellat, Nabavi, Subba y Raghu-Nathan, 2018). Su evaluación se basa en la revisión de ciertos criterios, los cuales se denominan *criterios de excelencia*, que ayudan a las organizaciones a alinear los recursos y mejorar la comunicación, la productividad y la eficacia, con la finalidad de alcanzar los objetivos estratégicos. Estos criterios representan un marco integrado para la gestión y son: el liderazgo, las estrategias, los clientes, la medición, el análisis y el conocimiento gerencial; la fuerza de trabajo; los procesos y resultados.

3.3 Modelo del premio de excelencia europeo (EFQM)

Considerando la revisión EFQM (2018), este se compone de tres elementos: los conceptos fundamentales, el modelo de excelencia EFQM, y un esquema de estructuración basado en la lógica de radar. El modelo se encuentra compuesto de un marco no-prescriptivo basado en nueve criterios y treinta y dos subcriterios, que permiten a los líderes de las organizaciones entender la causa y efecto entre lo que la organización hace y los resultados que logra. De los nueve criterios, cinco son “habilitadores” y cuatro son “resultados”. Este modelo es flexible y puede ser aplicado a pequeñas o grandes organizaciones tanto del sector público como del privado, bajo la premisa: los resultados excelentes con respecto al rendimiento de la organización, a los clientes, el capital humano y la sociedad se logran a través de un liderazgo que dirija e impulse la política y estrategia, las personas de la organización, las alianzas, los recursos y los procesos (Esquivel, León y Castellanos, 2017).

3.4 Modelo iberoamericano de excelencia

Es la base utilizada para la evaluación de las organizaciones candidatas a los premios a la calidad que entrega la Fundación Iberoamericana para la Gestión de la Calidad (FUNDIBEQ). Se estructura en 5 procesos facilitadores: 1) liderazgo y estilo de gestión, 2) estrategia, 3) desarrollo de las personas, 4) recursos y asociados, y 5) procesos y clientes. Cada uno se halla dividido, para su análisis, en cuatro subcriterios con puntajes definidos que ayudan a la puntuación final deducida de la valoración.

3.5 Modelo de calidad de México

Este modelo se llama modelo nacional para la competitividad (MCN) y busca impulsar la mejora continua de las organizaciones mexicanas sin importar su tamaño para proyectarlas, de forma ordenada, a niveles de competitividad de clase mundial. Promueve la utilización de prácticas o herramientas de acuerdo con las características de cada organización y su entorno, sin considerar una teoría o corriente específica. Se compone de 8 criterios, que a la vez se dividen en subcriterios, los cuales representan los elementos fundamentales del sistema organizativo. Los valores que sustentan el modelo son: 1) enfoque al cliente, 2) liderazgo efectivo / ejemplar, 3) personal comprometido, 4) compromiso con la sociedad, 5) mejora continua e innovación y 6) pensamiento sistémico (Palacios Blanco, 2006).

3.6 *Lean manufacturing*

El *lean manufacturing* es una filosofía de gestión que busca la eliminación de los desperdicios, incluyendo todas aquellas actividades que no aportan valor al producto y por las cuales el cliente no está dispuesto a pagar, esto mediante la aplicación de diferentes

herramientas administrativas y de producción que incluye, entre otras, la mejora continua (León, Marulanda y González, 2017). De acuerdo con Alefari, Salonitis y Xu, (2017), el liderazgo y el compromiso de la alta gerencia son factores claves en la implementación de manufactura esbelta o *lean manufacturing*, debido a que este amerita un cambio en la conducción de las organizaciones y se debe tener una claridad para fijar la ruta de acción para alcanzar el éxito en la implementación.

El liderazgo está ligado a las actividades de dirección y gestión, el desarrollo de este es un elemento fundamental en los avances de la gestión de la calidad total en las organizaciones (Ayuso y Herrera, 2017) y se define considerando las características y cualidades del líder (Leonard, 2010). Como se puede detallar, en los modelos de calidad anteriores, entre sus criterios o principios, el *liderazgo* ocupa un lugar importante para la elaboración de procesos; fundamentado en cada modelo y filosofía de mejora, así como en otros investigadores sobre el tópico. En la tabla 1 se pueden observar las diferentes definiciones y características planteadas según los diferentes enfoques citados.

Tabla 1
El liderazgo de acuerdo con diferentes enfoques de gestión de la calidad

Enfoque	Definición	Características
ISO 9000	Establece la unidad de propósito y la dirección; crea condiciones para que las personas se impliquen en el logro de los objetivos de calidad de la organización.	Con base a los requerimientos de la norma, los líderes deben ser comunicadores efectivos, ser ejemplos positivos, e inspirar, fomentar y reconocer la contribución de las personas.
EFQM	Un líder debe estar enfocado en lograr objetivos a través de las personas. La mayoría tiene una visión clara y pueden comunicarla. Es un agente de cambio; inspira y motiva. Además, suelen ser modelos para seguir enfocados en la integridad, la responsabilidad social y el comportamiento ético, tanto interna como externamente, asegurando que su personal adopte los más altos estándares de comportamiento ético.	El líder EFQM da aliento al corazón, modela el camino, es capaz de manejar el cambio, es flexible e inspira confianza.
Malcom Baldrige	El líder debe garantizar el desarrollo de estrategias, sistemas y métodos para alcanzar el desempeño de excelencia, estimulando la innovación y construyendo conocimientos y capacidades organizacionales.	Este líder debe inspirar y motivar a sus colaboradores; estimularlos a contribuir, desarrollarse y aprender, a ser innovadores y creativos. Mantiene una conducta ética, planificando sus funciones en la comunicación y en el <i>coaching</i> .

(continúa)

(continuación)

FUNDIBEQ	Desarrolla y pone en práctica la cultura y los valores de la organización, mediante adecuados comportamientos y acciones éticas; así como la estructura organizativa y el marco de los procesos necesarios para la eficaz ejecución de la política y la estrategia.	Líderes que inspiran confianza; son flexibles, deben ser modelo de integridad, responsabilidad social y comportamiento ético; ser activos, estimular la mejora, la innovación y la creatividad; ser accesibles, saben escuchar y dan respuestas.
Modelo de calidad nacional de México (Palacios Blanco, 2006)	Los líderes son los impulsores del cambio, son los que deben convertir el decir en el hacer, así como ser responsables de crear una cultura de calidad y establecer su rumbo estratégico.	Líderes que establecen directrices y crean visión centrada en el cliente; enseñan con el ejemplo a tener un comportamiento ético y congruente para involucrar, comunicar, dar asistencia y apoyo, reconocer el desempeño de sus colaboradores, poseer una visión de largo plazo y un pensamiento sistémico.
<i>Lean manufacturing</i>	El liderazgo juega un papel importante para implantar <i>lean</i> , ya que este debe guiar a la organización para el proceso de implementación (Alefari <i>et al.</i> , 2017; León <i>et al.</i> , 2017).	Los líderes deben centrarse en el uso eficiente de los recursos; ser ejemplo a seguir, necesitan ser consistentes a largo plazo, basados en la filosofía y valores <i>lean</i> (Alefari <i>et al.</i> , 2017). Deben poseer experiencia en implementación de <i>lean</i> (León <i>et al.</i> , 2017).

Elaboración propia

Así mismo, se entiende al liderazgo como la función que ejercen las personas en búsqueda del desarrollo y alcance de los objetivos de la organización, de dirigir, ordenar y consolidar el esfuerzo colectivo hacia la continua innovación y adaptación a los cambios del ambiente empresarial, “liderar es un arte, pero hay que desarrollarlo, pues no es suficiente ejercerlo con el instinto o carisma que se posea para ello” (Enríquez Castillo y López Ávila, 2016; Guerrero, 2017). Mediante un fuerte liderazgo en conjunto con una dirección estratégica clara, se logra el éxito sostenido (EFQM, 2018).

De acuerdo con Aguirre León, Serrano Orellana y Sotomayor Pereira (2017), los elementos influyentes para que una empresa logre la perdurabilidad, la calidad y el éxito en el mercado son el resultado del comportamiento y la actitud del gerente; fundamentado en ello, se establece que para generar cambios, mejorar los procesos, lograr que las personas se motiven a lograr los resultados en las organizaciones, se debe contar con gerentes que inicien, faciliten, gestionen, impulsen y coordinen el proceso de transformación. Lo anterior también lo refiere Guerrero (2017), quien señala a los líderes empresariales como aquellos que orientan a la organización dentro de los lineamientos que les permitan alcanzar los objetivos planteados.

Fundamentado en otros estudios, Ayuso y Herrera (2017) presentan los siguientes estilos de liderazgo: autocrítico, participativo, democrático y liberal, así como los tipos transformador y transaccional. Con relación a los estilos, cada líder toma la decisión del estilo adoptado y esto dependerá de la situación a que se enfrente. Es importante destacar que un elemento importante en la efectividad del trabajo es la flexibilidad, por lo que se debe tener un conocimiento, capacidad y disposición para escoger el estilo de liderazgo; así como establecer la capacidad de relacionarse con el equipo, conocer, escuchar y comunicarse con este de forma activa, con el objetivo de alcanzar el máximo conocimiento posible en el ámbito laboral de cada uno de los colaboradores que forman parte del equipo.

Por otra parte, Enríquez Castillo y López Ávila (2016) señalan al empresario exitoso como una persona con las siguientes características: debe ser un líder, brillante y seguro de sí mismo, reconocer sus deficiencias y cualidades, ser flexible, sensato, convincente y tolerante con los demás; debe saber cuándo y cómo actuar y afrontar las consecuencias de sus decisiones; ser observador y estar atento a lo que sucede; su experiencia y sus conocimientos son reconocidos; ser carismático, expresar correctamente sus ideas, aclarando las dudas que puedan surgir, ser amable y tener un perfil multicultural. Su liderazgo lo ejerce a través de la motivación y el convencimiento, indicando el rumbo a seguir en el presente y mirando al futuro como la oportunidad de orientar creativa, innovadora y positivamente a sus colaboradores y a la empresa en su conjunto.

Para Fernández (2017), el papel del líder es lograr los objetivos a partir del trabajo en equipo, para ello debe apoyarse en su equipo, saber delegar, empoderar, compartir y ceder su posición de líder cuando se requiera. Debido a la complejidad del mercado actual, el líder necesita tener ciertas características como poseer pensamiento global, entender y respetar las diferencias culturales, estar familiarizado con los desarrollos de las tecnologías de la información y comunicación, tener la capacidad de conformar redes y alianzas que permitan complementar cualquier deficiencia del equipo, mostrar un comportamiento ético y, especialmente, saber compartir el poder.

Considerando las revisiones realizadas, en la tabla 2 se detallan las características del líder o persona que ejerce el liderazgo.

Tabla 2
Características relacionadas con el liderazgo

Características	Investigador
1. Dar aliento al corazón	Spears (2010), Díaz Figueroa <i>et al.</i> (2011), Pedraza, Lavín, Delgado, y Bernal (2014), EFQM (2018), Aguirre León <i>et al.</i> (2017)
2. Modelar el camino	Díaz Figueroa <i>et al.</i> (2011), Bonifaz Villar (2012), Pedraza <i>et al.</i> (2014), Montañez Moya (2015), Aguirre León <i>et al.</i> (2017), Lezama, Cruz y Pico (2015), EFQM (2018), Fernández (2017)
3. Habilitar a los demás para que actúen / para que lo sigan	Sistema Económico Latinoamericano y del Caribe ([SELA], 2010), Spears (2010), Díaz Figueroa <i>et al.</i> (2011), Quintero, Álvarez, Calderón y Granada (2011), Bonifaz Villar (2012), López Martínez (2013), Pedraza <i>et al.</i> (2014), Lezama <i>et al.</i> (2015), Aguirre León <i>et al.</i> (2017), Fernández (2017)
4. Inspirar una visión compartida	Díaz Figueroa <i>et al.</i> (2011), Pedraza <i>et al.</i> (2014), Aguirre León <i>et al.</i> (2017)
5. Desafiar los procesos	Díaz Figueroa <i>et al.</i> (2011), Pedraza <i>et al.</i> (2014), Lezama <i>et al.</i> (2015), Aguirre León <i>et al.</i> (2017)
6. Ser visionario	Spears (2010), López Martínez (2013), Lezama <i>et al.</i> (2015), Montañez Moya (2015), Aguirre León <i>et al.</i> (2017)
7. Ser un comunicador efectivo	Spears (2010), SELA (2010), Bonifaz Villar (2012)
8. Estar enfocado a la orientación a los resultados	SELA (2010), Bonifaz Villar (2012), López Martínez (2013), Montañez Moya (2015), Lezama <i>et al.</i> (2015), Fernández (2017)
9. Trabajar en equipo	SELA (2010), Spears (2010), Quintero <i>et al.</i> (2011), Bonifaz Villar (2012), López Martínez (2013), Lezama <i>et al.</i> (2015), Fernández (2017), Aguirre León <i>et al.</i> (2017)
10. Capaz de manejar el cambio / ser flexible	Bonifaz Villar (2012), López Martínez (2013), Lezama <i>et al.</i> (2015), Enríquez Castillo y López Ávila (2016), Guerrero (2017), Fernández (2017), EFQM (2018)
11. Tener perseverancia, persistencia para lograr el éxito	Bonifaz Villar (2012), Enríquez Castillo y López Ávila (2016)
12. Ser analítico	Bonifaz Villar (2012), López Martínez (2013), Enríquez Castillo y López Ávila (2016)
13. Tener buena atención al cliente	Lezama <i>et al.</i> (2015), Enríquez Castillo y López Ávila (2016)
14. Ser positivo, no dejarse caer ante resultados negativos o no deseados o esperados	Bonifaz Villar (2012), Enríquez Castillo y López Ávila (2016)
15. Asumir riesgos	Aguirre León <i>et al.</i> (2017)
16. Reconocer de manera pública las contribuciones individuales y celebrar los logros del equipo	Aguirre León <i>et al.</i> (2017), Guerrero (2017)
17. Buscar adquirir y capitalizar el conocimiento	Spears (2010), Lezama <i>et al.</i> (2015)
18. Saber determinar la importancia de la integridad de las acciones	Lezama <i>et al.</i> (2015)

Elaboración propia

Por otro lado, Pertúz (2018) considera que el liderazgo transformacional permite motivar a sus trabajadores, transmitir las ideas de colaboración, fomentando un ambiente de compromiso, respeto, tolerancia, diálogo, responsabilidad, entre otros, en un contexto dinámico, como el actual, este tipo de liderazgo puede adaptarse a los cambios donde se persigue el trabajo en equipo. Así mismo, Ayuso y Herrera (2017) señalan que este tipo de liderazgo apoya a organizaciones cuyos objetivos son fomentar la creatividad y la innovación entre sus empleados, con la finalidad de mejorar o mantener su posición competitiva.

Todas las características y definiciones señaladas son las que deben tener los líderes para que puedan, entre sus colaboradores, alcanzar los objetivos trazados. Estas son combinaciones que deben ser consideradas y tomadas como punto de partida para establecer cuáles serían las deseables.

4. RESULTADOS

El liderazgo es la función que ejerce el líder con la finalidad de alcanzar los objetivos, por lo cual es el encargado de motivar, orientar y dirigir a las personas responsables del logro de estos. Dentro de las pymes, las funciones de liderazgo las ejerce, en muchas ocasiones, el gerente encargado o el dueño de la organización, el cual posiblemente no posee habilidades de liderazgo, siendo necesario desarrollarlas para lograr sus metas. Por ello, debe ser capaz de orientar y dirigir a su personal para alcanzar los objetivos, así como tener la habilidad de ser multidimensional, puesto que en algunos casos debe establecer planes a mediano y largo plazo y, además, formar equipos de trabajo para cumplir estos planes con acciones de corto plazo.

Como se detectó, en los sistemas de gestión de la calidad, el liderazgo es un factor importante porque la conducta, como su capacidad de tomar decisiones, le permitirán establecer diferentes alternativas de acción, tales como desarrollar procesos para lograr las metas y solventar las situaciones problemáticas que se presenten.

Tanto las filosofías de calidad como los modelos de gestión poseen estructuras o rutas de acción que permiten su establecimiento y poder "ser" adaptados a las organizaciones, sean de manufactura o servicio, sin importar el tamaño de las mismas, tomando como requisito importante, para su establecimiento, el contar con el apoyo de la alta gerencia o junta directiva.

Para el caso de las pymes, es necesario establecer de forma objetiva, cuáles de las características mencionadas son las de mayor importancia y las mínimas necesarias que deben tener estos líderes encargados del desarrollo de estas empresas. Esto con la finalidad de ayudarlas a alcanzar sus objetivos al corto, mediano y largo plazo, permitiéndoles permanecer en el sector o mercado donde se encuentren.

Finalmente, se resaltan las siguientes características que debe tener un líder: modelar el camino, con su conducta y trabajo ético, ser un comunicador efectivo, dar aliento de corazón, habilitar a los demás para que actúen / para que lo sigan, inspirar una visión compartida, desafiar los procesos, ser visionario, generar procesos orientados a los resultados, trabajar en equipo, capaz de manejar el cambio / ser flexible.

REFERENCIAS

- Aguirre León, G., Serrano Orellana, B., y Sotomayor Pereira, G. (2017). El liderazgo de los gerentes de las pymes de Machala. *Universidad y Sociedad*, 9(1), 187-195. Recuperado de <http://rus.ucf.edu.cu/>
- Alefari, M., Saloniitis, K., y Xu, Y. (2017). The role of leadership in implementing lean manufacturing. *Procedia CIRP*, 63, 756-761. doi:<https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.03.169>
- Arrieta, D., Figueroa, E., Luna, J., Rivera, M., Meléndez, M., y Sotelo, J. (2014). La importancia de la planeación estratégica en la innovación y permanencia de las pymes. *Global Conference on Business and Finance Proceedings*, 9(2), 378-385. Recuperado de <https://www.theibfr.com/wp-content/uploads/2016/06/ISSN-1941-9589-V9-N2-2014-1.pdf>
- Ayuso, D., y Herrera, I. (2017). *El liderazgo en los entornos sanitarios: Formas de gestión*. Ediciones Díaz de Santos.
- Bonifaz Villar, C. (2012). *Desarrollo de habilidades directivas*. México: Red Tercer Milenio.
- Cruz, F., López, A., y Ruiz, C. (2017) Sistema de gestión ISO 9001-2015: Técnicas y herramientas de ingeniería de calidad para su implementación. *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, 17 (1), 59-69.
- Díaz Figueroa, J., Medina Quintero, J., y de la Garza Ramos, M. (2011). El liderazgo en las empresas para la obtención de ventaja competitiva en pymes turísticas del sur de Tamaulipas. *Red Internacional de Investigadores en Competitividad. Memoria del V Congreso*, 5(1), 773-750. Recuperado de <https://www.riico.net/index.php/riico/article/view/595/797>
- Enríquez Castillo, I., y López Ávila, R. M. (2016). Descripción de las características psicosociales de los líderes en empresas jóvenes de la región de Cd. Cuauhtémoc, Chih., Méx. *Cultura Científica y Tecnológica*, 13(59), 180-191. Recuperado de <https://erevistas.uacj.mx/ojs/index.php/culcyt/article/view/1459>
- Esquivel, A., León, R., y Castellanos, G. (2017). Mejora continua de los procesos de gestión del conocimiento en instituciones de educación superior ecuatorianas. *Retos*

- de la Dirección, 11(2), 56-72. Recuperado de <http://scielo.sld.cu/pdf/rdir/v11n2/rdir05217.pdf>
- Fernández, M. (2017). Liderazgo global ¿Una nueva teoría? *Pizarrón Latinoamericano*, 8(7), 37-48. Recuperado de <http://openjournal.unimet.edu.ve/index.php/RevistaPizarron/article/view/357/331>
- Franco, M., y Urbano, D. (2010). El éxito de las pymes en Colombia: un estudio de caso en el sector salud. *Revista Estudios Gerenciales*, 26(114), 77-97.
- Fundación Europea para la Gestión de la Calidad. (2018). Modelo EFQM de calidad y excelencia. Recuperado de <http://www.efqm.org>
- Fundación Iberoamericana para la Gestión de la Calidad. (2019). Modelo de la excelencia. Recuperado de https://www.fundibeq.org/images/pdf/Modelo_Iberoamericano_V_2019_.pdf
- García-Cabrera, A., y García-Soto, M. (2016). Calidad del entorno e internacionalización de la pyme: un análisis regional en España. *Emprendimiento y Negocios Internacionales*, 1(1), 11-18. Recuperado de <https://ojsppdc.ulpgc.es/ojs/index.php/ENI>
- Gil-Osorio, I. M., e Ibarra-Lopesierra, S. (2014). Incidencia del liderazgo en los factores críticos del éxito como estrategia competitiva empresarial. *Revista Dimensión Empresarial*, 12(2), 117-126. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/diem/v12n2/v12n2a10.pdf>
- González, L., Tapia, M., Hernández, D., y Luna, A. (2016). Factores críticos de éxito en la mejora de la calidad de la industria manufacturera en el municipio de Celaya. *Pistas Educativas*, 38(121), 99-116. Recuperado de <http://www.itcelaya.edu.mx/ojs/index.php/pistas/article/view/506/581>
- Guerrero, M. (2017). Los estilos de liderazgo en empresarias ecuatorianas y su influencia en el desempeño de sus colaboradores. *INNOVA Research Journal*, 2(1), 151-161. doi:10.33890/innova.v2.n2.2017.178
- Hitt, M.; Ireland, R., y Hoskisson, R. (2015) *Administración estratégica. Competitividad y globalización: conceptos y casos*. Cengage Learning.
- Leonard, D. (2010). The characteristics of quality leadership. *ASQ Quality Management Division Conference, Improvements Through People, Processes and Performance*.
- León, G. E., Marulanda, N., y González, H. (2017). Factores clave de éxito en la implementación de *lean manufacturing* en algunas empresas con sede en Colombia. *Tendencias*, 18(1), 85-100. doi:10.22267/rtend.171801.66

- Lezama, M., Cruz, M., y Pico, B. (2015). El liderazgo estratégico moderno y el mejoramiento del desempeño del capital humano. *Red Internacional de Investigadores en Competitividad Memoria del IX Congreso*, 9(1), 242-261. Recuperado de <https://www.riico.net/index.php/riico/article/view/15/15>
- López Martínez, E. (2013). *La importancia del liderazgo en las organizaciones* (trabajo final de grado para Diplomatura en Ciencias Empresariales). Universidad Autónoma de Barcelona, Barcelona, España. Recuperado de https://ddd.uab.cat/pub/tfg/2013/110463/TFG_elopezmartinez.pdf
- Luna, J. (2012). *Influencia del capital humano para la competitividad de las pymes en el sector manufacturero de Celaya, Guanajuato* (tesis de doctorado inédita). Universidad de Celaya, Celaya, México.
- Montañez Moya, G. (2015). Hacia el perfil del liderazgo responsable empresarial. *Revista Iberoamericana de Contaduría, Economía y Administración*, 4(7), 136-148. Recuperado de <http://www.ricea.org.mx/index.php/ricea/article/view/44/129>
- Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos y el Banco de Desarrollo de América Latina (2019). *América Latina y el Caribe 2019. Políticas para pymes competitivas en la Alianza del Pacífico y países participantes de América del Sur*. <https://doi.org/10.1787/60745031-es>
- Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos y la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (2012). *Perspectivas Económicas de América Latina 2013: Políticas de pymes para el Cambio Estructural*. <http://dx.doi.org/10.1787/leo-2013-es>
- Palacios Blanco, J. (2006). *Administración de la calidad* (1.ª ed.). Editorial Trillas.
- Pedraza, N.A., Lavín, J., Delgado, G., y Bernal, I. (2014). Prácticas de liderazgo en empresas comerciales en Tamaulipas (México). *Revista Facultad de Ciencias Económicas: Investigación y Reflexión*, 23(1), 251-265. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=90933063014>
- Pertúz, F. (2018). Liderazgo transformacional en empresas sociales desde la perspectiva ética de la responsabilidad social empresarial. *Telos*, 20(2), 377-400. Recuperado de <http://ojs.urbe.edu/index.php/telos/article/view/2736/2567>
- Quintero, P., Álvarez, C., Calderón, G., y Granada, K. (2011). El director como líder creativo. *Revista Ad-Minister*, 19, 67-81. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/3223/322327250004.pdf>
- Ramseook-Munhurrún, P., Munhurrún, V., y Panchoo, A. (2011) Total quality management adoption in a public hospital: evidence from mauritius. *Global Journal of*

Business Research, 5(3), 67-77. Recuperado de <https://econpapers.repec.org/RePEc:ibf:gjbres:v:5:y:2011:i:3:p:67-77>

- Rougan, D. (2015). A study on TQM Development, performance, and sustenance in service industries through effective communication, critical success factors and market orientation. *IOSR Journal of Business and Management (IOSR-JBM)*, 17(1), 1-12. Recuperado de www.iosrjournals.org
- Santamaría Peraza, R. (2017). Factores de calidad determinantes del éxito empresarial en las pymes, aproximación del estado del arte. *Ingeniería Industrial: Actualidad y Nuevas Tendencias*, 5(19), 105-118. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/2150/215055006008.pdf>
- Schniederjans, M., Mellat, M., Nabavi, M., Subba, S., y Raghu-Nathan, T. (2018). Comparative analysis of Malcolm Baldrige National Quality Award Criteria: an empirical study of India, Mexico, and the United States. *Quality Management Journal*, 13(4), 7-21. doi:10.1080/10686967.2006.11918569
- Sistema Económico Latinoamericano y del Caribe. (2010). Visión prospectiva de las pequeñas y medianas empresas (pymes). Repuestas ante un futuro complejo y competitivo. Recuperado de <http://iberpyme.sela.org/aDocs/VisionprospectivaPYMES.pdf>
- Spears, L. (2010). Character and servant leadership: ten characteristics of effective, caring leaders. *The Journal of Virtues & Leadership*, 1(1), 25-30. Recuperado de https://www.regent.edu/acad/global/publications/jvl/vol1_iss1/Spears_Final.pdf
- Talib, H., Ali, K., e Idris, F. (2013). Quality management framework for the SME's food processing industry in Malaysia. *International Food Research Journal*, 20(1), 147-164. Recuperado de [http://www.ifrj.upm.edu.my/20%20\(01\)%202013/21%20IFRJ%2020%20\(01\)%202013%20Hayati%20\(040\).pdf](http://www.ifrj.upm.edu.my/20%20(01)%202013/21%20IFRJ%2020%20(01)%202013%20Hayati%20(040).pdf)
- Union of Japanese Scientists and Engineers (s. f.) *Deming Prize*. Recuperado de http://www.juse.or.jp/deming_en/
- Wanjiru, L. y Kilika, J. (2016). Firm resources, core competencies and sustainable competitive advantage: an integrative theoretical framework. *Journal of Management and Strategy*, 7(1), 98-108. doi:10.5430/jms.v7n1p98

MEJORA DE PROCESOS PARA MITIGAR EL IMPACTO AMBIENTAL EN UNA LAVANDERÍA INDUSTRIAL

WALTER MONTOYA*

Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú

Recibido: 17 de febrero del 2020 / Aprobado: 24 de abril del 2020

doi: 10.26439/ing.ind2020.n038.4816

RESUMEN: Hoy en día no basta con disminuir los costos o incrementar la productividad, también es necesario enfocar las mejoras de los procesos en mitigar el impacto ambiental generado. Por ello, se analizó la situación actual de una lavandería industrial llamada WALU, empleando como metodología de diagnóstico la matriz de identificación de riesgos ambientales para proponer mejoras que mitiguen y eliminen el impacto ambiental, consiguiendo cambiar el modelo de negocio a uno sostenible.

Palabras clave: lavandería industrial / proceso de mejora continua / análisis del impacto ambiental

PROCESS IMPROVEMENT FOR ENVIRONMENTAL IMPACT MITIGATION IN AN INDUSTRIAL LAUNDRY

ABSTRACT: Nowadays it is not enough to reduce costs or increase productivity; it is also necessary to focus process improvements on mitigating the environmental impact. For this reason, the current situation of the WALU industrial laundry was analyzed using the environmental risk identification matrix as diagnostic methodology to propose improvements that mitigate and eliminate the environmental impact, changing the business model to a sustainable one.

Keywords: industrial laundry / continuous improvement process / environmental impact analysis

* montoya.wm@pucp.pe

1. INTRODUCCIÓN

El cambio climático es uno de los grandes problemas en la actualidad con efectos en los índices macroeconómicos, por ejemplo, en la disminución del PBI o en el incremento de la pobreza; afectando, principalmente, a países que poseen una gran variedad de ecosistemas, como es el caso del Perú, donde las pérdidas proyectadas por el cambio climático, para el año 2025, podrían ser de unos 9 906 millones de dólares (Cueva, 2014), por lo que debe ser tenido en cuenta.

Este tipo de impacto de carácter ambiental ha traído como consecuencia la necesidad de estar alineados con nuevas regulaciones estatales que consideran el cuidado del medio ambiente y exigen que se busquen mejoras que ayuden a mitigar el impacto ambiental que generan las empresas para que se pueda vivir en un ambiente saludable y equilibrado (Ley n.º 28611, Ley General del Ambiente, 2005).

Por ello, el presente artículo tiene como objetivo mejorar los procesos de una lavandería industrial, WALU, la cual ofrece diferentes servicios de lavado para prendas de vestir, tanto de tela *denim* y dril, enfocándose en aquellas mejoras que mitiguen el impacto ambiental.

2. METODOLOGÍA

La metodología a emplear es la matriz de identificación de riesgo ambiental (matriz IRA), con la cual se realizan diagnósticos sobre la situación actual de los procesos de las empresas, teniendo en cuenta todas las causas y efectos generados. La matriz IRA está basada en la norma NTP-ISO 14001:2015 (2015) y en la metodología de evaluación de aspectos ambientales de Chauvet, Bello, Barnes y Albarracín (2014).

En comparación con otras metodologías que evalúan el riesgo ambiental, la matriz IRA permite determinar el índice de riesgo ambiental considerando 4 factores: a) el alcance del efecto generado (el radio de acción), b) la frecuencia de la presencia del aspecto ambiental en el proceso, c) el control existente en el proceso; y d) la severidad o gravedad del efecto generado, es decir, la magnitud de las consecuencias.

La matriz IRA ordena los aspectos ambientales y los impactos ambientales por proceso. Entiéndase por *aspecto ambiental* toda causa o fuente que genere un efecto al que llamamos *impacto ambiental*. Por ejemplo, cuando se lava la ropa, se emplea agua y detergente; y como elemento de salida se observa efluentes de agua con detergente. Entonces, la causa o el aspecto ambiental sería la generación de efluentes de agua con detergente y esto trae, como consecuencia, el impacto ambiental de contaminación del agua.

3. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

WALU es el nombre ficticio de una empresa peruana del sector industrial-textil, especializada en lavados, teñidos y tratamientos de prendas de vestir de tela *denim* y dril. WALU inició sus actividades hace nueve años en el distrito de San Martín de Porres, en la ciudad de Lima, y actualmente es reconocida por la calidad en los servicios que ofrece no solo en Lima sino a lo largo del Perú (ciudades como Chiclayo, Trujillo y Piura). Tiene como cliente final a empresas del sector textil que poseen volúmenes de confección con lotes entre 500 y 1000 prendas de vestir. Actualmente, WALU maneja una producción mensual de 30 000 prendas de vestir tratadas entre los diferentes tipos de lavados que realiza.

4. RESULTADOS

En esta sección se presenta la evaluación de aspectos e impactos ambientales empleando la matriz IRA y las propuestas de mejora.

4.1 Procesos de la lavandería industrial

Los procesos que siguen las prendas de vestir comienzan con la recepción de las mismas. Estas son preparadas de acuerdo con las necesidades del cliente. Por ejemplo, en un lote de 300 prendas, si el cliente requiere 3 colores, se preparan 3 lotes de 100. En caso de que requieran algún arreglo manual, como cortes, estos se realizan, también, en el preparado.

Si el lavado lo requiere, pasan al proceso de focalizado, donde se aplican químicos para poder generar un efecto de blanqueado y desgaste en las prendas de vestir. Luego, se envían al proceso de lavado mediante la aplicación de diferentes químicos, agua y vapor, así, mediante los diferentes enjuagues se consigue el efecto deseado, como el teñido. Para extraer el agua de las prendas de vestir, pasan por el proceso de centrifugado, y para secarlas son transportadas al proceso de secado.

Finalmente, son planchadas y empaquetadas. El último proceso es una inspección visual, en caso de que una prenda de vestir tenga un defecto, un color distinto o un corte, es separada del lote.

A modo de resumen en la figura 1 se muestra el diagrama de flujo de los procesos anteriormente descritos.

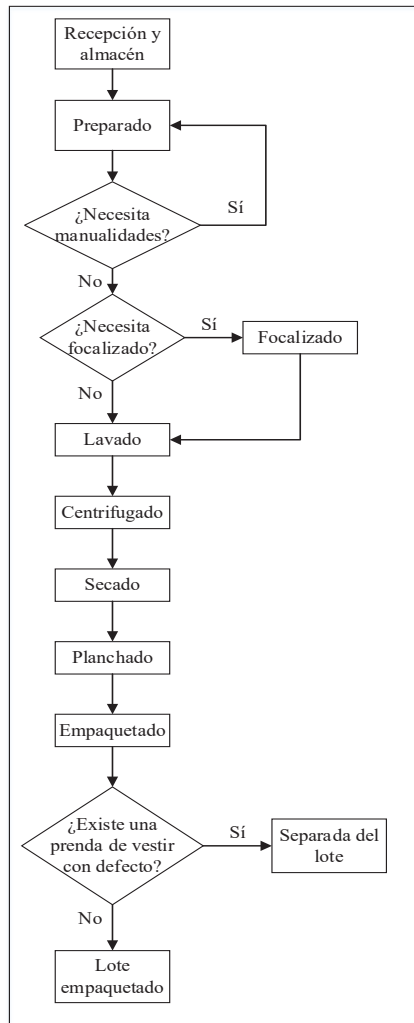


Figura 1. Diagrama de flujo de los procesos
Elaboración propia

4.2 Identificación y evaluación de los aspectos e impactos ambientales

Para poder identificar los aspectos e impactos ambientales, se emplea la matriz IRA. En la tabla 1 se muestran los elementos de entrada y de salida de cada actividad; también se identifican los aspectos e impactos ambientales de cada uno de estos procesos. La tabla 2 contiene la evaluación de cada uno de estos impactos, demostrando así cuales son significativos, aquellos con mayores efectos de relevancia. Cabe resaltar que las actividades están ordenadas de acuerdo con el flujograma de la figura 1.

Tabla 1
Diagnóstico con la matriz IRA

MATRIZ IRA						
Proceso	ENTRADAS			SALIDAS		
	Elementos	Aspectos ambientales	Impactos ambientales	Elementos	Aspectos ambientales	Impactos ambientales
Preparado	Útiles de oficina	Consumo de recursos	Agotamiento de recursos	Restos de útiles de oficina	Generación de residuos sólidos no peligrosos	Contaminación del suelo
	Tiza			Restos de tiza		
	Hilos			Restos de hilos		
	Balines			Restos de balines		
Focalizado	Ácido acético	Consumo de insumos químicos	Agotamiento de insumos químicos	Gases tóxicos	Generación de gases tóxicos	Contaminación del aire
	Permanganato					Riesgos para la salud humana
Lavado	Energía eléctrica	Consumo de energía eléctrica	Agotamiento de recursos naturales no renovables	Ruido	Generación de ruido	Contaminación acústica
	Vapor	Consumo de agua	Agotamiento de recursos naturales renovables	Vapor	Generación de vapor	Riesgos para la salud humana
	Agua			Vertido de aguas contaminadas	Generación de efluentes	Contaminación del agua
	Agua blanda	Químicos	Consumo de insumos químicos	Agotamiento de insumos	Agua con químicos	
Centrifugado	Energía eléctrica	Consumo de energía eléctrica	Agotamiento de recursos naturales no renovables	Ruido	Generación de ruido	Contaminación acústica
				Vertidos de aguas contaminadas	Generación de efluentes	Contaminación del agua

(continúa)

(continuación)

Secado	Resinas Siliconas Energía eléctrica	Consumo de insumos químicos Consumo de energía eléctrica	Agotamiento de insumos químicos Agotamiento de recursos naturales no renovables	Emissiones con fibras textiles (pelusa) Ruido Desechos sólidos no peligrosos (pelu-sa, hilos)	Generación de emisiones con material particulado Generación de ruido Generación de residuos sólidos no peligrosos	Contaminación del aire Contaminación acústica Contaminación del suelo
Planchado	Vapor empleado Aire del compresor Energía eléctrica Agua Envases de plástico	Consumo del recurso natural Consumo de energía eléctrica Consumo del recurso natural Consumo de recursos naturales no renovables	Agotamiento del recurso natural Agotamiento de recursos naturales no renovables	Ruido Emissiones Ruido Envases de plásticos empleados Desechos sólidos no peligrosos (pelu-sa, hilos)	Generación de ruido Generación de emisiones con altas temperaturas Generación de ruido Generación de residuos sólidos no peligrosos	Contaminación acústica Contaminación del aire Contaminación acústica Contaminación del suelo
Empaquetado e inspección	Rafias Bolsas Tijeras Etiquetas	Consumo de recursos	Agotamiento de recursos	Desechos sólidos no peligrosos (pelu-sa, hilos)	Generación de residuos sólidos no peligrosos	Contaminación del suelo

Elaboración propia

Tabla 2
Evaluación con la matriz IRA

Proceso	Matriz IRA				Impacto	Situación		Evaluación de riesgo ambiental						Significativo (Si/No)
	Entrada	Salida	Aspecto	Salida		Rutinario	No Rutinario	AL	IF	IC	IS	IRA		
Preparado	Útiles de oficina	Restos de útiles de oficina	Consumo de recursos		Agotamiento de recursos	x		3	5	3	2	22	NO	
	Tizas	Restos de tizas												
	Hilos y balines	Restos de hilos y balines	Generación de desechos no peligrosos		Contaminación del suelo	x		4	5	3	2	24	NO	
Focalizado	Ácido acético	Gases tóxicos	Consumo de insumos químicos		Agotamiento de insumos químicos	x		3	5	3	2	22	NO	
	Permanganato de potasio		Consumo de energía		Agotamiento de recursos no renovables	x		3	5	3	2	22	NO	
	Aire del compresor		Generación de emisiones		Contaminación del aire	x		4	5	3	4	48	Sí	
	Energía eléctrica del compresor	Ruido	Generación de ruido		Contaminación acústica	x		3	5	3	2	22	NO	

(continúa)

(continuación)

Lavado	Energía eléctrica	Vapor	Consumo de energía eléctrica	Agotamiento de recursos no renovables	x	3	5	3	2	22	NO
	Vapor	Ruido	Generación de ruido	Contaminación acústica	x	3	5	3	2	22	NO
	Agua y agua blanda	Aguas contaminadas	Consumo de agua	Agotamiento de recursos naturales renovables	x	4	5	3	4	48	SÍ
	Químicos	Agua con químicos	Consumo de insu- mos químicos	Agotamiento de in- sumos químicos	x	3	5	3	2	22	NO
			Generación de efluentes	Contaminación del agua	x	4	5	3	4	48	SÍ
Preparado	Útiles de oficina	Restos de útiles de oficina	Consumo de recursos	Agotamiento de recursos	x	3	5	3	2	22	NO
	Tizas	Restos de tizas									
	Hilos y balines	Restos de hilos y balines	Generación de desechos no peligrosos	Contaminación del suelo	x	4	5	3	2	24	NO

(continúa)

(continuación)

Focalizado	Ácido acético	Gases tóxicos	Consumo de insu- mos químicos	Agotamiento de in- sumos químicos	x	3	5	3	2	22	NO
	Permanganato de potasio		Consumo de energía	Agotamiento de recursos no renovables	x	3	5	3	2	22	NO
	Aire del compresor		Generación de emisiones	Contaminación del aire	x	4	5	3	4	48	Sí
	Energía eléctrica del compresor	Ruido	Generación de ruido	Contaminación acústica	x	3	5	3	2	22	NO
Lavado	Energía eléctrica	Vapor	Consumo de energía eléctrica	Agotamiento de recursos no renovables	x	3	5	3	2	22	NO
	Vapor	Ruido	Generación de ruido	Contaminación acústica	x	3	5	3	2	22	NO
	Agua y agua blanda	Aguas contaminadas	Consumo de agua	Agotamiento de recursos naturales renovables	x	4	5	3	4	48	Sí
	Químicos	Agua con químicos	Consumo de insu- mos químicos	Agotamiento de in- sumos químicos	x	3	5	3	2	22	NO
			Generación de efluentes	Contaminación del agua	x	4	5	3	4	48	Sí
Empaquetado e inspección	Tijeras	Restos de bolsas, rafia y etiquetas	Consumo de recursos	Agotamientos de recursos	x	3	5	3	2	22	NO
	Bolsas, rafia y etiquetas		Generación de dese- chos no peligrosos	Contaminación del suelo	x	3	5	3	2	22	NO
Elaboración propia											

Se puede observar que la empresa genera diferentes impactos ambientales a lo largo de los procesos que realiza. Además, son significativos, pues poseen un valor del indicador IRA mayor a 33.

Los impactos ambientales más relevantes son: la generación de los gases tóxicos generados en el proceso de focalizado, la generación de efluentes con químicos empleados en los procesos de lavado, la emisión de aire con material particulado del proceso de secado y el consumo de agua en los reprocesos en la operación de lavado.

Estos impactos se deben, principalmente, a una falta de políticas; por ejemplo, existe una falta de control de los efluentes generados, que trae como consecuencia la contaminación del agua y problemas con entidades estatales como Sedapal.

A continuación, se agrupa y se detalla el impacto ambiental según el agente que contamina para un mejor entendimiento del mismo:

- **Generación de emisiones**

Respecto al proceso de focalizado, los problemas a resolver son los gases generados. Estos gases son expulsados libremente en la fábrica. Por otro lado, en el proceso de secado, existe una falta de filtros adecuados para retener la pelusa que se expulsa al medioambiente por las salidas de aire de las máquinas secadoras, ya que actualmente solo una parte de este aire con pelusa es direccionada al desagüe y otra termina en la fábrica misma; por ello, se necesita una renovación de las partes (filtros y canales de salidas), pues existen filtraciones.

- **Generación de efluentes**

Se requiere un control de los efluentes generados, ya que el volumen de agua que se vierte al desagüe es significativo y diario. Estos efluentes son una combinación de agua con detergentes, químicos de los lavados y, en ciertos casos, pelusa. Es decir, no se le realiza tratamiento alguno y, además, de contaminar el agua, estos deterioran la infraestructura del alcantarillado.

Además, existen otros impactos de menor significancia, pero constantes en diferentes procesos. Uno de estos es la generación del ruido que cuenta con un indicador IRA de 22, ya que el impacto es solo alrededor de la fábrica. Esto se debe a que las máquinas empleadas cuentan con cierta antigüedad (entre 8-10 años) y no son completamente automatizadas. Los cambios son manuales y los procesos que realizan generan ruido en la fábrica. Para solucionar este problema y evitar algún impacto en los operarios, se necesita emplear equipos de protección personal (EPP) como audífonos.

4.3 Propuestas de mejora

En esta sección se describen las propuestas de mejora para los aspectos ambientales significativos identificados, anteriormente, con las respectivas metas y ecoindicadores, tanto para la situación actual como para la mejorada. Asimismo, es necesario ejecutar solo aquel conjunto de mejoras que genere el mayor beneficio; por ello, las mejoras propuestas para la empresa cumplen con los siguientes criterios:

- Produce un menor impacto ambiental en comparación con la situación actual
- No afecta al costo de producción actual
- No implica mayor efecto en otras áreas (impacto en la velocidad de producción)
- Genera un menor costo de mantenimiento
- No requiere personal extra
- Necesita una menor inversión inicial

4.3.1 Mejora para la operación de focalizado

El focalizado es una actividad ampliamente usada en la industria textil, ya que el efecto generado es aún parte de las tendencias de moda. Tiene como aspecto ambiental las emisiones con componentes tóxicos ($\text{CH}_3\text{COOH} + \text{KOH} + \text{MNO}_2$) que traen como impacto ambiental la contaminación del aire, afectando a la salud humana. Por ello, se establece como meta evitar la contaminación del aire por parte del proceso de focalizado.

La solución que emplean las lavanderías industriales es el uso de maquinarias con tecnología láser, que generan el mismo efecto, pero haciendo uso solo de energía eléctrica como elemento de entrada para el funcionamiento de la máquina; como elemento de salida, luego de haber realizado el proceso, se genera vapor de la tela que ha sido desgastada. No se aplica químico alguno y los procedimientos tienen que ser prediseñados para evitar cualquier accidente como las quemaduras. El problema con esta tecnología es la inversión inicial de la maquinaria y de la infraestructura que se necesita. Sin embargo, aplicándola, se eliminaría por completo el impacto ambiental generado por el proceso de focalizado y se evitaría la compra de insumos tóxicos.

Para poder evaluar si el impacto ambiental del proceso es mitigado, se proponen los siguientes ecoindicadores:

- Kilogramo de permanganato de potasio al mes
- Kilogramo de ácido acético al mes

Esto con el fin de poder analizar la cantidad de químicos empleados de acuerdo con el nivel de producción. Además, con la aplicación de esta mejora se pronostica el escenario mostrado en la tabla 3.

Sin embargo, mientras aún se conserve el actual método de trabajo para la operación de focalizado, se recomienda adquirir insumos con mejor calidad, de manera que se emplee solamente lo necesario y así evitar la generación de gases tóxicos innecesarios.

Tabla 3
Situación actual y mejorada del proceso de focalizado

Propuesta	Implementación de una máquina láser
Situación actual de los ecoindicadores	1. Kilogramo de permanganato de potasio al mes: 80 2. Kilogramo ácido acético al mes: 70
Situación mejorada de los ecoindicadores	1. Kilogramo de permanganato de potasio al mes: 0 2. Kilogramo ácido acético al mes: 0

Elaboración propia

4.3.2 Mejoras para la operación de secado

Actualmente, los equipos del proceso de secado no son los más eficientes, ya que generan un ambiente desordenado y lleno de material particulado, afectando directamente a la salud de los colaboradores; por ello, la meta es poder liberar aire purificado. El aspecto ambiental es la generación de emisiones con material particulado (pelusa), y el impacto ambiental es la contaminación del aire.

Para poder mejorar la situación, se presentan las siguientes mejoras.

Primero, las máquinas secadoras poseen filtros y radiadores. Actualmente, no existen procedimientos predefinidos para su mantenimiento. Por lo que se propone, a modo de política, una frecuencia semanal de limpieza para los filtros de aire y una mensual para los radiadores, de manera que se asegure el óptimo estado de los mismos. Vale resaltar que el operario debe emplear los EPP correspondientes (mascarilla y lentes) para evitar cualquier accidente.

Luego, se propone reemplazar los canales de salida de aire, que actualmente son ductos con material de plástico, por ductos de lata cromada. De manera que se evita tener alguna fuga de aire para así direccionar completamente el flujo hacia el exterior y evitar cualquier filtración o incidente.

Implementando las dos medidas anteriores, se puede afirmar que el impacto de las máquinas secadoras es el mínimo, ya que solo emitiría aire y la pelusa sería retenida. Con la aplicación de esta mejora se pronostica el escenario mostrado en la tabla 4.

Por ello, se propone, a modo de política, verificar la limpieza del aire mediante una prueba de concentración del material particulado ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), así poder evaluar si el impacto ambiental del proceso es menor.

Tabla 4
Situación actual y mejorada del proceso de secado

Propuesta	Implementación de ductos de aire de metal y limpieza de filtros
Situación actual de los ecoindicadores	1. Concentración del material particulado ($\mu\text{g}/\text{m}^3$): 0,5
Situación mejorada de los ecoindicadores	1. Concentración del material particulado ($\mu\text{g}/\text{m}^3$): 0

Elaboración propia

4.3.3 Mejora para la operación de lavado

El proceso de lavado es la operación que emplea la mayor cantidad de recursos; especialmente, el agua, ya que esta es la materia prima para los diferentes enjuagues. Tiene como aspecto ambiental el consumo de agua (entre 2500-3200 litros semanales) y como impacto ambiental el agotamiento del recurso hídrico. Por ello, se tiene que establecer como meta ser eficientes en el empleo del agua.

Actualmente no se visualiza deterioro en tuberías ni en llaves que proveen de agua blanda a las máquinas lavadoras; por ello, se necesita proponer una política de mantenimiento mensual para poder mantener el estado óptimo de la infraestructura, con el fin de evitar cualquier fuga de agua. Esta inspección se puede realizar de manera visual y es una propuesta de mejora a modo de mantenimiento preventivo.

Por otro lado, la existencia de reprocesos no solo genera un empleo adicional de químicos y de energía eléctrica, sino también de agua blanda, por lo que se propone un cuidado especial en los procesos de lavado y centrifugado. La mayoría de dichos reprocesos suceden cuando las prendas se "betan"; es decir, se destiñen entre sí porque no fueron conducidas al proceso de secado, luego de haber sido centrifugadas. Por lo que debe designarse un operario para que asegure de que ningún lote se llegue a *betar*, al tiempo deben capacitarse los demás operarios sobre las consecuencias de los reprocesos y así evitarlos en su totalidad.

Para evaluar si se ha mitigado el impacto ambiental, se proponen los siguientes ecoindicadores.

- Litros de agua blanda/kilogramos de prendas de vestir
- Cantidad de reprocesos al mes

Con el fin de analizar la cantidad de agua blanda empleada por la cantidad de prendas de vestir a un determinado nivel de producción y el número de reprocesos. Con la aplicación de esta mejora se pronostica el escenario mostrado en la tabla 5.

Tabla 5
Situación actual y mejorada del proceso de lavado

Propuesta	Designar un personal especializado y capacitar a los operarios
Situación actual de los ecoindicadores	1. Litros de agua/kilogramos de prendas de vestir: 2 2. Cantidad de reprocesos al mes: 5
Situación mejorada de los ecoindicadores	1. Litros de agua/kilogramos de prendas de vestir: 1,5 2. Cantidad de reprocesos al mes: 0

Elaboración propia

4.3.4 Mejora para la operación de lavado y centrifugado

Tanto el proceso de lavado como el de centrifugado, tienen como principal elemento de salida los efluentes con los distintos químicos empleados para el teñido de las prendas de vestir. Estos efluentes tienen que ser tratados antes de ser vertidos al desagüe. Se tiene como aspecto ambiental la generación de efluentes con alto nivel de pH, de demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y de demanda química de oxígeno (DQO); y como impacto ambiental la contaminación del agua. Por ello, se tiene como meta reducir la presencia de químicos en los efluentes y alinearse a los valores máximos admisibles (VMA) para descargas de aguas residuales no domésticas.

En la actualidad no se monitorea ningún indicador de los efluentes. Por ello se propone una política para la toma de los indicadores con frecuencia semanal. Estos indicadores se deben analizar según los estándares propuestos para los VMA para efluentes no domésticos (Decreto Supremo n.º 021-2009-VIVIENDA, 2009). Además, debe designarse a un operario especial y capacitarlo correctamente; también, considerar que el operario debe emplear los EPP correspondientes, como guantes y lentes, y poseer las herramientas debidamente calibradas para la toma de muestras y la evaluación de las mismas.

Se tienen que medir los principales indicadores (Monllor, Sanz, Vicente y Bonet, 2013):

- El DQO, que debe tener un valor máximo de 1000 mg/L (MVCS, 2009)
- El DBO, que debe tener un valor máximo de 500 mg/L (MVCS, 2009)
- El nivel de pH, que debe estar entre un rango de 6-9 (MVCS, 2009)

El indicador de DBO, actualmente, está estable, con un valor de 399,5 mg/L (Monllor *et al.*, 2013); sin embargo, es necesario realizarle un control por ser uno de los principales indicadores de los efluentes textiles (Monllor *et al.*, 2013).

Luego, para poder corregir los otros indicadores, se propone cambiar la infraestructura actual, como se muestra en la figura 2, a un sistema de tratamientos de aguas residuales, para eliminar los químicos y contaminantes presentes en los efluentes, como se muestra en la figura 3. A continuación, se explica el sistema propuesto.

Primero, se necesita una etapa de regulación de caudal. Por lo tanto, se propone colocar un pozo de unión de caudales. Luego, como un pretratamiento, se tiene que evitar la presencia de sólidos en los efluentes, en todo momento, ya que ellos pueden obstruir el alcantarillado generando inundaciones y afectando la infraestructura de la planta. La mayoría de estos sólidos son hilos y pelusas de las prendas de vestir. Por ello, en un segundo pozo, se sugiere la implementación de filtros que retengan todos los hilos y las pelusas existentes, para poder retener todo material sólido. Además, como política, realizar un chequeo diario de los filtros, para la limpieza y la verificación del estado óptimo de estos.

Luego, para el control de químicos, en especial de metales pesados, por medio de un filtro de carbón activo, con una capacidad de 20 m³/h, se pueden generar efluentes con menor presencia de estos (DeJohn y Hutchins, 1976), de manera que estén dentro del rango permitido de los VMA para efluentes no domésticos.

Para poder generar un ahorro, se propone instalar un filtro de osmosis con una capacidad de 6 m³/h, junto con un tanque de 25 m³ para la regularización del caudal. Así se reutilizaría el agua, y el ahorro representaría el 30 % de los efluentes generados. Luego, con el uso de este último filtro, el nivel de DBO y de DQO sería menor (Brandon, Johnson, Minturn y Porter, 1973).

Asimismo, se instalaría un tanque de 5 m³ para almacenar los residuos acuosos generados por los filtros de carbón activado y osmosis. Este estaría almacenado temporalmente hasta que una empresa operadora de residuos sólidos lo recoja. Entonces, para evaluar el estado del impacto ambiental se proponen los siguientes ecoindicadores.

- El DBO en mg/L
- El DQO en mg/L
- El nivel de pH

Con la aplicación de esta mejora se pronostica el escenario mostrado en la tabla 6.

Tabla 6
Situación actual y mejorada del proceso de lavado y centrifugado

Propuesta	Implementación de un sistema de tratamiento de aguas residuales
Situación actual de los ecoindicadores	1. DBO: 399,5 mg/L * 2. DQO: 1476 mg/L * 3. Nivel de pH: 6-11**
Situación mejorada de los ecoindicadores	1. DBO: < 399,5 mg/L 2. DQO: < 1000 mg/L 3. Nivel de pH: 6-9

* Valores extraídos del estudio de Monllor *et al.* (2013)

** Valores extraídos del estudio de Gómez Gallo (2008)

Elaboración propia

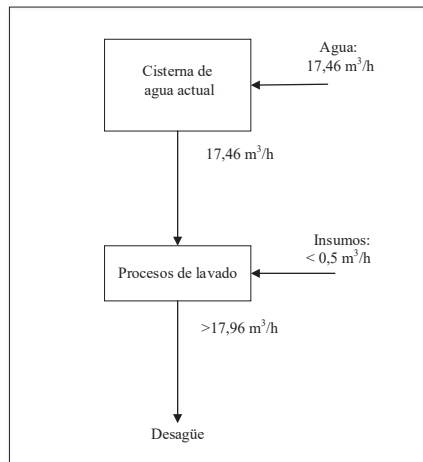


Figura 2. Sistema actual de los efluentes

Elaboración propia

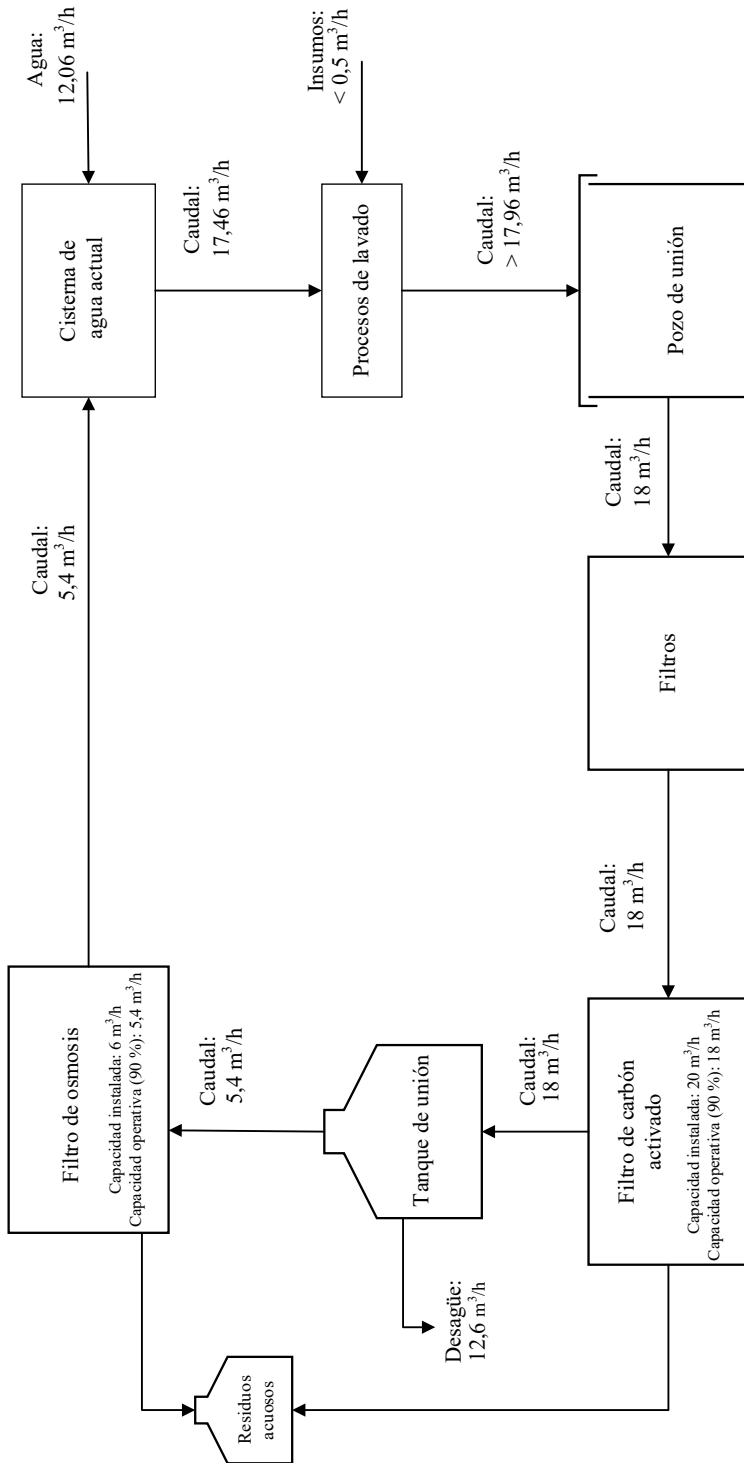


Figura 3. Sistema de tratamiento y reutilización de los efluentes
Elaboración propia

5. CONCLUSIONES

A continuación, se listan las conclusiones de las mejoras propuestas y de la metodología empleada.

- Gracias al empleo de la matriz IRA, se identificó que los aspectos e impactos ambientales generados por la empresa son diversos y significativos; ya que estos tienen diferentes niveles de impacto, pudiendo llegar a dañar, fuertemente, al medioambiente por emisiones de compuestos tóxicos y el empleo de químicos tóxicos.
- Se ha demostrado con la implementación de nuevas tecnologías, como el uso de máquinas láser, que puede eliminarse totalmente el impacto generado en el proceso de focalizado, ya que el ecoindicador del proceso tendría un valor de cero (0).
- En el proceso de secado, mejorando y manteniendo la infraestructura en buen estado, se mitiga el impacto en su totalidad.
- Gracias al sistema de tratamiento de efluentes, se puede mitigar el impacto generado en el proceso de lavado y centrifugado, cumplimiento con los indicadores de VMA para efluentes no domésticos.
- El tema de las capacitaciones y la concientización del personal es de mucha importancia, puesto que se mejora el indicador de reprocesos en la operación de lavado.
- Al implementar todas las mejoras propuestas, a pesar de conllevar una inversión, representaría menor impacto ambiental, mejorando así, de manera integral, el modelo de negocio actual de la empresa, llegando a ser un modelo de negocio sostenible.

REFERENCIAS

- Brandon C. A., Johnson, J. S., Minturn, R. E., y Porter, J. J. (1973). Complete reuse of textile dyeing wastes processed with dynamic membrane hyperfiltration. *Textile Chemist & Colorist*, 5(7), 35.
- Chauvet, S. B., Bello B. E., Barnes N., y Albarracín P. M. (2014). Evaluación de aspectos ambientales: una adaptación de un método de riesgos de accidentes. *Revista Argentina de Ingeniería*, 3, 69-75. Recuperado de <https://radi.org.ar/wp-content/uploads/2016/08/13-EVALUACION-ASPECTOS-AMBIENTALES.Secci+C2%A6n-Ingenier+C2%A1a-Sostenible.pdf>
- Cueva, F. D. (2014). Efectos del cambio climático en la economía, el comercio internacional y la estrategia empresarial. *Contabilidad y Negocios*, 9(18), 75-98. Recuperado de <http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/contabilidadynegocios/article/view/11613>

- Decreto Supremo n.º 021-2009-VIVIENDA. Aprueban valores máximos admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no doméstica en el sistema de alcantarillado sanitario. (20 de noviembre del 2009). Recuperado de http://www3.vivienda.gob.pe/direcciones/Documentos/DS_2009_021.pdf
- DeJohn, P., y Hutchins, R. (1976). Treatment of dye wastes with granular activated carbon. *Textile Chemist & Colorist*, 8(4).
- Dirección de Normalización (2015). Norma Técnica Peruana NTP-ISO 14001:2015. Instituto Nacional de Calidad.
- Gómez Gallo, M. E. (2008). Reutilización de las aguas de la planta de tintorería de hilazas en la industria Calcetines Crystal S. A. *Revista Producción + Limpia*, 3(2), 50-57.
- International Organization for Standardization. (2015). Norma Internacional ISO 14001.
- Ley n.º 28611. Ley General del Ambiente. (2005). Ministerio del Ambiente.
- Monllor, P., Sanz, J. F., Vicente, R., y Bonet, M. (2013). Reuse in exhaust dyeing processes of textile wastewaters. *Textile Technology Complete*, 14(1), 163-166.
- Montoya, W. M. (2019). *Propuesta de un sistema de gestión ambiental para una lavandería industrial bajo la norma ISO14001:2015* (tesis para optar el título profesional de ingeniero industrial). Pontificia Universidad Católica del Perú. Recuperado de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/15571>

**INGENIERÍA
DE NEGOCIOS**

Business Engineering

¿CÓMO GENERAR CRECIMIENTO RENTABLE EN PYMES DE INGENIERÍA? ANÁLISIS A TRAVÉS DE UN ESTUDIO DE CASO

MAURICIO MATHEY*

Universidad de Lima, Perú

Recibido: 30 de diciembre del 2019 / Aprobado: 13 de abril del 2020

doi: 10.26439/ing.ind2020.n038.4817

RESUMEN: Las pymes son una pieza fundamental en la economía del Perú, pues representan un gran porcentaje del empleo. Sin embargo, muchas de estas empresas tienen barreras para poder generar crecimiento de manera rentable y, por lo tanto, mejorar la calidad de vida de sus trabajadores y *stakeholders*. En este artículo se analiza cuáles son las acciones que una empresa mediana de ingeniería puede realizar para generar crecimiento de manera rentable. La metodología aplicada en esta investigación es un estudio de caso donde se han realizado análisis cuantitativos, así como cualitativos, para lograr un entendimiento integral de la empresa y su entorno competitivo. Como resultado de la investigación se plantean 4 acciones que, de ser aplicadas de manera conjunta, llevarían al crecimiento de la empresa.

Palabras clave: pequeñas y medianas empresas / crecimiento / finanzas / estudio de casos

HOW TO GENERATE PROFITABLE GROWTH IN ENGINEERING SMALL AND MEDIUM ENTERPRISES. A CASE STUDY ANALYSIS

ABSTRACT: Small and medium enterprises (SMEs) play a fundamental role in the Peruvian economy because they significantly contribute to job creation. However, many of these companies face challenges to generate profitable growth and, therefore, improve the quality of life of their workers and stakeholders. This article examines the actions that a medium-sized engineering company can take in order to generate

* mauricio.matheygr@gmail.com

profitable growth. The research used a quantitative and qualitative case study methodology to achieve a comprehensive understanding of the company and its competitive environment. As a result of the research, four actions are proposed, which would lead to a company's growth if they are jointly implemented.

Keywords: small and medium enterprises / growth / finance / case study

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Estudios previos de crecimiento en pequeñas y medianas empresas y su aporte a esta investigación

El crecimiento de pequeñas y medianas empresas es un fenómeno complejo estudiado ampliamente a partir de 3 puntos de vista, principalmente. El primero es a través de los factores que determinan el crecimiento. Aquí encontramos que el estilo de liderazgo del dueño es lo que impacta en el crecimiento del negocio; aquellos que se identifican como innovadores o generadores de cambio son los más exitosos en generar crecimiento en sus empresas (Blackburn, Wainwright y Hart, 2013). Por otro lado, el crecimiento no solo depende de las características del dueño, sino de las características intrínsecas de la empresa y del entorno en el cual opera (Machado, 2016). En línea con lo anterior, la disponibilidad de recursos que ofrece el entorno, en el cual opera la empresa, es fundamental para generar crecimiento (Todd, Javalgi y Grossman, 2014). Bajo este mismo punto de vista, otra investigación determinó que una empresa puede adoptar 4 avenidas de crecimiento, en función al entorno y a la cantidad de recursos con los que cuente (Alemayehu y van Vuuren, 2017).

El segundo punto de vista es a través de las acciones que se tomen en favor a generar un mayor crecimiento. Aquí encontramos que la innovación de productos, procesos y sistemas de gestión conducen al crecimiento de la empresa (Maldonado-Guzman *et al.*, 2018). Por otro lado, otra investigación resalta que la principal fuente de crecimiento, en pequeñas y medianas empresas, es abrir nuevas operaciones en países en los que previamente no se operaba, pero dados los altos costos de capital que esta avenida de crecimiento necesita, la segunda mejor opción sería incrementar el conocimiento de marca (Wakkee y van der Veen, 2015).

La limitante de las investigaciones realizadas, bajo el primer o segundo punto de vista, es que no consideran posibles fallas en la ejecución de la estrategia de crecimiento. Es aquí donde el tercer punto de vista aparece para complementar los estudios existentes, el cual consiste en el estudio de casos de empresas que han logrado crecer, entendiendo cuál fue la estrategia que siguieron. De acuerdo con este punto de vista, el crecimiento de una empresa se da en 3 etapas (Hui-Hong y Tan, 2004). En una primera etapa se debe desarrollar una oferta amplia y especializada dentro de un ámbito acotado, una segunda etapa de transformación en la cual se debe empezar a invertir en actividades que típicamente una pequeña o mediana empresa no desarrolla, pero una gran empresa sí; por ejemplo, investigación. Y, finalmente, una tercera de diversificación, donde la empresa deberá expandir su portafolio de productos y buscar ampliar su base de clientes.

En el contexto del conocimiento que existe sobre cómo las pymes pueden generar crecimiento, esta investigación busca continuar su desarrollo complementándolo con

una nueva perspectiva enfocada en cómo las pymes de ingeniería, que operan en el Perú, pueden generar crecimiento rentable.

1.2 Relevancia de las pymes en general y las pymes de ingeniería en el Perú

De acuerdo con la Ley n.º 30056 (2013), las empresas pueden ser clasificadas en 3 grandes grupos según su nivel de facturación:

- Microempresa: ventas anuales de hasta 150 unidades impositivas tributarias (UIT)
- Pequeña empresa: ventas anuales superiores a 150 UIT y hasta 1700 UIT
- Mediana empresa: ventas anuales superiores a 1700 UIT y hasta 2300 UIT

Dentro de esta clasificación, se manejan dos grandes agrupaciones: a) las micro y pequeñas empresas, conocidas como mypes, y b) las pequeñas y medianas empresas, conocidas como pymes.

Las pymes emplean al 75 % de la población económicamente activa en el Perú (Pyme emplea al 75 % de la población económicamente activa del Perú, 21 de junio del 2018), jugando un rol fundamental en el desarrollo social y económico del país. Dentro de las pymes podemos encontrar a empresas de ingeniería, que además de contribuir de manera sustancial con el empleo, también impulsan y fomentan la formación de profesionales en ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas (STEM, por sus siglas en inglés). En otros países, como Estados Unidos, las carreras STEM han sido clave para su desarrollo, pues han generado nuevos descubrimientos y desarrollos tecnológicos, lo que le han permitido convertirse en una de las economías más competitivas del mundo (Committee on STEM education of the National Science & Technology Council, 2018). Por esto las pymes de ingeniería son clave fundamental para el desarrollo del Perú.

Muchas de estas pymes de ingeniería nacieron como mypes, y con el paso del tiempo y el esfuerzo de los emprendedores que las fundaron, lograron dar el salto a pymes. Muchas de estas estando más cerca a ser empresas medianas que pequeñas. Las micro y pequeñas empresas que han logrado dar este salto, han pasado por dos cambios de mentalidad muy marcados. El primero es dejar de pensar que la empresa no es atractiva para los universitarios. Es en este primer cambio de mentalidad donde se empiezan a incorporar a profesionales y que se empieza a generar crecimiento en ventas. El segundo cambio de mentalidad es cuando el dueño empieza a apoyarse en otros profesionales para tomar mejores decisiones, debido al nivel mayor de complejidad en los problemas que debe resolver. Aquí es donde empieza a recurrir a profesionales que complementan su perfil. Por lo general estos profesionales se convierten en asesores externos a la empresa, dado que esta todavía no está en capacidad de poder mantener un equipo con personas especializadas.

A pesar de que estos cambios de mentalidad son necesarios para que una empresa pueda llegar a convertirse en mediana, no son suficientes para que pueda continuar creciendo y dar el salto a una gran empresa. En este artículo se analizarán cuáles son las acciones que una de estas empresas puede realizar para continuar con el crecimiento rentable y sostenible y dar el salto en cuestión.

En el contexto de la doble importancia que tienen las pymes de ingeniería para el desarrollo del Perú (la generación de empleo y la promoción de trabajos STEM), este artículo presenta al mundo académico nuevas perspectivas sobre las cuales profundizar y a los empresarios un set de herramientas que pueden aplicar en sus empresas para generar crecimiento. En ambos casos, contribuyendo con el desarrollo del Perú y mejorando la calidad de vida de sus *stakeholders*.

1.3 Sobre la empresa en la que se realizó la investigación

La empresa analizada en la investigación es una empresa líder en su rubro, con un crecimiento en ventas importante a través de los años y con niveles constantes de rentabilidad saludables para el sector. Sin embargo, como toda empresa, presentaba algunos retos para continuar con el crecimiento rentable:

- Contaba con varias unidades a las cuales se les exigían los mismos niveles de rentabilidad, independientemente del nivel de competencia de cada una.
- Contaba con un modelo de negocio que, si bien le daba flexibilidad para poder adaptarse al ciclo económico, rápidamente, lo hacía a costa de la rentabilidad de la empresa.
- Contaba con un equipo en el área de operaciones consolidado; sin embargo, las funciones y decisiones estratégicas financieras, comerciales y de recursos humanos seguían dependiendo, en gran medida, de la gerencia general.
- Contaba con procesos definidos para la ejecución de los proyectos, lo cual aseguraba la calidad; sin embargo, la gestión por procesos no se había implementado en los procesos de *back office*.

A continuación, se presenta un análisis de causa raíz de los retos a los que se enfrentaba la empresa para poder generar crecimiento rentable y poder convertirse en una gran empresa.

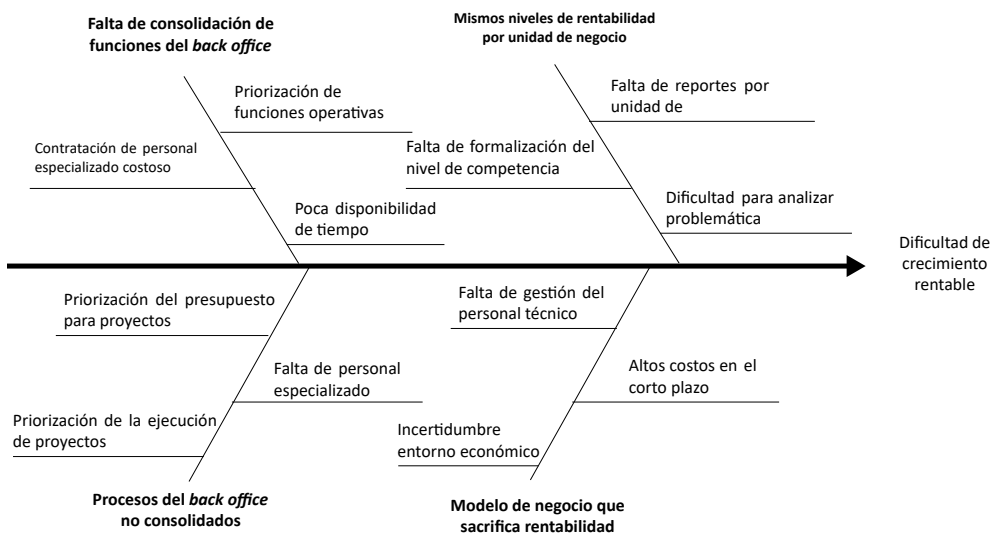


Figura 1. Análisis de causa raíz de los retos para generar crecimiento

Elaboración propia

2. METODOLOGÍA

2.1 Metodología de la investigación

La metodología utilizada en la investigación es un estudio de caso, aplicado a una pyme peruana de ingeniería. El objetivo de la investigación fue identificar las barreras que esta empresa presentaba para poder generar crecimiento de manera rentable y plan-tear acciones que le permitieran superarlas. En este estudio de caso fueron utilizados análisis cuantitativos, para generar un entendimiento de la situación actual de la empresa e identificar oportunidades de mejora, complementados por análisis cualitativos, que buscaban darles sentido a los hallazgos y validar hipótesis que no se podían validar con un análisis cuantitativo debido a falta de información.

Para lograr identificar las barreras que esta empresa presentaba, se realizó un análisis financiero, comercial, operativo y del entorno competitivo. Para la realización de estos análisis se obtuvo la información de 3 fuentes:

- a. Información interna provista por la empresa
 - Descripción del portafolio de soluciones
 - Presentaciones de estrategia y objetivos anuales

- Estructura organizacional y manual de funciones
 - Manual de procesos
 - Estado de pérdidas y ganancias abierto por unidad de negocio y subcuenta (información de 5 años)
 - Balance general abierto por subcuenta (información de 5 años)
 - Estructura de costos de acuerdo con su naturaleza (fijos o variables)
 - Ventas, por cliente, abiertas por número de proyectos y valor de venta de cada proyecto (información de 5 años)
 - Compras por proveedor clasificadas según proveedores de materiales o de mano de obra (información de 2 años)
- b. Información externa recopilada
- Estudios sectoriales
 - Bases con información de venta de las empresas en el Perú
 - Bases con información de exportaciones de las empresas en el Perú
 - Base de índice de precios al consumidor (IPC) en el Perú
 - Estudios de sueldos en el Perú
 - Tasas de financiamiento del mercado por tamaño de empresa
 - Estados financieros de empresas internacionales referentes para *benchmark* de desempeño financiero
- c. Entrevistas
- Entrevistas en profundidad con todo el personal de la empresa (12) para identificar fortalezas y debilidades desde un punto de vista de ejecución, así como sus principales funciones.
 - Entrevistas en profundidad con los principales clientes de la empresa para identificar fortalezas y debilidades, de la empresa en estudio; y principales competidores y la forma en que estos compiten.
 - Más de 20 entrevistas en profundidad con el dueño y gerente general de la empresa para lograr un entendimiento integral de la situación actual, sus fortalezas, sus debilidades, los planes de expansión, el entorno competitivo, las limitaciones, las principales funciones que realiza y el nivel de involucramiento en el resto de las áreas de la empresa.

Con la información recopilada, se realizaron los siguientes análisis que, finalmente, llevaron al planteamiento de 4 grandes acciones para poder generar crecimiento rentable:

- Análisis del entorno político, económico, social y tecnológico
- Análisis del entorno competitivo, utilizando las fuerzas de Porter
- Análisis de alineamiento de la misión y visión e impacto en el crecimiento
- Análisis de la estrategia de la empresa, en función a su modelo de negocio actual y propuesta de valor
- Análisis de la estructura organizacional y funciones
- Análisis del mercado objetivo de la empresa y propuesta de valor diferenciada
- Análisis del crecimiento del mercado en el que opera y modelo comercial de los principales competidores
- Análisis de la evolución de las ventas, en función al número de proyectos ejecutados y el precio promedio por proyecto
- Análisis de la evolución de las ventas por tamaño de proyecto
- Análisis de evolución de los precios por proyecto *versus* evolución del IPC
- Evolución de los volúmenes de ventas y márgenes por unidad de negocio
- Análisis cruzado de la cadena de valor, identificando las actividades que se realizan y las que se deberían realizar, pero actualmente no se hacen
- Análisis de comportamiento de compra a proveedores
- Análisis del modelo de negocio actual y estimación de ahorro por cambio a un modelo de negocio basado en técnicos propios
- Análisis financiero, horizontal y vertical, y comparación contra *benchmarks* internacionales de desempeño financiero
- Análisis de liquidez, eficiencia en el cobro y pago y rentabilidad
- Análisis de competitividad de las tasas de financiamiento *versus* el mercado
- Análisis de los costos fijos y variables, así como niveles de apalancamiento operativo y financiero
- Análisis del proceso de gestión humana (evaluaciones, capacitaciones, reclutamiento y clima)

2.2 Limitaciones y ámbito de acción

Las acciones, que serán descritas en este artículo, aplican, en primer lugar, para empresas que son formales. Esto debido a que es muy complicado crecer en ventas evadiendo

impuestos, no solo por el cuidado que se debería tener en lograr esto, sino por la dificultad de conseguir clientes importantes que operen bajo esta misma forma. Además, que conforme la empresa crezca, el posicionamiento que ganaría sería de una empresa informal.

Las otras características del tipo de empresas para las cuales aplican estos retos son presentadas en la siguiente matriz de formalidad en la gestión financiera *versus* el desarrollo comercial.

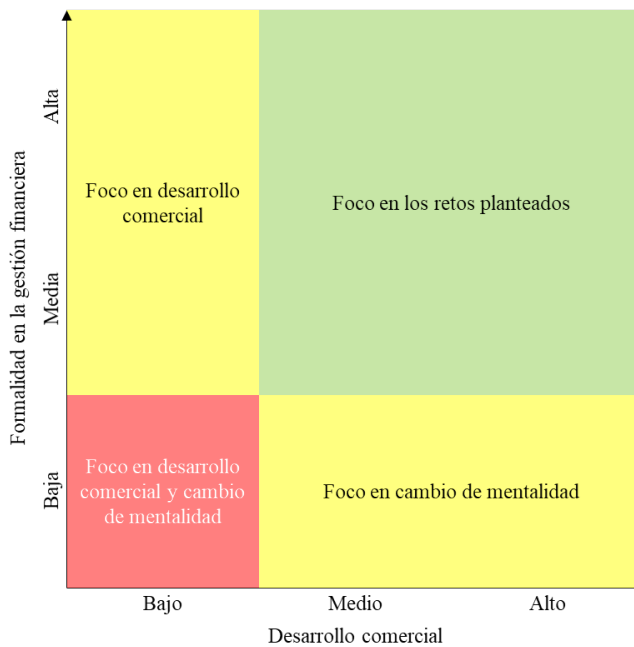


Figura 2. Matriz de formalidad en la gestión financiera *versus* el desarrollo comercial

Elaboración propia

El eje de formalidad, en la gestión financiera, se refiere a cómo la empresa es manejada a nivel financiero. En las pequeñas y medianas empresas es común, en la mentalidad y visión del dueño de la empresa, que el objetivo de esta sea generarle ingresos, por lo que el total de las utilidades se destinan a los gastos del dueño. Esto genera que la reinversión de utilidades sea nula e incluso, en muchos casos, se pone en riesgo la sostenibilidad de la empresa, pues la visión es de corto plazo. A continuación, se describen los niveles de desarrollo de este eje:

- Bajo: la mentalidad y visión del dueño está enfocada en que la empresa genera ingresos únicamente para él. No hay división entre empresa y accionistas. La empresa es la caja chica del dueño.
- Medio: el dueño cambia de mentalidad y es consciente de que es necesario hacer la división entre empresa y accionistas. Empieza a aparecer el concepto de pago de utilidades para poner orden en la forma en que se retira dinero de la empresa. Sin embargo, sigue sin existir una política clara de pago de dividendos.
- Alto: se ha hecho la separación entre empresa y accionistas; se cuenta con una política clara y que se respeta el pago de dividendos.

El eje de desarrollo comercial se refiere a que la empresa cuente con la capacidad de generar ingresos de manera recurrente y sostenida en el tiempo. A continuación, se describen los niveles de desarrollo de este eje:

- Bajo: la empresa no cuenta con una base de clientes recurrentes, es una empresa que recién está empezando o que no ha ganado clientes en el tiempo.
- Medio: la empresa cuenta con una base limitada de clientes que le permiten generar ingresos.
- Alto: la empresa cuenta con una amplia base de clientes recurrentes.

Dadas las características de las empresas para las cuales estas lecciones y retos son útiles, podríamos decir que son empresas *boutique*. Al depender de un solo socio, es común que tengan limitaciones para levantar capital y, por lo tanto, poder hacer grandes inyecciones que le permitan habilitar el crecimiento. Para hacer frente a este reto, una opción viable sería la venta de una parte de la empresa; sin embargo, este artículo se centrará en las prácticas de gestión que se pueden aplicar para incrementar los márgenes de la empresa e incrementar la capacidad operativa sin hacer grandes inversiones.

3. RESULTADOS

3.1 Entorno competitivo de las *boutiques* de ingeniería

Las *boutiques* de ingeniería muchas veces son consideradas dentro de las 10 000 empresas más grandes del Perú (Peru Top Publications, 2016) y son clasificadas como empresas medianas. Sin embargo, son pequeñas en comparación a la competencia que enfrentan. Esta competencia en promedio puede ser 10 veces más grande; en algunos casos, hasta 20 veces más.

Esta gran diferencia de los niveles de facturación y el tamaño, entre las *boutiques* y su competencia, genera las siguientes ventajas:

- Relación más cercana con los clientes: al tratarse de empresas más pequeñas, es más fácil que toda la empresa esté pensando en el cliente; incluso, que lo conozca, pues al haber menos gente en la empresa, se genera cierto nivel de polivalencia¹ en las funciones y, por lo tanto, las funciones del *front office* no están del todo separadas de las del *back office*. Hay casos en que la relación con el cliente, muchas veces, es llevada por el dueño de la empresa, lo que asegura que su visión y sus expectativas de servicio al cliente son la norma para todos los clientes.
- Mayor flexibilidad: las *boutiques* de ingeniería por lo general no operan bajo una visión por procesos, por lo que los flujos de aprobación tienden a ser más rápidos y menos burocráticos. Más aún si consideramos que es el dueño quien toma todas las decisiones y tiende a estar involucrado. Esto termina manifestándose en flexibilidad para el cliente.
- Mejores tiempos de respuesta: relacionado al punto anterior, estas empresas, al ser menos burocráticas que las más grandes, tienen mejores tiempos de respuesta.

Sin embargo, el menor tamaño también trae varias desventajas:

- Menor capacidad para generar economías de escala: es común que las *boutiques* de ingeniería tengan precios más altos que su competencia. Esto no solamente debido a mayores niveles de servicio, sino por el uso ineficiente de sus recursos dado el tamaño que tienen y a la falta de una visión por procesos en la operación.
- Menor poder de negociación con proveedores: al tratarse de pequeñas empresas, la importancia que tienen para sus proveedores tiende a ser menor, en comparación a las empresas más grandes. Esto hace que la competencia pueda conseguir los mismos materiales a mejores precios, lo que finalmente puede impactar en los precios de venta o en la rentabilidad.
- Menor capacidad financiera para ejecutar proyectos: las *boutiques* de ingeniería tienen limitaciones de capital para ejecutar proyectos más grandes. Esto debido a que típicamente los clientes piden cartas fianzas para dar adelantos, lo cual significa que las *boutiques* deben congelar parte de su capital de trabajo para poder acceder al adelanto. Esto no solamente incrementa los gastos financieros de este tipo de empresas, sino que muchas veces ponen un techo al tamaño de proyectos que pueden ejecutar, salvo que se negocien las condiciones con el cliente.

1 Término utilizado en el sector *retail* que hace referencia a que un mismo empleado puede cumplir varias funciones en diferentes momentos. Por ejemplo, un encargado de ordenar los anaqueles puede cumplir, al mismo tiempo, la función de cajero en las horas pico.

- Menor presupuesto para invertir: por la diferencia de tamaño que existe, estas empresas cuentan con presupuestos para invertir en capacitación, *marketing*, infraestructura, tecnología, inventarios, etc., bastante más limitados que su competencia, lo que limita el número de inversiones que pueden hacer al mismo tiempo.

En este contexto, se explorarán cuáles son aquellas acciones que una empresa *boutique* de ingeniería puede hacer para continuar con el crecimiento rentable.

3.2 Acciones para el crecimiento rentable

A partir de la investigación, se identificaron 4 acciones que una empresa, con las características descritas, podría aplicar, idealmente, de manera conjunta, para generar crecimiento de forma rentable.

3.2.1 Identificar oportunidades según roles de cada unidad de negocio

Las empresas, por lo general, tratan a todas sus unidades de negocio de la misma forma y les exigen a todas un mínimo de rentabilidad. Esto muchas veces se da sin considerar la naturaleza de cada negocio o el entorno competitivo, lo que resulta en que no se logra alcanzar el potencial de venta de ese negocio. Si bien esta decisión no es mala *per se*, lo que sí es negativo es no haber tomado la decisión de manera consciente, analizando los diferentes roles que podría tomar cada unidad de negocio.

Desde un punto de vista de margen *versus* ventas, pueden existir los roles dados en la figura 3.

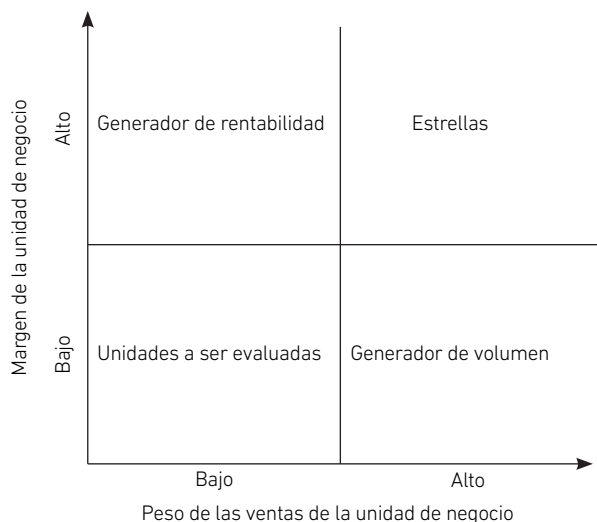


Figura 3. Matriz de margen versus peso de las ventas
Elaboración propia

Es importante resaltar que los términos “alto” y “bajo” son relativos a cada empresa, pues existen diferentes formas de definir los cortes. Una forma de hacerlo, y la que será utilizada más adelante, es calculando el promedio simple de cada uno de los ejes.

A continuación, se explica cada uno de los cuadrantes:

- **Generador de rentabilidad:** aquellas unidades de negocio que, a pesar de tener un aporte a las ventas menor al promedio, tienen un margen (bruto, operativo o EBITDA) superior al promedio.
- **Generador de volumen:** aquellas unidades de negocio que tienen un margen inferior al promedio, pero contribuyen a las ventas por encima del promedio.
- **Estrellas:** aquellas unidades de negocio que tienen márgenes y aportes a las ventas por encima del promedio.
- **Unidades a ser evaluadas:** aquellas unidades que tienen márgenes por debajo del promedio y un aporte a las ventas por debajo del promedio. Son en estas unidades donde pueden existir oportunidades para sacrificar volumen o margen y cambiarles el rol que juegan. En algunos casos, estas unidades podrían mantenerse en este cuadrante sin ningún cambio por tratarse de nuevos negocios que recién están empezando, porque cumplen un rol de generadores de imagen para la empresa o porque sirven como habilitadoras para otras unidades de negocio.

Veamos este concepto aplicado a la empresa en estudio. Por razones de confidencialidad no se muestran los márgenes, aporte a las ventas ni los nombres de las unidades de negocio.

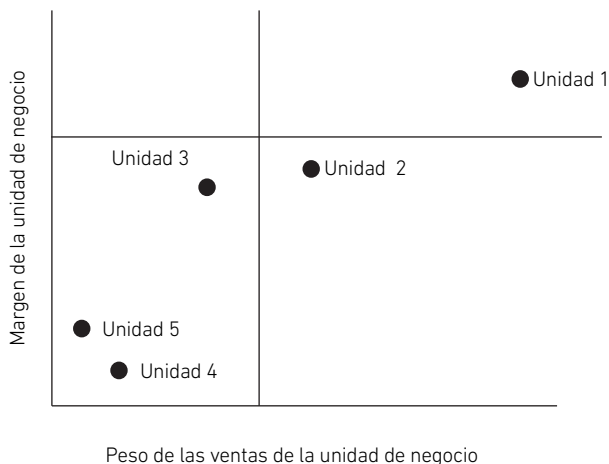


Figura 4. Matriz de margen versus peso de las ventas aplicada
Elaboración propia

A la matriz le analizamos el nivel de competencia por cada unidad de negocio utilizando el modelo de las 5 fuerzas de Porter.

Tabla 1
Nivel de competencia por unidad de negocio

Unidad de negocio	Nivel de competencia
Unidad 1	Bajo
Unidad 2	Alto
Unidad 3	Muy alto
Unidad 4	Muy alto
Unidad 5	Bajo

Elaboración propia

En el caso de las unidades de negocio 1, 2, 3 y 4, los niveles de márgenes están alineados al nivel de competencia que enfrentan, por lo que, a mayor competencia, menores márgenes. Sin embargo, vemos que las unidades 2 y 3 presentan márgenes cercanos al promedio. Durante la investigación realizada se identificó que es común de que, en estas dos unidades, de la empresa en estudio, tengan un ratio de cierre de proyectos inferior a la unidad 1. Este desempeño inferior en el ratio de cierre se debe a que los precios que mantiene son superiores a los de su competencia, por lo que es común que pierda proyectos por precio. Esto abre la posibilidad de tal vez sacrificar margen de manera consciente, en estas dos unidades de negocio, para incrementar las ventas y que se conviertan en unidades de negocio que generan volumen y permitan licuar los costos fijos de la empresa.

Si bien este análisis se ha basado en el nivel de competencia, márgenes y aporte a las ventas, una forma alternativa de realizarlo y validar su efectividad sería analizando la elasticidad-precio de cada una de las unidades de negocio.

Respecto a las unidades de negocio 4 y 5, la 4 es una unidad que no ha sido parte del *core* del negocio y ha sido ofrecida como servicio complementario a sus clientes; sin embargo, presenta grandes oportunidades a nivel de mercado. La 5 es una que cumple un rol de generador de imagen para la empresa y, además, representa un tipo de negocio en el cual recién se está incursionando.

3.2.2 Identificar ineficiencias en el modelo operativo

Algunas *boutiques* de ingeniería, en beneficio de la simplicidad en la operación y de la situación económica del momento, deciden modelos de negocio específicos que pueden ser los correctos, pero que a largo plazo, en caso no se vuelvan a evaluar, tienen un impacto negativo en la rentabilidad del negocio.

Por ejemplo, empresas de ingeniería inician operaciones con un grupo de técnicos propios, pero conforme van creciendo tienen que gestionar a un mayor número de personal técnico, para lo cual pasan a subcontratar al 100 % de este personal. Si bien esto trae consigo una gran ventaja, que es la capacidad de adaptarse al tamaño de la operación según la demanda de proyectos y así poder hacer frente a los ciclos económicos de la mejor forma, también trae consigo una gran desventaja, que es que debido a que el 100 % del costo de mano de obra, para la ejecución de los proyectos, es variable, no existen costos fijos que permitan generar economías de escala. Esto genera que el margen bruto de la empresa permanezca constante, a nivel porcentual, mientras se genera crecimiento y que el optimizarlo dependa, únicamente, de mejorar las condiciones con los proveedores.

La figura 5 presenta un gráfico en el cual se muestra la evolución del margen bruto de la empresa comparando los dos modelos de negocio.

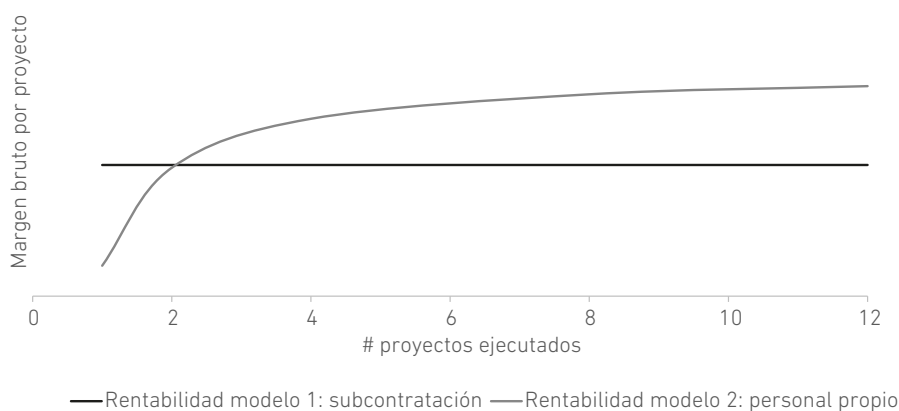


Figura 5. Comparación de márgenes por modelo de negocio

Elaboración propia

Si bien es cierto que cuando se tiene un único proyecto, el margen con el modelo de negocio de personal propio es inferior al de personal subcontratado, con 2 proyectos se igualan, y a partir del tercer proyecto en adelante, el margen bruto, a nivel porcentual,

empieza a mejorar. La lección es saber que es necesario entender cuál es la situación por la cual está pasando la empresa, pues en caso de tener un escenario de crecimiento y estar operando bajo un modelo de subcontratación, se estaría transfiriendo esa rentabilidad al subcontratista en vez de aprovecharla.

¿Esto quiere decir que cualquier empresa con perspectivas de crecimiento debe tener al 100 % de su mano de obra como propia? No necesariamente. El contar con una parte de la mano de obra tercerizada permite cubrir picos de demanda no previstos y cubrir ausencias no previstas en el personal propio, además de reducir el riesgo de sufrir una caída en el margen de la empresa, por lo que también es importante considerar el apetito de riesgo de la empresa al momento de tomar la decisión del modelo operativo a utilizar. La clave está en hacer una correcta planificación de demanda y, en función al apetito de riesgo, tomar una decisión de cuánto porcentaje de mano de obra será tercerizada.

3.2.3 Desarrollar capacidades en funciones clave para la empresa

En una empresa existen 4 grandes funciones:

- Comercial: búsqueda de nuevos clientes y venta de proyectos a clientes actuales
- Operaciones: diseño y ejecución de los proyectos, así como servicio posventa
- Finanzas: asegurar fondos para la ejecución de los proyectos y manejo de tesorería
- Recursos humanos: desarrollo de habilidades del personal de la empresa

Cuando recién empiezan estas empresas, muchas veces lo hacen como micro o pequeñas empresas, en donde las 4 funciones dependen del dueño o gerente general. Conforme crece, se incorporan nuevos profesionales. Lo que se ha observado es que estos profesionales tienden a cubrir posiciones en la función de operaciones y, eventualmente, se contrata a un jefe de operaciones, encargado de alinear el trabajo del área con los objetivos de la empresa y asegurar los niveles de calidad esperados por la gerencia. Debido a la presencia de este jefe, es que esta función o área suele ser la primera en reducir el nivel de dependencia que tiene de la gerencia y se vuelve sostenible, liberándole tiempo al gerente para que pueda destinarlo a funciones más estratégicas. Sin embargo, las otras 3 funciones suelen mantener un alto nivel de dependencia, lo que genera que exista una competencia por el tiempo del gerente general y se cree un círculo vicioso.

El gerente general tiene una cantidad de tiempo limitado y puede distribuirlo de diferentes maneras entre las 3 funciones que se tienen que realizar. Si bien en muchos casos existe personal que puede realizar funciones básicas en cada área, no se cuenta con un jefe que guíe el trabajo de cada función y lo alinee con los objetivos de la empresa,

situación que no ocurre en operaciones. Frente a esta situación, el gerente general tiende a poner foco en una de las 3 funciones:

Tabla 2
Focos de la gerencia, pros y contras

Foco	Pros	Contras
Comercial	Las ventas de la empresa crecen rápidamente. Se desarrollan alianzas con nuevos proveedores. Se potencia el posicionamiento en el mercado.	La gestión financiera de la empresa se descuida y se dificulta el conseguir los fondos para la ejecución de proyectos. El desarrollo del personal, en el resto de áreas, pasa a segundo plano y no se desarrollan nuevas habilidades para que puedan asumir más responsabilidades.
Finanzas	Se mantienen niveles de deuda saludables. Se logra optimizar el flujo de caja de la empresa. Se mantiene una buena relación con los bancos para facilitar el acceso a financiamientos de proyectos.	El crecimiento viene dado por los proyectos que los clientes recurrentes piden y no por una búsqueda activa de nuevos clientes y oportunidades. El desarrollo del personal, en el resto de áreas, pasa a segundo plano y no se desarrollan nuevas habilidades para que puedan asumir más responsabilidades.
Recursos humanos	Se cuenta con un plan de desarrollo para el personal basado en las brechas existentes de cada uno. Con el tiempo el personal está en capacidad de asumir nuevas funciones y mayores responsabilidades.	La gestión financiera de la empresa se descuida y se dificulta el conseguir los fondos para la ejecución de proyectos. El crecimiento viene dado por los proyectos que los clientes recurrentes piden y no por una búsqueda activa de nuevos clientes y oportunidades.

Elaboración propia

El gerente general tiende a poner foco en la función financiera o en la comercial, dado que ambas tienen un impacto directo, en el corto plazo, en la rentabilidad de la empresa. Recursos humanos también tiene un impacto directo, pero es más difícil de observar en el corto plazo. Es en esta situación que se genera el círculo vicioso, dado que el gerente suele dejar de lado recursos humanos, el personal no desarrolla nuevas capacidades y al no desarrollar nuevas capacidades y no asumir nuevas funciones, las funciones de finanzas y comercial dependen cada vez más del gerente.

Una manera de solucionar este círculo vicioso es incorporando nuevo personal a la empresa a alguna de estas funciones. A continuación, se explican las alternativas y principales funciones que se esperaría cumpla el colaborador al ser incorporado en cada función:

- Comercial: buscar nuevos clientes y proyectos de mediana envergadura, los proyectos grandes, por lo general, los continúa viendo el gerente general. Dadas las funciones de esta posición, podría ser una persona con un nivel medio de *seniority* que, con guía del gerente general, puede desarrollar las relaciones con los clientes y buscar nuevos proyectos. Podría ser una persona con un nivel de analista con 3 años de experiencia. Un candidato de estas características, en una mediana empresa, gana 6500 soles mensuales (Grupo DNA, 2019).
- Finanzas: llevar la tesorería de la empresa, asegurar los fondos para la ejecución de los proyectos, llevar la relación con los bancos, negociar con proveedores y clientes el pago y cobro. Dadas las funciones de esta posición y de la criticidad de las mismas, debería ser una persona con un nivel alto de *seniority* y tener el cargo de jefe. Un candidato de estas características, en una mediana empresa, gana 10 000 soles mensuales (Grupo DNA, 2019).
- Recursos humanos: desarrollar el plan de capacitación para cada uno de los colaboradores, identificar oportunidades para mejorar el clima en la organización. Dadas las funciones de esta posición, podría ser una persona con un nivel de *seniority* medio y trabajar bajo la guía del gerente general. Un candidato de estas características, en una mediana empresa, gana 5000 soles mensuales. (Grupo DNA, 2019).

El caso ideal sería contratar a 3 personas; sin embargo, estas empresas tienen limitaciones de capital, por lo que es un escenario irrealista. Partiendo del caso que se pueda contratar únicamente a una persona, ¿a quién se debería contratar?

La primera posición en ser descartada es la de recursos humanos. Si bien es una posición estratégica para el crecimiento de la empresa, las funciones que realizaría esta persona se podrían delegar en los jefes de la empresa. Por lo menos en un primer momento.

La decisión quedaría entre finanzas o comercial. Cubrir la posición de finanzas es 55 % más costoso que la posición comercial, además, la comercial permitiría incrementar los ingresos de la empresa. Es por estas dos razones que se plantea que el desarrollo de las nuevas capacidades, en este tipo de empresas, empiece por la función comercial.

Es importante resaltar que este análisis deberá ser aplicado a cada empresa, pues la realidad y el nivel de desarrollo de cada área o función puede ser diferente. Sin embargo, el aprendizaje debe basarse en entender cuáles son las áreas que dependen del gerente general y en función a su nivel de criticidad, considerando aspectos como operación, la facilidad de poder delegar las funciones a otras personas en la empresa y el costo de contratar a una persona para desempeñar esa función, determinar en qué áreas se desarrollarán de las nuevas capacidades.

3.2.4 Potenciar la gestión por procesos

Por lo general, cuando inicia una empresa el foco está en la generación de ventas y el orden en la operación es dejado de lado. Al inicio esto es necesario, pues son las ventas las que permiten cubrir los gastos que se generan. Sin embargo, dado que los procesos son la base estructural de la empresa y permiten ofrecer los servicios a los clientes (Zaratiegui, 1999) no pueden dejarse de lado durante el crecimiento de la empresa. Esto debido a que, si bien en un inicio la falta de gestión por proceso puede no ser un problema, porque la operación está bajo control por la escala que se maneja, sí puede representar un problema si el número de proyectos que se maneja se incrementa drásticamente, y es algo que se esperarí­a ocurra si la empresa busca crecer.

Para migrar de manera exitosa a una gestión por procesos es clave el apoyo de la gerencia, pues será necesario invertir recursos para lograrlo (tanto dinero como tiempo); también porque habrán ocasiones durante la implementación en las cuales se deberá priorizar la gestión por procesos sobre la agilidad comercial o flexibilidad para asegurar que se logre cambiar la forma de trabajo.

Parte de concientizar a la gerencia sobre la importancia de este cambio, es hacer notar cuáles podrí­an ser los posibles impactos de no hacerlo. A nivel operativo, se podrí­an generar los siguientes problemas:

- Errores en el pedido de materiales: conforme la empresa crece y se complejiza la operación, es cada vez más propensa a cometer errores en el pedido de materiales. Estos errores podrí­an ser de bajo impacto, como dejar de pedir materiales, o de gran impacto, como pedir los materiales equivocados y tener que hacer un doble gasto, lo que generaría que el margen esperado del proyecto sea menor.
- Errores durante la ejecución del proyecto: incrementar el número de proyectos implica que la cantidad de personal que se debe gestionar también aumenta y se vuelve más difícil estandarizar la calidad del trabajo de todos. De no contar con procesos establecidos, la probabilidad de cometer errores durante la ejecución aumenta y, por lo tanto, aumentan los reprocesos. Los reprocesos implican un mayor costo y como consecuencia que el margen esperado del proyecto sea menor.
- Mal dimensionamiento de los recursos requeridos: un mayor número de proyectos sin una metodología para dimensionar los recursos necesarios para la ejecución de los mismos, dentro de los tiempos previstos, puede implicar que se subestimen los recursos. Esto generaría un mayor costo y, por lo tanto, un menor margen debido a que si no se corrige no se estaría en capacidad de cumplir con las fechas de entrega pactadas con el cliente. Otra situación que se

podría dar es que se sobredimensionan los recursos requeridos, si bien esto no generaría mayores costos, sí podría ocasionar que se pierdan proyectos, debido a mayores precios, o perder la oportunidad de generar mayores márgenes.

- Se pierden oportunidades para identificar eficiencias: en línea con el punto anterior, a mayor escala sin procesos bien determinados, cada vez es más difícil identificar oportunidades para generar eficiencias durante la ejecución del proyecto.

Además de los problemas operativos mencionados, también se podrían generar los siguientes problemas a nivel estratégico:

- Se pierde la visión general del estatus de los proyectos de la empresa: la gerencia necesita una visión clara de los proyectos que se están ejecutando en la empresa para poder hacer un adecuado planeamiento de la operación, de las necesidades de financiamiento, de la gestión de recursos humanos y de la gestión comercial. Sin indicadores claros y estandarizados entre proyectos, se pierde la visión y se vuelve casi imposible tomar decisiones de manera informada.
- Se puede perder conocimiento en caso algún colaborador se retire de la empresa: al no contar con una gestión por procesos el conocimiento se queda en las personas y no es transferido a la empresa, por lo que en caso algún colaborador se retire de la empresa, lo que sabe se lo lleva con él y la empresa lo pierde.
- Mayor facilidad para que algún colaborador incurra en prácticas poco éticas: el que no exista una gestión por procesos deja la puerta abierta para que algún colaborador incurra en prácticas poco éticas debido a la falta de control (o percepción de falta de control) que puede existir en la empresa.

Finalmente, caer en cualquiera de los errores mencionados, anteriormente, trae como consecuencia el incumplimiento al cliente, que se tengan mayores costos debido a ineficiencias o incluso transmitir una imagen de poco profesionalismo. Y todo esto impacta de manera directa en el posicionamiento y la rentabilidad de la empresa.

4. DISCUSIÓN

Las acciones planteadas se llevaron a un modelo financiero y se pudo confirmar que estas permiten incrementar las ventas, así como la rentabilidad de la empresa.

Tabla 3
Evaluación de los resultados dados en porcentajes

Año	Año base	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Crecimiento en ventas	-	36	42	41	26	27
Margen bruto	28	34	39	41	44	44
Margen operativo	10	13	19	20	23	24
Margen neto	4	5	9	9	11	11

Elaboración propia

¿Cómo se genera el crecimiento en ventas?

- Si bien el crecimiento es agresivo, esta es una empresa que tiene espacio para crecer en el mercado.
- La mayor disponibilidad de personal comercial se ve reflejado en el incremento de ventas, pues habría un mayor número de personas vendiendo.
- Adicionalmente, al contar con mayor personal dedicado a la parte comercial, el gerente general podrá enfocarse en la venta de proyectos de mayor *ticket*, lo que también impulsa el crecimiento.
- El diferenciar los roles en el portafolio lleva a que los precios en algunas unidades de negocio de alta competencia bajen, por lo que el ratio de cierre en estos proyectos mejoraría y también captarían a nuevos clientes, lo que lleva a un incremento en ventas.

¿Cómo se genera la mayor rentabilidad?

- La principal mejora en los ratios de rentabilidad de la empresa viene por el cambio en el modelo de negocio, donde se pasa de tener técnicos tercerizados a tener técnicos propios, lo que permite apalancar el costo fijo en un escenario de crecimiento y, por lo tanto, generar la mejora en los márgenes.
- Parte de la mejora en márgenes viene explicada también por una mejor gestión por procesos, lo que permite reducir los costos de los reprocesos y de los tiempos adicionales que estos requieren.
- Parte de la mejora en márgenes también viene explicada por el incremento en márgenes de unidades de negocio que todavía tenían espacio para incrementarlos debido a un entorno competitivo de baja competencia y alta especialización.

Es importante resaltar y tener presente que cualquier empresa que busque implementar estas acciones podría presentar las siguientes barreras:

- Falta de compromiso por parte de la gerencia y mandos medios encargados de la implementación.
- Falta de claridad sobre el *end-state* que se quiere lograr y mala comunicación a la organización.
- Falta de colaboradores con el perfil adecuado para implementar los cambios.
- Modelo de incentivos no alineado a los cambios que se están planteando.
- Resistencia al cambio por parte de los colaboradores de la empresa.

5. CONCLUSIONES

- Identificar oportunidades de diferenciar roles en las unidades de negocio de la empresa permite sacrificar margen en aquellas unidades de mayor competencia con el objetivo de incrementar las ventas y que el mayor volumen pueda cubrir los costos fijos de la empresa, mientras que aquellas unidades de negocio de menor competencia serán las encargadas de generar mayores niveles de rentabilidad.
- El modelo operativo con el que la empresa ha venido operando no necesariamente es el mismo que le permitirá crecer. Es importante identificar las limitaciones del modelo actual y entender cuál sería el impacto de implementar la primera acción (diferenciar roles de las unidades de negocio), pues de ser implementada sin un nuevo modelo operativo, la empresa se podría enfrentar a un escenario en el cual pierde rentabilidad.
- Si bien la primera acción posiciona a la empresa para poder competir mejor en algunas unidades de negocio, si no se desarrollan nuevas capacidades en funciones clave de la empresa, como es el caso del área comercial, no se contará con el equipo de gente suficiente para poder capturar estas nuevas oportunidades y, por lo tanto, no se generará un mayor volumen de ventas.
- Parte clave de capturar estas nuevas oportunidades es identificar qué ha hecho que la empresa sea exitosa y qué es lo que los clientes valoran para cuidar el no perder esto durante el crecimiento.
- Un incremento en el volumen de ventas de la empresa que no esté acompañado por una gestión por procesos óptima expone a la empresa a que pierda rentabilidad debido a errores en la ejecución y reprocesos, lo que la llevaría a perder todas las eficiencias generadas por el resto de acciones.

REFERENCIAS

- Alemayehu, B. Z., y van Vuuren, J. (2017). Munificence contingent small business growth model (special emphasis to African SMEs context). *Journal of Small Business & Entrepreneurship*, 29(4), 251-269. doi:10.1080/08276331.2017.1327565
- Blackburn, R. A., Wainwright, T., y Hart, M. (2013). Small business performance: Business, strategy and owner-manager characteristics. *Journal of Small Business and Enterprise Development*, 20(1), 8-27. doi:10.1108/14626001311298394
- Committee on STEM education of the National Science & Technology Council. (2018). *Charting a course for success: America's strategy for STEM education*. <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2018/12/STEM-Education-Strategic-Plan-2018.pdf>
- Grupo DNA. (2019). *Guía salarial 2019-2020*. Lima: Grupo DNA.
- Hui-Hong, J., y Tan, K. (2004). SMEs business growth model: a medium to big effort. *International Journal of Management and Enterprise Development*, 1(3), 195-207. doi:10.1504/IJMED.2004.004520
- Ley n.º 30056. Ley que modifica diversas leyes para facilitar la inversión, impulsar el desarrollo productivo y el crecimiento empresarial. (2 de julio del 2013). Recuperado del sitio de internet diario *El Peruano* <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/ley-que-modifica-diversas-leyes-para-facilitar-la-inversion-ley-n-30056-956689-1/>
- Machado, H. (2016). Growth of small businesses: a literature review and perspectives of studies. *Gestão & Produção*, 23(2), 419-432.
- Maldonado-Guzman, G., Garza-Reyes, J. A., Pinzon-Castro, S. Y., Mejia-Trejo, J., Kumar, V., y Nadeem, S. P. (2018). Innovation and growth in family-owned Mexican SMEs. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management (IEOM)*. Badung, Indonesia: IEOM Society.
- Peru Top Publications. (2016). *Peru top 10 000 companies*. Lima: Peru Top Publications.
- Pyme emplea al 75 % de la población económicamente activa del Perú. (21 de junio del 2018). *Andina*. Recuperado de <https://andina.pe/agencia/noticia-pyme-emplea-al-75-de-poblacion-economicamente-activa-del-peru-714211.aspx>
- Todd, P. R., Javalgi, R. G., y Grossman, D. (2014). Understanding the characteristics of the growth of SMEs in B-to-B markets in emerging economies: an organizational ecology approach. *Journal of Business & Industrial Marketing*, 29(4), 295-303. doi:10.1108/JBIM-08-2013-0189

Wakkee, I. A., y van der Veen, M. (2015). Effective growth paths for SMEs. *Journal of Entrepreneurship*, 24(2), 169-185. <https://doi.org/10.1177/0971355715586894>

Zaratiegui, J.R. (1999). La gestión por procesos: su papel e importancia en la empresa. *Revista Economía Industrial*, 330, 81-88. <https://www.mincotur.gob.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/EconomiaIndustrial/RevistaEconomiaIndustrial/330/12jrza.pdf>

EVOLUCIÓN FINANCIERA DE LA BANCA MÚLTIPLE PERUANA 2007-2017

LOURDES EMMERICH*

Universidad de Lima, Perú

Recibido: 19 de agosto del 2019 / Aprobado: 16 de octubre del 2019

doi: 10.26439/ing.ind2020.n038.4818

RESUMEN: El desempeño financiero de la banca múltiple (BM) peruana entre 2007 y 2017 ha mostrado que esta presenta una alta concentración bancaria, solvencia, rentabilidad y liquidez. Se analizan las variables como capital, activos, gestión, rentabilidad y liquidez. Las oportunidades de mejora de la banca múltiple peruana se centran en la inclusión financiera y economías de escala enfrentando los riesgos de volatilidad, vulnerabilidad ante fenómenos climatológicos y la corrupción política.

Palabras clave: Perú / bancos / finanzas / historia económica / intermediación financiera

PERUVIAN BANKING FINANCIAL PERFORMANCE 2007-2017

ABSTRACT: The financial performance of Peruvian banks from 2007 to 2017 has shown high banking concentration, solvency, profitability and liquidity. This research analyzes variables such as capital, assets, management, profitability and liquidity. The improvement opportunities in Peruvian banks are focused on financial inclusion and economies of scale, in view of volatility and vulnerability risks to climate phenomena and political corruption.

Keywords: Peru / banks / finance / economic history / financial intermediation

lourdes.emmerich@gmail.com

1. INTRODUCCIÓN

La banca múltiple (BM) juega un papel esencial en la distribución de los recursos a través de la intermediación financiera y en el desarrollo económico del país (Jeanneau, Tovar y Moreno, 2007). El desarrollo del sistema financiero tiene influencia en el crecimiento económico de una nación (Levine, 2005) por lo que el propósito del presente estudio es evaluar el desempeño de la banca múltiple peruana durante el oncenio del 2007 al 2017. Este período abarca eventos económicos relevantes como antes y durante el auge de la crisis *subprime* y su recuperación, el crecimiento económico del Perú y la desaceleración actual.

El desarrollo financiero es un buen indicador del crecimiento económico. Un mayor desarrollo de los servicios bancarios, el manejo del riesgo y la información, propicia el crecimiento económico (Galarza y Miranda, 1995). El desarrollo económico comúnmente ha sido asociado a términos como riqueza, trabajo, ingresos. Sin embargo, el desarrollo también involucra al aspecto financiero igual que los bienes y servicios (Gurley y Shaw, 1955).

Mientras que el Banco Central de Reserva del Perú (BCRP), a través de la implementación de la política monetaria, impacta la oferta de crédito (Gómez Alberca, Villanueva y Erixon, 2018), el desarrollo del mercado crediticio también puede afectar significativamente al desarrollo económico de una región (Hansen y Sullá, 2013).

El sistema financiero (SF) peruano está compuesto por la banca múltiple (BM), financieras y microfinancieras y empresas de arrendamiento financiero. Las microfinancieras incluyen a las cajas municipales (CM), cajas rurales de ahorro y crédito (CRAC) y las entidades de desarrollo de la pequeña y microempresa (Edpymes). A diciembre 2018, el sistema financiero peruano se componía de 55 empresas, 16 pertenecientes a la banca múltiple, 11 empresas financieras, 12 cajas municipales, 6 cajas rurales de ahorro y crédito, 9 entidades de desarrollo de la micro y pequeña empresa y 1 empresa de arrendamiento financiero. En el sistema financiero peruano actual, el 89,28 % de los activos totales se concentra en la banca múltiple. Más del 50 % de los créditos directos corresponden a créditos de corporaciones a grandes y medianas empresas. Un poco más del 20 % de los créditos directos corresponden a créditos de consumo, mientras que la cartera hipotecaria representa el 15 % de los créditos directos. Finalmente, el 13 % de los créditos directos se dirigen a micro y pequeñas empresas (Superintendencia de Banca, 2018).

2. METODOLOGÍA

El estudio comprende el análisis evolutivo financiero de las variables propuestas por la metodología CAMEL (*capital, assets, management, earnings, liquidity*), incluyendo

comparaciones con la banca múltiple de otros países latinoamericanos (Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Ecuador, México, Panamá, Paraguay y Uruguay), con el fin de entender la dimensión y potencial del negocio. Adicionalmente, se analiza la correlación de variables.

Tabla 1

Metodología para el análisis financiero de la BM peruana período 2007-2017

	Grupo de análisis	Rubro analizado	Análisis realizado
C	Capital – Capital	Concentración bancaria	<p>Evolución de la concentración bancaria y la cantidad de bancos</p> <p>Concentración bancaria a nivel de activos</p> <p>Evolución de la participación de activos de los primeros cinco bancos en el <i>ranking</i> de participación</p>
		Solvencia	<p>Capital / activos ponderados por riesgo (APR)</p> <p>Evolución de la solvencia</p> <p>Evolución del patrimonio</p> <p>Variación porcentual del PBI y variación porcentual del patrimonio</p> <p>Análisis cualitativo del respaldo patrimonial de cada banco</p>
A	Assets – Activos	Análisis de activos	<p>Evolución de los activos, pasivos y patrimonio</p> <p>Evolución de activos</p> <p>Variación porcentual del PBI y los activos de la BM</p> <p>Coefficiente de correlación entre la variación porcentual del PBI y los activos de la BM</p> <p>Volumen de los activos de la BM peruana en comparación con otros países de la región</p>
		Morosidad	<p>Morosidad</p> <p>La morosidad de la BM peruana en comparación con otros países de la región</p> <p>Correlación entre la morosidad y la rentabilidad</p> <p>Morosidad y rentabilidad en comparación con otros países de la región</p> <p>Evolución del ROE y la morosidad</p> <p>Morosidad por tipo de crédito</p> <p>Evolución del tipo de cambio y la morosidad</p>
		Cobertura	Provisiones / cartera atrasada

(continúa)

(continuación)

M	Management – Gestión	Eficiencia	Eficiencia Eficiencia de gastos de administración Eficiencia de gastos de operación Eficiencia de personal Eficiencia de oficinas
E	Earnings – Rentabilidad	Rentabilidad Margen financiero	Rentabilidad en comparación con otros países de la región Evolución de la rentabilidad sobre el capital (ROE) Evolución de la rentabilidad sobre los activos (ROA) Correlación entre el índice de precios al consumidor (IPC) y la rentabilidad (ROE y ROA) Evolución de las tasas activas y pasivas por moneda Evolución del <i>spread</i>
L	Liquidity – Liquidez	Liquidez	Liquidez en MN y ME Coeficiente de dolarización de la liquidez

Elaboración propia

3. RESULTADOS

3.1 Concentración bancaria

La concentración bancaria de los cinco bancos con mayor participación de activos en la BM ha tenido el siguiente comportamiento durante el período de estudio.

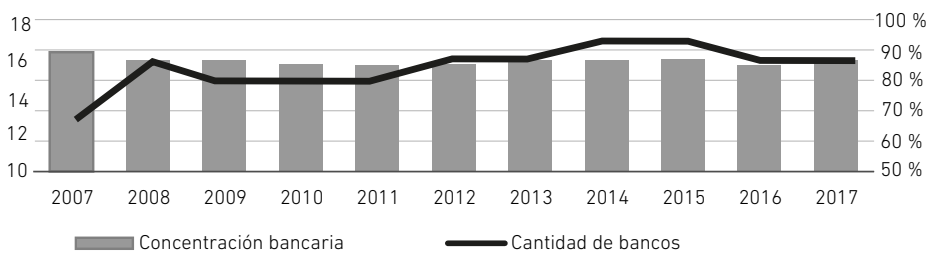


Figura 1. Evolución de la concentración bancaria y cantidad de bancos en el Perú

Fuente: Superintendencia de Banca, Seguros y AFP (SBS, 2018a)

Elaboración propia

La concentración bancaria (CB), a nivel de activos, se mantuvo durante el período de estudio en un promedio de 86,92 %. La CB se afectó significativamente por las fusiones, adquisiciones, entradas y salidas de participantes con alto número de activos en el mercado. Períodos donde pequeños bancos ingresaron o se retiraron del mercado manteniendo la concentración bancaria relativamente estable.

De hecho, en el año 1998, cuando existían en el Perú 25 bancos, la CB era de 67,35 %, pero dos años después (2000) participaron en la BM sólo 16 bancos; las 2 entidades que representaban el 10 % del total de activos fueron absorbidas por el Banco Wiese (ahora Scotiabank) y las 7 entidades que representaban el 11,5 % del total de activos del mercado fueron liquidadas. Como resultado la CB alcanzó más del 80 % en tan solo dos años. En los siguientes años, del 2000 al 2006, la BM registró la salida de cinco bancos, unos fueron liquidados y otros absorbidos por las entidades más grandes, haciendo que la CB llegara a su pico más alto (89,6 %) con tan solo 11 participantes.

Sin embargo, entre los años 2006 al 2008 hubo un nuevo panorama. Otros participantes entraron al mercado. Llegó Scotiabank (Canadá) a tomar el control del Banco Wiese, que ya se posicionaba como el tercer banco en participación de activos. Ingresaron los bancos Falabella, Ripley, HSBC, Azteca y Santander. Nuevamente, la BM contaba con 16 entidades. En los siguientes años la CB continuó siendo más del 87 %. Los bancos más grandes continuaron creciendo absorbiendo a entidades y comprando carteras de otros bancos más pequeños. Al final del 2017, la BM contaba con 16 entidades y la CB era del 86,8 %.

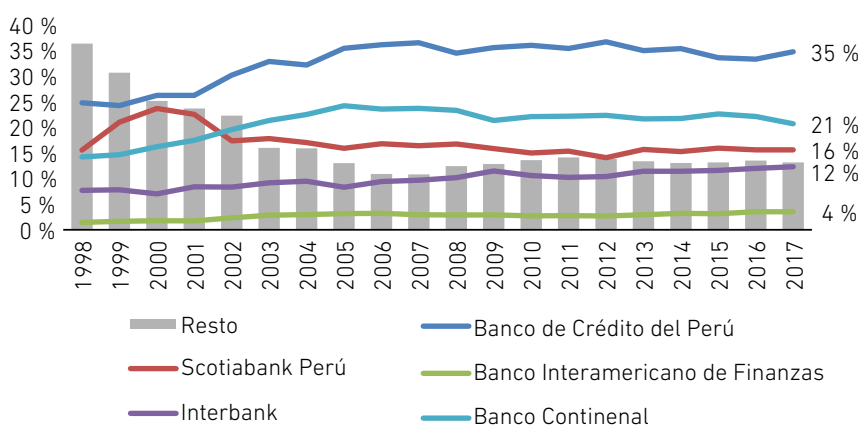


Figura 2. Evolución del porcentaje de participación de activos en 5 bancos

Fuente: SBS (2018b)

Elaboración propia

3.2 Solvencia

Los estándares internacionales plantearon un requerimiento de capital mínimo del 8 % desde el 2007. El promedio de la relación del capital entre los APR de los miembros de la Federación Latinoamericana de Bancos (FELABAN) era del 15 % a diciembre 2017, mientras que el Perú mostraba un índice del 15,33 %. En ambos casos, son los índices más altos alcanzados durante el período de estudio.

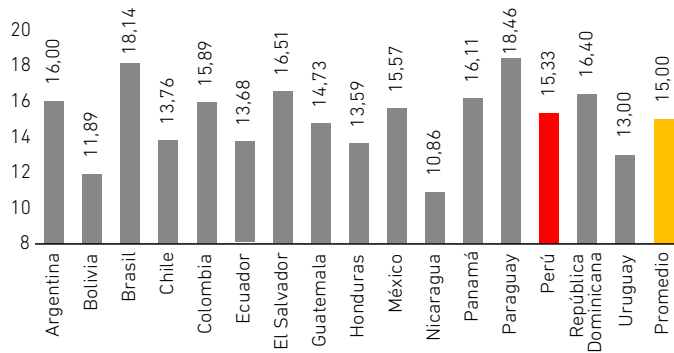


Figura 3. Latinoamérica. Porcentaje de capital/activos ponderados por riesgo en el 2017.

Fuente: FELABAN (2018)
Elaboración propia

En el 2009, la SBS implementó un requerimiento mínimo de capital del 9,1 %, el que posteriormente aumentó a 9,5 %, para finalmente requerir un capital mínimo del 10 % sobre el total de activos y contingentes ponderados por riesgo (APR) a partir de julio del 2011.

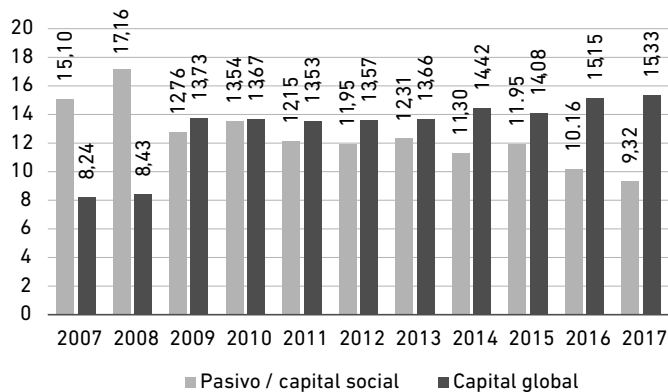


Figura 4. Evolución de la solvencia de la banca múltiple del Perú del 2007 al 2017

Fuente: SBS (2018b)
Elaboración propia

El patrimonio total de la BM en el Perú aumentó desde el año 2007. El patrimonio del sector se fortaleció durante el período de estudio acompañado de un crecimiento importante de las colocaciones y de los activos. Desde el año 2007, el patrimonio de la banca registró variaciones positivas, con crecimientos anuales de 3,4 mil millones de soles anuales. Mientras que en el año 2007 el patrimonio fue de 9,5 mil millones de soles. A diciembre del 2017, el patrimonio total de la BM peruana alcanza 43,6 mil millones de soles. En promedio, la tasa de crecimiento anual del patrimonio fue del 17 % anual. Sin embargo, la tendencia de crecimiento del patrimonio fue descendente, al igual que el crecimiento económico del Perú. Mientras que en el 2007 el patrimonio total de la BM en el Perú crecía por encima del 20 %, a diciembre del 2017 el patrimonio aumentó 11 %.

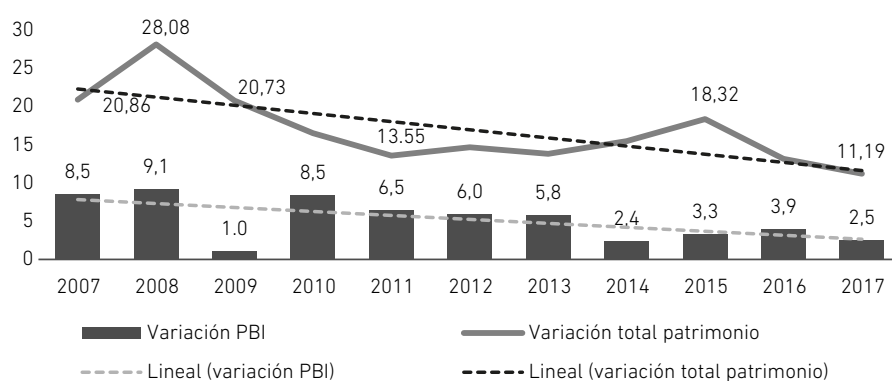


Figura 5. Variación porcentual del PBI versus variación porcentual del patrimonio de la banca múltiple del Perú

Fuente: SBS (2018b) y WorldBank (2018)

Elaboración propia

Tabla 2

Análisis cualitativo de la solvencia de la BM peruana por entidad

Entidades	Análisis cualitativo de la banca múltiple peruana
Banco Azteca	Respaldo patrimonial del Grupo Elektra S.A.B. perteneciente al Grupo Salinas.
Banco Cencosud	Respaldo patrimonial del Grupo Cencosud (importante <i>retailer</i>).
Banco de Comercio	Muestra el ratio de capital global más bajo del sistema bancario, representando una limitación para el crecimiento de la entidad, principalmente, debido a que su mayor accionista, la Caja de Pensiones Militar Policial, se encuentra limitada de realizar aportes de capital de manera directa al banco.
Banco de Crédito del Perú (BCP)	Mantiene rigurosos requerimientos de capital por parte del Grupo Credicorp Ltd. El Grupo Credicorp es una de las empresas <i>holding</i> más importantes del Perú con participación mayoritaria en empresas como BCP, Prima AFP, Mibanco, Pacífico Seguros, entre otros.

(continúa)

(continuación)

Banco GNB Perú	Respaldo patrimonial de su accionista controlador Banco GNB Sudameris de Colombia, <i>holding</i> del Grupo GNB con operaciones en Colombia, Paraguay y Perú. El patrimonio efectivo es fortalecido por aportes de capital, capitalización de utilidades, constitución de reservas y emisión de deuda subordinada.
Banco Interamericano de Finanzas	Forma parte del grupo de empresas de la familia Fierro (Grupo Fierro), conglomerado empresarial con presencia en España, Estados Unidos, Centroamérica y América del Sur, con inversiones en diversos sectores económicos.
Banco Falabella Perú S.A.	Respaldo patrimonial del Grupo Falabella.
Banco Pichincha	Respaldo patrimonial del Grupo Pichincha de Ecuador, cuyo principal activo es el Banco Pichincha, la institución bancaria más importante del Ecuador.
Banco Ripley Perú S.A.	Respaldo patrimonial del Grupo Ripley Corp.
Banco Santander	Respaldo patrimonial del Banco Santander de España.
BBVA Continental	Su principal accionista es el BBVA (Banco Bilbao Vizcaya Argentaria), grupo financiero de prestigio internacional, cuenta con el respaldo patrimonial del grupo de capital peruano Breca, uno de los más grandes del Perú.
Citibank del Perú S.A.	Pertenece al grupo económico Citigroup Inc. (constituida en Estados Unidos) con aproximadamente 200 millones de cuentas abiertas en más de 160 países.
ICBC PERU BANK	Respaldo patrimonial de su accionista mayoritario, Industrial and Commercial Bank of China Ltd.
Interbank	Respaldo del Grupo Intercorp.
Mibanco Banco de la Microempresa S.A.	Respaldo patrimonial del Grupo Credicorp. Absorbe el bloque patrimonial de Financiera Edyficar.
Scotiabank del Perú S.A.	Respaldo patrimonial del The Bank of Nova Scotia (BNS). Ha ido creciendo debido a la capitalización parcial de sus utilidades en mayo del 2018.

Fuente: Equilibrium Clasificadora de Riesgos S.A. (2018)

Elaboración propia

3.3 Análisis de activos

La banca múltiple peruana, en los últimos 11 años, registró un crecimiento del 242 %, triplicando el monto de los activos. El crecimiento promedio anual fue del 15,17 %. Entre los años 2007 y 2010, el crecimiento promedio anual de los activos de la BM peruana fue en promedio 22,44 %.

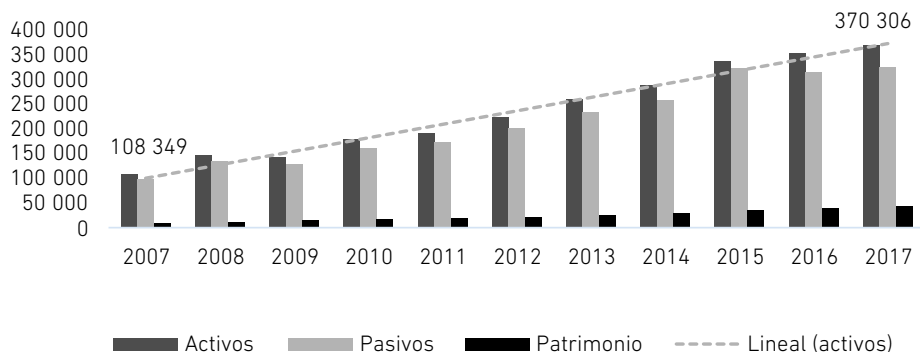


Figura 6. Perú. Evolución de activos, pasivos y patrimonio de la BM peruana

Fuente: SBS (2018)

Elaboración propia

En los siguientes cinco años, del 2011 al 2015, los activos crecieron un promedio anual del 13,60 %. En el año 2012, los activos de la BM se duplicaron. Sin embargo, en los dos últimos años, 2016 y 2017, los activos de la BM peruana aumentaron tan solo un promedio del 4,54 % anual, el crecimiento más bajo desde el año 2004 (excluyendo la disminución durante la crisis *subprime*), observándose una desaceleración del crecimiento de los activos totales.

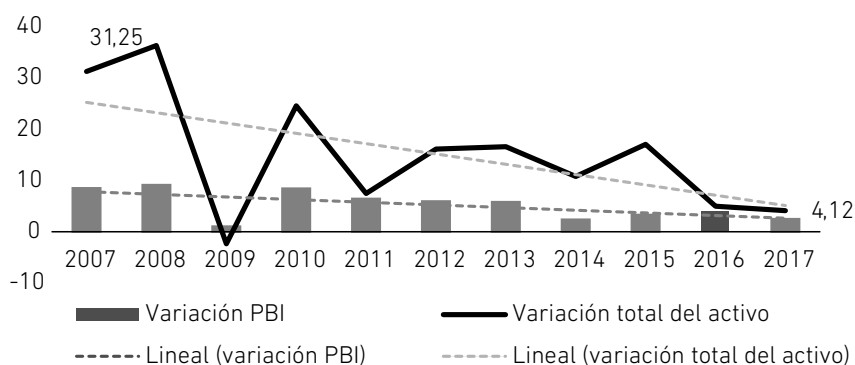


Figura 7. Variación porcentual del PBI versus variación porcentual de los activos de la banca múltiple en el Perú, 2007-2017

Fuente: SBS (2018)

Elaboración propia

El coeficiente de correlación entre la variación porcentual del PBI y los activos de la BM peruana en el período de estudio es del 86 %; a menor crecimiento del PBI, menor crecimiento de activos.

A diciembre del 2017, los activos de la BM del Perú ascendían a 114 mil millones de dólares, cifra cinco veces mayor que Paraguay, cuatro veces mayor que Bolivia y tres veces mayor que Ecuador. Al comparar los activos de la BM del Perú con economías más grandes, como Brasil y México, se observó que el total de los activos de la BM de Brasil era veinte veces más grande que la peruana y de México cuatro veces, seguido por la de Chile con tres veces.

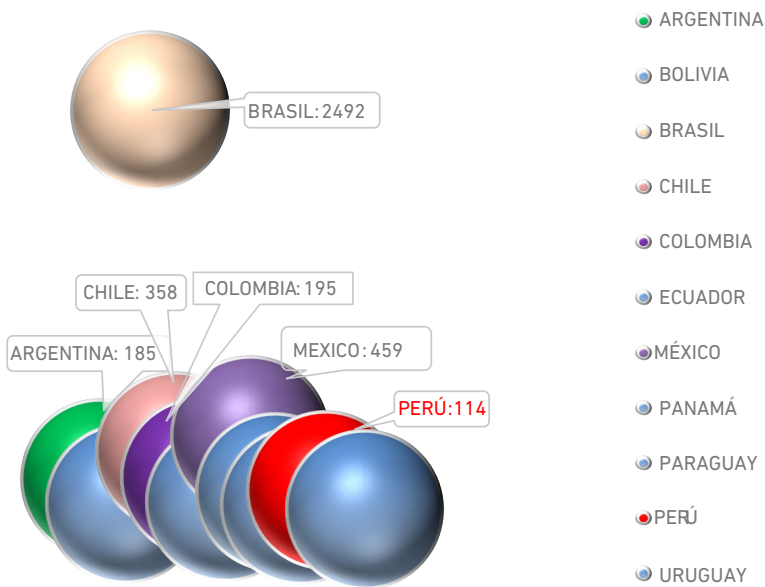


Figura 8. Activos de la banca múltiple en miles de millones de dólares a diciembre del 2017 en Latinoamérica

Fuente: Felaban (2018)
Elaboración propia

3.4 Morosidad

A diciembre del 2017, en el Perú, el 3 % de la cartera se encontraba atrasada. La morosidad registró un aumento paulatino durante el período de estudio.

Comparando el porcentaje de morosidad con el resto de los países latinoamericanos, Perú estuvo por debajo de Brasil (5,60 %), Colombia (4,15 %), Ecuador (3,45 %) y Paraguay

(3,20 %), registrando una morosidad del 3,09 %. El resto de los cuatro países con los menores índices de morosidad registraron un promedio de 1,86 %. Se puede concluir que la BM peruana mantuvo un alto índice de rentabilidad y un indicador de morosidad saludable dentro del promedio de la región, sin embargo, la calidad de la cartera mostró un deterioro paulatino a través del tiempo con una la rentabilidad sobre el patrimonio (ROE) en descenso.

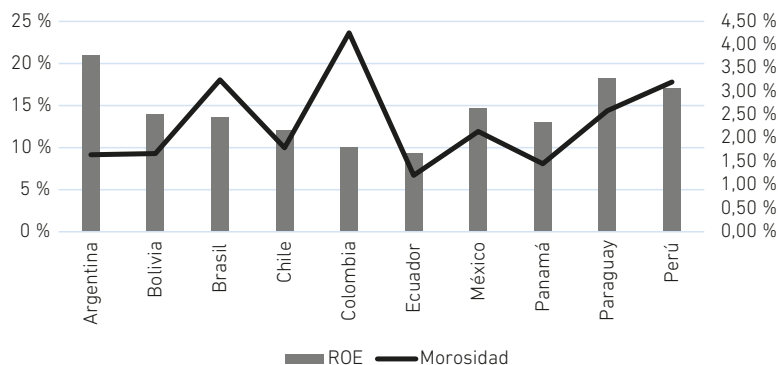


Figura 9. Rentabilidad y morosidad a diciembre del 2017 en Latinoamérica

Fuente: Felaban (2018)

Elaboración propia

Se calcula que existe una correlación negativa elevada entre la morosidad y la rentabilidad. A mayor morosidad, menor rentabilidad. Considerando 132 observaciones (desde enero del 2007 hasta diciembre del 2017), la correlación entre morosidad y rentabilidad sobre el patrimonio fue del $-0,9126$.

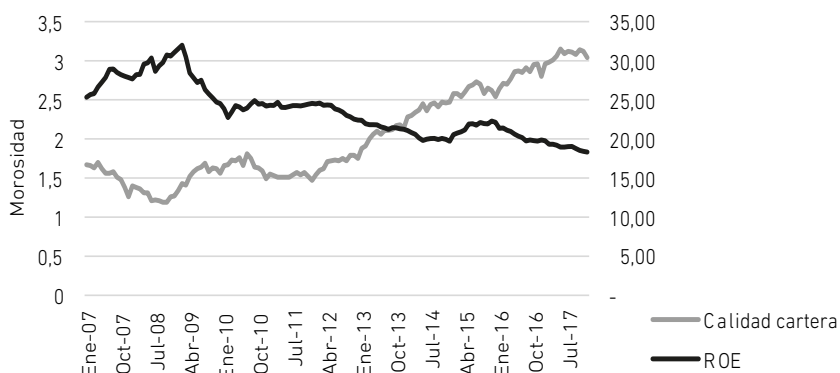


Figura 10. Evolución del ROE y la calidad de la cartera de la BM peruana

Fuente: SBS (2018b)

Elaboración propia

Se visualizó el aumento de la morosidad a través del tiempo con la respectiva disminución de la rentabilidad sobre el patrimonio de la banca múltiple peruana. Sin embargo, la rentabilidad continuaba siendo una de las más altas de la región.

Durante el 2015 el deterioro de la cartera desaceleró su tendencia creciente, registrando una morosidad del 2,54 %, lo que significa 7 bps (*basis points*) por encima del 2014, período durante el cual la morosidad aumentó 33 bps (*basis points*) con respecto al año 2013. Tal corrección se registró principalmente en la morosidad de los bancos *retail* en respuesta al deterioro de la cartera, las entidades bancarias tomaron acción en los procesos de recuperación de los créditos mostrando mayor rapidez en la activación de los procesos judiciales de la cartera vencida y presión por parte de las agencias de cobranza coactiva con el fin de aumentar la probabilidad de recuperación. Por lo que la cartera judicial aumentó paralelamente en los créditos refinanciados.

Más del 40 % de los créditos fueron otorgados a las corporaciones y grandes empresas, registrando una morosidad promedio del 0,42 %. Más del 20 % de los créditos se otorgaron a micro, pequeñas y medianas empresas. Este tipo de crédito mostró un importante deterioro, pasando en el 2010 de un promedio del 2,98 % a 7,35 % de morosidad en el 2017. La morosidad más alta se registró en la pequeña empresa alcanzando hasta el 9 %.

En cuanto a los créditos de consumo, estos representaron aproximadamente el 18 % de la cartera de créditos de la BM peruana. La morosidad de los créditos de consumo registró un promedio del 3,04 % desde el 2007. Durante los años 2012 y 2013 hubo mayor disminución en la calidad de la cartera de este tipo de crédito, registrando variaciones de hasta dos dígitos.

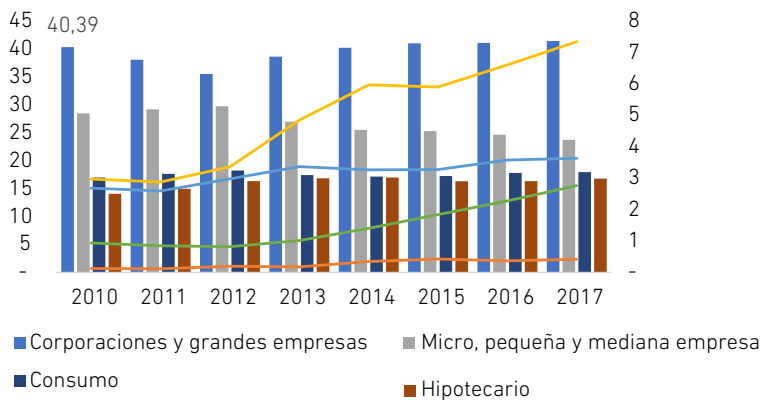


Figura 11. BM Perú. Estructura de créditos por tipo y evolución de la morosidad

Nota: Información de años previos no comparable

Fuente: SBS (2018c)

Elaboración propia

En cuanto a los créditos hipotecarios, en el año 2007 representaban el 12 % de los créditos directos aumentando significativamente su participación en el mercado hasta representar el 17 % en el 2017. Sin embargo, la morosidad registrada pasó del 0,94 % al 2,76 % durante el período. Dicho deterioro se presentó, principalmente, desde el año 2013.

Una de las principales causas de la morosidad está en la inestabilidad monetaria y la tendencia al alza del tipo de cambio, generándoles un alto riesgo para los deudores en dólares americanos.

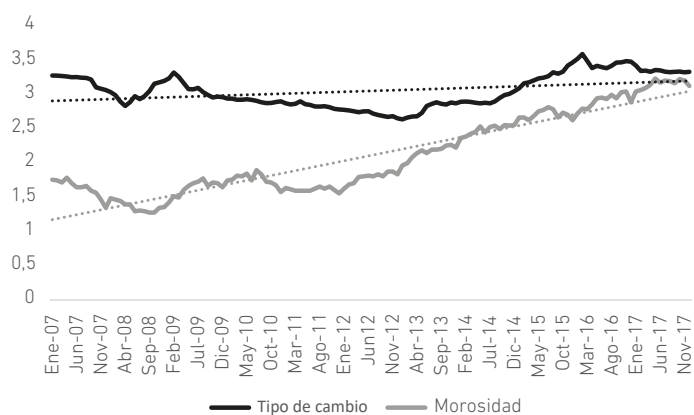


Figura 12. Perú. Evolución del tipo de cambio bancario promedio (soles por dólares americanos) versus morosidad

Fuente: BCRP (2018) y SBS (2018b)

Elaboración propia

La correlación entre el tipo de cambio y la morosidad es positiva. Durante el período 2007-2017 se calculó 0,5718 de correlación entre ambas variables, denotando que a mayor devaluación de la moneda se deteriorará la cartera.

3.5 Cobertura

A diciembre del 2017, la cobertura de la cartera fue de 152,61 %. Sin embargo, la tendencia de la cobertura fue decreciente.

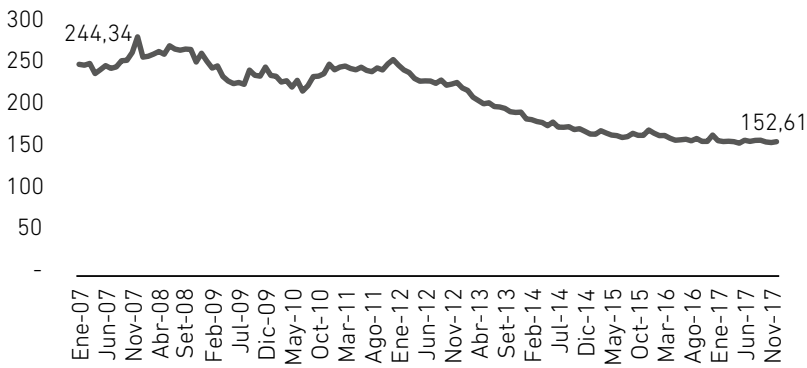


Figura 13. Cobertura de la BM peruana. Enero 2007 – diciembre 2017

Fuente: SBS (2018)

Elaboración propia

3.6 Eficiencia

Una mayor eficiencia implica mayores colocaciones y depósitos por cada sol de recursos consumidos. La BM en el Perú mostró una mayor eficiencia a lo largo del período de estudio. Por cada activo rentable, los gastos de administración fueron menores, y por cada sol de margen financiero, la BM registró menores gastos operativos.

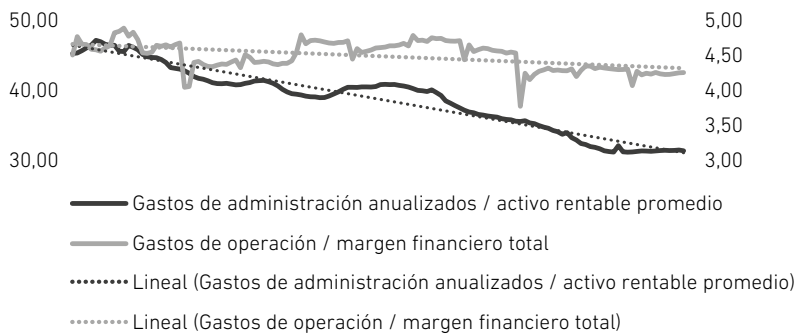


Figura 14. BM Perú. Eficiencia en gastos de administración y de operación. Enero del 2007 a diciembre del 2017

Fuente: BCRP (2018)

Elaboración propia

Asimismo, los créditos directos colocados por personal bancario y los depósitos captados por oficina mostraron una tendencia positiva durante el período de estudio.

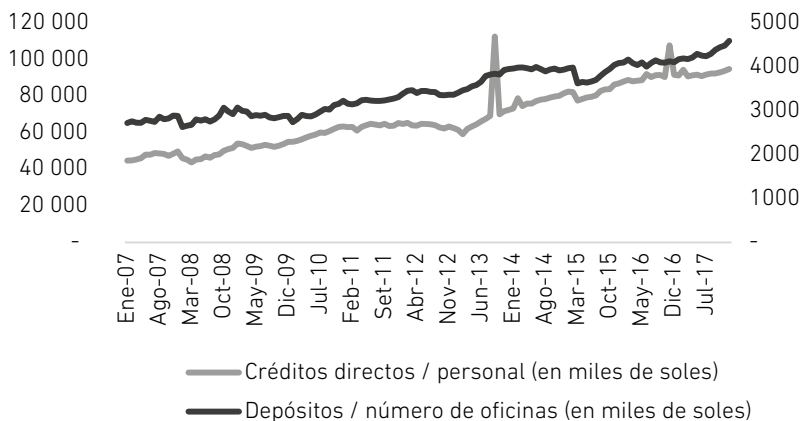
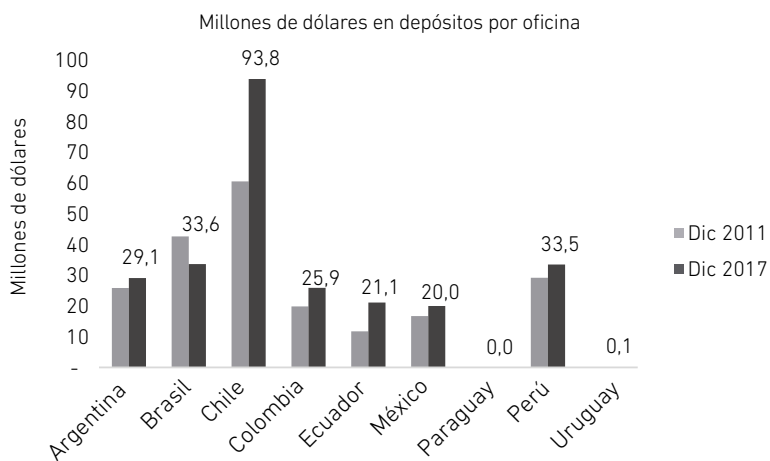


Figura 15. BM Perú. Eficiencia en personal y número de oficinas durante enero del 2007 y 2017

Fuente: BCRP (2018)

Elaboración propia



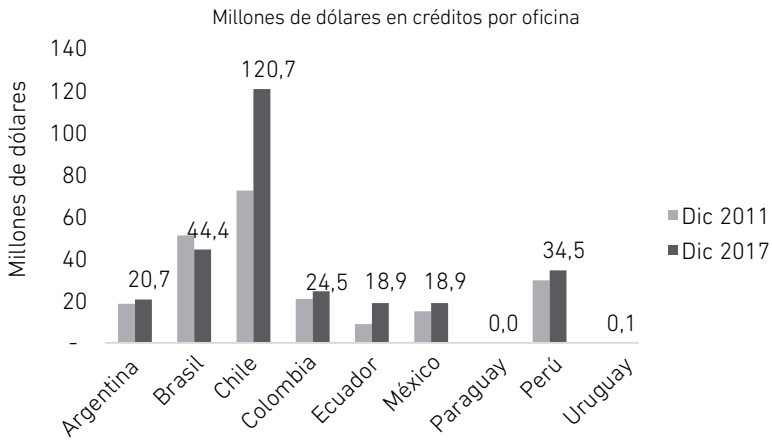


Figura 16. Créditos y depósitos por oficina en el 2011 versus 2017 en Latinoamérica

Fuente: Felaban (2018)

Elaboración propia

3.7 Rentabilidad

La rentabilidad de la BM peruana a diciembre 2017 fue 18,32 (ROE) y 2,08 (ROA). La rentabilidad de la BM peruana disminuyó desde el año 2009. A diciembre del 2008, la BM peruana registró la rentabilidad más alta con 31 % de utilidades netas sobre el patrimonio. A finales del 2009 el ROE registrado fue 24,5 % disminuyendo paulatinamente hasta 18,32 % a diciembre 2017.

Sin embargo, la rentabilidad de la BM peruana continúa siendo la tercera rentabilidad más alta de los 9 países latinoamericanos considerados en el estudio a diciembre 2017, luego de Argentina (19 %) y Paraguay (18 %). Los 6 países restantes mantienen una rentabilidad promedio del 12 %. La tendencia del promedio del ROE de la BM de los 9 países latinoamericanos en estudio y el ROE de la BM del Perú mostraron una tendencia decreciente a lo largo del tiempo.

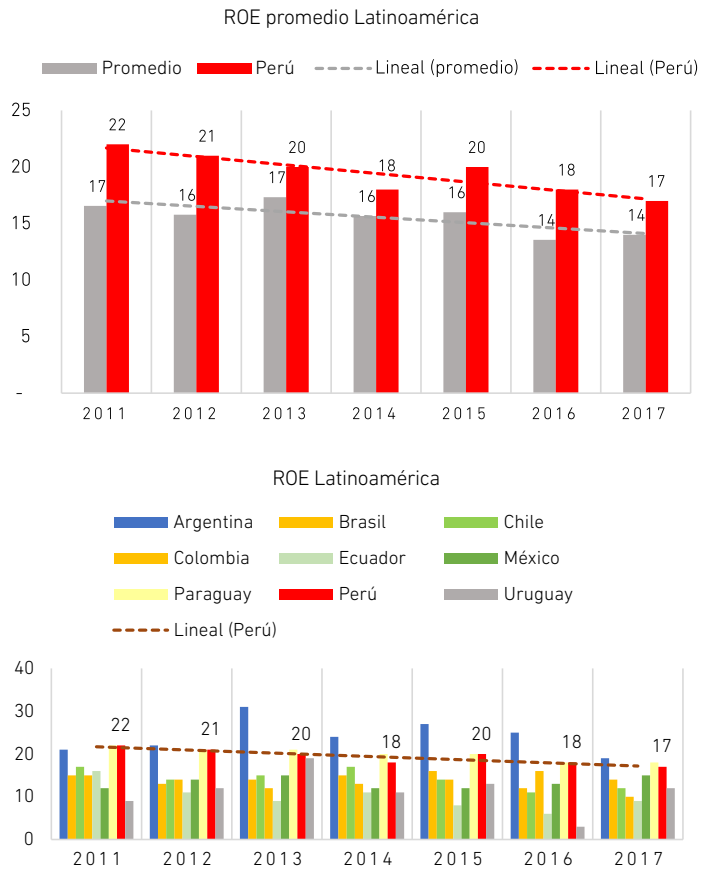


Figura 17. ROE de la BM del Perú y ROE promedio de BM de Latinoamérica (2011-2017)

Fuente: Felaban (2018)
Elaboración propia

La rentabilidad sobre los activos (ROA) durante el período de estudio mantuvo la tendencia decreciente del ROE.

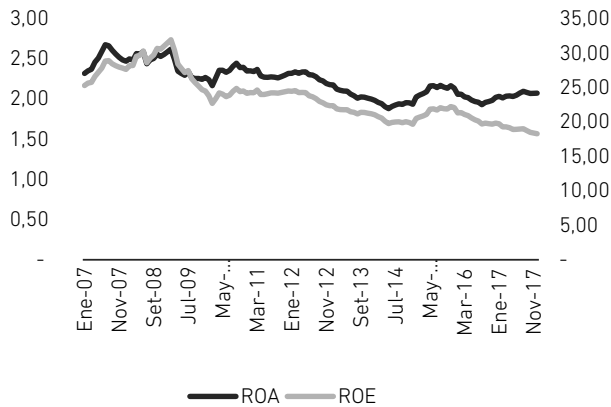


Figura 18. BM Perú. Evolución del ROE y ROA. Enero 2007-diciembre 2017

Fuente: SBS (2018)
Elaboración propia

Se encontró una alta correlación negativa entre el índice de precios al consumidor y la rentabilidad (ROE y ROA) durante el período de estudio (enero 2007-diciembre 2017). Mientras que la relación entre la variación porcentual del PBI y la rentabilidad de la BM en el Perú fue positiva, lo que significa que, a mayor crecimiento del producto bruto interno, mayor será la rentabilidad de la BM. Resulta que fue el crecimiento de las actividades no primarias las que están altamente correlacionadas con la rentabilidad de la BM peruana. Las actividades primarias no se relacionan con un crecimiento de la rentabilidad. Los resultados fueron los siguientes:

Tabla 3
Resultados de correlación entre variables macroeconómicas y la rentabilidad

	ROE	ROA
IPC	- 0,8675	- 0,8382
Variación porcentual PBI	+ 0,4373	+ 0,5654
Variación porcentual sector primario	+ 0,0306	+ 0,0030
Variación porcentual sectores no primarios	+ 0,4705	+ 0,6262

Elaboración propia

3.8 Margen financiero

El margen financiero bancario desde el año 2007 mostró una tendencia decreciente tanto en moneda nacional como en moneda extranjera. En el año 2007, la diferencia entre tasas

activas y pasivas en moneda nacional fue del 20 %, mientras que, a diciembre 2017, fue del 13,33 %. En moneda extranjera, la variación no es tan pronunciada, pasando del 8,57 % de *spread* (margen financiero), a enero 2007, al 6,18 % a diciembre 2017. La principal reducción del *spread* bancario en moneda nacional sucedió durante el año 2013 con una variación negativa del casi 20 %, pasando en un solo año del 17 % al 13,6 %. El margen en moneda nacional se ha mantenido a ese nivel en promedio hasta la fecha.

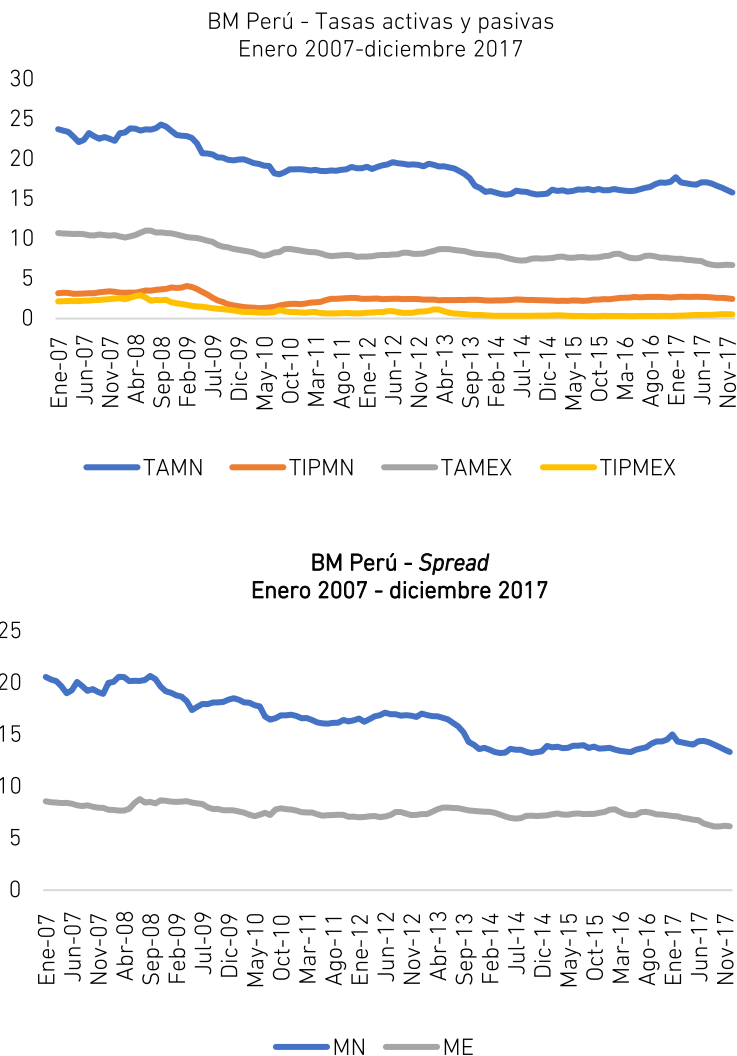


Figura 19. Tasas activas y pasivas y margen financiero de la BM peruana

Fuente: BCRP (2018)

Elaboración propia

3.9 Liquidez

Durante el período de estudio, la liquidez de la BM peruana en soles mostró una tendencia decreciente y una tendencia creciente en moneda extranjera.

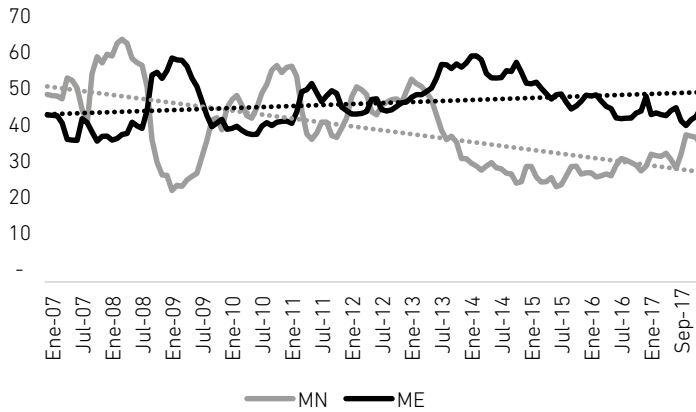


Figura 20. Evolución de la liquidez en moneda nacional (MN) y moneda extranjera (ME) durante 2007-2017

Fuente: SBS (2018)
Elaboración propia

El coeficiente de dolarización de la liquidez, tanto del sistema financiero como de la banca múltiple peruana, evidenció una tendencia decreciente. La liquidez de la BM peruana mantuvo un índice de dolarización por encima del sistema financiero. En enero 2007, el índice de dolarización de la BM era del 63,05 %, mientras que a diciembre 2017 este fue del 44,37 %. El sistema financiero pasó del 33,79 % al 23,50 % a diciembre 2017.

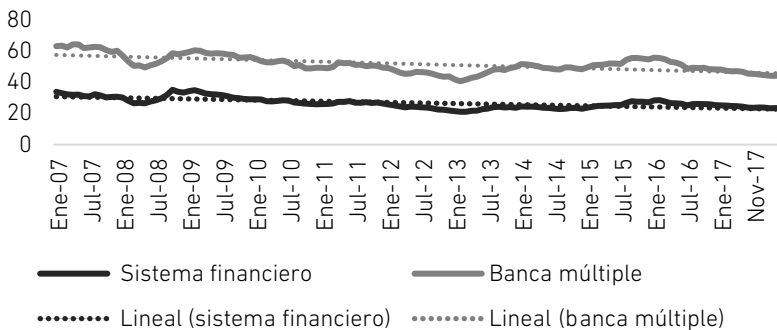


Figura 21. BM Perú. Coeficiente de dolarización de la liquidez

Fuente: BCRP (2018)
Elaboración propia

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El sistema financiero peruano es uno de los sistemas con mayor concentración bancaria de Latinoamérica, la cual es afectada significativamente por las fusiones, adquisiciones, entradas y salidas de participantes con alto número de activos en el mercado. Períodos donde pequeños bancos ingresan o se retiran del mercado mantienen la concentración bancaria relativamente estable.

El patrimonio total de la BM en el Perú aumentó desde el año 2007. El patrimonio del sector se fortaleció acompañado de un crecimiento importante de las colocaciones.

La banca múltiple peruana en los últimos once años logró triplicar el monto de los activos, siendo su volumen comparable con países como Argentina y Colombia. Dada la alta correlación negativa entre la morosidad y la rentabilidad, se observó en la última década el aumento de la morosidad y la respectiva disminución de la rentabilidad sobre el patrimonio de la banca múltiple peruana.

La pobre infraestructura vial y de comunicaciones como la alta centralización de las actividades económicas en Lima, resultaron en altos costos de transacciones y bajo acceso al sistema financiero. Como consecuencia de lo anterior, es que el 85 % de los depósitos y el 77 % de los créditos tuvieron lugar en Lima, la capital. La centralización de las actividades económicas y políticas del Perú y el limitado alcance de los servicios repercutió negativamente en la eficiencia de la BM a nivel nacional, dificultando el crecimiento de la bancarización e inclusión financiera.

La BM peruana reflejó una tendencia decreciente de rentabilidad en los últimos años, al igual que la rentabilidad promedio de los nueve países latinoamericanos comprendidos en el análisis. El margen financiero bancario desde el año 2007 evidenció una tendencia decreciente tanto en moneda nacional como en moneda extranjera. Sin embargo, la rentabilidad de la BM peruana es la tercera más alta del grupo.

Para aprovechar el potencial de crecimiento, las oportunidades de mejora de la BM en el Perú radicarán en la inclusión financiera, la bancarización, la eficiencia enfocada en productos simples y diversificados y las economías de escala. Los riesgos a los que se expuso el Perú radicarán, principalmente, en: corrupción, exposición a volatilidad de precios internacionales y fluctuación de la moneda y vulnerabilidad ante fenómenos climatológicos. Por ello la lucha contra la corrupción, prevención de desastres naturales y la desdolarización de la economía son temas álgidos para su desarrollo.

REFERENCIAS

Banco Central de Reserva del Perú. (2018). *Estadísticas económicas (2007-2017)*. Recuperado de <https://estadisticas.bcrp.gob.pe/estadisticas/series/>

- Equilibrium Clasificadora de Riesgos S.A. (2018). *Análisis del sistema bancario peruano*. Recuperado de <http://www.equilibrium.com.pe/bcosperujun18.pdf>
- Federación Latinoamericana de Bancos. (2018). *Estadísticas, indicadores homologados*. Recuperado de http://www.sbs.gob.pe/app/stats_net/stats/EstadisticaBoletinEstadistico.aspx?p=1#
- Galarza, F. T., y Miranda, G. G. (1995). Intermediación financiera y crecimiento económico. *Cuadernos de Economía*, 14(23), 178-196. Recuperado de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/ceconomia/article/view/13824/20400>
- Gómez Alberca, R. A., Villanueva, G., y Erixon, C. (2018). *Efecto de las políticas monetarias sobre los créditos bancarios en el Perú, 2004-2016* (tesis de grado). Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque, Perú. Recuperada de <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/UNPRG/1981>
- Hansen, N. J., y Sulla, O. (2013). El crecimiento del crédito en América Latina: desarrollo financiero o boom crediticio. *Revista Estudios Económicos*, 25(1), 51-80. Recuperado de <http://www.bcrp.gob.pe/docs/Publicaciones/Revista-Estudios-Economicos/25/ree-25-hansen-sulla.pdf>
- Jeanneau, S., Tovar, C., y Moreno, R. (2007). Evolución de los sistemas bancarios en América Latina y el Caribe: retos e implicaciones para la política monetaria y la estabilidad financiera. *BIS Papers*, 33. Recuperado de http://www.bis.org/publ/bppdf/bispap33_es.pdf
- Levine, R. (2005). Finance and growth: theory and evidence. *Handbook of economic growth*, 1, 865-934.
- Superintendencia de Banca, Seguros y AFP. (2018a). Estados financieros. *Información de la banca múltiple*. Recuperado de http://www.sbs.gob.pe/app/stats_net/stats/EstadisticaBoletinEstadistico.aspx?p=1#
- Superintendencia de Banca, Seguros y AFP. (2018b). Indicadores financieros. *Información de la banca múltiple*. Recuperado de http://www.sbs.gob.pe/app/stats_net/stats/EstadisticaBoletinEstadistico.aspx?p=1#
- Superintendencia de Banca, Seguros y AFP. (2018c). Morosidad por tipo de crédito y modalidad. *Información de la banca múltiple*. Recuperado de http://www.sbs.gob.pe/app/stats_net/stats/EstadisticaBoletinEstadistico.aspx?p=1#

ANÁLISIS DE LAS VENTAS EMPLEANDO REDES COMPLEJAS: COMUNIDADES Y CENTRALIDAD DE PRODUCTOS

SALVADOR HERNÁNDEZ-GONZÁLEZ, JOSÉ EDUARDO HERNÁNDEZ-TORRES,
MANUEL DARÍO HERNÁNDEZ-RIPALDA*

Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Celaya, México

Recibido: 7 de febrero del 2020 / Aprobado: 9 de abril del 2020

doi: 10.26439/ing.ind2020.n038.4820

RESUMEN: Se analizan las ventas del área de telefonía de una tienda departamental con enfoque de redes complejas. Con las medidas de centralidad y la formación de comunidades, se muestra el ordenamiento de las compras y se cuantifica la relevancia de cada producto. Las ventas se ordenan formando comunidades alrededor de los chips de las compañías telefónicas, en cada caso los teléfonos celulares son los artículos relevantes de cada comunidad.

Palabras clave: análisis de la cesta de la compra / redes complejas / teléfonos celulares / ventas

SALES ANALYSIS USING COMPLEX NETWORKS: COMMUNITIES AND CENTRALITY OF ITEMS

ABSTRACT: Sales in the cell phone and accessories area of a department store are analyzed with a complex network approach. Using measures of centrality and item grouping (communities), purchase ordering is shown, and the importance of each product is quantified. Sales are ordered by forming 'communities' around the cell phone chips. Based on the results, it can be concluded that cell phones are the most significant items of each community.

Keywords: market basket analysis / complex networks / cell phones / sales

* m1803006@itcelaya.edu.mx, salvador.hernandez@itcelaya.edu.mx, dario.hernandez@itcelaya.edu.mx

1. INTRODUCCIÓN

Las empresas, tiendas y negocios de toda índole generan grandes cantidades de comprobantes de pago y estos son, con frecuencia, la única fuente de información en la que se relacionan y agrupan los productos y a partir de los cuales se pueden identificar relaciones e incluso hábitos de compra y consumo (Videla-Cavieres y Ríos, 2014).

Los hábitos de compra de los clientes pueden representarse a través de asociaciones o relaciones entre los diferentes productos que se integran en el comprobante de compra (también llamado "cesta"), permitiendo conocer y entender el comportamiento de los clientes sobre sus preferencias. Cabe señalar que los analistas necesitan herramientas para seleccionar datos y para analizarlos (Raeder y Chawla, 2011) y así determinar la manera en que se agrupan los artículos al momento de ser vendidos (Videla-Cavieres y Ríos, 2014). Con frecuencia la única fuente de tal información son los registros y los comprobantes de venta.

El paradigma de redes complejas ayuda a visualizar un sistema formado por cientos de individuos, visualizarlos, agruparlos en comunidades y cuantificar la relevancia de cada uno dentro de la red de relaciones (Barabási, 2016). Las ventas forman redes donde los nodos corresponden a un artículo, un arco que une el artículo i con el artículo j indicará que ambos se adquirieron juntos, al aplicar las métricas que cuantifican la relevancia de los nodos en la red, se responderán preguntas sobre ¿cómo cuantificar la relevancia de un artículo dentro de la red de ventas?, ¿cómo se agrupan los artículos vendidos?, ¿cómo se afecta la estructura de las ventas si el artículo X se elimina?

En este documento se analizan las ventas de telefonía celular de una tienda departamental: mediante el enfoque de análisis de la cesta de supermercado se cuantifica la certidumbre de las relaciones entre productos, a continuación, cada cesta de supermercado se representa como una red y, finalmente, se cuantifica la relevancia de los artículos dentro de la red y la forma en que se agrupan.

2. TRABAJOS PREVIOS

Existen varios trabajos previos sobre el análisis de las ventas con un enfoque de redes: en Huang, Zeng y Chen (2007) se aplica el enfoque de redes complejas a una cadena de ventas *on-line* de libros. Raeder y Chawla (2011) proponen mejorar la claridad del análisis de la cesta de mercado mediante el modelado de datos como una red. Kim, Kim y Chen (2012) aplican el enfoque de redes complejas para determinar las relaciones entre productos en una cadena de tiendas. Pennacchioli, Coscia, Rinzivillo, Gianotti y Pedreschi (2014) llevan a cabo el análisis de las transacciones de una cadena de tiendas departamentales en Italia. Videla y Ríos (2014) analizan las transacciones de una cadena departamental en Chile. Wan, Chen, Fu y Yang (2015) determinan las preferencias del

mercado de automóviles en China. Zhao, McAuley, Li y King (2017) desarrollan un sistema para proponer sugerencias de compra a los clientes basadas en la construcción de una red de productos sustitutos y productos complementarios. Sha *et al.* (2018) aplican el enfoque de redes complejas para modelar las decisiones de compra en supermercados de China.

Valle, Ruz y Morrás (2018) diseñan un sistema experto de análisis de las compras basado en el modelo de árbol de expansión mínima, para identificar las relaciones de mayor peso y, posteriormente, utilizan métricas de redes para cuantificar la relevancia de los artículos.

Regularmente, el paradigma empleado es construir la red a partir de los comprobantes y a continuación determinar las reglas de asociación empleando, por ejemplo, el índice de agrupamiento (*clustering*); cabe señalar que, los comprobantes de compra contienen numerosas relaciones espurias, es decir, relaciones entre artículos que no indican un patrón o hábito de consumo y que deben descartarse del análisis.

En esta aplicación, primero se construyen las reglas de asociación, a continuación, se construye la red y con las métricas de centralidad se determinan las comunidades existentes y se cuantifica la relevancia de cada artículo.

3. ANÁLISIS DE LA CESTA DE MERCADO

La minería de datos es un conjunto de técnicas que se emplean para encontrar patrones y relaciones entre las variables contenidas en los datos guardados en sistemas de almacenamiento de información; para el caso de las ventas de telefonía celular de una tienda departamental se ha empleado una técnica conocida como análisis de cesta de supermercado (Raeder y Chawla, 2011). El objetivo del análisis de la canasta de mercado es el descubrimiento e interpretación de las reglas de asociación que se forman entre artículos de un catálogo (Agrawal y Srikant, 1994; Kaur y Kang, 2016).

Dado un umbral s , denominado soporte mínimo, y un umbral c , conocido como confianza mínima, se encontrarán todas las reglas de la forma A-B, donde A y B son conjuntos de productos, de manera que:

- A y B aparecen juntos en al menos $s\%$ de las transacciones.
- B ocurre en al menos $c\%$ de las transacciones en las que A ocurre.

Una regla de asociación se admite en una base de datos de transacciones si cumple con los criterios de soporte mínimo y de confianza mínimo (Ayse Nur y Ayvazb, 2018). Formalmente, el nivel de confianza (C) de que A y B se adquieran juntos se plantea como sigue:

$$C(A \rightarrow B) = \frac{P(AB)}{P(A)P(B)} \quad (1)$$

donde $P(X)$ es la proporción de transacciones o compras en las que se incorpora el producto X (Raeder y Chawla, 2011), a mayor valor de C , mayor confianza de que la relación entre pares de productos sea significativa, en consecuencia, es mayor la probabilidad de que se adquieran juntos.

4. REDES COMPLEJAS

Existe un consenso en el sentido de que el inicio de la teoría de grafos se encuentra en los trabajos de Euler, cuando propuso el problema de los puentes de Königsberg. Con el paso del tiempo, la teoría de grafos, el análisis de redes y las redes complejas han sido aplicados a diversas disciplinas, el problema original de la teoría de grafos surgió de un problema de transporte. El auge del estudio de las redes complejas inició a finales de los años noventa dando lugar a un amplio soporte conceptual y metodológico en el análisis de redes sociales y gracias a aportes empíricos y teóricos de la física estadística.

En el desarrollo del formalismo de las redes complejas, los biólogos, sociólogos, economistas e ingenieros de diversas áreas se han concentrado en la recolección de información empírica y en la fenomenología de diversos sistemas sociales, naturales y artificiales, los matemáticos han hecho aportes en la teoría de grafos y los físicos han dado las bases teóricas para la definición de una concepción que integra trabajo empírico, análisis y modelación (Barabási, 2016).

Una red es una representación de los componentes de un sistema, los cuales son llamados *nodos* o *vértices*, las interacciones directas que hay entre ellos se representan mediante arcos, llamados también *enlaces* (figura 1). Con esta representación, mediante una red es posible estudiar sistemas que pueden diferir mucho en naturaleza, apariencia o alcance (Barabási, 2016).

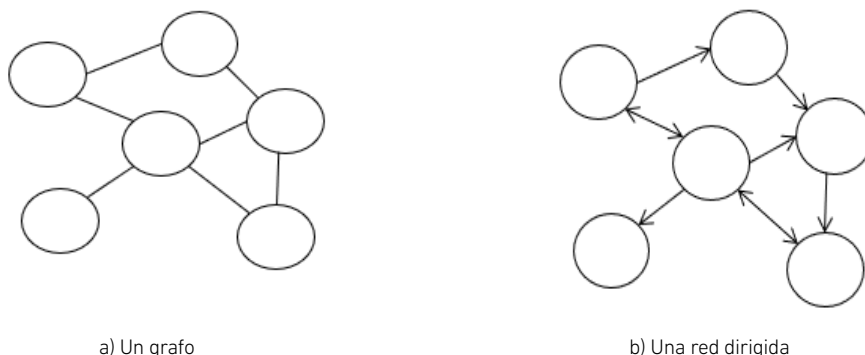


Figura 1. Diferencia entre a) grafo y b) red

Elaboración propia

Una red compleja se refiere a una red o grafo, la cual tiene propiedades estadísticas y topológicas cuantificables. En la actualidad, las redes complejas se estudian por su relación con muchos campos de la ciencia. Muchos sistemas en la naturaleza se pueden describir por medio de redes complejas.

4.1 Indicadores locales (centralidad)

Para cuantificar la relevancia de un nodo dentro de la estructura se emplean indicadores locales o medidas de centralidad. En este trabajo se consideraron las medidas grado del nodo y centralidad de la intermediación.

4.1.1 Grado de un nodo

Se define como el número de arcos o conexiones que contiene un nodo:

$$k_i = \sum_j A_{ij}, i = 1, 2, \dots \quad (2)$$

donde k_i es el grado del nodo i , A_{ij} toma valor 1 si existe un arco que parte del nodo i al nodo j ; 0 en otros casos. Si la gráfica es dirigida, entonces los nodos cuentan con grado de salida y grado de entrada, el grado del nodo será la suma del grado de entrada y el grado de salida (Freeman, 1977). El grado promedio de una red se obtiene como sigue:

$$k_{prom} = \frac{1}{N} \sum_i k_i \quad (3)$$

donde k_{prom} es el grado promedio del nodo, N es el número de nodos de la red y k_i es el grado del nodo i .

4.1.2 Centralidad de la intermediación

La importancia de un nodo por la frecuencia con la que aparece en la ruta más corta entre los nodos j y k se mide mediante el índice de intermediación (*betweenness centrality*). Cuando una mayor proporción de rutas cruzan un nodo específico, mayor relevancia tendrá como punto de conexión; la centralidad de intermediación del nodo i (b_i) se calcula como sigue (Barthelemy, 2011; Freeman, 1977):

$$b_i = \sum_{j \neq k \neq i} \frac{n_{jk}(i)}{n_{jk}} \quad (4)$$

donde $n_{jk}(i)$ es el número de rutas más cortas que conectan los nodos j y k y que pasan por el nodo i , n_{jk} es el número total de todas las rutas más cortas que conectan los nodos j y k . A mayor valor de intermediación, mayor relevancia del nodo como punto de conexión entre distintas secciones de una red. Eliminar un nodo con un valor de intermediación alto lleva a problemas de comunicación entre secciones de una red.

4.1.3 Modularidad

Identificar comunidades dentro de una red proporciona información sobre la estructura y sobre subsistemas o grupos (módulos). Para detectar una comunidad es necesario particionar la red agrupando los nodos de conjuntos densamente conectados y diferenciándolos de aquellos nodos con sólo algunas conexiones. El valor del módulo identifica una comunidad o familia en la red, sin embargo, es necesario estudiar las comunidades para identificar rasgos o características comunes. Cuando se aplican las medidas de centralidad a las comunidades, se cuantifica la cohesión entre los nodos que las forman.

Por lo regular se utilizan algoritmos heurísticos que construyen comunidades pequeñas a las que se van agregando nodos, siguiendo un proceso iterativo hasta que todos los nodos han sido agregados a una comunidad (Gephi, 2010).

5. MATERIALES Y MÉTODOS

Como caso de estudio se analizaron los comprobantes de una semana de ventas (11 al 17 de febrero del 2019) del área de telefonía que fueron proporcionados por una tienda departamental ubicada en la ciudad de Querétaro, México. El método consistió en 7 pasos los cuales se describen brevemente a continuación (figura 2).

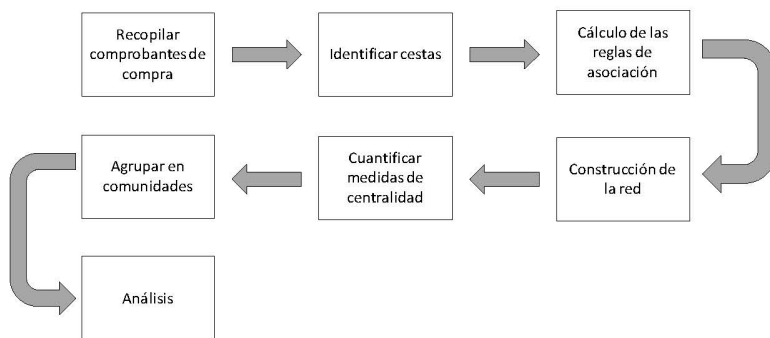


Figura 2. Fases para el análisis de las ventas

Elaboración propia

Cada comprobante de venta corresponde a una cesta de supermercado con lo que se obtuvo la siguiente tabla de relaciones con los nombres codificados de los productos (tabla 1):

Tabla 1
Relación de ventas de teléfonos celulares

Comprobante	Producto 1	Producto 2	Producto 3	Producto 4
1	TEL SYJ8	CHIP TX		
2	TEL SYJ4	CHIP TX		
3	EL MOMOG6PL	CHIP MY		
4	TEL NX	CHIP TX		
5	TEL AL	CHIP TX		
6	TEL SYJ4LAV	CHIP TX	MICAS BL SY J4	
7	TEL UNHIL675 PRO	CHIP UW		
8	TEL SYA7	CHIP TX		
9	TEL SYLJ4	CHIP TX	CARGADOR BL CARRO USB	CABLE BL MICRO 2M
10	TEL SYALJ8	CHIP TX	MEMORIA MICRO SD K 32 GB	
11	TEL NXXN306NGP R6	CHIP TX		
12	TEL SGJ6	CHIP MZ 4G		
13	TEL ATHUP20LIT AZU	CHIP AV		
14	TEL ATSAMJ6	CHIP AV		
15	TEL ATHIL675 PRO	CHIP AV		
16	TEL ATHUP20LITNEG	CHIP AV		
17	TEL MOMO500ID	CHIP TX		
18	TEL CELMOONE	CHIP MZ 4G		
19	TEL AIPH632GB	CHIP MZ 4G		
20	TEL SGJ6	CHIP MZ 4G	PROM TEL SAM CAMISETA ENAMO	
21	TEL CELZUONS	MLT CHIP		
22	TEL ANILIM9	CHIP MZ 4G		
23	TEL SYJ610GJ632G	CHIP MZ 4G		
24	TEL UNHIL675PRO	CHIP UW		
25	TEL SYPRI16GB	CHIP MZ 4G		
26	TEL ZTBLL7A DRD	CHIP MZ 4G		
27	TEL ATSYJ4	CHIP AV		
28	TEL ZTBL7AAZU	CHIP MZ 4G		
29	TEL SYA7AZU	CHIP MZ 4G		

(continúa)

(continuación)

30	TEL MOG6PLAAZU	CHIP MZ 4G	PROTECTOR BL MO G6P
31	TEL SYJ415G32GB	CHIP MZ 4G	
32	TELX210HM K9 16 G	CHIP MZ 4G	
33	TEL SYJ632G	CHIP MZ 4G	
34	TEL ATHUMAT20LNEG	CHIP AV	

Elaboración propia

Por ejemplo, el comprobante 1 contiene un teléfono celular (identificado por la clave TEL) y un chip; el comprobante 6 corresponde a un teléfono celular, un chip y micas. En total se revisaron 34 comprobantes de compra.

Posteriormente, se realizó el cálculo de las reglas de asociación determinando primero el número de cestas en las que aparece el producto, a continuación, se calculó el “soporte” como el cociente del total de cestas en las que A y B se adquieren juntos, del total de cestas analizadas, enseguida se obtuvo la “confianza” que muestra la fracción con la que los artículos en B aparecen o se venden en conjunto con los artículos A y, finalmente, se evaluó la “confianza esperada”, que cuantifica la confianza o “certeza” de que se compre un artículo B, dado que ya se compró un artículo A, en este caso, a mayor valor de la confianza esperada, mayor es la certeza de que A y B se compren juntos.

En la siguiente fase, y con los pesos dados por la frecuencia de compra, se generó la red de ventas en donde cada nodo de la red corresponde a un artículo. Una vez que se generó la red, el siguiente paso consistió en obtener las medidas de centralidad y, finalmente, se agruparon los nodos y sus relaciones en comunidades o módulos; la construcción de la red, el cálculo de medidas de centralidad y la agrupación en módulos se ejecutaron empleando el paquete Gephi diseñado para construir modelos de redes de sistemas.

6. RESULTADOS

Una muestra de las reglas de asociación calculadas se presenta en la tabla 2. Se encontraron cestas con un nivel de confianza bajo en su relación con otros artículos, por ejemplo, la relación TEL NX - CHIP TX y la relación TEL NXXN306 NGP R6 - CHIP TX, en ambos, el nivel de confianza es 0,34, se obtiene este valor porque existen varios modelos de teléfonos celulares que se adquirieron junto con el chip TX, se obtiene el mismo valor para otras 6 relaciones, esto indica una probabilidad uniforme de adquirir el chip TX y un teléfono celular de cualquier modelo.

En la relación 4, formada por el teléfono TEL SYJ4LAV y las MICAS BL SY J4, la cual obtuvo un nivel de confianza de 34, el resultado indica que existe un nivel de certidumbre muy alto de que ambos artículos se adquieran juntos, esto se explica porque el tipo de mica es exclusiva para este modelo. Cada una de las reglas de asociación cuantifican la certidumbre de una compra que incluye los artículos A y B; en este caso de estudio, los productos considerados forman relaciones obvias y permiten establecer una agrupación dentro de esta sección del departamento.

Sin embargo, con este enfoque resulta complicado identificar la relevancia de un producto dentro de la red, ya sea por el número de artículos diferentes con los que se relaciona o bien visualizar su relevancia como puente entre artículos que no están conectados directamente.

Tabla 2
Ejemplo de cálculos para las relaciones

Producto	¿Cuántas cestas contienen el producto? (A&B)	Soporte (frecuencia) (A&B)/34	Confianza (A&B)/A	Confianza esperada [(A&B)/(A)]/[B/Total]	Familia
CHIP TX->TEL SGJ8	2	0,0588	0,2	0,68	5
TEL SYJ8, MEMORIA MICRO SD 32 GB	1	0,0294	0,5	8,5	5
TEL SYJ4, CHIP TX	2	0,0588	0,2	0,68	5
TEL SYJ4, CARGADOR BL CARRO USB, CABLE BL MICRO 2M	1	0,0294	0,5	8,5	1
TEL NX, CHIP TX	1	0,0294	0,1	0,34	5
TEL AL, CHIP TX	1	0,0294	0,1	0,34	5
TEL SYJ4LAV, CHIP TX	1	0,0294	0,1	0,34	5
TEL SYJ4LAV, MICAS BL SAM J4	1	0,0294	1	34	5
TEL SYA7, CHIP TX	1	0,0294	0,1	0,34	5
TEL NXXN306 NGP R6, CHIP TX	1	0,0294	0,1	0,34	5
TEL MOMOT500ID, CHIP TX	1	0,0294	0,1	0,34	5
TEL SYJ6, CHIP MZ 4G	2	0,0588	0,1429	0,3469	0
TEL SYJ6, PROM TEL SAM CAMISETA ENAMO	1	0,0294	0,5	8,5	0

Elaboración propia

A continuación, las relaciones se modelaron como una red para observar el ordenamiento de las ventas, las comunidades existentes y la relevancia de los artículos, el resultado se observa en la figura 3.

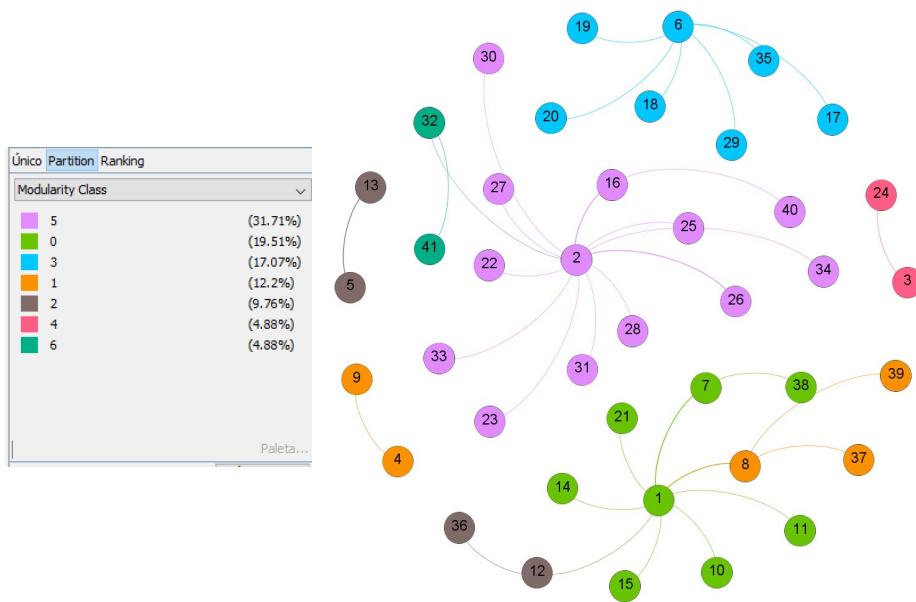


Figura 3. Red de ventas y comunidades identificadas en el departamento de telefonía celular
Elaboración propia

Una vez obtenida la red, se calcularon las medidas de centralidad del grado y de la intermediación, así como las comunidades o módulos, todos los cálculos se realizaron empleando el paquete Gephi (2010).

En total se obtuvieron 7 comunidades: la comunidad 5 tiene el mayor número de nodos agrupados alrededor del chip de la compañía MZ (nodo 2), la familia 0 muestra un agrupamiento en torno del chip de la compañía TX (nodo 1) y la familia 3 se aglomera alrededor del chip de la compañía AV (nodo 6). Como resultado, estas tres comunidades concentran el 68,29 % de los nodos, también se encontró que tres artículos de la comunidad 1 están conectados a la familia 0 a través de un teléfono celular (nodo 8).

6.1 Centralidad del grado

Se encontró que en las familias 5, 0 y 3, el nodo de mayor grado es el chip que da acceso al servicio de cada compañía de telefonía (nodos 1, 2 y 6), alrededor de estos chips se adquieren los teléfonos celulares con sus respectivas características, en otras palabras, el resultado

indica que las ventas tienden a formar una red con un arreglo ordenado alrededor de los chips que ofrecen las compañías; cabe señalar que la variedad de teléfonos celulares es mayor comparada con el número de compañías que ofrecen el servicio. Este resultado es interesante porque regularmente se cree que el producto principal es el teléfono.

En el caso de la familia 5, el chip (nodo 2) cuenta con 11 arcos y todos conectan a teléfonos celulares, el nodo 40 corresponde a una playera patrocinada por la compañía del chip y está enlazada al nodo 16. También se encontró que existe una conexión con la comunidad 6 formada por un teléfono celular (nodo 32), un protector.

En la familia 0, por ejemplo, el chip de la compañía TX (nodo 1) tiene grado 8, los nodos 7, 8, 10, 11, 12, 14, 15 y 21 están conectados a este chip y corresponden a modelos de teléfonos celulares; enlazado al nodo 7 se encuentra una tarjeta de almacenamiento SD (nodo 38); al nodo 12 se enlazaron micas protectoras (nodo 36); el nodo 8 tiene, a su vez, enlazados un cable (nodo 37) y un cargador (nodo 39).

6.2 Intermediación

En la tabla 3 se muestra la comunidad 5, con el grado de cada nodo y el valor de intermediación calculado: la inspección muestra que después del nodo 2, el nodo 16 es un artículo (teléfono) donde el valor de intermediación es el más alto; al inspeccionar esta comunidad, se puede observar que enlaza con una playera (nodo 40) que no se encuentra en ninguna otra cesta de esta familia.

Tabla 3
Datos de centralidad en la familia 5

Nodo	Grado	Intermediación	Modularidad
2	12	0,1141	5
16	2	0,0166	5
22	1	0	5
23	1	0	5
40	1	0	5
25	1	0	5
26	1	0	5
27	1	0	5
28	1	0	5
30	1	0	5
31	1	0	5
33	1	0	5
34	1	0	5

Elaboración propia

Considere ahora la familia 1 formada por 5 nodos, en esta familia el nodo 8 es relevante porque a través de ese artículo hay conexión con la familia 0, su valor de intermediación es el más alto dentro de esta comunidad, ya que conecta un cargador y un cable. Un caso especial es la familia 2, está formada por 4 nodos, de estos, el artículo 12 es el de mayor relevancia porque es el que conecta a esta familia con la familia 0 (tabla 4).

Tabla 4
Datos de centralidad de las familias 1 y 2

Nodo	Grado	Intermediación	Modularidad
8	3	0,3181	1
4	1	0	1
9	1	0	1
37	1	0	1
39	1	0	1
12	2	0,1667	2
36	1	0	2
5	1	0	2
13	1	0	2

Elaboración propia

Finalmente, en la familia 0, después del nodo 1, el siguiente nodo de mayor relevancia es el 7, que corresponde a un teléfono celular, este conecta la comunidad con una memoria SD (nodo 38) (tabla 5).

Tabla 5
Datos de centralidad de la familia 0

Nodo	Grado	Intermediación	Modularidad
1	8	0,9242	0
7	2	0,1667	0
38	1	0	0
10	1	0	0
11	1	0	0
14	1	0	0
15	1	0	0
21	1	0	0

Elaboración propia

Los nodos con valor de intermediación 0 corresponden a nodos que no son relevantes para conectar pares de nodos dentro de la red.

Si bien la centralidad de un nodo cuantifica la relevancia de un artículo, también mide el efecto en caso de que dicho nodo sea eliminado de la red, en el contexto de redes complejas a este fenómeno se le conoce como "falla", por ejemplo, considerando nuevamente la familia 1, si se elimina del catálogo el artículo 8 se rompe la conexión entre las familias 1 y 0.

7. DISCUSIÓN

De los resultados obtenidos, se deduce que las reglas de asociación y su respectivo nivel de confianza se limitan a cuantificar la certeza de que un par de productos se adquieren juntos, por ejemplo, se puede mencionar el caso de la cesta formada por TEL SYJ4 - CARGADOR BL CARRO USB - CABLE BL MICRO 2M (nodos 8, 37 y 39) donde el nivel de certeza es 8,5 que, en comparación con otras cestas, indica una fuerte relación entre estos tres artículos.

Ahora bien, al modelar las relaciones como red se encuentra que el teléfono TEL SYJ4 está relacionado con el chip TX (nodo 1) y, además, forma un grupo con otros 7 modelos.

Por otra parte, las medidas de centralidad muestran con quién se relacionan los artículos (grado) y qué artículos forman puentes (intermediación): el protector para teléfono celular (nodo 41) se adquirió a través del teléfono celular TEL MOG6PLAAZU (nodo 32), que a su vez se adquirió con el teléfono celular TEL SYPRI16GB.

Finalmente, se encontró que las ventas se pueden catalogar en 7 familias; de estas, 3 tienen una estructura ordenada alrededor del chip de la compañía telefónica que proporciona el servicio, en otras palabras, la red indica qué compañías celulares controlan la venta de un teléfono.

Representar las relaciones como red, además de reforzar los resultados del nivel de confianza de las reglas de asociación, muestra el sistema en una forma que permite identificar relaciones potenciales entre artículos y que pueden ofertarse juntos.

Cabe señalar que una limitante en este trabajo es la cantidad de datos, en este caso, los comprobantes corresponden a una semana de ventas y, además, se enfocó en un solo departamento, lo que afecta el nivel de confianza de la cesta de supermercado y, en consecuencia, los pesos de los enlaces entre pares de nodos. Por lo anterior, las bondades de los modelos en red serán más evidentes al aplicarse a historiales de ventas con un horizonte temporal mayor.

8. CONCLUSIONES

El enfoque del análisis de la cesta de supermercado sirve para identificar las relaciones entre los artículos que se ofertan en un negocio, sin embargo, al analizar la cesta con un enfoque de red compleja, se identifican las comunidades o familias que se forman y, además, se cuantifica la relevancia de cada artículo mediante las medidas de centralidad.

La red permite identificar que las ventas del departamento de telefonía tienen como producto central a los chips, alrededor de estos se venden los diferentes modelos de teléfonos celulares, igualmente, se observó que compañías celulares controlan la venta de teléfonos celulares.

La centralidad de la intermediación ayuda a identificar los artículos relevantes dentro de la estructura y a identificar con qué otros artículos se relacionan; en este caso, se encontró que los artículos relevantes resultaron ser los chips y, en segundo lugar, los teléfonos celulares que forman puentes hacia cables, cargadores y micas, objetos que tienen el potencial de ofrecerse en paquete.

Este trabajo muestra cómo el enfoque de redes complementa una técnica de análisis de las ventas, proporcionando información sobre la estructura que forma el comportamiento de consumo de los clientes; se identificaron comunidades y se cuantificó la relevancia de cada artículo. En una extensión de este trabajo, debe aplicarse dicho análisis a una base de datos de mayor tamaño, en este caso, se analizaron únicamente 34 comprobantes, aun así, la información obtenida permite apreciar el potencial para analizar bases de datos de mayor tamaño.

REFERENCIAS

- Agrawal, R., y Srikant, R. (1994). Fast algorithms for mining association rules. En *Proceedings of the 20th VLDB Conference* (pp. 487-499). Santiago: Almaden Research Center.
- Ayse Nur, S. y Ayvazb, B. (2018). Determination of association rules with market basket analysis: an application in the retail sector. *Southeast Europe Journal of Soft Computing*, 7(1), 10-19. doi:10.21533/scjournal.v7i1.149
- Barabási, A. L. (2016). *Network Science*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Barthelemy, M. (2011). Spatial networks. *Physics Reports*, 499(1-3), 1-101. doi:10.1016/j.physrep.2010.11.002
- Freeman, L. (1977). A set of measures of centrality based on betweenness. *Sociometry*, 40(1), 35-41. doi:10.2307/3033543

- Fruchterman, T., y Reingold, E. (1991). Graph drawing by Force-directed Placement. *Software: Practice and Experience*, 21(11), 1129-1164. doi:10.1002/spe.4380211102
- Gephi (2010). Gephi Tutorial Quick Start. Recuperado de https://gephi.org/tutorials/gephi-tutorial-quick_start.pdf
- Huang, Z., Zeng, D., y Chen, H. (2007). Analyzing consumer-product graphs: empirical findings and applications in recommender systems. *Management Science*, 53(7), 1146-1154. doi:0.1287/mnsc.1060.0619
- Kaur, M., y Kang, S. (2016). Market basket analysis: identify the changing trends of market data using association rule mining. *Procedia Computer Science*, 1(85), 78-85. doi:10.1016/j.procs.2016.05.180
- Kim, H., Kim, J., y Chen, Q. (2012). A product network analysis for extending the market basket analysis. *Expert Systems with Applications*, 39(8), 7403-7410. doi:10.1016/j.eswa.2012.01.066
- Pennacchioli, D., Coscia, M., Rinzivillo, S., Gianotti, F., y Pedreschi, D. (2014). The retail market as a complex system. *EPJ Data Science*, 3(33), 1-27. doi:10.1140/epjds/s13688-014-0033-x
- Raeder, T., y Chawla, N. V. (2011). Market basket analysis with networks. *Social Network Analysis and Mining*, 1(2), 97-113. doi:10.1007/s13278-010-0003-7
- Sha, Z., Huang, Y., Fu, J., Wang, M., Fu, Y., Contractor, N., y Chen, W. (2018). A network-based approach to modeling and predicting product co-consideration relations. *Complexity*, 2018, 1-13. doi:10.1155/2018/2753638
- Valle, M. A., Ruz, G. A., y Morrás, R. (2018). Market basket analysis: complementing association rules with minimum spanning trees. *Expert Systems with Applications*, 97(1), 146-162. doi:10.1016/j.eswa.2017.12.028
- Videla-Cavieres, I., y Ríos, S. (2014). Extending market basket analysis with graph mining. *Expert Systems with Applications*, 41 (4), 1928-1936. doi:10.1016/j.eswa.2013.08.088
- Wan, M., Chen, W., Fu, Y., y Yang, Y. (2015). Analyzing and predicting heterogeneous customer preferences in China's auto-market using choice modeling and network analysis. *International Journal of Materials and Manufacturing*, 8(3), 1-10. doi:10.4271/2015-01-0468
- Zhao, T., McAuley, J., Li, M., y King, I. (2017). Improving recommendation accuracy using networks of substitutable and complementary products. En *2017 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)* (pp. 3649-3655). Anchorage, AK: IEEE. doi:10.1109/IJCNN.2017.7966315

**PROYECTOS
EMPRESARIALES
INDUSTRIALES**

Industrial Business Projects

PROCESO DE PRODUCCIÓN DE COLCHONES DE ESPUMA VISCOELÁSTICA EN EL PERÚ

CATERINA STROBBE*

Universidad de Lima, Perú

Recibido: 2 de octubre del 2019 / Aprobado: 14 de febrero del 2020

doi: 10.26439/ing.ind2020.n038.4821

RESUMEN: El objetivo del artículo es exponer la viabilidad tecnológica de la instalación de una planta para colchones de espuma viscoelástica, con la finalidad de brindar mejor calidad de vida al usuario. Los temas más relevantes para el alcance del estudio son la definición del producto y la determinación del proceso de producción. Estas herramientas permiten entender el proceso, estableciendo los puntos clave para la elaboración de los colchones.

Palabras clave: espuma viscoelástica / colchones / polimerización / estudios de viabilidad / industria del colchón

PRODUCTION PROCESS FOR MEMORY FOAM MATTRESSES IN PERU

ABSTRACT: This article aims to define the technological viability of the installation of a memory foam mattress plant to provide users a better quality of life. The most relevant topics of the study are product definition and production process. These tools are important to understand the process and establish the critical points for mattress production.

Keywords: Memory foam / mattresses / polymerization / feasibility studies / mattress industry

* cstrobbe@gmail.com

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción a la industria de los colchones

La industria de colchones se puede separar en dos grupos principales de acuerdo con la composición del producto: con resortes (muelles) y sin resortes. Dentro de los que tienen resortes hay distintas variedades; según el relleno, la forma y cantidad de resortes, y el número y grosor de las capas de soporte de la parte superior, ya sea una capa de algodón y tela, espuma de poliuretano, látex o viscoelástica. Dentro de los colchones sin resortes están los de espuma de poliuretano de baja densidad, espuma de látex y espuma viscoelástica (Viscoform, 2020).

En la actualidad, el material viscoelástico es el mejor en cuanto términos médicos y ha sido aprobado por la NASA en donde se iniciaron investigaciones a finales de los años sesenta para encontrar el material óptimo que resista altas presiones (Sonlab, 16 de noviembre del 2017). Este material se empezó a utilizar en colchones a inicios de los años noventa, por empresas de alto prestigio a nivel global, como es el caso de éxito de la empresa Tempur. Los colchones de espuma viscoelástica tienen la característica especial que evita que se deformen de manera permanente, teniendo una vida útil de 10 años (Anderson, 8 de febrero del 2019).

Por otro lado, el 90 % del mercado de colchones son de muelles, estos colchones tienen una vida útil de 10 años, pero el colchón tiene que ir rotándose ya que va tomando la forma del usuario y se va deformando de manera permanente (Cantzler, 25 de abril del 2013). Además de deformarse, los resortes pueden llegar a romperse antes de su vida útil, creando incomodidades en el usuario. Como productos sustitutos al colchón se encuentran los *mats* y los sofás cama, sin embargo, ninguno brinda las características de un colchón por tamaño, forma, calidad del material y comodidad de descanso.

1.2 Problemática en el Perú

La investigación de los colchones de espuma viscoelástica es un tema relevante, ya que el dolor de espalda y las lesiones a causa de ello son de alta importancia tanto en el Perú como en el mundo. Según el estudio realizado por Gardinalli Quiropraxia (centro especializado en el diagnóstico, tratamiento y prevención de los trastornos del sistema neuromusculoesquelético), se encontró que el 39,68 % de los peruanos sufren de dolor cervical, el 14,29 % de dolor dorsal y el 34,92 % de dolor lumbar. Este número es elevado a comparación de otros síntomas comunes e importantes como dolores de cabeza, colesterol alto, presión alta y artritis, que solo representan el 4,76 % (El 39 % de peruanos sufre de dolores cervicales y eso incrementa el ausentismo laboral, 5 de febrero del 2016).

Esto genera impacto para el país ya que ocasiona invalidez temporal. EsSalud informó que el 80 % de los descansos médicos que generan se debe a dolores derivados de la columna (PYMEX, 16 de agosto del 2018).

1.3 Impacto positivo de los colchones de espuma viscoelástica

Al estar sentados el cuerpo humano genera mayor presión en la columna, por lo que es vital reposar con el cuerpo totalmente horizontal para que la gravedad y el peso de este no afecte la columna al ejercer más peso, como se puede apreciar en la figura 1.

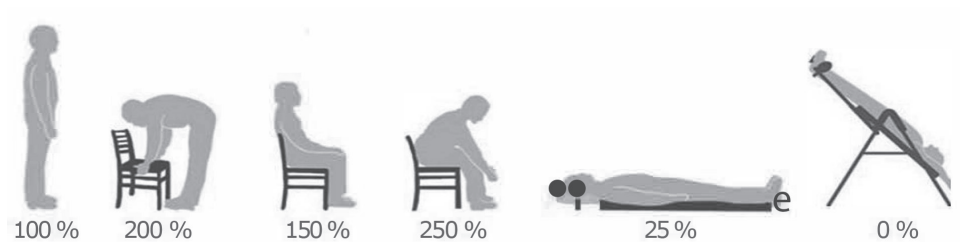


Figura 1. Presión ejercida en la columna vertebral según posición

Fuente: Andrés (9 de mayo del 2019)

Una persona debe dormir en promedio 8 horas diarias, siendo momento vital para el descanso y relajación muscular. Por el exceso de carga laboral, esas horas de sueño recomendadas se ven reducidas; por lo tanto, se tienen que aprovechar al máximo para descansar todos los músculos y reparar el cuerpo (¿Cuánto tiempo es recomendable dormir según nuestra edad?, 3 de agosto del 2018).

Los colchones de espuma viscoelástica ofrecen una superficie única para cada usuario al ajustarse al cuerpo de cada uno. Otra característica importante del producto es que es una pieza entera de espuma para evitar el uso de resortes, como un colchón de muelles tradicional. Al no tener resortes y por la propiedad de la espuma de adaptarse al cuerpo, evita el rebote. Esto es significativo, ya que cuando la cama rebota se producen vibraciones que generan presión no deseada en el cuerpo. Estas características permiten que la columna descance, reducen la presión en la columna, tanto la ejercida por la gravedad como la del rebote de los resortes, y permite que los músculos se relajen al no tener que cargar con todo el peso del cuerpo.

1.4 Método de investigación

La investigación de la viabilidad tecnológica de la implementación de una planta de producción de colchones de espuma viscoelástica en el Perú se hará llevando a cabo los siguientes pasos:

- Definir el producto
- Definir el proceso de producción
- Definir el impacto del proceso: impacto ambiental e impacto en la salud y seguridad
- Realizar el balance de materia y definir la capacidad de la planta
- Elaborar el plano de la planta de producción

2. DEFINICIÓN DEL PRODUCTO

2.1 Colchones de espuma viscoelástica

El colchón de espuma viscoelástica tiene como característica principal adaptarse a la postura del usuario, regresando a su posición original sin deformación permanente. La espuma viscoelástica tiene como característica que se ajusta al cuerpo, de manera suave en el área deseada y firme donde el cuerpo necesita soporte, manteniendo la alineación de la columna. Además, redistribuye la presión reduciendo las molestias generadas por el propio peso del cuerpo al dormir, porque el apoyo del cuerpo en el colchón es completo y no se centra en ciertos puntos de apoyo. Al no deformarse permanentemente, el usuario no tiene necesidad de estar rotando el colchón cada año, por lo tanto, tiene una vida útil de aproximadamente 10 años, si se conserva en las condiciones adecuadas (Tempur, 2020).

2.2 Definición del producto y de la calidad

2.2.1 Definición del producto

El producto básico es un colchón de cama para el descanso humano; el producto real, un colchón de espuma viscoelástica. La densidad de la espuma es 56 kg/m^3 (Kang, Lee y Kim, 2011). La composición química del material se encuentra en la tabla 1.

Tabla 1

Proporción de insumos para espuma viscoelástica de densidad 56 kg/m³

Insumo	pphp [1]
Polipropilenglicol	100,00
Tolueno diisocianato	52,81
Agua destilada	1,60
Cloruro de metileno	2,0
Surfactante de silicona	1,0
Catalizador de amina	0,3
	157,71

Nota 1: pphp, partes por 100 partes de polioli

Fuente: Kang, Lee y Kim (2011)

La espuma tiene que ser cortada según las dimensiones convencionales de las camas, como se muestra en la figura 1, para formar el colchón y que quepa sobre cualquier somier para que no sea un inconveniente para el consumidor. Además, para un mejor cuidado del colchón, se va a cubrir en un forro de tela, producto que se va a adquirir de terceros, el cual se puede sacar para poder lavarlo.

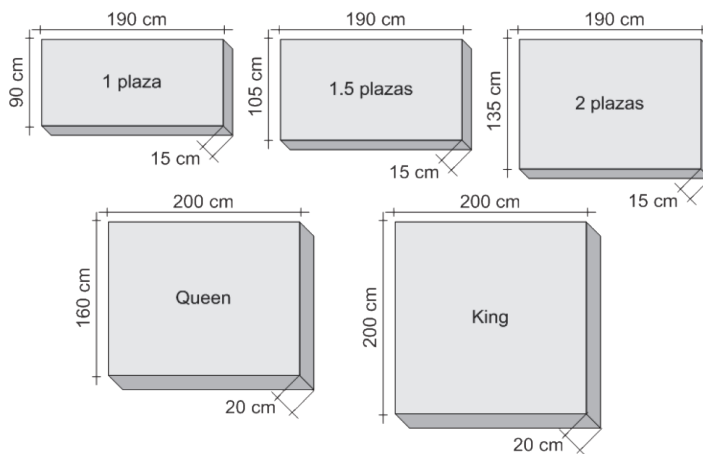


Figura 2. Diseño y medidas estándar de los colchones, según tamaño

Elaboración propia

Respecto al producto aumentado, se va a asesorar al cliente acerca del uso correcto del producto, explicándole los beneficios del material. Es importante explicarle al usuario cómo dormir y cuáles son las mejores posiciones, para que aproveche al máximo el producto que está adquiriendo.

2.2.2 Calidad de los colchones de espuma viscoelástica

El colchón de espuma viscoelástica tiene como característica principal adaptarse a la postura del usuario, regresando a su posición original sin deformación permanente. Este es un punto que distingue la calidad del producto; al no deformarse de manera permanente, el colchón tiene una vida útil de aproximadamente 10 años, si se conserva en las condiciones adecuadas (Tempur, 2020). Es posible obtener esta característica por la composición del producto y por el control en los puntos críticos durante el proceso.

La espuma puede tener diferentes densidades, dependiendo del tamaño de sus celdas, ya que una celda grande tiene mayor aire adentro, por lo tanto, es una espuma de menor densidad, y viceversa. La densidad del colchón es de 56 kg/m^3 , esto permite que haya espacio entre las celdas, lo cual admite el flujo de aire sin que las celdas sean tan amplias que colapsen con el peso. Es importante que la densidad no se vea afectada durante el proceso de producción, ya que tiene un impacto directo en la calidad percibida por el usuario (Kang *et al.*, 2011).

Otra característica destacable del producto es que es una pieza entera de espuma viscoelástica para evitar el uso de resortes, como un colchón de muelles tradicional, o evitar juntar varias espumas, y que esta esté hecha de materia prima no reciclada ya que altera la calidad del producto final. Además, es importante que el cliente esté seguro de lo que compra, por lo tanto, según la Resolución Ministerial n.º 346-2013-PRODUCE (2013), deben declararse los materiales predominantes y si son materiales de primer uso o reciclados.

2.3 Composición del producto

A continuación, se presenta la composición de la espuma viscoelástica en la tabla 2 y en los párrafos que le siguen, la importancia de cada una de las materias primas utilizadas dentro de la fórmula.

Tabla 2
Composición del producto

Materia prima	pphp*	Masa molar (g/mol)	Masa	Proporción
Polipropilenglicol	100,00	76,10	7 610,00	43,74 %
Tolueno diisocianato	52,81	174,20	9 199,50	52,88 %
Agua destilada	1,60	18,00	28,80	0,17 %
Cloruro de metileno	2,00	84,93	169,86	0,98 %
Surfactante de silicona	1,00	357,36	357,36	2,05 %
Catalizador de amina	0,30	105,14	31,54	0,18 %
	157,71		17 397,06	100,00 %

* Nota: pphp, partes por 100 partes de polioli

Fuente: Kang, Lee y Kim (2011)

- **Polipropilenglicol:** es un plastificante cuya función principal es descomponer las cadenas de polímeros para evitar la formación de cadenas largas que convierten a la estructura en una estructura frágil. La idea del plastificante es que le dé la suavidad y maleabilidad a la espuma (Gama, Ferreria y Barros-Timmons, 2018).
- **Tolueno diisocianato:** tiene como función principal reaccionar con el polipropilenglicol para formar la espuma. Esta amina le da resistencia a las paredes de las células que se forman. Es importante que sean resistentes para que no colapsen con el peso del usuario del colchón, perdiendo su característica de deformarse temporalmente. La resistencia se logra agregando el insumo químico en exceso, para que se forme urea, de tal manera que se crean puentes de hidrógeno dándole mayor rigidez a la espuma (Gama *et al.*, 2018).
- **Agua:** importante insumo para que ocurra la reacción y se forme dióxido de carbono. Debe contar con la medida exacta de agua, ya que, a mayor cantidad, mayor CO_2 se forma, obteniendo una espuma de menor densidad. De modo contrario, a menor cantidad de agua, resulta una espuma de mayor densidad. Por lo tanto, de este insumo depende la capacidad de soportar carga, puesto que está vinculado a la densidad de la espuma obtenida (Strakowska, Czlonka y Strzelec, 2019).
- **Cloruro de metileno:** es un agente soplante cuya función es dar suavidad a la espuma y a la vez controlar la densidad de la misma.
- **Surfactante de silicona:** este agente químico le da estabilidad a la espuma para que sea un producto inerte. Además, baja la tensión superficial para facilitar la reacción del tolueno diisocianato con el agua. Por último, les da resistencia a las celdas formadas durante la reacción para evitar el colapso de la espuma durante el proceso de polimerización.

3. PROCESO PRODUCTIVO

3.1 Proceso de producción

El proceso inicia midiendo la cantidad necesaria de cada materia prima, siguiendo las proporciones de la tabla 2. Se vierte en el reactor con agitador el polipropilenglicol, el tolueno diisocianato, el agua destilada, el cloruro de metileno, el surfactante de silicona y el catalizador de amina, en las medidas respectivas. La mezcla se agita por 30 segundos a 1500 rpm para obtener una mezcla homogénea y que la reacción de polimerización aditiva se lleve a cabo (Strakowska *et al.*, 2019). El proceso de polimerización aditiva es la reacción de monómeros, que al reaccionar forman cadenas más largas, brindando propiedades físicas, como elasticidad y fuerza, al producto final (Rogers, 2020). Durante esta etapa del proceso es necesario que los operarios utilicen equipos de protección personal, debido a que los gases emitidos por la reacción pueden irritar las vías respiratorias.

Una vez que la mezcla es homogénea, se debe vaciar en el molde, previamente, empapelado con papel sulfurado para impermeabilizar el molde y evitar que el pan (término utilizado para representar el molde principal de espuma viscoelástica que se produce durante la expansión máxima) se adhiera a las paredes. El vertido de la mezcla debe ser de forma rápida y continua porque la espuma va expandiéndose rápidamente y debe manejarse con cuidado el vaciado porque la reacción es exotérmica.

El pan obtenido se deja reposar por 40 minutos a temperatura ambiente, para que baje la alta temperatura que alcanzó por la reacción. Luego, se corta a las medidas establecidas según tamaño y lote, para quitar toda irregularidad, y se deja curar por 24 horas a temperatura ambiente, máximo 25 °C, en un lugar seco de máximo 70 % de humedad (Kang *et al.*, 2011).

Una vez curadas las piezas, se cortan a la medida del colchón que se desea fabricar, según las dimensiones de la figura 2. Se utiliza una sierra con cinta horizontal y una vertical para realizar los cortes de manera pareja, disminuyendo los errores e imprecisión del trabajo manual.

El colchón es forrado por una funda de algodón y poliéster para obtener el producto terminado. Esa funda se compra a un proveedor, hecha a la medida, e incluye un cierre para facilitar la operación. Finalmente, el colchón forrado es embalado en plástico para evitar cualquier tipo de contaminación. Todos estos trabajos se realizan sobre una mesa de trabajo cumpliendo las medidas ergonómicas para esta labor.

A continuación, se presenta el diagrama de flujo del proceso y el balance de materiales.

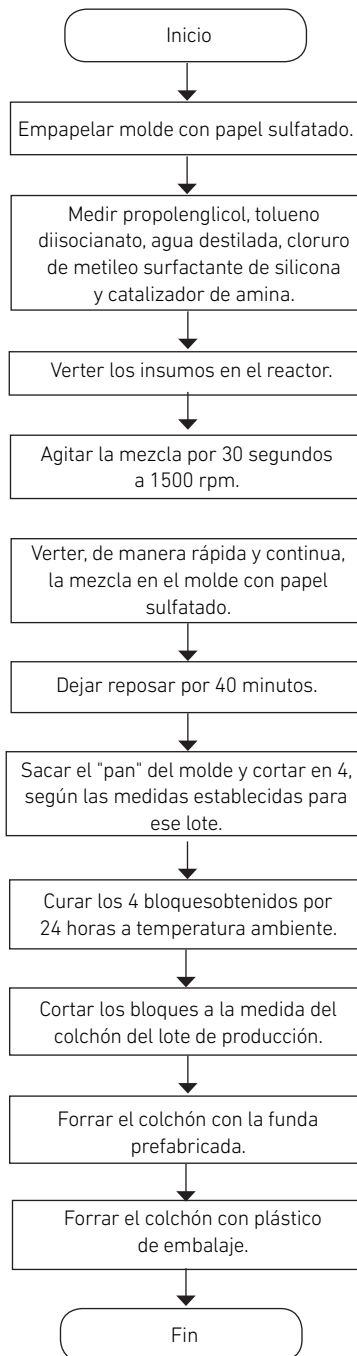


Figura 3. Diagrama de flujo del proceso productivo

Elaboración propia

3.2 Balance de materia

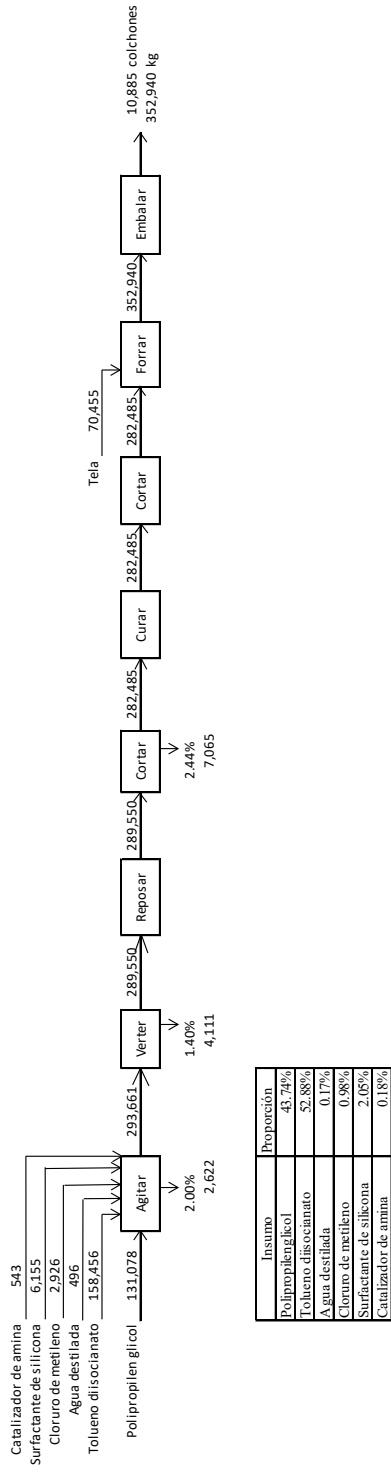


Figura 4. Balance de materia

Elaboración propia

3.3 Capacidad instalada

3.3.1 Selección de la maquinaria y equipos

- Reactor: máquina donde sucede la reacción de polimerización al incorporar la materia prima. Tiene un agitador con angular mínima de 1500 rpm y es de fácil maniobra para su posterior vaciado, de manera rápida. La capacidad es de 200 L, y la potencia de 2 a 10 HP.
- Cortadora horizontal y vertical: se adapta para distintos tamaños de colchones debido a que las dimensiones varían entre los lotes. Tiene una velocidad de corte 5 m/min, potencia de 6 kW y el modelo es *double knife* para corte vertical y horizontal.
- Balanza electrónica: tener una para mayor precisión al pesar los materiales. El rango de pesado es de 0 a 1500 kg, con capacidad de lectura de 0,5 kg, con opción a calibrarla.
- Moldes abiertos para cada tamaño de colchón: estos serán de madera, para darle soporte, forrados por el interior con silicona para que soporte altas temperaturas por la reacción exotérmica, y ayuda a que el pan no se adhiera a las paredes. Tendrán 4 ruedas en la parte inferior de modo que sea de fácil traslado, por el peso y tamaño, y, además, las 4 paredes se pueden abrir para así retirar la espuma una vez esté lista.
- Montacargas: importante para poder trasladar las parihuelas con el producto terminado y el producto en proceso, ya que son productos de gran volumen con peso significativo.

3.3.2 Cálculo detallado del número de máquinas y operarios requeridos

La planta trabaja 260 días al año, con 1 turno de 8 horas cada día, 5 días a la semana.

$$H = 260 \frac{\text{días}}{\text{año}} \times 1 \frac{\text{turno}}{\text{día}} \times 8 \frac{\text{horas}}{\text{turno}} = 2080 \frac{\text{horas}}{\text{año}}$$

Factor de eficiencia de 0,8 y 0,9 de utilización.

La fórmula para el cálculo de las máquinas es la siguiente:

$$\text{número de máquinas} = \frac{\text{Cantidad a procesar (P)} \times \text{Tiempo estándar por máquina (T)}}{\text{Utilización (U)} \times \text{Eficiencia (E)} \times \text{Tiempo Disponible (H)}}$$

A continuación, se detalla la cantidad de máquinas requeridas. Únicamente se utilizan máquinas en la reacción y en el corte, los procesos de verter, curar, forrar y embalar son manuales.

Tabla 3
Número de máquinas requeridas

Máquina	Cantidad a procesar	Unidad utilizada	Tiempo estándar (horas/unidad)	U	E	Tiempo disponible (h)	Cálculo del número de máquinas	Número de máquinas
Reactor	10 885	unidad	0,0729	0,9	0,8	2 032	0,5535	1
Cortadora	10 885	unidad	0,0429	0,9	0,8	2 032	0,3268	1

Elaboración propia

Al ser las máquinas semiautomáticas, se necesitarán: a) un operario para que prepare los insumos y ejecute la reacción, b) un operario en el área de corte y embalado y, c) además, otro encargado del almacén y movimiento de los productos, quien ayudará en la reacción a la hora que es transferida al molde. Por lo tanto, serán 3 los operarios.

3.3.3 Cálculo de la capacidad instalada

Luego de calcular el número de máquinas, se procedió a calcular la capacidad instalada, cuya fórmula es la siguiente:

$$\text{Capacidad instalada} = \frac{\text{kg}}{\text{hora}} \times \frac{\text{horas}}{\text{turno}} \times \frac{\text{turno}}{\text{día}} \times \frac{\text{días}}{\text{año}} \times \text{factores} \times \text{número de máquinas}$$

En la tabla 4 se resalta que la capacidad instalada está dada por la cortadora, siendo esta máquina el cuello de botella, al ser 21 530 toneladas la capacidad disponible en la planta. Esta capacidad representa 664 005 colchones anuales.

Tabla 4
Capacidad instalada

Operación	Q entrada (kg)	Producción (kg/h)	Número de máquinas	U	E	Horas/turno	Turnos/día	Días/año	Capacidad instalada (kg)	Factor de corrección	Capacidad total (kg)	Capacidad total (unidad/año)
Reacción	293 661	356	1	0,9	0,8	8	1	260	533 031	1	640 628	24 684
Corte	57 035	605	1	0,9	0,8	8	1	260	905 635	1	558 767	21 530
Curado	282 485	416	1	0,9	0,8	8	1	260	623 002	1	778 385	29 992
Forrado	352 940	416	1	0,9	0,8	8	1	260	623 002	1	623 002	24 005
Embalado	352 940	1,038	1	0,9	0,8	8	1	260	1 554 509	1	1 554 509	59 898

Elaboración propia

4. SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL

Deben cumplirse todas las normas de seguridad establecidas por el Estado peruano, según la Ley n.º 29783. En el capítulo III, artículo 26, la ley menciona que “garantizar la seguridad y salud en el trabajo es una responsabilidad conocida y aceptada en todos los niveles de la organización” (Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo, 2011). Es importante que todos los empleados tengan presente el reglamento de seguridad y salud ocupacional, que se hagan capacitaciones constantes al personal, y que se supervise que se cumplan. A continuación, se detallan las medidas que se tomarán en consideración:

- Iluminación adecuada según área de trabajo: zona de producción y oficinas administrativas: 750 lux, almacén de materia prima 500 lux y almacén de producto terminado 300 lux.
- Tapones para personal en planta que está expuesto a más de 85 decibeles durante su jornada laboral de 8 horas, establecido por la Ley n.º 29783.
- Uso de fajas lumbares para la carga de materiales pesados.
- Uso de mascarillas (respiradores) de seguridad con filtros de inhalación y válvula de exhalación para evitar la intoxicación con los gases de la reacción.
- Señalización de uso de EPP, según área, y ruta de evacuación.
- Contar con 6 extintores, 4 en la zona de producción y almacenes, debido a que el material es altamente inflamable, y 2 en las áreas administrativas.

La matriz IPER indica el nivel de riesgo de cada actividad realizada durante el proceso y las acciones a tomar para mitigarlos.

Tabla 5
Criterios para estimar la probabilidad del evento en la matriz IPER

Índice	Personas expuestas	Procedimientos de trabajo	Capacitación	Severidad
1	De 1 a 3	Existen, son satisfactorios y suficientes	Personal entrenado, conoce el peligro y lo previene	Lesión sin incapacidad. <i>Discomfort/Incomodidad</i>
2	De 4 a 12	Existen parcialmente y no son satisfactorios ni suficientes	Personal parcialmente entrenado, conoce el peligro pero no toma acciones de control	Lesión con incapacidad temporal, daño a la salud reversible
3	Más de 12	No existen	Personal no entrenado, no conoce el peligro y no toma acciones de control	Lesión con incapacidad permanente, daño a la salud irreversible

Elaboración propia

Tabla 6
Estimación de nivel de riesgos

Nivel de riesgo	Grado de riesgo	Criterio de significancia
5	Trivial (T)	
5 a 8	Tolerable (TO)	No significativo
9 a 16	Moderado (MO)	
17 a 24	Importante (IM)	
25 a 36	Intolerable (IT)	Sí es significativo

Elaboración propia

Tabla 7
Matriz IPER – Inventario de peligros y evaluación de riesgos

N.º	Tarea	Peligro	Riesgo	Probabilidad						Riesgo = probabilidad x severidad	Nivel de riesgo	Riesgo significativo	Medidas de control
				Índice de personas expuestas	Índice de procedimientos existentes	Índice de capacitación	Índice de exposición al riesgo	Índice de probabilidad	Índice de severidad				
1	Reacción en el reactor	Fuga de gases por empaquetadora defectuosa	Probabilidad de lesiones, golpes o enfermedades ocupacionales	1	1	2	3	7	2	14	MODERADO	NO	Plan de mantenimiento de empaquetadora, y recapacitar sobre uso de EPP
2		Altas temperaturas de la reacción al verter el producto	Probabilidad de caídas en el mismo nivel	1	1	2	3	7	2	14	MODERADO	NO	Recapacitar sobre uso de EPPs adecuados, capacitación de manejo del reactor
3	Corte horizontal y vertical	Maquinaria en movimiento sin guarda	Corte de miembros superiores	1	1	2	3	7	3	21	IMPORTANTE	Sí	Colocar guardas de seguridad, evitar manipulación en funcionamiento
4	Movimientos en el almacén	Derrame de los insumos	Intoxicación e irradiación	1	1	1	3	6	2	12	MODERADO	NO	Recapacitar sobre uso de EPPs adecuados, capacitación de manejo de insumos
5		Elementos pesados de carga manual	Lesiones lumbares	1	2	2	3	8	2	16	MODERADO	NO	Recapacitar sobre uso de EPPs adecuados, mayor capacitación y procedimientos de ergonomía.

Elaboración propia

5. CADENA DE VALOR

La cadena de suministros se inicia con la compra de materia prima a proveedores locales. En el Perú hay varios proveedores que importan estos insumos químicos, por lo tanto, le facilita a la empresa la compra, al no tener que importarlo. Las ventajas de la compra local son: adquirir a un mejor precio, dado que el proveedor compra volúmenes mayores, reducir el gasto de almacenamiento y tener un flujo de caja positivo al ir comprando materia prima conforme se van dando las ventas.

El ideal es negociar con el proveedor local una compra cada 15 días, e ir considerando un *stock* adicional para 15 días más. Esto debe tenerse en cuenta, dado que el proveedor importa la materia prima, por lo tanto, es necesario contar con un tiempo de reacción si es que se quiebra el *stock*. Es importante contar con cotizaciones previas de los mismos químicos con otras empresas, para poder reaccionar rápido y no dejar de abastecer el mercado.

El segundo eslabón de la cadena es el almacenamiento de materias primas que, dependiendo del tipo de producto, se almacenará en *racks* o en tanques de almacenamiento de líquidos, puestos sobre los racks. Se utilizará el método ABC para optimizar la distribución del almacén y el método PEPS (primero en entrar, primero en salir) para la entrada y salida de la materia prima y producto terminado.

El proceso de producción incluye el acarreo de materiales, manipulación y almacenamiento del producto en proceso. Se utilizan moldes con ruedas para facilitar el transporte de los lotes de espuma que se van a curar. El almacenamiento se realiza en parihuelas especiales que tienen las medidas de los colchones, según modelo, y son almacenados verticalmente.

Por último, la logística de salida incluye el almacenamiento interno y la distribución a los almacenes de los clientes. La distribución se terceriza y, principalmente, se lleva en camiones. Para no dañar el producto, se mantendrá cierta holgura en el interior del transporte para que los colchones no estén comprimidos entre sí.

Inicialmente, la empresa manejará el programa de producción como *make to order* (MTO). Esta política se basa en mejorar la estructura de costos, reduciendo al máximo la inversión en almacenamiento de producto terminado. Se fundamenta por el tipo de producto, siendo diferenciado en el mercado de colchones porque ningún otro tipo puede dar los beneficios que éste brinda. Como se mencionó previamente, en el mercado peruano se necesita concientizar sobre los beneficios del *memory foam*, por ello la empresa va a invertir en campañas de *marketing* y en los mismos puntos de venta para brindar información sobre el producto.

Esta política refleja por qué se debe seguir una estrategia *pull*. Se puede esperar una demanda constante debido al tipo de producto que manejamos. No existe una marcada

estacionalidad para la compra de colchones, excepto que se espera que aumente en la etapa introductoria, por ser un producto existente, pero poco conocido. Este aumento sería fácilmente manejado por la capacidad de planta y el relativo poco tiempo en el que se produce un lote de colchones.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Es necesario controlar todos los parámetros; cantidad de insumos, tiempo y velocidad de mezcla, humedad y temperatura para obtener la densidad de 56 kg/m³ del colchón, así como los cambios en la mezcla, ya que todos estos influyen directamente en el producto.
- Con la información de la tecnología, procesos y materia prima existente, se puede concluir que el proceso es viable tecnológicamente. El proceso de polimerización para la producción de la espuma es un proceso de pocas etapas, facilitando el seguimiento de las condiciones críticas. Además, por medio de importación se consigue la maquinaria necesaria para la implementación y la materia prima para el proceso productivo.
- Se recomienda diversificar el portafolio de productos, por ejemplo, lanzar una línea de almohadas, o maquilar, porque aún se tiene capacidad sin utilizar. De esta forma se distribuyen los costos fijos y se mejora la rentabilidad de la empresa al aprovechar los activos.

REFERENCIAS

- Anderson, R. (8 de febrero del 2019). Tempur my perfect fit. The history of Tempur and memory foam mattresses. Recuperado de <https://myperfectfit.tempur.com/uk/2019/02/08/history-of-tempur-memory-foam-mattresses-nasa/>
- Andrés, S. (9 de mayo del 2019). Fisiolution, tus clínicas de confianza. Sedentarismo durante el tiempo de ocio. Recuperado de <https://fisiolution.com/noticias/sedentarismo-durante-el-tiempo-de-ocio/>
- Cantzler, S. (25 de abril del 2013). Evolución en el mercado del descanso 2012 vs. 2011. Recuperado de <http://america-retail.com/opinion/evolucion-en-el-mercado-del-descanso-2012-vs-2011>
- ¿Cuánto tiempo es recomendable dormir según nuestra edad? (3 de agosto del 2018). *Gestión*. Recuperado de <https://gestion.pe/tendencias/salud-recomendable-dormir-edad-240499-noticia/>
- El 39 % de peruanos sufre de dolores cervicales y eso incrementa el ausentismo laboral. (5 de febrero del 2016). *Gestión*. Recuperado de <https://gestion.pe/tendencias/>

management-empleo/39-peruanos-sufre-dolores-cervicales-incrementa-
ausentismo-laboral-110954

- Euro Moulders. (2 de junio del 2016). Guidelines for establishment of a safety management system in a flexible polyurethane foam plant. Recuperado de <https://www.europur.org/publications/item/36-safety>
- Gama, N., Ferreria, A. y Barros-Timmons, A. (2018). Polyurethane foams: past, present and future. *Materials Review*, 11(10), 1841. doi:10.3390/ma11101841
- Kang, S., Lee, S. y Kim, B. (2011). Shape memory polyurethane foams. *Express Polymer Letters*, 6(1) 63-69. doi:10.3144/expresspolymlett.2012.7
- Ley N° 29783. Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo. (20 de agosto del 2011). Recuperado de http://www.mintra.gob.pe/LGT/ley_seguridad_salud_trabajo.pdf
- PYMEX. (16 de agosto del 2018). Lumbalgia, la causa más común de descanso médico laboral. Recuperado de <https://pymex.com/liderazgo/productividad/lumbalgia-la-causa-mas-comun-de-descanso-medico-laboral/>
- Resolución Ministerial n.º 346-2013-PRODUCE. , Reglamento Técnico sobre Etiquetado de Colchones. (4 de diciembre del 2013). Ministerio de la Producción. Recuperado de <http://www2.produce.gob.pe/dispositivos/publicaciones/rm346-2013-produce.pdf>
- Rogers, K. (2020). Polymerization Chemical Reaction. Encyclopaedia Britannica. Recuperado de <https://www.britannica.com/science/polymerization>
- Sonlab. (16 de noviembre del 2017). ¿Por qué es importante la protección viscoelástica? Recuperado de <https://www.sonlab.es/blog/2017/11/16/proteccion-viscoelastica/>
- Strakowska, A., Czlonka, S., y Strzelec, K. (2019). POSS Compounds as Modifiers for Rigid Polyurethane Foams (Composites). *Polymers*, 11(7), 1092. doi:10.3390/polym11071092
- Tempur. (2020). Material benefits. Recuperado de <https://au.tempur.com/tempur-material.html>
- Viscoform. (2020). Como elegir colchón: viscoelástico, latex, muelles. Recuperado de <https://viscoform.es/como-elegir-colchon-viscoelastico-latex-muelle-espumacion/>

**CIENCIA
Y TECNOLOGÍA**

Science and Technology

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA SELLADORA Y CLASIFICADORA DE HUEVOS DE GALLINA POR PESO EN LA EMPRESA PERUANA AVIPORC S.A.C.

RYAN LEÓN, ANDY BOY, LUCIANA PELÁEZ, LUCESITA TACANGA*

Universidad Privada del Norte, Perú

Recibido: 17 de septiembre del 2019 / Aprobado: 28 de enero del 2020

doi: 10.26439/ing.ind2020.n038.4822

RESUMEN: El presente artículo tiene como objetivo diseñar y construir un prototipo de máquina selladora y clasificadora de huevos por peso para la empresa Aviporc S.A.C. Se realizaron diez pruebas de funcionamiento para determinar la clasificación de huevos de gallina mediante el reconocimiento del peso correcto, donde se concluyó que la eficiencia para clasificar huevos clase A es del 100 % y de clase B, 80 %, lo que representa una herramienta útil para la realización de la jerarquización del producto y la reducción de costos y tiempos.

Palabras clave: huevos / clasificación / diseño de máquinas / automatización

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A CHICKEN EGG STAMPING AND WEIGHT GRADING MACHINE PROTOTYPE AT THE PERUVIAN COMPANY AGROPECUARIA AVIPORC S.A.C.

ABSTRACT: This article aims to design and build an egg stamping and weight grading machine prototype for the company Agropecuaria Aviporc S.A.C. Ten performance tests were carried out to grade chicken eggs according to the weight classification. It was concluded that the grading efficiency for grade A eggs was 100% and for grade B was 80%. Therefore, the prototype is a useful tool for egg grading and for cost and time reduction.

Keywords: Eggs / grading / machine design / automation

* ryan.leon@upn.edu.pe, andyboy_13@hotmail.com, luciana-pelaez@hotmail.com, lucesito_ts@hotmail.com

1. INTRODUCCIÓN

En el Perú, la industria avícola ha cobrado una participación dentro de la estructura del valor bruto de la producción agropecuaria destacándose como una de las actividades económicas importantes de este país, es así que en la revista global *AviNews Avicultura*, según Gutiérrez (2 de mayo del 2019) señala que la producción de huevos comerciales fue de 40,2 miles de toneladas en febrero del 2019, frente a las 35,1 mil toneladas de la misma fecha del año anterior, es decir, un incremento del 14,7 %. Por otra parte, el consumo per cápita de huevo comercial, a nivel nacional, en febrero del 2019, fue de 20 unidades y para Lima Metropolitana este consumo fue de 26 huevos/hab./mes. Resaltando que el consumo per cápita de huevo comercial llegó a las 224 unidades por persona al año.

El departamento de La Libertad no es ajeno al panorama nacional, si se hace referencia a la producción de huevos comerciales, se encuentra dentro de las regiones con mayor aporte, ocupando el tercer lugar con un 16,6 %, superado por Ica y Lima con un 40,5 % y 27,4 %, respectivamente (Gutiérrez, 2 de mayo del 2019).

Dada a la alta cobertura que demanda el consumo de huevos y la gran participación nacional que tiene el sector avícola, las empresas deben de contar con sistemas tecnológicos que aseguren la productividad en sus procesos y proporcionen un elevado rendimiento en su capacidad de producción; a pesar de ello, de acuerdo al Ministerio de la Producción (2015), el abastecimiento de huevos a nivel minorista ha sido descuidado por la falta de inversión en infraestructura y en tecnología, por ello muchas empresas nacionales como locales tienen necesidad de innovar y elevar su presupuesto para automatizar sus procesos.

Dentro del ámbito local se encuentra Aviporc S.A.C., una pequeña empresa que se dedica a la comercialización directa de productos avícolas, especialmente, huevos de gallina, contando actualmente con el 20 % de participación en el mercado peruano del sector avícola y con una capacidad de producción anual de 239 280 huevos de gallina. El mercado actual exige una mayor demanda, según el Ministerio de Agricultura y Riego (2018), se presenta un crecimiento del 48 % en este producto en los últimos 10 años. Sin embargo, en la actualidad, la empresa al realizar el proceso de forma manual y trabajando con 9 galpones de gallinas, 8 horas diarias y 26 días del mes logra una producción mensual de 2215 unidades por galpón; es decir, obtiene una producción total de tan solo 19 935 unidades al mes, representando una baja participación frente al creciente consumo.

La clasificación de huevos se puede realizar agrupándolos en cinco categorías denominadas clase B, clase A, clase AA, clase AAA y yumbo, según su peso, por lo cual el proceso de clasificación para una empresa productora de huevos resulta crítico (Federación Nacional de Avicultores de Colombia [FENAVI], 2015). En la empresa Aviporc S.A.C. se lleva a cabo este proceso, al igual que el de distribución; sin embargo, particularmente, para el proceso de clasificación se encontró la siguiente problemática.

Se detectan errores durante dicho proceso por la desestabilidad en la balanza para producir un resultado fijo al momento de pesar el huevo y en la lectura subjetiva que hace el operario después de jornadas extensas en esta labor. Actualmente, la empresa presenta una baja eficiencia en el proceso de clasificación manual de huevos, del 79 % en los huevos clase A menores a 50 g y del 83 % en huevos de clase B mayores a 50 g.

Por otro lado, se identifican tiempos excesivos de clasificación, con un tiempo estándar de aproximadamente dos minutos para clasificar los huevos. Todo esto como consecuencia de la escasa accesibilidad a tecnología de equipos de clasificación producidos internacionalmente y malas experiencias previas con equipos mecánicos de origen nacional.

En el mercado existen varias alternativas para la clasificación de huevos, tanto extranjeras como nacionales, sin embargo, en esta última, las clasificadoras son de menor capacidad y aún no se encuentran de tipo automático. A pesar de las diferentes alternativas comerciales en este tipo de equipos, su adquisición no es factible para la empresa Aviporc S.A.C., por su capacidad de producción y porque esta buscaba superar los problemas de experiencias previas con otras máquinas clasificadoras, contemplando además alternativas de automatización.

Para dar solución a la problemática descrita, se propuso el diseño y la construcción de un prototipo de máquina que desarrolle un proceso automatizado en la selección y clasificación de huevos de gallina, tomando en consideración que la empresa desde sus inicios se ha encargado de comercializar dos diferentes tipos: huevos blancos (tipo A) y huevos anaranjados (tipo B), que representan el 40 % y 60 % de su producción total. Con esta implementación, el proceso mencionado brindará resultados más eficaces a un costo no tan elevado y a un menor tiempo, mejorando el nivel de distribución, en comparación con las microempresas que no poseen ningún tipo de tecnología, y llegar a desarrollarse con su producto avícola.

2. METODOLOGÍA

El estudio tuvo carácter experimental y se realizaron 10 pruebas de funcionamiento por cada clasificación de huevos mediante el diseño del circuito en el *software* Proteus v.8, elegido por su ventaja al realizar las fases de prueba que no suponen la construcción de nuevos prototipos. Los huevos de tipo clase A son menores a 50 g y los de clase B son mayores a 50 g, criterio clave en el sistema de clasificación utilizado, lo cual se justifica dado que la empresa se orienta a la comercialización de estos dos tipos de huevo desde su creación, por ello fueron estos tipos de huevos los que se utilizaron con el fin de demostrar el funcionamiento de la máquina en una muestra seleccionada de 45 huevos. Se aplicó la metodología cuantitativa, lo que viene a ser las pruebas de peso de huevos tipo A y tipo B,

para reflejar la eficiencia del prototipo al clasificar los huevos en los diferentes tipos en los que se denominó. Por último, la investigación fue orientada a conclusiones, ya que, al obtener los resultados, se ve cuán eficiente es la máquina en la clasificación de los huevos.

2.1 Diseño del circuito

El circuito de la clasificadora de huevos tiene las características técnicas adecuadas para poder pesar, sellar y clasificar los huevos siendo el fin de este proyecto.

Todo el sistema es controlado por el Arduino mega nano, siendo un controlador muy usado en proyectos de automatización, el circuito consiste en la activación de motores y servomotores, entonces para poder realizar los movimientos de los motores se utilizó como etapa de potencia un puente H, conocido como Driver Puente H I1298, ya que permite darle la corriente necesaria que necesita cada motor para su buen funcionamiento. Por lo tanto, los 5 motores DC tendrán su etapa de potencia, con la excepción de que el tercer puente H controlará un solo motor. A su vez necesitó controlar una pinza, la cual hace el trabajo de sostener el huevo para poder pesarlo y después dejarlo caer sobre la plataforma tipo cuchara. Esta pinza trabaja con el Servomotor Tower Pro SG90, el cual cumple con las consideraciones de diseño para el peso y ángulo para las maniobras de selección por la estructura realizada.

Adicionalmente, la pantalla LCD muestra cómo va el proceso; igualmente, los finales de carrera también estarán conectados al Arduino, los cuales detienen automáticamente el sistema evitando errores mecánicos, por lo tanto, ayuda a un cumplimiento óptimo de la estructura.

Un mayor detalle sobre cómo se realizaron las conexiones o cableado, se presenta en el esquema electrónico del circuito realizado en el *software* Proteus v.8, el cual se eligió por su ventaja al realizar las fases de prueba que no requiere la construcción de nuevos prototipos, ahorrando en costo y tiempo. Así como el diagrama de flujo de la programación para el funcionamiento del sistema.

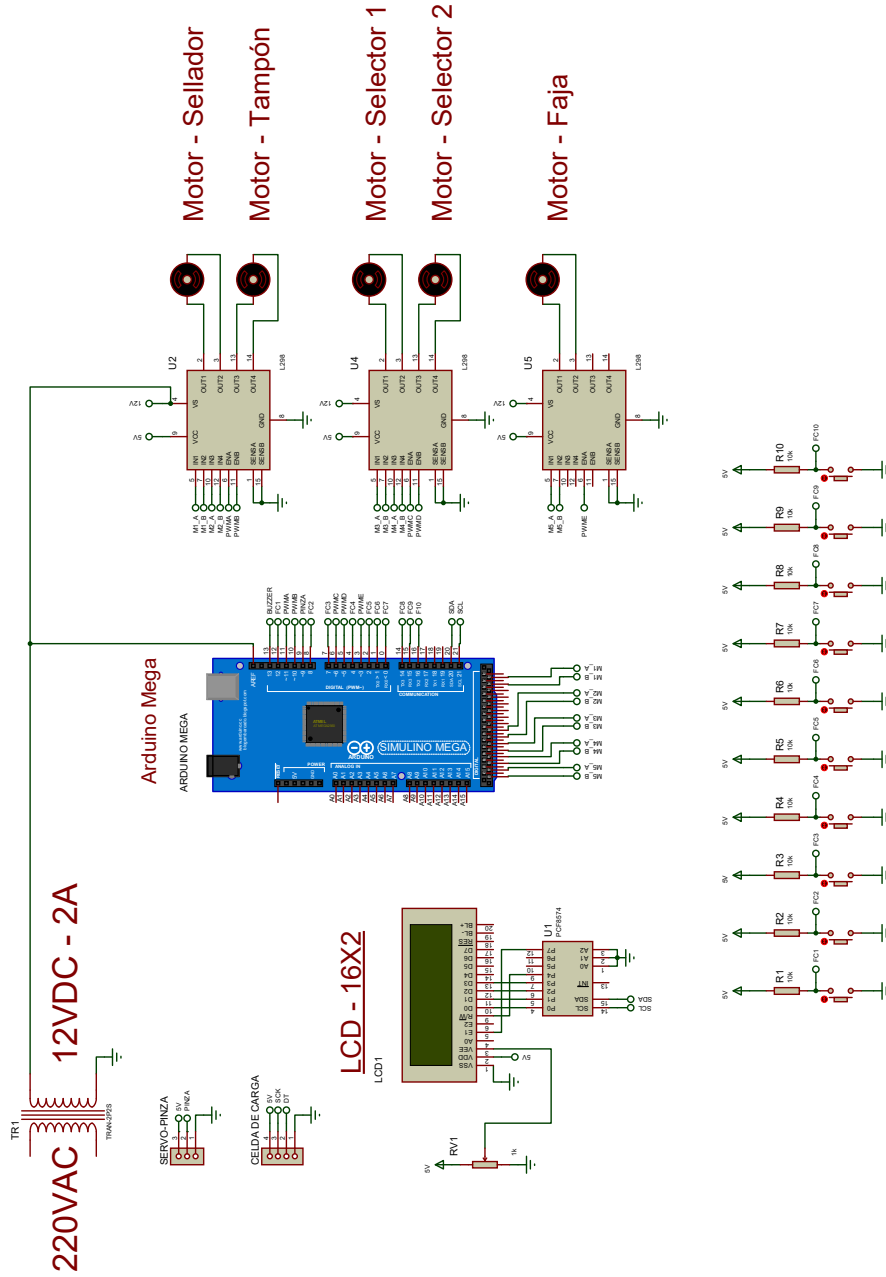


Figura 1. Circuito del clasificador y sellador de huevos

Elaboración propia

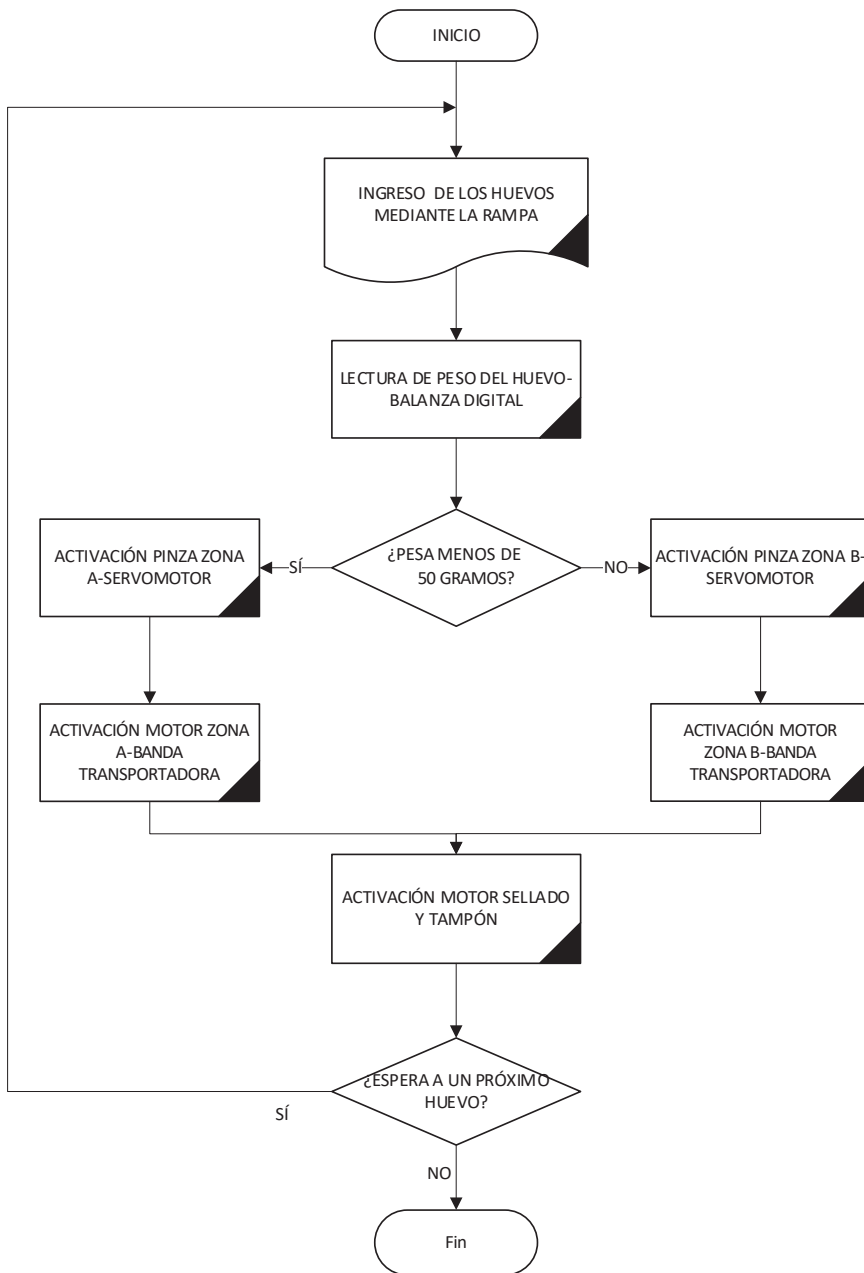


Figura 2. Diagrama de flujo del proceso clasificador y sellador de huevos
Elaboración propia

2.2 Diseño de la estructura

La estructura fue diseñada pensando en las dos clases de huevos que se desea clasificar, es por eso que en el sistema de la máquina automatizada de clasificación de huevos de gallina se utilizará una serie de materiales mecánicos, eléctricos, electrónicos y de madera. En la primera área, los huevos que ingresan en la estructura son separados mediante la activación de dos motores selectores 1 y 2 del circuito visto en la figura 1, los cuales permitirán la retención de los huevos y el paso de uno solo a la siguiente área, respectivamente. Una vez que el huevo comience a deslizarse hacia la siguiente área, sucede la activación de la servopinza, realizado con un Servomotor Tower Pro SG90, el cual es responsable del control utilizando las tenazas que permiten atrapar al huevo para que pueda ser pesado. Para el pesaje, se contará con una balanza digital construida con una celda de carga máxima de 1 kg, siendo más que suficiente para pesar las dos clases de huevos que se van a clasificar. Al momento de obtener el peso, el huevo cae hacia un soporte con forma de cuchara, que se creó con la finalidad de que al momento de su caída quede echado y listo para pasar a la siguiente área del sellado, es en este instante que se activa el motor faja, el cual trasladará al huevo hacia el área de sellado. Durante este proceso se realiza la activación del motor tampón para recargar la esponja con la tinta, una vez que el huevo se encuentre posicionado en el área de sellado, se activa el motor sellador para que realice su trabajo correspondiente estampando el logo en cada huevo (véase figura 1).

Una vez sellado y pesado, se vuelve a realizar la activación del motor faja para trasladar el huevo hacia su almacén correspondiente. Conocido como zona A o B, según su peso registrado. Para garantizar un buen trabajo de la estructura, todos los componentes electrónicos, eléctricos y mecánicos se han distribuido con las dimensiones adecuadas para su trabajo, como también se ha tenido en consideración el manejo del huevo para que este no sea dañado, pudiendo observarse en los planos vistos en la figura 4.

Para evitar que en el transporte el huevo tome velocidades muy altas y se pueda quebrar antes de llegar al área de separación inicial, se tuvo que hallar el ángulo de la rampa de entrada tal como se aprecia en la figura 3, según el cálculo ahí descrito.

Datos

$m = 0,05 \text{ kg}$

$a = 0,83 \text{ m/s}$

Coefficiente de rozamiento = 0

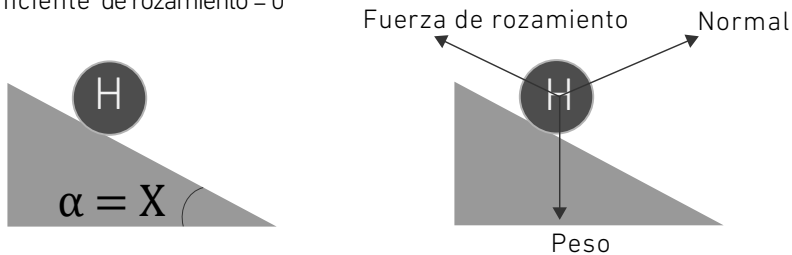


Figura 3. Cálculo del ángulo de la rampa de entrada

Elaboración propia

Luego, se utilizó la ecuación 2.1 para calcular el ángulo de inclinación, donde en primer lugar aplicaremos la fórmula para hallar el peso del huevo que permitirá reemplazar en el cálculo del ángulo de inclinación. A continuación, se muestra dicha ecuación:

$$\text{Peso} = m \times g \quad (2.1)$$

donde:

m : masa

g : gravedad

Donde "m" corresponde a la masa del huevo y "g" la constante gravitatoria que es $9,8 \text{ m/s}^2$. Lo cual permite llegar a conocer el peso del huevo, como lo muestra la ecuación 2.2.

$$\text{Peso} = 0,05 \times 9,8 = 0,49 \text{ N} \quad (2.2)$$

entonces:

$$\text{sen } x = \frac{P_x}{P} \quad (2.3)$$

donde:

P_x : peso del huevo en el eje X

P : peso neto del huevo

Es así como se obtiene el peso del huevo en el eje X multiplicando el seno del ángulo por el peso neto del huevo, como se muestra en la ecuación 2.4.

$$P_x = \text{sen } x \times P = \text{sen } x \times 0,49 \quad (2.4)$$

Al aplicar la fórmula de la fricción que es igual a la diferencia entre el peso del huevo en el eje X y la fuerza de rozamiento, como se muestra en la ecuación 2.5.

Se calcula el eje X, para ello utilizamos la siguiente ecuación:

$$FR_x = P_x - F_{roz} \quad (2.5)$$

donde:

FR_x : fricción

P_x : peso del huevo en el eje X

F_{roz} : fuerza de rozamiento

Para ello es necesario saber que para calcular fuerza de rozamiento es igual a la multiplicación de un coeficiente de fricción por la fuerza normal (N), como se observa en la ecuación 2.6.

Se debe tener en cuenta que:

$$F_{roz} = u \times N \quad (2.6)$$

donde:

F_{roz} : fuerza de rozamiento

u : coeficiente de fricción

N : normal

Se asume el valor de u como 0, debido a que la superficie del huevo y la del material seleccionado presentan un bajo coeficiente de fricción, que puede ser aproximado a 0.

Por lo que el valor de la fuerza de rozamiento es igual a 0.

Es así como llegamos a calcular el ángulo igualando la fórmula de fricción y el peso neto del huevo, como se observa en la ecuación 2.7.

Como consecuencia, la ecuación se reduce a:

$$FR_x = P_x \quad (2.7)$$

$$P_x = \text{sen } x \times 0,49 \quad (2.8)$$

$$m \times a = \text{sen } x \times 0,49 \quad (2.9)$$

$$0,05 \times 0,83 = \text{sen } x \times 0,49 \quad (2.10)$$

$$\text{sen } x = 0,08468 \quad (2.11)$$

$$x = 4,85^\circ$$

$$(2.12)$$

En la figura 4 se puede observar las vistas del diseño de la estructura elaborada para el proyecto, tomando en consideración las dimensiones correspondientes para el sistema de clasificación.

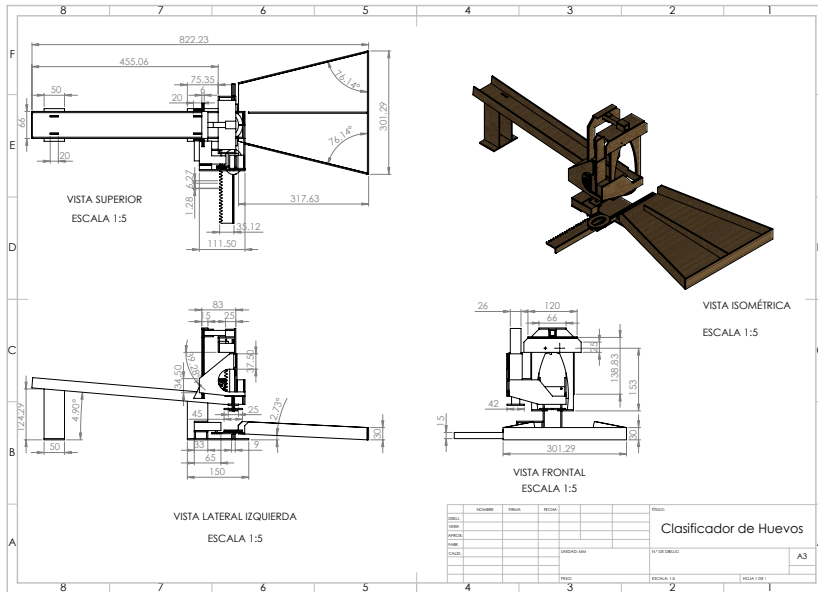


Figura 4. Diseño de la estructura de la máquina selladora y clasificadora de huevos
Elaboración propia

Cálculos

Al momento de accionar los actuadores, estos llegan a un punto pico de consumo de corriente, mayor a la corriente nominal o corriente de trabajo. En la tabla 1, se muestran los valores y se puede denotar que la corriente de la celda de carga y el Arduino se mantienen constantes:

Tabla 1
Amperaje pico en el momento 1

Momento 1	Amperaje pico en miliamperios (mA)
Motor	150
Servomotor SG 90	300
Celda de carga	40
Arduino	98
Total amperaje	588

Elaboración propia

En el momento 1 se realizan los procesos del accionar de la cremallera donde pasan los huevos y la activación de las puertas que hacen pasar al huevo individualmente. En este momento solo se accionará un motor.

Con un voltaje de 5, se calcula la potencia en el momento 1, empleando la fórmula de potencia, multiplicando el valor de voltaje y el amperaje total del momento 1, como se observa en la ecuación 2.13.

$$P_1 = 5 V \times 588 mA \quad (2.13)$$

donde:

P_1 : potencia en momento 1

V : voltaje

$$P_1 = 2940 W \quad (2.14)$$

El momento 2 es cuando se accionará el servomotor (se abrirá la pinza para que caiga el huevo).

Tabla 2
Amperaje pico del momento 2

Momento 2	Amperaje pico en miliamperios (mA)
Servomotor SG 90	830
Celda de carga	40
Arduino	98
Total amperaje	968

Elaboración propia

Con el voltaje de 5, se calcula la potencia en el momento 2, empleando la fórmula de potencia, multiplicando el valor de voltaje y el amperaje total del momento 2, como se observa en la ecuación 2.15.

$$P_2 = 5 V \times 968 mA \quad (2.15)$$

$$P_2 = 4880 W \quad (2.16)$$

Se han realizado los cálculos de las potencias para asegurar que la fuente de alimentación brinda la corriente necesaria y así poder garantizar un buen funcionamiento de todo el sistema.

La calibración de la balanza es necesaria para asegurar una buena clasificación de los huevos, para ello se realiza un procedimiento de calibración que depende de cada

celda de carga, se da inicio asegurándose que el IDE del Arduino tenga instalada la librería HX711_ADC. Una vez realizado el primer paso, se configuran los pines que se utilizarían en la lectura analógica de la celda de carga, como se puede apreciar en la figura 1.

Una vez realizado el paso dos, posteriormente, se coloca una masa conocida, en este caso se colocará una masa de 1 kg encima de la celda de carga acondicionada. Al abrir el monitor serie del IDE se obtienen dos datos: de lectura “val” del sensor de carga y el factor “calFactor”, es en este momento donde se coloca la masa de 1 kg.

Por último, el paso 3 es empezar la calibración como tal, se envía al comando H, el valor de H para ir reduciendo el valor de lectura de 8660,31, recibiendo 340 veces el valor en el monitor serie para poder llegar a un 1 kg, por lo tanto, se obtiene el factor de carga de 120 640,64 el cual se digita en el código del Arduino para que la balanza pueda pesar hasta un máximo de 1 kg.

Con esta forma de calibrar de la balanza digital, se obtiene el peso correcto de cada huevo para que sea clasificado.

3. RESULTADOS

Se realizaron 10 pruebas determinadas por el método estadístico de cálculo de tamaño de muestras, considerando la producción mensual de 19 940 huevos de gallinas de la empresa y un margen de error seleccionado del 5 %, para medir la eficiencia, tanto de la maqueta como del servomotor, y así comprobar si la clasificación de los huevos y el peso registrado son correctos, para lo cual se pesaron previamente con una balanza digital.

Los resultados se hicieron con 10 huevos clase A, huevos con un peso menor a 50 g, y 10 huevos clase B, huevos con un peso mayor a 50 g, cada uno pesado previamente. Los resultados se muestran en las tablas 3 y 4.

Tabla 3
Pruebas de peso con huevos clase B

n.º	Peso en gramos (balanza)	Peso en gramos (servomotor)	Clasificación
1	54	50	A
2	59	59	B
3	59	58	B
4	52	49	A
5	56	55	B
6	58	58	B

(continúa)

(continuación)

7	65	65	B
8	63	63	B
9	60	60	B
10	64	63	B
Clasificación	Conteo		Porcentaje de eficiencia
A	2		20
B	8		80
Total	10		100

Elaboración propia

Tabla 4
Pruebas de peso con huevos clase A

n.º	Peso en gramos (balanza)	Peso en gramos (servomotor)	Clasificación
1	43	43	A
2	39	39	A
3	37	36	A
4	48	47	A
5	40	40	A
6	37	37	A
7	43	43	A
8	39	39	A
9	42	41	A
10	40	40	A
Clasificación	Conteo		Porcentaje de eficiencia
A	10		100
B	0		0
Total	10		100

Elaboración propia

Se puede apreciar, según las pruebas, que la eficiencia para clasificar huevos clase A es del 100 % y para los huevos de clase B es del 80 %.

Además, los datos para la clase A tienen una desviación estándar de 0,43 g; mientras que los B, de 1,41 g.

Al construir el prototipo quedó como lo muestran las figuras 5 y 6.

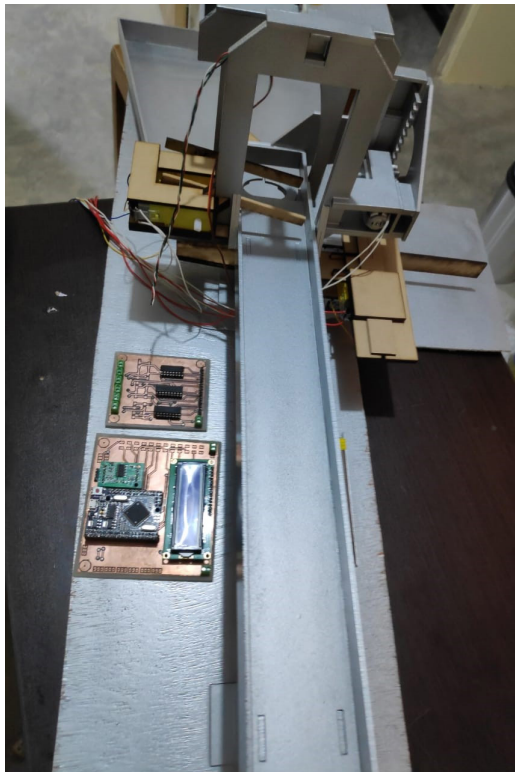


Figura 5. Maqueta final lado posterior
Elaboración propia

La figura 5 muestra la maqueta desde el lado posterior donde se puede visualizar el recorrido que hace el huevo hasta llegar a la zona de clasificación.

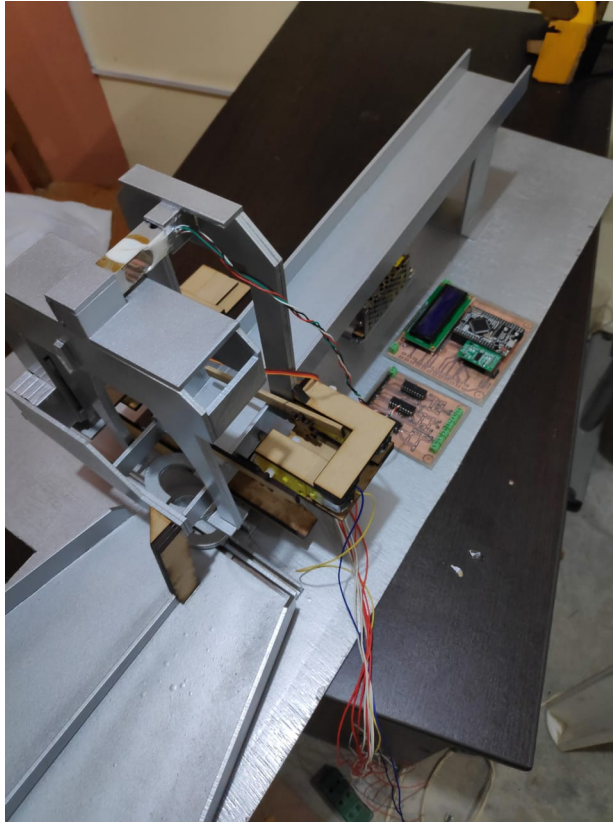


Figura 6. Maqueta final lado inferior
Elaboración propia

La figura 6 muestra la maqueta desde el lado posterior donde se pueden observar las celdas de clasificación según el peso del huevo.

Se realizó la medición de la reducción del tiempo, una vez aplicada la automatización del proceso, mediante 10 observaciones necesarias de tiempo, determinadas a partir del cálculo del número de observaciones, en donde a través de una muestra piloto mayor a 30 observaciones se aseguró que el proceso seguía una distribución normal, donde el resultado de tiempo promedio observado del proceso automatizado fue de 1 minuto, a comparación del tiempo estándar de la operación manual de 2 minutos, aproximadamente, con una reducción del 50 %.

4. DISCUSIÓN

La máquina clasificadora de huevos representa una herramienta útil para la realización de la jerarquización de este producto, que permite a las empresas abocadas a esta producción la estandarización del proceso, garantizando una oportunidad de aplicar estrategias basadas en la calidad, encaminada en alcanzar el nivel de competitividad que el mercado requiere, realizando sus actividades de una mejor manera, con menores costos y en menor tiempo a la clasificación de cantidades significativas de huevos que establecería la relación de tamaño y costo. Según Capquique (2019), en el resultado de la clasificación, el peso es directamente proporcional con el tamaño del huevo, en este caso, su eficiencia fue del 92 %; por lo que a más grande mayor peso tendrá el huevo. Por ello el proyecto fue enfocado para dos tipos de tamaño similares, para que el rango no fuese mayor y funcionara perfectamente. Para la clasificación de huevos, clases A y B, se obtuvo una eficiencia del 80 % y el 100 %, respectivamente.

La propuesta mejorará el nivel de eficiencia de las microempresas, logrando un ahorro, en el tiempo del proceso automatizado de clasificación, a diferencia del trabajo manual, de un minuto, representado una disminución del 50 %.

En esta propuesta, se realizó la aplicación del diseño de una clasificadora de huevos automática que mejora los ingresos económicos de los pequeños y medianos productores y minimiza las demoras en la distribución de huevos.

5. CONCLUSIONES

- Se diseñó y construyó la máquina clasificadora de huevos, la cual tiene un porcentaje del 80 % de funcionalidad de clasificación de los huevos de clase B, al momento de realizar las operaciones que se le programaron.
- La funcionalidad de sus motores y servomotores es óptima, puesto que operan correctamente, en el momento justo y preciso. La celda de carga brinda la masa correcta que contiene cada huevo, esto se demostró y concluyó, pues se pesó en una balanza electrónica y se corroboró lo que mostraba la celda de carga.
- En el caso de los defectuosos, se debe tener cuidado en el tamaño al inicio del proceso, dado que el huevo no es una superficie circular uniforme se debe cuidar de que no se esté balanceándose cuando caiga por la rampa, es por eso que se decidió complementar el prototipo con una pieza que facilite la entrada y evite el balanceo del huevo.
- Se debe tener en cuenta la superficie del huevo al momento del sellado, puesto que puede generar un sellado parcial en el huevo. Por eso se debe elegir un sello adecuado para dichas superficies.

REFERENCIAS

- Alcalde Cajamarca, C. F., y Bone Fonte, E. G. (2013). *Diseño de una máquina clasificadora de tomates de 700 [kg/h] de capacidad* (tesis para optar el título de técnico mecánico). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. Recuperada de <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/6697>
- Angos Mediavilla, M. F. y Calvoña Enriquez, H. A. (2013). *Diseño, construcción y simulación de una máquina clasificadora de frutos por su tamaño* (tesis para optar el título de ingeniero mecánico), Universidad de las Fuerzas Armadas, Latacunga, Ecuador. Recuperada de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/7480/1/T-ESPE-047506.pdf>
- Cáceres, D. F. V., y Salamanca, M. L. P. (2012). Caracterización del huevo de gallina para el diseño de un sistema automático de clasificación. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 3(1), 33-43. Recuperado de https://revistas.uptc.edu.co/index.php/investigacion_duitama/article/view/2136
- Capquique, C. (2019). *Diseño de una maquina clasificadora automática de huevos para las microempresas avícolas* (tesis de licenciatura inédita). Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.
- Caro Encalada, R. H. (2016). *Diseño y simulación de una máquina selectora de huevos para una capacidad mínima de 1500 unidades* (tesis para optar el título de ingeniero mecánico). Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador. Repositorio institucional de la Universidad Politécnica Salesiana. Recuperada de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/12460/3/UPS-KT01256.pdf>
- Enríquez Zurita, D. F. (2015). *Diseño, construcción y automatización de una máquina clasificadora para huevos por peso, en diferentes tamaños para 2000 huevos por hora de capacidad* (tesis para optar el título de ingeniero mecánico), Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador. Recuperada de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/9091/6/UPS-KT01124.pdf>
- Federación Nacional de Avicultores de Colombia - Fondo Nacional Avícola (2015). El huevo estrena peso. Recuperado de <https://fenavi.org/categoria/normatividad-huevo/>
- Gutiérrez, M. A. (2 de mayo del 2019). Avicultura de Perú continúa creciendo este año 2019. *AviNews Avicultura*. Recuperado de <https://avicultura.info/avicultura-de-peru-continua-creciendo-este-ano-2019/>
- Medina Jiménez, M. J., y Oñate Rosado, J. B. (2014). *Diseño e implementación de un prototipo que clasifique huevos de gallina según sus características* (tesis para optar el título de ingeniero mecatrónico), Universidad Autónoma del Caribe,

Barranquilla, Colombia. Recuperada de <http://repositorio.uac.edu.co/bitstream/handle/11619/1377/TMCT%200017C.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Ministerio de Agricultura y Riego (2018). Perú: Boletín Estadístico Mensual del Sector Avícola-2018. Recuperado de <https://www.minagri.gob.pe/portal/boletin-estadistico-mensual-de-la-produccion-y-comercializacion-avicola/sector-avicola-2018>

Ministerio de la Producción (2015). Perú: Población Económicamente Activa Sector Avícola 2015.

Paguay Donoso, D. G. y Valarezo Rodríguez, L. X. (2018). *Diseño e implementación de un prototipo clasificador de huevo de gallina basado en las imperfecciones de la cáscara aplicando visión artificial* (tesis para optar el título de ingeniero en electrónica control y redes industriales). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. Recuperada de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/9199>

AUTORES

SOPHIA CRISTINA URIBE

Bachiller de Ingeniería Industrial por la Universidad de Lima, Perú, cursa una maestría en Educación con mención en docencia e investigación en educación superior en la Universidad Privada Cayetano Heredia, de Lima, Perú. Cuenta con dos años de experiencia en el rubro textil en el área de producción y calidad. Desde el 2017 se dedica a la investigación en mantenimiento de equipos, cadena de suministro, estrategias de mejora de procesos y evaluación económica y financiera.

LOURDES EMMERICH

Contador público colegiado por la Universidad de Lima y Certified Public Accountant (contador público certificado) de Illinois, Estados Unidos; magíster en Administración de Empresas por la Pontificia Universidad Católica del Perú. Docente en la Facultad de Ciencias Empresariales y Económicas de la Universidad de Lima.

SALVADOR HERNÁNDEZ-GONZÁLEZ

Ingeniero químico por la Universidad La Salle, Ciudad de México, con un doctorado en Ingeniería (investigación de operaciones) por la Universidad Nacional Autónoma de México. Actualmente se encuentra adscrito al Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico de Celaya. Cuenta con publicaciones sobre aplicaciones de líneas de espera, optimización y de redes complejas en revistas indexadas.

JOSÉ EDUARDO HERNÁNDEZ-TORRES

Ingeniero industrial por el Tecnológico Nacional de México - Instituto Tecnológico de Orizaba, tiene el grado de maestro en Ingeniería por el Tecnológico Nacional de México - Instituto Tecnológico de Celaya. Cuenta con publicaciones sobre aplicaciones de redes complejas en revistas indexadas.

MANUEL DARÍO HERNÁNDEZ-RIPALDA

Ingeniero industrial por el Tecnológico Nacional de México - Instituto Tecnológico de Celaya y con maestría en Ciencias en Investigación de Operaciones por el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, México. Actualmente se encuentra adscrito al Tecnológico Nacional de México - Instituto Tecnológico de Celaya. Cuenta con publicaciones sobre aplicaciones de estadística industrial aplicada, diseño de experimentos, regresión y simulación.

RYAN ABRAHAM LEÓN LEÓN

Ingeniero electrónico por la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo, Perú, y con grado de magíster en Ciencias de la Educación Superior por la Universidad San Pedro, de Chimbote, Perú. Docente investigador con más de catorce años de experiencia en universidades privadas y públicas enseñando los cursos de automatización industrial, robótica, control, neumática y electroneumática. Tiene más de diez años laborando en empresas industriales. Cuenta con especialidad en sistemas domóticos, diseño de comunicaciones inalámbricas y soluciones indoor-iden, es experto en equipos de tecnología IDEN Motorola, en diseño de sistemas electrónicos, digitales y en proyectos de ingeniería y desarrollador de aplicaciones móviles Android.

ANDY BOY MENDOZA

Estudiante de Ingeniería Industrial en la Universidad Privada del Norte, de Lima, Perú perteneciente al tercio superior. Supervisor de operaciones y calidad, cuenta con conocimientos en el rubro de productos textiles y calzado, relacionado con las áreas de logística, SIG, desarrollo, producción, procesos productivos, controles de productos en procesos, BPM y calidad.

LUCIANA PELÁEZ AMAYA

Egresada de la Carrera de Ingeniería Industrial de la Universidad Privada del Norte, de Lima, Perú, perteneciente al quinto superior, con conocimientos de *lean manufacturing*, ingeniería económica, formación de empresas y gestión de recursos humanos. Cuenta con experiencia como practicante preprofesional en el área de producción de la empresa Molinorte S.A.C., así como también en el área de gestión del capital humano en Aldodiego & Co.

LUCESITA TACANGA SOTO

Bachiller de Ingeniería Industrial por la Universidad Privada del Norte, de Lima, Perú, con experiencia en el rubro de hidrocarburos, relacionada con las áreas de ventas, producción, logística y operaciones. Con más de año y medio de experiencia en el rubro.

MAURICIO MATHEY

Ingeniero industrial por la Universidad de Lima, con cinco años de experiencia en consultoría estratégica para empresas líderes del Perú, Colombia y Ecuador. Ha desarrollado proyectos de estrategia para los sectores automotriz, banca, manufactura, seguros, *retail*, entre otros.

WALTER MONTOYA

Ingeniero industrial por la Pontificia Universidad Católica del Perú, con experiencia en el análisis y en la mejora de procesos en el rubro logístico y en el sector manufacturero (fabricación de telares). También ha liderado proyectos de desarrollo tecnológico para procesos de certificaciones y para el análisis e inspecciones de hidrocarburos y lubricantes. Se desempeña como analista de transformación y experiencia al cliente en el Banco Pichincha.

FRANCISCO LERMA ARAIZA

Ingeniero industrial por la Universidad del Caribe, de Cancún, México, donde obtuvo el premio al mejor proyecto terminal del Congreso de Ingenierías 2019, con el proyecto "Análisis de factibilidad para el incremento de la capacidad instalada del almacén del CEDIS de Sigma Alimentos Cancún". Cuenta con experiencia laboral en Dolphin Discovery, como becario de seguridad e higiene; en Grupo Ar.Co, como auxiliar de procesos; actualmente es analista de proyectos en GA Tech Solutions.

JUAN FELIPE PÉREZ VÁZQUEZ

Ingeniero industrial y maestro en Ciencias de Ingeniería Industrial por el Instituto Tecnológico de Querétaro, México. Profesor investigador en Logística y Cadena de Suministros de la Universidad del Caribe de Cancún de México. Se desempeñó como ingeniero de manufactura e ingeniero de proyectos para Siemens PTD, ingeniero de manufactura para General Motors e ingeniero de procesos para New Holland de México. Ha dirigido y asesorado más de cuarenta proyectos de titulación. Es miembro del Institute of Industrial and Systems Engineers de los Estados Unidos de Norteamérica, del Padrón de Evaluadores del Consejo Nacional de la Acreditación de la Educación Superior de México y miembro del Cuerpo Académico de Ciencias de la Computación y Comunicaciones de México.

LUZ MARÍA DE LA GARZA NOGUEDA

Ingeniera en Logística y Cadena de Suministros por la Universidad del Caribe, de Cancún, México, donde obtuvo el premio al mejor proyecto terminal del Congreso de Ingenierías 2019, con el proyecto "Análisis de factibilidad para el incremento de la capacidad

instalada del almacén del CEDIS de Sigma Alimentos Cancún”. Tiene experiencia laboral como becaria del departamento de Ciencias Básicas e Ingenierías de la mencionada casa de estudios; asistente de ventas en Grupo Ultra y, actualmente, como jefa de compras en Refacciones y Servicios Industriales.

PAOLA ALFARO ANAYA

Ingeniera en Logística y Cadena de Suministros por la Universidad del Caribe, de Cancún, México, donde obtuvo el premio al mejor proyecto terminal del Congreso de Ingenierías 2019, con el proyecto “Análisis de factibilidad para el incremento de la capacidad instalada del almacén del CEDIS de Sigma Alimentos Cancún”. Cuenta con experiencia laboral en el área de cartera de clientes de Sigma Alimentos; actualmente, es analista de planeación para Hotel Shops.

AGUSTÍN ALEXANDER MEJÍAS ACOSTA

Ingeniero industrial y magíster en Ingeniería Industrial por la Universidad de Carabobo, de Valencia, Venezuela, y doctor en Ciencias Agrícolas por la Universidad Central de Venezuela. Certified Quality Engineer por American Society for Quality de los Estados Unidos de Norteamérica. Docente-investigador en el área de estadística y calidad. Director-editor de la revista *Ingeniería Industrial-UC*. Coautor de obras como *Estadística para Ingeniería. Una herramienta para la gestión de la calidad*, y *Gestión de la calidad. Una herramienta para la sostenibilidad organizacional*, entre otras. Cuenta con más de cuarenta publicaciones en revistas científicas, sobre tópicos de calidad de servicios, análisis estadístico de datos, etcétera.

ROSELIN ADRIANA SANTAMARÍA PERAZA

Ingeniera industrial y magíster en Ingeniería Industrial, especialista en Docencia para la Educación Superior y doctora en Ingeniería Industrial por la Universidad de Carabobo, de Valencia, Venezuela. Directora-editora de la revista *Ingeniería y Sociedad-UC*. Docente-investigadora en el área de estadística y calidad. Autora de publicaciones en revistas científicas relacionadas con el área de análisis estadístico de datos, gestión de la calidad, entre otros temas. Ha participado en eventos internacionales como ponente. Es árbitro de artículos científicos para congresos internacionales y revistas nacionales indexadas, relacionados con el área de la ingeniería industrial.

CATERINA STROBBE

Ingeniera industrial por la Universidad de Lima, con diplomado en Marketing Estratégico del Instituto Tecnológico de Monterrey. Tiene experiencia laboral como *trainee* “Talento Joven” en Sigma Alimentos (Braedt S.A.). Actualmente es jefa de operaciones en Directum

Translations. Se desempeña en áreas de operaciones, estandarización de procesos e implementación de nuevas tecnologías.

ERASMO RAFAEL SALAZAR

Doctor en Estadística por la Universidad de los Andes, Venezuela, licenciado en Matemáticas por la Universidad de Oriente Núcleo de Sucre, Venezuela, donde se desempeña como docente e investigador de su especialidad.

**INFORMACIÓN
PARA LOS COLABORADORES
Y NORMAS PARA LA PRESENTACIÓN
DE TRABAJOS**

Desde 1992, la revista *Ingeniería Industrial* de la Universidad de Lima tiene como objetivo central difundir los resultados de las investigaciones, así como brindar información técnica y científica relativa a dicha rama de la ingeniería. Está dirigida a empresarios de todos los sectores productivos, a docentes y a estudiantes de la especialidad.

Se encuentra indexada en Latindex (www.latindex.org) y en Redalyc, así como en las bases de datos de Dialnet (<http://dialnet.unirioja.es/>) del Centro de Información Tecnológica (<http://www.citrevistas.cl>) y en DOAJ.

1. GENERALIDADES

Esta revista publica tanto trabajos de investigación como de divulgación, que se incluyen en una de las cinco secciones que le dan forma: "Gestión de la Producción", "Calidad y Medioambiente", "Ingeniería de Negocios", "Proyectos Empresariales Industriales" y "Ciencia y Tecnología".

Los trabajos a presentar deben ser inéditos, de indudable aporte científico y no haber sido propuestos para su publicación simultánea en otro medio. Por ello se acepta la colaboración de investigadores y profesionales de la ingeniería y de los negocios que deseen participar en sus páginas. Pueden enviar por vía electrónica sus avances de investigación, artículos, estudios o ensayos acompañados de una carta simple en la cual se haga explícita la cesión de derechos a favor del Fondo Editorial de la Universidad de Lima, para que los publique en soporte impreso o digital.

Las colaboraciones deben estar redactadas con claridad y coherencia, respetando las normas básicas de la ortografía española. Estas deben cumplir con las siguientes características:

Se procesarán en Microsoft Word, en formato simple (una columna), tipografía Times New Roman, en 12 puntos, con espacio y medio de interlínea, el texto justificado y con el margen superior de 3 cm, el inferior de 2,5 cm, el izquierdo de 3 cm y el derecho de 2 cm.

En caso de usar tablas o figuras, estas deben presentarse en orden correlativo, con un título que las describa y la mención de la fuente. Su presentación debe corresponder al estilo APA. Para facilitar su diagramación se deben entregar de la siguiente manera:

- Fotos: en formato .jpg o .tiff con una resolución de 300 pixeles por pulgada.
- Figuras: archivo original en el cual fueron elaboradas.
- Tablas: de ser colocadas como imagen en el documento, enviar archivo original en Microsoft Excel.

Los envíos se realizarán a nombre de María Teresa Noriega Aranibar, editora de la revista, al correo electrónico manorieg@ulima.edu.pe. De existir algún inconveniente, se pueden enviar por correo ordinario, en versiones impresa y digital, a la siguiente dirección: Revista Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería Industrial, Universidad de Lima, Av. Manuel Olguín 125, Lima 33, Perú, o al apartado postal 852, Lima 100, Perú.

2. CARACTERÍSTICAS DE LA COLABORACIÓN PARA EL ENVÍO

- **Título** (en español e inglés): el título debe reflejar el contenido del trabajo. Debe ser conciso y solo se escribirán con mayúsculas las iniciales de la primera palabra y de los nombres propios.
- **Resumen** (en español e inglés): los resultados de investigaciones deben presentar resúmenes que contengan el objetivo, la metodología y las conclusiones en una extensión de entre 50 y 70 palabras. Si se trata de artículos de divulgación, deben proporcionar una reseña del trabajo.
- **Palabras clave** (en español e inglés): se debe proporcionar una relación de entre cuatro y siete palabras o frases clave, para facilitar la búsqueda en los bancos de información.
- **Contenido**: las colaboraciones tendrán una extensión de 10 páginas como mínimo y 25 como máximo. Cada inciso (subtítulo) debe diferenciarse claramente mediante dígitos.

Para incluir citas se usará la forma autor, año, siguiendo el estilo APA.

- **Referencias bibliográficas**: deben aparecer al final del artículo en orden alfabético y siguiendo el estilo APA.

3. HOJA DE VIDA (RESUMEN)

En no más de seis líneas, el colaborador debe indicar sus grados o títulos académicos, el nombre de la institución de afiliación y el país, el cargo que ocupa o la función que desempeña;

sus publicaciones, si las tuviera, y su dirección electrónica, con el fin de incluir estos datos donde corresponda.

4. PROCESO DE ARBITRAJE Y EVALUACIÓN EXTERNA

El editor de la revista revisa el artículo y, si cumple con las pautas básicas editoriales, lo envía a un árbitro (evaluador externo experto en el tema del artículo) bajo la modalidad de doble ciego, quien revisará el contenido del artículo, lo evaluará y determinará si se publica sin ningún cambio, con cambios sustanciales, pero aprobado en una segunda edición o si no se publica.

El Comité Evaluador tendrá un plazo de 15 días hábiles para presentar su informe de evaluación. En el caso de que los artículos se devuelvan al autor con cambios sugeridos o sustanciales, se requerirá una segunda revisión, para ello el árbitro contará con un plazo de 10 días hábiles para emitir su opinión.

Finalizado su trabajo, el Comité Editorial de la revista se reserva el derecho de recomendar o no su publicación, dando aviso a los autores sobre su decisión.

Aplicación de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar la disponibilidad de la máquina remalladora de una empresa textil

Análisis de factibilidad para el incremento de capacidad instalada en el almacén del centro de distribución de una empresa en Cancún

Un índice de capacidad de procesos para distribuciones multivariadas normales y no normales, de variables correlacionadas y no correlacionadas

Liderazgo como factor crítico de éxito para la gestión de las pymes. Reflexiones para la discusión

Mejora de procesos para mitigar el impacto ambiental en una lavandería industrial
¿Cómo generar crecimiento rentable de las pymes de ingeniería? Análisis a través de un estudio de caso

Evolución financiera de la banca múltiple peruana 2007-2017

Análisis de las ventas empleando redes complejas: comunidades y centralidad de productos

Proceso de producción de colchones de espuma viscoelástica en el Perú

Diseño y construcción de un prototipo de máquina selladora y clasificadora de huevos de gallina por peso, en la empresa peruana Aviporc S.A.C