



Congreso Interdisciplinario de Ingenierías

Instituto Tecnológico Superior de Misantla
Año 2017, Número 1



Información Legal

Congreso Interdisciplinario de Ingenierías, Año III, Número I, noviembre 2017, es una publicación anual editada y publicada por el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Km. 1.8 Carretera a Loma del Cojolite, Col. Centro, Misantla, Veracruz. México, C.P. 93821, Teléfono 01 232 323 1545, correo: congreso2017@itsm.edu.mx; página web: www.itsm.edu.mx, <http://pmii.itsm.edu.mx>, <http://pmii.itsm.edu.mx/documentos/memoriacii2017.pdf>. Editor responsable: MIA. Luis Enrique García Santamaría. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2017-102716093000-203 otorgada por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este Número, Coordinación de la maestría en Ingeniería Industrial ITSM, MII. Margarito Landa Zárate, Km. 1.8 Carretera a Loma del Cojolite, Col. Centro, Misantla, Veracruz. México, C.P. 93821, fecha de última modificación, 17 de noviembre de 2017.

Se autoriza cualquier reproducción parcial de los contenidos o imágenes de la publicación siempre y cuando sea sin fines de lucro y para usos estrictamente académicos, citando invariablemente la fuente dando los créditos a los autores del artículo.

El contenido de los artículos publicados es responsabilidad de los autores y no representa el punto de vista del editor de la revista electrónica del Congreso Interdisciplinario de Ingenierías 2017.

CONGRESO INTERDISCIPLINARIO DE INGENIERÍAS

Año 2017 | No. I

Subsecretaria de Educación Superior

**Dirección General de Educación Superior
Tecnológica**

Instituto Tecnológico Superior de Misantla

Congreso Interdisciplinario de Ingenierías

CII 2017

Directorio

Director General ITSM, México

Dr. José Alberto Gaytán García

Subdirectora Académica ITSM, México

M.S.I. Ana Lilia Sosa Y Durán

Director de Planeación y Vinculación ITSM, México

M.A. José Edgar Soto Meneses

Director de Servicios Administrativos ITSM, México

Mtro. Reyes Pérez y Cano

Subdirector de Posgrado

MSC. Galdino Martínez Flores

Coordinador de la Maestría en Ingeniería Industrial ITSM, México

MII. Margarito Landa Zárate

Cuerpo Editorial

Editor General

Instituto Tecnológico Superior de Misantla

Editor

MIA. Luis Enrique García Santamaría

Comité de Revisión

Dr. Gregorio Fernández Lambert, ITSM, México

Dr. Luis Mejía Macario, ITSM, México

Dr. Gustavo Martínez Castellanos, ITSM, México

Dr. Saúl Santiago Cruz, ITSM, México

MII. Carlos Ángel Vicente Rodríguez, ITSM, México

MII. Margarito Landa Zárate, ITSM, México

M.C. Sandra Guadalupe García Aburto, ITSM, México

MII. Marieli Lavoignet Ruiz, ITSM, México

MIA. Luis Enrique García Santamaría, ITSM, México

Dr. Isidro GRodríguez Montoro

MII. Gabriel Grosskelwing Núñez

Corrección de Estilo

Lic. Jorge Obdulio Gerón Borjas ITSM, México

Diseño Editorial

Lic. Erik Balderas González ITSM, México

Lic. Guillermo Carmona Villegas ITSM, México.

Distribución

Publicación electrónica disponible en:

<http://pmii.itsm.edu.mx/documentos/MEMORIA%20CII%202017.pdf>

Correo electrónico: congreso2017@itsm.edu.mx

Introducción

El Congreso Interdisciplinario de Ingenierías es un espacio multidisciplinario anual del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, cuyo objetivo principal es compartir resultados de investigaciones científicas realizadas por estudiantes y académicos investigadores de los programas de ingeniería perteneciente al Tecnológico Nacional de México, Centros de Investigación e Instituciones de Educación Superior del país.

Las áreas de interés de esta primera edición están principalmente relacionadas con el mejoramiento de las PYMES y Decisiones Gerenciales. Así mismo, todos los trabajos están dirigidos a especialistas en las distintas áreas de interés. Los trabajos aceptados provienen de investigación experimental, descriptiva, análisis o inferencias, estudios de casos analizados mediante técnicas cuantitativas, cualitativas o una combinación de ambas. También se integran al documento trabajos basados en investigación bibliográfica que permiten un avance en el estudio del tema.

Esta publicación está dirigida al público en general con interés en las temáticas expuestas, y se espera sirvan de referencias para nuevos trabajos de ingeniería.

Contenido

Análisis de la cadena de distribución de la industria purificadora de agua basado en dinámica de sistemas	.....	9-18
<i>Karla Christel Rosas Cordova, Ing.¹</i>		
Análisis de series de tiempo para el pronóstico de cosecha en una plantación de café	.....	19-25
<i>David Borjas Fernández, Ing.¹, MII Margarito Landa Zarate²</i>		
Análisis de variaciones en los inventarios a través del Diagrama Causal, caso de estudio Construrama-Tubycó de Martínez de la Torre, Ver.	.....	26-34
<i>Keila Madai Morales Duran, Ing.¹, Ing. Flor Idalia Tirado Aguilar², M.I.I. Carlos Ángel Vicente Rodríguez³</i>		
Aplicación de canvas en una microempresa caso de estudio: Nafruit.	.....	35-42
<i>Elsa Elena Corona Mayoral, Dra¹, Dra. Susana Margarita Ibars Hernández², Dr. Perfecto Gabriel Trujillo Castro³, MIA. Noemí del Carmen Tenorio Prieto⁴, II. Adalberto Torreblanca Zorrilla⁵.</i>		
Aplicación de las metodologías QFD, TRIZ y AMEF para el rediseño innovador de un horno de secado.	.....	43-51
<i>Víctor Alfredo De Los Santos Jimeno Ing¹, Dr. Luis Mejía Macario², LA. María Teresa Domínguez Bovio³.</i>		
Consideraciones técnicas para la toma de imagen de fruto en árbol: Caso Lima persa (Cítrux latifolia Tanaka)	.....	52-61
<i>Pablo Colorado Posadas, Ing¹, Lic. Rolando G. Olivares Velázquez², CP. José A. Zumaya Ahumada³, Lic. Reynaldo Aguirre Alcántara⁴, Ing. Jesús Q. Martínez Armenta⁵</i>		
Constructo Teórico para el cálculo del número de operadores óptimos en el proceso de Pre-selección manual de la industria de lima persa.	.....	62-68
<i>Edwin Arturo González Ávila, Ing¹, M.I.A. Luis Enrique García Santamaría², Ing. Jenny Besiche Barranco³</i>		
Determinación de modo de transporte para distribuir mercancías, apoyado con Lógica Difusa.	.....	69-77
<i>Martha Aurea Salazar Castellanos, Ing¹.</i>		
Determinación de la confiabilidad de proveedores de Lima persa: Una aproximación desde la teoría de conjuntos difusos.	.....	78-85
<i>Martha Yesenia Gerón Fernández, Ing¹, LA. María Teresa Domínguez Bovio².</i>		
Diagrama de Influencias para la interacción depredador-presa de las poblaciones bovino - gramínea.	.....	86-91
<i>Jenny Besiche Barranco, Ing¹, M.I.I. Gabriel Grosskelwing Núñez², I.I. Edwin Arturo Gonzales Ávila³</i>		
Gestión de Mantenimiento en Instituciones de Nivel Superior	.....	92-104
<i>Leonardo Martínez Lara, M.I.I.¹, M.I.A. Luis Enrique García Santamaría², M.I.I. Gema del Carmen Jiménez Gómez³, M.C. Sandra Guadalupe García Aburto⁴, I.M.I. Marcos Martínez Valenzuela⁵</i>		
Gestión de riesgos en las cadenas de suministro: Exploración Bibliográfica	.....	105-115
<i>Alain Gabriel García Martínez, Ing¹, MII. Gabriel Grosskelwing Núñez², Ing. Adriana Arellano Montes³, Ing. Enrique Torrez Chávez⁴.</i>		
Metodología de Análisis de Operaciones mediante simulación discreta en estaciones de gasolina. Caso de estudio Gasolinera Veracruz.	.....	116-124
<i>Martha Sarai Serrano Chávez, Ing¹, Ing. José Alberto Hernández Rodríguez², Ing. Sthefany Alvarez Vargas³, Ing. Ibridoris Tatnai Burguete Palacios⁴, Dr. Saúl Santiago Cruz⁵</i>		
Metodología para el análisis de series de tiempo estacionalizados utilizando pronósticos para la demanda de hospedaje.	.....	125-135
<i>Israel Zarate Hernández Ing.¹, M.I.I. Margarito Landa Zarate²</i>		

Propuesta de mejora en los tiempos de servicio de una dulcería basado en simulación. <i>Gisela Irene García Martínez, Ing.¹, Ing. Karen Citlally Covarrubias Gutiérrez², Ing. Nallely Hermida Gutiérrez³, Ing. Melina de Jesús Acosta Martínez⁴, Ing. Analine Ocaña Trujillo⁵</i>	.....	136-143
Red logística como un problema multi-agente viajero para distribuir agua purificada en garrafones de 19 litros <i>Valentín Blanco Bustamante, Ing.¹, MII. Marieli Lavoignet Ruíz²</i>	.....	144-153
Uso de la programación matemática para la formulación de raciones de animales: Revisión bibliográfica <i>Adriana Arellano Montes Ing.¹, Dr. Gustavo Martínez Castellanos², Ing. Alain Gabriel García Martínez³, Ing. Enrique Torres Chavez⁴</i>	.....	154-166

Análisis de la cadena de distribución de la industria purificadora de agua basado en dinámica de sistemas

Karla Christel Rosas Cordova, Ing.¹.

¹ Karla Christel Rosas Cordova, Ing. Ind., es Estudiante de la Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. christel_2244@hotmail.com.

Resumen— En este artículo se simulan escenarios para determinar la rentabilidad de una empresa distribuidora de garrafón de 19 Lts. apoyado de la Dinámica de Sistemas.

Se simula la determinación de las utilidades del sistema de distribución con respecto a las ventas de las rutas actuales las cuales son identificadas como Ruta 1 (R1) y Ruta 2 (R2), los ingresos y egresos y contemplando cambios en las ventas, así como un nuevo vehículo para la distribución del producto. Los resultados muestran que las rutas actuales generan utilidades mensuales de \$24,068.82 y para el modelo propuesto \$27, 385.93.

Palabra(s) clave— *Rutas de distribución, Simulación, Industria purificadora, Distribución de agua.*

Abstract – In this article, scenarios are simulated to determine the profitability of a 19 L. bottle distributor company supported by the Dynamics of Systems.

It simulates the determination of the utilities of the distribution system with respect to sales of the current routes which are identified as Route 1 (R1) and Route 2 (R2), revenues and expenses and considering changes in sales, as well as a new vehicle for product distribution. The results show that the current routes generate monthly profits of \$ 24,068.82 and for the proposed model \$ 27, 385.93.

Key words – *Distribution routes, Simulation, Purification industry, Water distribution.*

1. Introducción

Los constantes cambios han generado diversas repercusiones en el mercado, de un mercado casi independiente a un mercado mundial altamente integrado que exige cada vez más. Actualmente los gerentes o propietarios de las empresas tienen como reto encontrar nuevas formas de dirigir sus empresas para que sean más flexibles, fiables y sensibles a los cambios. Una manera de contemplar los cambios en el tiempo y tomar decisiones es mediante la simulación de dinámica de sistemas.

En la actualidad simular diversas situaciones ya no es tan complejo, debido a que las variables en estudio, que son definidas por el usuario, ayudan a simular los posibles resultados en un lapso corto.

Otro problema que se presenta en las empresas es sobre la eficiencia de la cadena de distribución, la cual en la mayoría de las pequeñas y medianas empresas se basa en la intuición y experiencia de las decisiones de los trabajadores que laboran en la empresa. Estas decisiones a menudo están lejos de ser las óptimas, porque no contemplan los cambios en las preferencias del cliente, la globalización de la economía y la competencia, etc.

Mediante el uso de la metodología de la dinámica de sistemas, se han desarrollado diversos modelos como lo son simulación de estrategias de inversión para pequeños caficultores colombianos (Abaunza Osorio, Arango Aramburo, & Olaya Morales, 2011), Modelo del sistema de distribución de aguas blancas en la ciudad de Mérida (Peña, Ablan, Ramírez, & Márquez, 2009), Modelo de dinámica de sistemas para el proceso de producción de la mandarina, (Huertas Forero, Ramón Verástegui, Morales Parra, & Castro Ariza, 2011), entre otros.

El propósito de este artículo consiste en desarrollar un modelo de simulación basado en dinámica de sistemas para la cadena de distribución de la industria purificadora de agua que sirvan de soporte a la toma de decisiones en el proceso de distribución del producto.

2. Desarrollo

La dinámica de sistemas trata las interacciones entre los flujos de información, dinero, órdenes, materiales, recursos humanos y equipos dentro de la compañía, industria o economía nacional". Es caracterizado por (Aracil, Introducción a la Dinámica de Sistemas, 1993):

- a. Manejar un lenguaje que permite expresar las relaciones que se producen dentro de un sistema.
- b. Explica de manera práctica el comportamiento de un sistema.
- c. Comprensión holística del sistema.
- d. No está restringida a sistemas lineales.

2.1. Planteamiento del Problema

La empresa purificadora de agua “Delfin” es una empresa dedicada a la producción y distribución de garrafones de agua purificada. El proceso de distribución se realiza mediante dos rutas generadas de manera empírica por el dueño y administrador de la empresa mediante el uso de una camioneta, dicho administrador argumenta la necesidad de analizar de manera dinámica el comportamiento de sus ventas en determinada temporada (alta o baja), con respecto a sus costos con el fin de determinar su rentabilidad, esto debido al comportamiento de sus ventas sobre las cuales se ha percatado que van en aumento. En la Figura 2.1 se aprecia el incremento de dichas ventas por mes en temporada alta correspondientes a los meses de abril a septiembre.

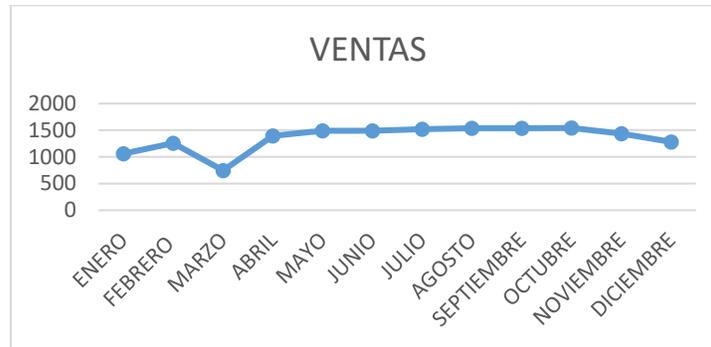


Figura 2.1: Ventas mensuales del sistema de distribución en estudio.

Se obtuvieron los datos históricos de ventas del año 2016, costos, gastos de mantenimiento, etc. mediante visitas periódicas a la empresa.

La metodología a utilizar para la construcción del modelo se divide de la siguiente manera:

1. Conceptualización: En este apartado se identifican los parámetros, variables de nivel, flujo, auxiliares, constantes e interrelaciones del sistema.
2. Formalización: Se determina la lógica del modelado por medio de diagramas causales y de Forrester, traduciéndolo al lenguaje de dinámica de sistemas (DS).
3. Formulación: Se establece la formulación y ecuaciones que relaciona las variables del mismo.
4. Planteamiento del modelo: Se incorpora el diagrama de Forrester y la formulación en la herramienta computacional, para este caso se usó el software Vensim PLE y Stella 9.0.2.
5. Modelo propuesto: Se realizan los ajustes en la arquitectura del modelo y la formulación según el caso que se determine, para el diseño de un nuevo modelo.
6. Resultados: Se realiza un análisis de los resultados arrojados por el modelo actual y el modelo propuesto.

Una red de distribución busca mantener su producto para satisfacer la demanda del mercado, en dicha red se deben tener en cuenta una serie de factores y actores como lo son: los costos, el tipo de producto, la demanda, el precio, entre otros. Este conjunto de componentes se integra entre sí para determinar sus beneficios.

2.2 Estructura actual del sistema de distribución.

El proceso de distribución en la ciudad de Misantla tiene dos actores principales: punto de origen y punto destino. De igual manera se llegó a consolidar las variables que se deben tener en cuenta en el proceso de distribución. En la Figura 2.2 se define de manera general una las estructuras de la cadena de distribución en estudio. Por lo tanto, incluye solamente las influencias más marcadas y obvias. El propósito fundamental de ésta, no es únicamente lograr una representación completa de todas las funciones, sino más bien mostrar un método de análisis y comprensión de las contribuciones al comportamiento del sistema.

Actualmente el sistema de distribución de los garrafones de agua es realizado mediante dos rutas mencionadas anteriormente, la R1 se efectúa los días lunes, miércoles y viernes, mientras la R2 los días martes, jueves y sábado. En la Figura 2.2 se representa con una línea de color azul la distribución de los garrafones de agua que fluye de la empresa hacia los clientes finales; cabe mencionar que la camioneta al quedarse sin producto para el cliente, regresa a la empresa para su reabastecimiento y posteriormente continúa con el

recorrido, línea de color rojo, distribuyendo su producto, para al final regresar a la empresa. Todo este procedimiento es realizado de la misma manera para la R2.

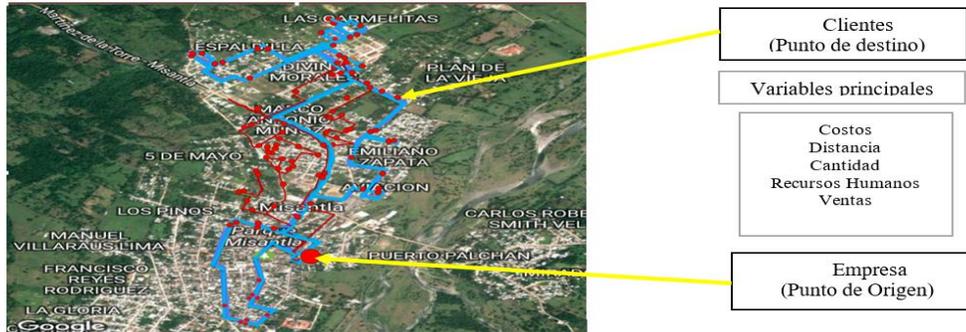


Figura 2.2: Variables a considerar en la estructura de la cadena de distribución en estudio, R1.

2.3 Conceptualización

En esta etapa se identifican los parámetros, las variables de nivel, de flujo, auxiliares, constantes e interrelaciones del sistema.

En la Tabla 2.1 Parámetros del modelo se determinan los parámetros y demás variables anteriormente mencionadas con los cuales se desarrolla el modelo de investigación.

Nombre	Descripción	Tipo
US	Utilidad del sistema	Variables de nivel
CLOR1	Costos Logísticos de operación R1	
CLOR2	Costos Logísticos de operación R2	
VT	Ventas totales	
GM	Gastos de mantenimiento	
U	Utilidad	Variables de flujo
COT	Costos totales	
CTR1	Costo de transporte R1	
CTR2	Costo de transporte R2	
V	Ventas	
GR1	Gasolina R1	Variables auxiliares
GR2	Gasolina R2	
I	Ingreso	
B	Bono por ventas	
E	Egresos	
VR1	Ventas de la R1	Constantes
VR2	Ventas de la R2	
P	Precio	
NVR1	Número de vehículos R1	
NVR2	Número de vehículos R2	
GM	Gastos de mantenimiento	

Tabla 2. 1.- Parámetros del Modelo

A continuación: se describen las variables para simular el sistema: los componentes estructurales que representan el modelo de un sistema dinámico, lo forman las variables de flujo, de nivel y auxiliares y según el papel que desempeñen dentro del modelo, se describen a continuación: (Aracil & Gordillo, Dinamica de sistemas)

1. Variable de flujo: Corresponde a los factores que determinan el proceso del sistema de distribución con el fin de realizar un análisis de la rentabilidad de la empresa.

2. Variable de nivel: la utilidad del sistema de distribución, los costos logísticos de operación y ventas totales, gastos de mantenimiento. Son las variables de estado del sistema, las cuales generan información en las que se basan las acciones y las tomas de decisiones.
3. Variables auxiliares: Son los pasos en los que se descompone el cálculo de una variable de flujo a partir de los valores tomados por los niveles. El propósito del uso de las variables auxiliares está en facilitar la comprensión y definición de las variables de flujo

A continuación, se describen las variables a utilizar:

- Utilidad del Sistema: aquí se refleja el beneficio económico de transportar los garrafones de agua por determinadas rutas.
- Costos logísticos de operación R1 y R2: Es la sumatoria de todos los costos que incurren en el traslado del producto de un punto de origen a un punto destino por el número de vehículos a utilizar de las rutas en estudio.
- Ventas R1 y Ventas R2: son las ventas promedio correspondientes a cada ruta de distribución de los garrafones de agua (ventas mínimas y máximas diarias).
- Ingresos: Es el valor monetario que se recibe de las ventas de los garrafones de agua dependiendo del precio de éste.
- Egresos: Es la sumatoria de los costos logísticos, gastos de mantenimiento, etc., que se presentan al transportar los garrafones a su cliente final.
- Costos de transporte R1 y R2: Es el flujo de costos logísticos que intervienen en el Sistema, condicionado con respecto a las ventas de las R1 y R2 con un incremento de gasolina del 10%.
- Ventas totales: Es la sumatoria del número de garrafones vendidos durante el recorrido de determinadas rutas.
- Ventas: corresponde a las ventas realizadas en las R1 y R2.
- Precio: es el costo correspondiente por cada garrafón vendido, \$13.
- Gasolina R1 y R2: Es el precio del tipo de combustible que utiliza el vehículo que transporta el producto en este caso, la camioneta Mazda modelo 96 para un recorrido de las rutas en estudio, tiene un costo de \$16.06 por litro. En el recorrido de las rutas en estudio se consumen aproximadamente 11 litros de gasolina Magna.
- Bono por venta: Corresponde al bono estipulado para la persona encargada de distribuir los garrafones de agua, éste dependerá de las ventas totales de estos, multiplicado por tres.
- Gastos de mantenimiento: corresponde a los costos diarios en los que incurre el propietario del vehículo para mantenerlo en capacidad de brindar servicios.
- Número de Vehículos R1 y R2: corresponde a la cantidad de vehículos a utilizar para el transporte de los garrafones de agua de la R1 y la R2.

2.4 Formalización

En este apartado se determina la lógica del modelado mediante el uso de diagramas causales para después elaborar el modelado mediante el uso de diagrama de Forrester, traducido al lenguaje de dinámica de sistemas (DS).

El diagrama causal o influencia se reduce a una serie de enunciados que establecen las relaciones o vínculos de dependencia entre las diferentes variables básicas de un sistema y los ciclos conformados entre ellas y la dinámica que se presenta (Ceballos, Uribe, & Sánchez, 2013). En la Figura 2.3 se observa el diagrama causal relacionando todo el sistema a abordar, el cual surge de la necesidad de analizar la utilidad del sistema.

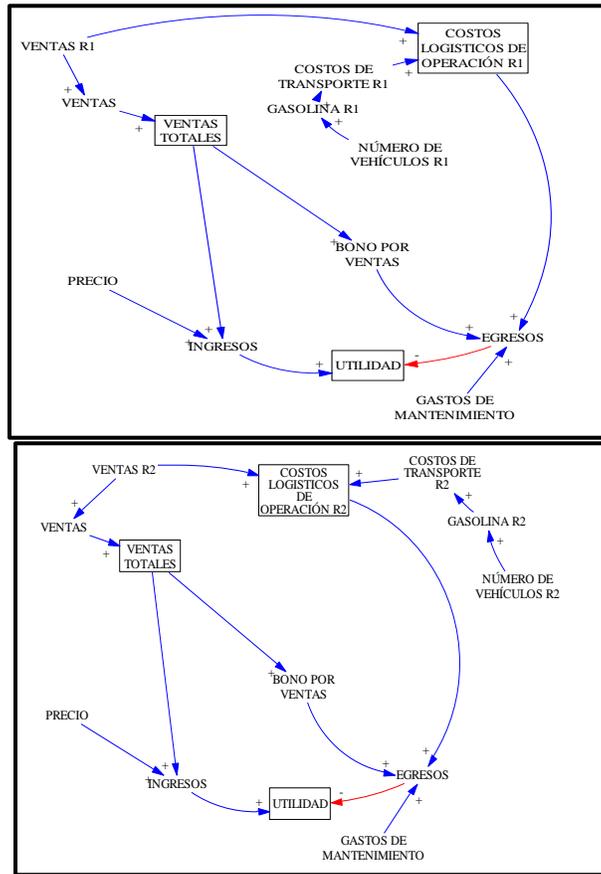


Figura 2.3: Diagrama causal de las R1 y R2 respectivamente, desarrollado en Vensim PLE.

En el diagrama se observan las diversas relaciones que existen entre cada una de las variables que componen el modelo de distribución, regularmente en este tipo de diagramas se identifican dos comportamientos denominados como realimentación negativa y realimentación positiva. Ésta última nos indica que entre mayor sea una variable mayor será su causal en la siguiente variable a tratar. Por otro lado la realimentación negativa entre mayor sea una variable, menor será el impacto en la variable causal viéndolo desde un punto de vista más general.

Por tanto, en la Figura 2.3 la realimentación positiva incide en el 90% de estos, puesto que se observa que al aumentar una variable tiene un efecto directo en la variable correlacionada, esto quiere decir que al aumentar las ventas en las R1 y R2 del sistema habrá más ventas totales, mayores ingresos, aumentara también el bono por ventas, pero si esto sucede también los costos, repercutiendo en los egresos ocasionando la disminución en la rentabilidad en el caso de estudio.

2.5 Formulación y planteamiento del modelo

Una vez descritas las variables, las cuales son esenciales para modelar el sistema de distribución de los garrafones de agua. En seguida se presentan las ecuaciones resultantes de los modelos, dependiendo del tipo: de nivel, flujo, auxiliares y constantes.

Fórmula 1. Ecuaciones de variables de nivel:

- ACUMULADOR UTILIDADES = 0
- VENTAS TOTALES = 0
- GASTOS DE MANTENIMIENTO = 0
- COSTOS LOGÍSTICOS DE OPERACIÓN R1 = 0
- COSTOS LOGÍSTICOS DE OPERACIÓN R2 = 0

Fórmula 2. Ecuaciones de variables de flujo:

$VENTAS = VENTAS\ R1 + VENTAS\ R2$
 $COSTOS\ DE\ TRANSPORTE\ R1 = IF(VENTAS\ R1 \geq 140) THEN (GASOLINA\ R1 * 1.1) ELSE (GASOLINA\ R1)$
 $COSTOS\ DE\ TRANSPORTE\ R2 = IF(VENTAS\ R2 \geq 110) THEN (GASOLINA\ R2 * 1.1) ELSE (GASOLINA\ R2)$
 $UTILIDADES = INGRESOS - EGRESOS$
 $OPERADOR\ MTO = MANTENIMIENTO$

Fórmula 3. Ecuaciones de variables auxiliares:

$GASOLINA\ R1 = 176.66 * NÚMERO\ DE\ VEHÍCULOS\ R1$
 $GASOLINA\ R2 = 176.66 * NÚMERO\ DE\ VEHÍCULOS\ R2$
 $INGRESOS = PRECIO * VENTAS\ TOTALES$
 $BONO\ POR\ VENTAS = VENTAS\ TOTALES * 3$
 $EGRESOS\ R1 = COSTOS\ LOGÍSTICOS\ DE\ OPERACIÓN\ R1 + GASTOS\ DE\ MANTENIMIENTO + BONO\ POR\ VENTAS$
 $EGRESOS\ R2 = COSTOS\ LOGÍSTICOS\ DE\ OPERACIÓN\ R2 + GASTOS\ DE\ MANTENIMIENTO + BONO\ POR\ VENTAS$
 $VENTAS\ R1 = RANDOM(61,174)$
 $VENTAS\ R2 = RANDOM(54,121)$

Fórmula 4. Ecuaciones de variables constantes:

$PRECIO = \$13$
 $NÚMERO\ DE\ VEHÍCULOS\ R1 = 1$
 $NÚMERO\ DE\ VEHÍCULOS\ R2 = 1$
 $MANTENIMIENTO = \$30.9722$

En la Figura 2.4 Diagrama de Forrester para la R1, desarrollado en Stella 9.0. 2. Y la Figura 2.5 Diagrama de Forrester para la R2, desarrollado en Stella 9.0. 2. Se visualiza las relaciones que se tienen entre las variables con el fin de simular el comportamiento de del sistema de estudio.

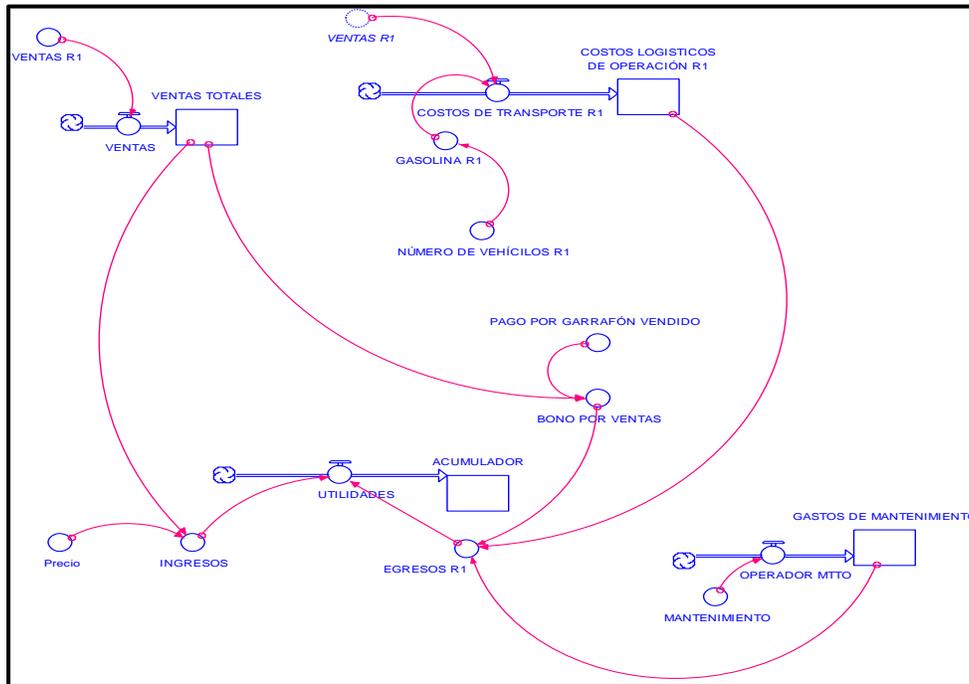


Figura 2.4: Diagrama de Forrester para la R1, desarrollado en Stella 9.0. 2

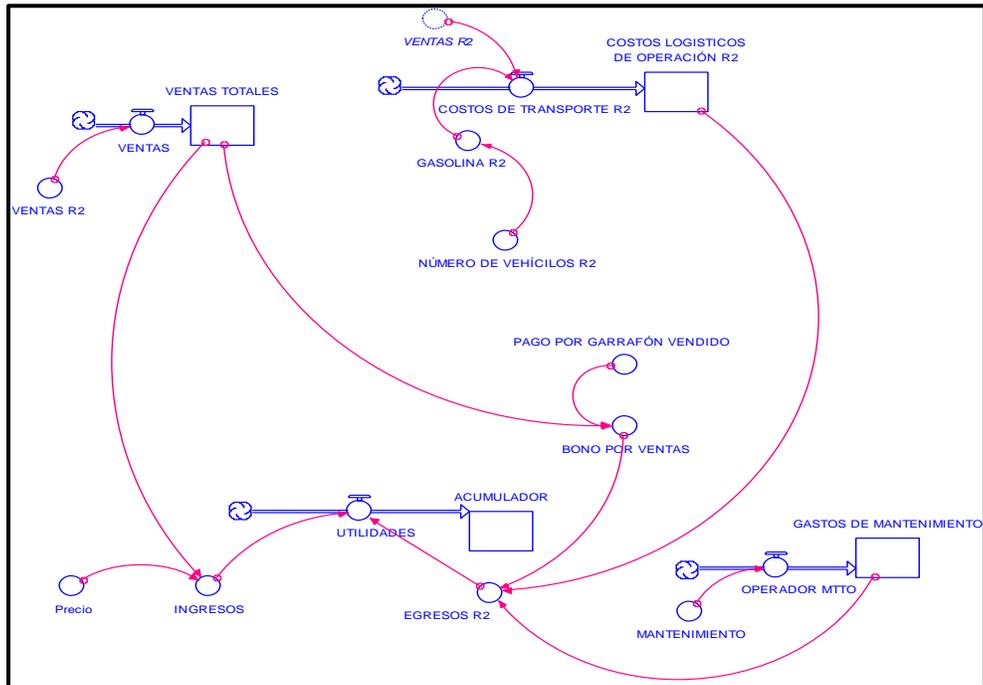


Figura 2.5: Diagrama de Forrester para la R2, desarrollado en Stella 9.0.

Una vez formulado el diagrama Forrester basado en información presentada por la empresa, se deben asignar ciertos valores a los parámetros para que el modelo describa una situación en específico teniendo como base los datos históricos con el fin de observar cómo evoluciona el proceso.

A continuación, se muestra en la Figura 2.6 el comportamiento de las ventas totales por ruta, ingresos, egresos y utilidades del sistema con las ecuaciones indicadas anteriormente, se realiza la simulación a un mes laborable por la empresa.

Days	UTILIDADES	INGRESOS	EGRESOS	VENTAS TOT
1	1,776.28	2,579.08	802.81	198.39
2	3,161.46	4,672.71	1,511.25	359.44
3	4,233.96	6,336.88	2,102.92	487.45
4	4,823.30	7,372.95	2,549.64	567.15
5	6,332.47	9,627.75	3,295.28	740.60
6	7,438.43	11,335.42	3,896.99	871.98
7	8,822.11	13,427.10	4,604.98	1,032.85
8	9,548.37	14,641.15	5,092.78	1,126.24
9	10,280.33	15,862.62	5,582.29	1,220.20
10	10,879.75	16,911.79	6,032.04	1,300.91
11	12,285.97	19,032.76	6,746.79	1,464.08
Final		20,533.68	7,300.79	1,579.51

Days	UTILIDADES	INGRESOS	EGRESOS	VENTAS TOT
1	2,057.07	2,944.11	887.04	226.47
2	2,779.18	4,152.77	1,373.60	319.44
3	3,506.04	5,367.62	1,861.58	412.89
4	4,378.69	6,771.99	2,393.30	520.92
5	5,336.83	8,287.49	2,950.66	637.50
6	6,332.63	9,851.95	3,519.32	757.84
7	6,901.07	10,860.84	3,959.77	835.45
8	7,878.46	12,401.37	4,522.91	953.95
9	8,709.08	13,751.10	5,042.02	1,057.78
10	9,590.94	15,167.44	5,576.50	1,166.73
11	10,317.22	16,381.52	6,064.31	1,260.12
Final		17,325.76	6,489.84	1,332.75

Figura 2.6 Resultados de corrida a un mes laborable para la R1 y R2 respectivamente, desarrollado en Stella 9.0. 2

Dados los anteriores elementos del sistema, se debe tener en cuenta que cuando las ventas de las R1 y R2 empiecen a fluctuar las variables anteriores de la misma forma comienzan a oscilar, de acuerdo a su naturaleza.

2.6 Modelo propuesto.

Se realiza un escenario más en el cual se agrega un nuevo vehículo al sistema de distribución y se contempla dos rutas para el mismo día, esto debido al incremento en la demanda y al interés que tienen el dueño de la empresa en los resultados que obtendría en su sistema de distribución.

A continuación, se muestra en la Figura 2.6 el diagrama de Forrester del nuevo escenario del sistema de distribución, donde se agrega n número de vehículos para poder utilizar las dos rutas en el mismo día. Cabe destacar que se utiliza los mismos parámetros del modelo descritos en la Tabla 2.1 y se adicionan los de la Tabla 2.2, además de que se realizaron los cálculos correspondientes con respecto a la variable constante denominada mantenimiento.

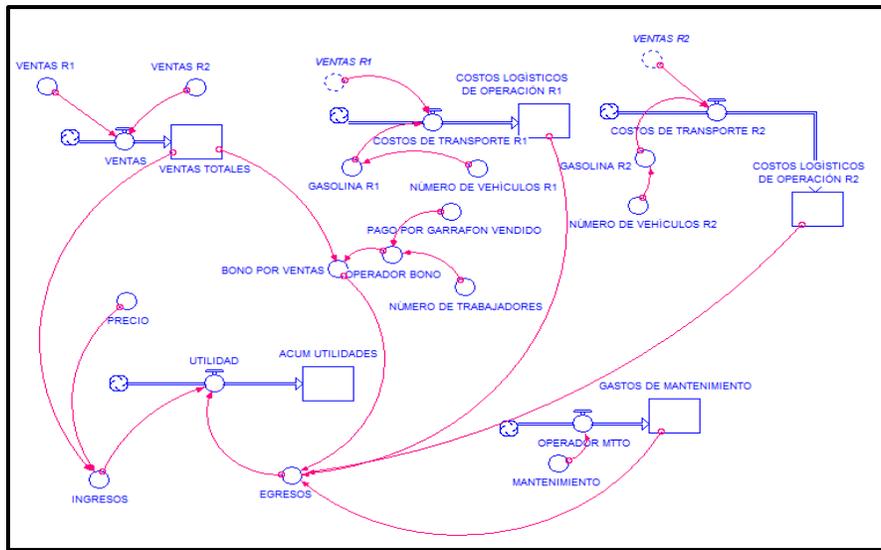


Figura 2.6: Diagrama de Forrester para dos rutas de distribución diarias y n número de vehículos, desarrollado en Stella 9.0. 2

Nombre	Descripción	Tipo
P	Pago por garrafón vendido	Variables auxiliares
OB	Operador bono	
NP	Número de trabajadores	
B	Bono por ventas	

Tabla 2.2.- Parámetros adicionales para el Modelo propuesto.

En seguida se presentan las ecuaciones resultantes del modelo propuesto, dependiendo del tipo: de nivel, flujo, auxiliares y constantes.

Fórmula 1. Ecuaciones de variables de nivel:

- ACUMULADOR UTILIDADES = 0
- VENTAS TOTALES = 0
- GASTOS DE MANTENIMIENTO = 0
- COSTOS LOGÍSTICOS DE OPERACIÓN R1 = 0
- COSTOS LOGÍSTICOS DE OPERACIÓN R2 = 0

Fórmula 2. Ecuaciones de variables de flujo:

VENTAS = VENTAS R1 + VENTAS R2
 COSTOS DE TRANSPORTE R1= IF (VENTAS R1>=140) THEN (GASOLINA R1*1.1) ELSE (GASOLINA R1)
 COSTOS DE TRANSPORTE R2= IF (VENTAS R2 >= 110) THEN (GASOLINA R2*1.1) ELSE (GASOLINA R2)
 UTILIDADES = INGRESOS – EGRESOS
 OPERADOR MTO = MANTENIMIENTO

Fórmula 3. Ecuaciones de variables auxiliares:

GASOLINA R1 = 176.66 * NÚMERO DE VEHÍCULOS R1
 GASOLINA R2 = 176.66 * NÚMERO DE VEHÍCULOS R2
 INGRESOS = VENTAS TOTALES * PRECIO
 BONO POR VENTAS = VENTAS TOTALES * PAGO POR GARRAFÓN VENDIDO
 EGRESOS = COSTOS LOGÍSTICOS DE OPERACIÓN R1 + COSTOS LOGÍSTICOS DE OPERACIÓN R2 + GASTOS DE MANTENIMIENTO + BONO POR VENTAS
 VENTAS R1 = RANDOM (61,174)
 VENTAS R2 = RANDOM (54,121)
 OPERADOR BONO = PAGO POR GARRAFÓN VENDIDO * NÚMERO DE TRABAJADORES

Fórmula 4. Ecuaciones de variables constantes:

PRECIO = \$13
 NÚMERO DE VEHÍCULOS R1 = 1
 NÚMERO DE VEHÍCULOS R2 = 1
 MANTENIMIENTO = \$61.9444
 NÚMERO DE TRABAJADORES= 2
 PAGO POR GARRAFÓN VENDIDO= 3

Mediante la corrida del modelo propuesto simulado a un mes laborable por la empresa se observa el comportamiento de las ventas totales, ingresos, egresos y utilidades del sistema con las ecuaciones indicadas anteriormente, contemplando dos trabajadores y 2 vehículos para la distribución.

Al oscilar las variables ventas de la R1 y R2 tiene un efecto directo en las variables correlacionadas, esto quiere decir que al aumentar las ventas en las R1 y R2 del sistema habrá más ventas totales, mayores ingresos, pero también aumenta el bono por ventas debido al incremento de trabajadores, y los costos logísticos de operación de ambas rutas, ya que generan mayores costos por el incremento de vehículos, por ende el gasto de mantenimiento y el costo de gasolina, repercutiendo en los egresos ocasionando la disminución en la rentabilidad en el caso de estudio.

Days	UTILIDAD	INGRESOS	EGRESOS	VENTAS TOT
13	14,075.62	36,330.14	22,254.53	2,794.63
14	15,384.61	39,528.00	24,163.39	3,040.62
15	16,630.99	42,683.88	26,052.87	3,283.37
16	17,760.61	45,585.73	27,825.13	3,506.59
17	18,772.39	48,235.97	29,463.58	3,710.46
18	19,991.77	51,304.55	31,312.78	3,946.50
19	21,101.64	54,169.74	33,068.10	4,166.90
20	22,336.98	57,267.96	34,930.98	4,405.23
21	23,344.58	59,943.23	36,598.65	4,611.02
22	24,874.23	63,620.83	38,746.60	4,893.91
23	26,069.91	66,645.39	40,575.48	5,126.57
Final		69,893.45	42,507.52	5,376.42

Figura 2.7: Resultados de corrida a un mes laboral para el modelo propuesto, desarrollado en Stella 9.0.2

3. Resultados

Los resultados de la corrida del modelo de las rutas actuales muestran el comportamiento a un mes de las ventas totales por ruta, ingresos, egresos y utilidades del sistema. Una vez corriendo el modelo se observa que en el tiempo determinado para la ruta 1 va tener unos ingresos de \$20,533.68 y egresos de \$7,300.79 por tanto se obtienen utilidades de \$13,232.89 y para la ruta 2 ingresos de \$17,325.76 y egresos de \$6,489.84 para el cual tienen utilidades de \$10,835.92.

Los resultados del modelo propuesto a un mes son los siguientes: Se aprecia que ambas rutas de distribución diarias generan ingresos aproximados de \$69,893.45 y egresos de \$42,507.52 por tanto se obtienen utilidades de \$27,385.93 las cuales se observan en la Figura 2.7.

4. Conclusiones

Se aprecia que ambos modelos generan utilidades, los dos modelos son muy cercanos a la realidad debido a que se tienen las variables reales de las ventas de la R1 y R2 diarias introducidas aleatoriamente al modelo, una vez realizando la sumatoria de las utilidades de las dos rutas actuales en estudio se tienen utilidades de \$24,068.82 mensuales, mientras que las utilidades que genera el modelo propuesto son de 27, 385.93, ambos mensualmente.

Cabe destacar que queda a criterio del dueño de la empresa la decisión de introducir o no las dos rutas de distribución diarias ya que este le genera una ganancia de \$3, 317.11 o continuar con su distribución actual, también teniendo en cuenta la capacidad de producción de la empresa.

El proceso mencionado se realiza con la finalidad de ayudar a resolver problemas que se presentan en determinados sistemas, es así como el modelo se vale de él para resolver el inconveniente a estudiar, con el fin de predecir valores que tomaran algunos parámetros en un tiempo determinado del futuro.

5. Agradecimientos

Hago extensivo mi agradecimiento al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por haberme otorgado una beca para mis estudios de posgrado.

6. Referencias

- Abaunza Osorio, F., Arango Aramburo, S., & Olaya Morales, Y. (2011). *Simulación de Estrategias de Inversión para Pequeños Caficultores Colombianos*. Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín, 64(2), 6277-6290.
- Aracil, J. (1993). *Introducción a la Dinámica de Sistemas*. Editorial Madrid: Alianza Universidad.
- Aracil, J., & Gordillo, F. (s.f.). *Dinámica de sistemas*. Alianza.
- Ceballos, Y. F., Uribe, M., & Sánchez, G. (2013). *Modelo de Dinámica de Sistemas para la Predicción del Comportamiento del Mercado Porcícola*. Información Tecnológica, 24(4), 117-124.
- Forrester, J. W. (1961). *Industrial Dynamics*. Pegasus Communications.
- Huertas Forero, I., Ramón Verástegui, M., Morales Parra, L. C., & Castro Ariza, L. (14-16 de septiembre de 2011). *Modelo de dinámica de sistemas para el proceso de producción de la mandarina*. La Dinámica de Sistemas: Un Paradigma de Pensamiento.
- Peña, E., Ablan, M., Ramírez, V., & Márquez, R. (agosto-noviembre de 2009). *Modelo del sistema de distribución de aguas blancas en la ciudad de Mérida*. Artículo de Investigación Revista Ciencia e Ingeniería, Vol. 30(3), 247-258.
- Sterman, J. D. (2000). *Business Dynamics: Systems thinking and modeling for a complex world*. McGraw Hill.

7. Notas bibliográficas

Karla Christel Rosas Cordova es Ingeniera Industrial por el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Veracruz, México, actualmente se encuentra cursando el tercer semestre de la Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Veracruz, México.

Análisis de series de tiempo para el pronóstico de cosecha en una plantación de café

David Borjas Fernández, Ing.¹, MII Margarito Landa Zarate²

¹ David Borjas Fernández, Ing. Es alumno del programa postgrado de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. Mail: david_ingeniero10@hotmail.com

² Margarito Landa Zárate es coordinador del programa de posgrado en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Veracruz. [mlandaz@itsm.edu.mx](mailto:milandaz@itsm.edu.mx)

Resumen- En este artículo se analizan los datos de la cosecha (kg) de café cereza o maduro de las temporadas 2014-2015, 2015-2016 y 2016-2017, con 9 cortes (recolecciones) realizados por temporada. Los datos provienen del administrador de la finca "Los Ángeles", ubicada en el municipio de Misantla, Veracruz, México. Dicho análisis es de tipo metodológico. Se hace un análisis de series de tiempo para determinar que patrón sigue el comportamiento de los datos, los cuales se ajustan al modelo estacional multiplicativo. Los resultados obtenidos para los nueve cortes de la cosecha pronosticada del 2017-2018 son los siguientes: 58, 218, 587, 791, 519, 515, 445, 258 y 109 kg, con una cosecha total de 3500 kg y ventas de \$36000.00, por concepto de café molido.

Palabra (s) clave (s)- *Análisis de series de tiempo, modelo estacional multiplicativo.*

Abstract - This article analyzes the harvest data (kg) of cherry coffee from the seasons 2014-2015, 2015-2016 and 2016-2017, with 9 cuts made per year. The data comes from the person in charge of the estate "Los Angeles", located in the municipality of Misantla, Ver. This analysis is methodological. A time series analysis is done to determine which pattern follows the behavior of the data, which fit the multiplicative seasonal model. The results obtained for the 9 cuts of the forecasted crop of 2017-2018 are the following: 58, 218, 587, 791, 519, 515, 445, 258 and 109 kg, with a total harvest of 3500 kg and sales of \$ 36000.00, of ground coffee.

Keyword (s) - *Analysis of time series, multiplicative seasonal model.*

1. Introducción

Los pronósticos se realizan con el fin de orientar las decisiones en muchas áreas del mundo como los mercados, el transporte, la identificación de fallas, el clima, entre otros. Para pronosticar una variable se debe construir un modelo y estimar sus parámetros usando datos históricos, es decir, logrando una caracterización estadística de los enlaces entre el presente y el pasado. En forma simple se usa el modelo estimado del pronóstico para extrapolar los datos observados (Diebold 2001). El objetivo de un pronóstico es posibilitar las decisiones sobre el futuro y proporcionar una estimación del riesgo involucrado en la decisión (Erossa, 2004). De esta manera, la importancia de un pronóstico deriva en que las imprecisiones no se pueden separar de la realidad, haciendo que todas las organizaciones operen en un ambiente de inseguridad. Por esto, para disminuir el riesgo en la toma de decisiones gerenciales u operacionales y poder modelar lo que pasará en el futuro, así como para matizar esa percepción de incertidumbre, es importante hacer uso de toda la información disponible actual y del pasado, y no solo basarse en supuestos, con el fin de evitar malas decisiones; también se debe considerar que los modelos de toma de decisiones se apegan a la realidad de la empresa y no a la del entorno, pues una creencia racional no necesariamente es una creencia verdadera (Arrendondo y Vázquez, 2013). Por consiguiente, la consideración primordial en la elección de un método de pronóstico es que los resultados deben facilitar el proceso de la toma de decisiones de la organización (Hanke y Wichern, 2006).

Los métodos de pronósticos se pueden clasificar en 3 grupos: cualitativos, de proyección histórica, y causales. Respecto a los métodos cualitativos, «utilizan el juicio, la intuición, las encuestas o técnicas comparativas para generar estimados cuantitativos acerca del futuro» (Ballou, 2004); por lo tanto, se deben utilizar cuando los datos históricos del producto son escasos o nulos, como en el caso de productos nuevos o ante cambios en la política gubernamental. Entre los métodos cualitativos más utilizados se tiene el método de las expectativas del usuario, método de la opinión de la fuerza de ventas y método Delphi, los cuales, se usan cuando resulta difícil establecer las tendencias claves a partir de indicadores simplificados o cuando no se dispone de datos (Medina y Ortégón, 2006).

Por el contrario, los métodos de proyección histórica, se utilizan cuando existen datos históricos disponibles. Los modelos de series de tiempo predicen valores futuros para la variable de interés basándose exclusivamente en el patrón histórico de esa variable, suponiendo que ese patrón histórico continuara (Masini y Vázquez, 2014). Los métodos basados en datos históricos, considerados como el método de series de tiempo, consisten en el uso de métodos analíticos, para poder determinar las tendencias y las variaciones estacionales.

Las series de tiempo son datos estadísticos que se recopilan, observan o registran en intervalos de tiempo regulares (diario, semanal, semestral, anual, entre otros). De acuerdo con (Ruiz, 2011), existen métodos de series de tiempos que estiman o pronostican futuras ventas, partiendo de la obtención de datos históricos de ventas. Para una serie de tiempo una de las preguntas que se plantea el investigador es: ¿Cuál es el proceso generador de datos (DGP, en inglés, Data Generating Process) del que proviene de la muestra estudiada? La aproximación convencional es tratar de detectar los diferentes componentes del DGP. De acuerdo con (Alonso, 2013), es la tendencia, la parte cíclica, el componente puramente aleatorio que es la horizontalidad y componentes estacionales que pueden ser determinísticos o estocástico.

Los pronósticos realizados mediante el uso de estos métodos tienen la premisa de que se mantendrá la tendencia que se ha venido dando, con lo cual se obtienen pronósticos que son bastante precisos en el corto plazo. Entre estos se tienen las técnicas de promedio móvil simple, promedio móvil ponderado, suavización exponencial, suavización exponencial ajustada a la tendencia, método estacional multiplicativo y series de tiempo con influencias estacionales y de tendencia, entre otras.

El modelo de variación estacional es un modelo óptimo para patrones de demanda sin tendencia y que presenten un comportamiento cíclico, por ejemplo, la demanda de artículos escolares, la cual tiene un comportamiento cíclico de conformidad con el calendario escolar. Los métodos de análisis de series de tiempo consideran el hecho que los datos tomados en diversos periodos de tiempo pueden tener algunas características de autocorrelación, tendencia o estacionalidad que se debe tomar en cuenta.

La mayoría de las pequeñas empresas no tienen implementadas herramientas estadísticas, ni personal capacitado en estos métodos, provocando que sus procesos no sean eficientes para cumplir con la demanda. Las decisiones más comunes se toman de forma incierta sin considerar algunos elementos propios de proceso o con herramientas de ingeniería. El administrador de la finca “Los Ángeles”, no es la excepción, porque no cuenta con herramientas de ingeniería que le ayuden a tomar decisiones; presentando un área de oportunidad. La finca se encuentra ubicada en la ranchería espaldilla, perteneciente al municipio de Misantla, Veracruz, México. Los datos fueron obtenidos de una plantación de 1000 plantas de la variedad costa rica.

En la presente investigación se aplica la técnica del método estacional multiplicativo, basada en el análisis de datos históricos del comportamiento de la cosecha del café, divididos en 9 cortes por año, correspondientes a las cosechas 2014-2015, 2015-2016 y 2016-2017, proporcionados por el administrador de la finca “Los Ángeles”.

El presente artículo tiene como objetivo pronosticar la cosecha por corte de la temporada 2017-2018 de la finca “Los Ángeles”, mediante la implementación del modelo estacional multiplicativo y con ello tener una estimación de ventas de dicha producción.

2. Desarrollo

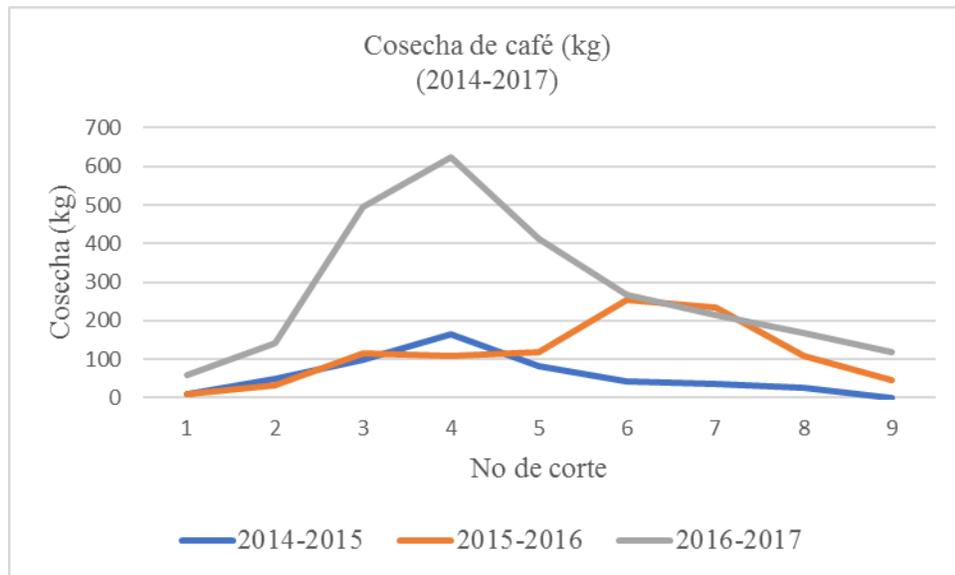
El estudio se realizó en cuatro etapas estratégicas: la primera etapa describe el problema, la segunda etapa se realiza el análisis de serie de tiempos; la tercera etapa se determina el uso de patrones estacionales y es descrito en cuatro pasos metodológicos: el *primer paso* calcular la demanda promedio por los nueve cortes de cada año, el *segundo paso* calcular el índice estacional y el *tercer paso* cálculo del índice estacional promedio y el *cuarto paso* cálculo de los pronósticos de corte para el siguiente periodo; la cuarta etapa estratégica consistió en determinar las ventas esperadas de los pronósticos calculados para la cosecha del año 2017.

Primer Etapa. El dueño de la finca “Los Ángeles”, que se dedica a la venta de café en polvo, necesita un pronóstico de cosecha 2017-2018, el corte de café es estacional. En la tabla 1, se muestra la cosecha por corte de las temporadas 2014-2015, 2015-2016 y 2016-2017. Cabe hacer mención que dichos datos corresponden a las 3 primeras cosechas de la plantación sujeta a estudio, mostrando un comportamiento ascendente por cosecha. Aunado a esto, el dueño quiere determinar cuánto podría llegar a obtener de ventas con dicha cosecha pronosticada.

No de corte	Cosecha (kg)		
	2014-2015	2015-2016	2016-2017
1	9	10	60
2	50	32	143
3	100	115	495
4	165	110	622
5	84	120	411
6	44	255	268
7	35	233	216
8	25	108	168
9	0	45	120
Totales	512	1028	2503

Tabla 1. Datos históricos de cosecha de café

Segunda Etapa. Análisis de la serie de tiempo para verificar el patrón que se presenta en los datos, el cual se va a determinar por los componentes de la serie de tiempo: Tendencia, Ciclo, Horizontalidad y Estacionalidad.

**Figura 1. Análisis de series de tiempo en base al periodo de corte**

Para el caso de estudio de la producción de café es una serie de tiempo de variación estacional, como se muestra en la figura 1.

La cosecha o recolección del fruto maduro de café para esta región de Misantla, Veracruz., México, inicia a principios del mes de septiembre y concluye en el mes de enero del año siguiente; durante estos 5 meses de cosecha se realizan recolecciones de café maduro (corte de café) aproximadamente cada dos a tres semanas, haciendo un total de 9 cortes de café durante la temporada.

La finca sujeta a estudio tiene sembrada la variedad de café costa rica, la cual tiene la característica de presentar su mayor grado de maduración entre los cortes 3 al 6, como se mostraron en la figura 1.

Debido a lo anterior, el modelo que mejor se ajusta a este tipo de comportamiento de datos es el de patrones estacionales y se utiliza el método estacional multiplicativo.

Tercera Etapa. En esta etapa, se determina el cálculo del método estacional multiplicativo.

Los patrones estacionales están formados por movimientos ascendentes o descendentes e la demanda, que se repiten con regularidad, medidos en periodos de menos de un año (horas, días, semanas, meses o trimestres). En este contexto, dichos periodos se llaman estaciones.

Paso 1: Para cada año, se calculará la demanda promedio por corte (Tabla 2).

Se va a dividir la demanda de cosecha de cada año entre el número de cortes, por ejemplo, si la demanda total de la cosecha 2014-2015 fue de 512 kg y cada corte representa una estación, la demanda promedio por estación será de $512/9=56.88 \approx 57$ kg.

No de corte	Cosecha		
	2014-2015	2015-2016	2016-2017
1	9	10	60
2	50	32	143
3	100	115	495
4	165	110	622
5	84	120	411
6	44	255	268
7	35	233	216
8	25	108	168
9	0	45	120
Totales	512	1028	2503
Promedio	57	114	278

Tabla 2. Cosecha promedio

Paso 2: Para cada año, se divide la demanda real correspondiente a una estación (No de corte), entre la demanda promedio, calculada en el paso 1. El resultado así obtenido será un índice estacional para cada uno de los cortes, el cual indica el nivel de la demanda en relación con la demanda promedio, ver Tabla 2. Por ejemplo, en el corte No 2 de la cosecha 2014-2015, fue de 50 kg, entonces el índice estacional de ese corte es de $50/57=0.88$, lo que indica que el corte No 2 es 12 % inferior al promedio de los cortes. Así mismo un índice estacional de 1.48 del corte No 2 de la cosecha 2017-2015 implica que los kg de ese corte es 48 % mayor que el promedio por cada corte.

No de corte	Cosecha (kg)					
	2014-2015	Índice estacional	2015-2016	Índice estacional	2016-2017	Índice estacional
1	9	0.16	10	0.088	60	0.22
2	50	0.88	32	0.280	143	0.51
3	100	1.76	115	1.007	495	1.78
4	165	2.90	110	0.963	622	2.24
5	84	1.48	120	1.051	411	1.48
6	44	0.77	255	2.232	268	0.96
7	35	0.62	233	2.040	216	0.78
8	25	0.44	108	0.946	168	0.60
9	0	0.00	45	0.394	120	0.43
Totales	512		1028		2503	
Promedio	57		114		278	

Tabla 2. Cálculo del índice estacional

Paso 3: Se calcula el índice estacional promedio para cada corte, usando los resultados del paso 2. Se suman los índices estacionales de cada corte y se divide entre el número de años que abarquen los datos. Por ejemplo del corte No 1 los índices estacionales son 0.16, 0.088 y 0.22. El índice estacional promedio del corte No 1 es $(0.16+0.088+0.22/3=0.15)$. Éste es el índice que se usará para pronosticar los kg del corte No 1. Ver Tabla 3.

No de corte	Cosecha (kg)						Índice estacional promedio
	2014-2015	Índice estacional	2015-2016	Índice estacional	2016-2017	Índice estacional	
1	9	0.16	10	0.088	60	0.22	0.15
2	50	0.88	32	0.280	143	0.51	0.56
3	100	1.76	115	1.007	495	1.78	1.51
4	165	2.90	110	0.963	622	2.24	2.03
5	84	1.48	120	1.051	411	1.48	1.33
6	44	0.77	255	2.232	268	0.96	1.32
7	35	0.62	233	2.040	216	0.78	1.14
8	25	0.44	108	0.946	168	0.60	0.66
9	0	0.00	45	0.394	120	0.43	0.28
Totales	512		1028		2503		
Promedio	57		114		278		

Tabla 3 Índice estacional promedio

Paso 4: Cálculo del pronóstico para cada corte del año siguiente, Tabla 4.

Si el administrador de la finca “Los Ángeles”, por experiencia espera 3500 kg para la cosecha 2017-2018, por lo tanto, se espera un promedio de $3500/9=388.88\approx 389$ kg. Por lo tanto, se multiplicará el índice estacional promedio por el promedio esperado de la cosecha 2017-2018.

No de corte	Cálculo	Pronóstico
1	$0.15(389)=$	58
2	$0.56(389)=$	218
3	$1.51(389)=$	587
4	$2.03(389)=$	791
5	$1.33(389)=$	519
6	$1.32(389)=$	515
7	$1.14(389)=$	445
8	$0.66(389)=$	258
9	$0.28(389)=$	109
	Total	3500

Tabla 4 Pronostico para la cosecha (kg) 2017-2018.

Cuarta Etapa. El dueño de la finca “Los Ángeles”, se dedica a vender el café en forma de café molido, el costo de venta de kg de café molido es de \$100.00 y solo realiza ventas en bolsas de $\frac{1}{2}$ kg a \$50.00. Para poder obtener un quintal de pergamino utiliza 350 kg de café, un quintal representa 36 kg de café molido. La cosecha pronosticada para la temporada 2017-2018 sumando los promedios obtenidos en la tabla 4 es de 3500 kg de café. Por lo tanto, obtendrá un total de 10 quintales de café pergamino, lo que representa 360 kg de café molido. Las ventas que podría obtener el dueño son de $(360\text{kg})(100\$/\text{kg})= \36000.00 .

3. Resultados

Este trabajo se realizó con el objetivo de determinar los pronósticos de cosecha de café en la finca “Los Ángeles”, mediante la obtención de datos históricos por corte de las temporadas 2014-2015, 2015-2016 y 2016-2017. Solamente se considera la cosecha del café. Pronosticando la demanda de cosecha de la temporada 2017-2018 por corte se tiene que para los nueve cortes es: 58, 218, 587, 791, 519, 515, 445, 258, 109. El comportamiento de lo pronosticado confirma el análisis descrito en el *paso 2*, la estacionalidad, donde se observa en que en el primer corte será el mínimo de 58 kg y máximo en los cortes del 3 al 6 y como consecuencia se prevé mayor cosecha de café. Las ventas calculadas en la tercera etapa que podría llegar a obtener el administrador son de \$36000.00.

4. Conclusiones

Con este método estacional, se calculó un pronóstico de corte mínimo para el corte No 1 de 58 kg y máxima en el corte No 7, con esto se muestra una diferencia muy clara. Las empresas se mueven en un contexto altamente incierto, por lo que es necesario realizar pronósticos con la finalidad de reducir la incertidumbre del futuro, mediante la anticipación de eventos cuya probabilidad de ocurrencia sea relativamente alta, respecto a otros eventos posibles. Por lo tanto, en la finca “Los Ángeles”, para la temporada 2017-2018 se prevé un incremento del 40% con respecto a la cosecha de café cereza de la temporada anterior.

5. Agradecimientos

Quiero expresar también mi más sincero agradecimiento al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt), por su importante aporte y participación activa en mi formación como investigador.

5. Referencias

- Acevedo, B. (2011). *Análisis de cadena de markov para el análisis y pronóstico de series de tiempo*. Universidad Industrial de Santander.
- Aguilar, S. (2012). *La curva en S como herramienta para la medición de los ciclos de vida de productos*. Journal of Technology.
- Alonso. (2013). *Empleo del comportamiento estacional para mejorar el pronóstico de un commodity: El caso del mercado internacional de azúcar*. Scielo, 11.
- Araceli, & Andrés. (1993). *Las series de tiempo en el estudio de los fenómenos sociales*. redalyc, 409-422.
- Arcones, & Wang. (2006). *Some new teste for normality based on U-processes*. *Statistics and Probability Letters*, 69-82. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1016/j.spl.2005.07.003>
- correo, I. p. (2014). *Pruebas de bondad de ajuste en distribuciones simétricas. ¿qué estadístico utilizar?* Universitas Psychologica, 15-24.
- Méndez, G. (2003). *Gerencia de manufactura*. Universidad distrital Francisco Jose de Caldas.
- Pérez. (1992). *Cambio Técnico, restructuración competitiva y reforma institucional en los paises en desarrollo*. El trimestre Economico, pp. 23-64.
- Ruiz, R. (2011). *Análisis de series de tiempo en el pronóstico de la producción de caña de azúcar*. Redalyc, 103-109.
- Shapiro, & Wilk. (1965). *An analysis of variance test for normality (Complete sample)*. Biometrika, 591-611. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.2307/2333709>

5. Notas Biográficas

¹ El Ing. David Borjas Fernández, obtuvo su grado de licenciatura en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, y es alumno del programa postgrado de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla.

² El MII. Margarito Landa Zárate es coordinador del programa de posgrado en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, obtuvo su grado de licenciatura y Maestría en el Instituto Tecnológico de Puebla.

Análisis de variaciones en los inventarios a través del Diagrama Causal, caso de estudio Construrama-Tubyco de Martínez de la Torre, Ver.

Keila Madai Morales Duran, Ing.¹, Ing, Flor Idalia Tirado Aguilar², M.I.I. Carlos Ángel Vicente Rodríguez³

¹ Keila Madai Morales Duran, Ingeniero, es alumna de la Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. keila.madai01@gmail.com

² Flor Idalia Tirado Aguilar, Ingeniero, es alumna de la Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. floridaliatirado@hotmail.com

³El Maestro. Carlos Ángel Vicente Rodríguez, es profesor del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. cavicenter@itsm.edu.mx.

Resumen— La gestión de sistemas de inventarios constituye una de las funciones más complejas de las organizaciones, ya que implica mantener existencias para protegerse contra la incertidumbre y evitar desabasto, para solventar estos problemas se realiza un diagrama causal, que integra un conjunto de criterios relacionados con la problemática a resolver que consiste en el crecimiento y poca rotación del inventario, los cuales permiten comprender mediante entorno gráfico el comportamiento observado en los elementos clave del sistema. Este artículo presenta un análisis que, a través de un diagrama causal, considera los factores que inciden en la variación de los niveles de inventario.

Se expone un caso de estudio realizado en la empresa Construrama-Tubyco Martínez de la Torre, Veracruz, en el cual se implementó una metodología que comienza con la identificación de las variables que intervienen en la variación del nivel de inventario, enfocándose en las venta, el almacén y en el proceso de reabastecimiento, la interacción entre ellas y el impacto de éstas en el sistema, para contribuir con la comprensión de su funcionamiento y sugerir acciones que permitan contrarrestar los factores que incurren de forma negativa sobre el sistema.

Palabra(s) clave— *Inventario, Variaciones en los niveles de inventario, Variables críticas, Diagrama Causal.*

Abstract— The inventory systems management is the most complex functions of the organizations, since it maintains stocks in order to protect themselves from uncertainty and to prevent bottlenecks. To solve these problems a causal diagram is made that integrates a set of criteria related to the problematic to solve that consists of the growth and little rotation of the inventory, these allow to understand through graphical environment the behavior observed in the key elements of the system. This article presents an analysis that, through a causal diagram, considers the factors that influence the variation of inventory levels.

We present a case study carried out in the company construrama-tubyco mtz vrz, in which a methodology was implemented that begins with the identification of the variables that intervene in the variation of the inventory level. focusing on the sale, warehouse and replenishment process, the interaction between them and the impact of these on the system to contribute to the understanding of their operation and suggest actions that counteract factors that occur in a negative way on the system

Keywords— *Inventory, Variations in Inventory Levels, Critical Variables, Causal Diagram.*

1. Introducción

En el ámbito empresarial la correcta administración de los inventarios es un asunto de gran importancia, ya que los inventarios representan una parte muy importante del activo de la mayoría de las organizaciones, el objetivo fundamental de éste es absorber las diferencias que se presenten entre la oferta y la demanda de un artículo, de modo que las variaciones que haya sean absorbidas por el inventario, a fin de evitar el desabasto.

Las relaciones entre las diferentes variables de interés en el inventario pueden ser representadas a partir de un diagrama de causalidad, el cual además de permitir visualizar las relaciones causa efecto que se dan en el sistema facilita la identificación de ciclos de balance y de realimentación.

Los diagramas causales permiten observar cómo se comportan las variables a lo largo del tiempo, modelar la retroalimentación del sistema en función de sus componentes, los flujos de información, la estructura, los retardos que pueden presentarse en el tiempo para lograr un comportamiento, y adicionalmente permiten contemplar las relaciones entre los elementos. De esta forma se prueban y mejoran los modelos

mentales que se tienen de la naturaleza de los problemas, y además se diseñan nuevas políticas que propicien cambios sustanciales en el sistema.

Hoy en día es de gran utilidad para comprender procesos en cualquier nivel y entorno, los sistemas pueden presentar diversos grados de complejidad, por esto es necesario observar la empresa como un todo, para luego ser llevada a un nivel más detallado, es decir, pasar de lo general a lo específico, para poder realizar un análisis que permita entender su realidad.

En el presente artículo se pretende dar evidencia de la realización de un análisis de las variables críticas que influyen en la variación de los niveles de inventario, mediante la utilización de un diagrama causal, esto es con el fin de analizar las relaciones que presentan estos factores entre sí y el impacto de estos mismos sobre el nivel de inventario.

El diagrama construido facilita un mejor entendimiento del comportamiento de las variables en el sistema y el análisis obtenido mediante el diagrama causal permite buscar acciones adecuadas que contribuyan con mejores beneficios para la empresa.

Este artículo presenta un estudio realizado en la empresa Tubycó – Construrama (Tubos y Conexiones) de Martínez de la Torre, Veracruz, la cual inicia operaciones en el mes de mayo de 1975, vendiendo en un principio solo artículos de plomería. En los últimos tres años la empresa ha presentado un notable crecimiento puesto que de 9000 tipos de productos que ofertaba, actualmente la empresa Tubycó tiene en el mercado cerca de 24000 diferentes tipos de productos y cuenta con 12 sucursales.

El problema que amerita el estudio en esta empresa, se centra en el evidente crecimiento de los inventarios y la poca rotación de algunos productos, dado que la gestión de los procesos de abastecimiento ha dejado de lado el análisis del impacto de factores que propician las variaciones en el nivel de inventario.

De acuerdo con lo anterior surge la necesidad de explorar diferentes alternativas de decisión, que involucre el análisis de las variables críticas causantes de las variaciones del inventario. Para ello se hizo uso de un diagrama causal, el cual permite recrear el comportamiento del sistema, considerando variables de interés que interactúan entre sí, para analizar su estructura. Esta herramienta se utiliza como método para entender el comportamiento de sistemas complejos. En el presente artículo se expone a través un diagrama causal, un análisis que representa el sistema real, y acorde a esto plantear oportunidades de mejora para la empresa.

2. Desarrollo

Tradicionalmente, los inventarios se han conocido como un mal necesario, ya que permiten responder ante fluctuaciones asociadas a la demanda y oferta del producto, así como a la incertidumbre en los tiempos de entrega por parte de los proveedores, no obstante, el contar con altos niveles de inventario trae como consecuencia el incremento de los costos asociados (Gutiérrez y Vidal, 2008).

Se hace imprescindible una gestión de los inventarios que conlleve a mantener la cantidad de bienes necesarios, considerando las variables críticas causantes de las variaciones en el nivel de inventario, ya que un nivel bajo puede ocasionar la imposibilidad de cubrir la demanda de los clientes; por su parte, un nivel alto de inventario lleva consigo altos costos que pueden afectar en gran medida el margen de ganancias del negocio. Con frecuencia en las organizaciones locales del sector industrial o comercial se presenta el problema de excesos y faltantes. (Peñal y Silva, 2016).

Los excesos se presentan cuando los pronósticos están por encima de la demanda, esto fundamentalmente no genera ningún tipo de complicación al satisfacer al cliente con respecto al cumplimiento de su requerimiento, sin embargo, generan costos que muchas veces superan los beneficios obtenidos, estos tienen que ver con los costos de mantener inventario.

Los faltantes pueden presentarse cuando se realizan pronósticos que resultan estar por debajo de la demanda, este comportamiento, propicia la reducción en la satisfacción de los clientes ocasionada por una disminución en el nivel de servicio.

Contenido

A. Sistema de estudio

El sistema a estudiar incorpora variables relacionadas con el crecimiento de los inventarios y la poca rotación de algunos productos en la empresa Tubycó–Construrama. En el proceso de seguimiento hecho al sistema de inventario se identifica un cursograma sinóptico (Figura 1), el cual es un diagrama que evidencia las actividades cronológicas que se realizan en el proceso de venta en la tienda, se describe también el proceso de compra que realizan los encargados de reabastecer el inventario (Figura 2).

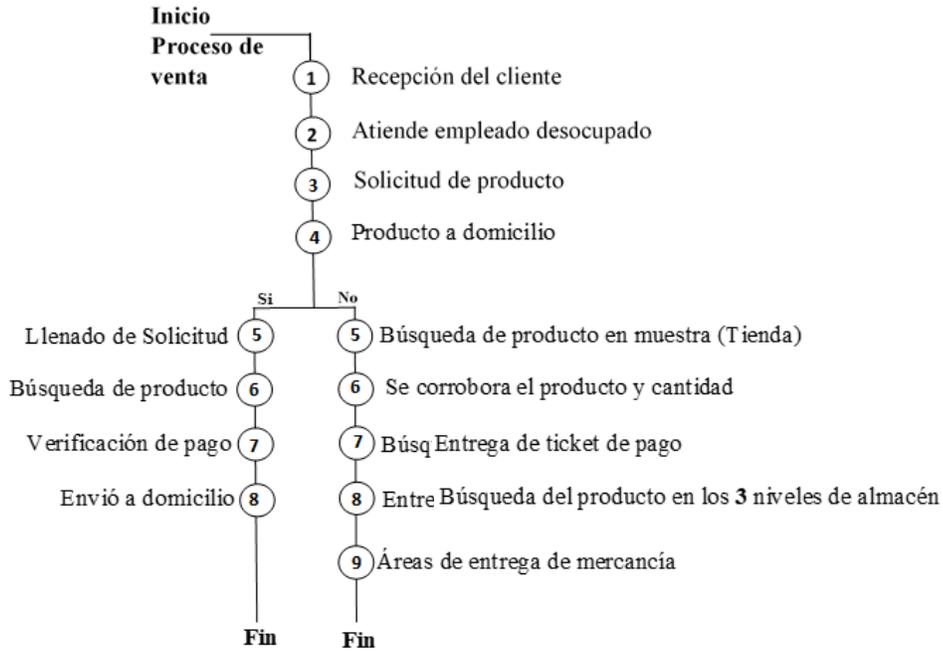


Figura 1. Proceso de venta de productos en la tienda Tubycy – Construrama

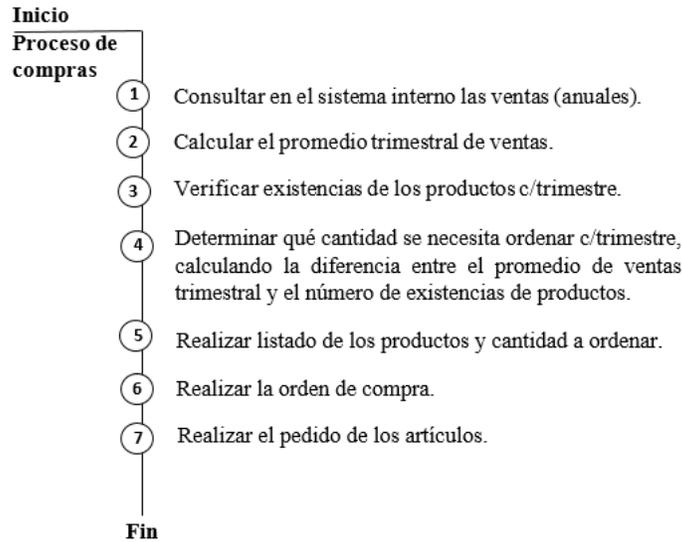


Figura 2. Proceso de compra de productos en la tienda Tubycy – Construrama

En el proceso de venta (Figura 1) una vez que el empleado atiende la solicitud de algún producto, éste verifica si será una entrega a domicilio, en caso afirmativo se realiza un llenado de solicitud de entrega, se procede con la búsqueda del producto en almacén y se verifica con el cliente sí es el producto requerido, a continuación, se realiza el ticket y el cliente realiza el pago en el área de caja, para finalizar se lleva a cabo el envío. En caso de que no se trate de una entrega a domicilio, el empleado procede a buscar en los productos de muestra de la tienda el (los) producto (s) requerido (s), posteriormente cuando lo identifica corrobora con el cliente sí es el producto que se solicita, de ser así, devuelve dicha muestra a la tienda y se realiza el ticket de venta que es entregado al cliente y éste pasa al área de caja, mientras que el encargado de esa venta comienza a realizar la búsqueda del producto en los tres niveles de almacén, para posteriormente pasar los artículos solicitados al área de entrega de mercancía. Las entregas a domicilio dependen del volumen (en cantidad y tamaño) de productos vendidos.

En este proceso de venta se identifica la entrega tardía de producto al cliente, ya que de acuerdo con las políticas establecidas por parte de la empresa el tiempo promedio de atención al cliente debería ser de 8:00 minutos, y los resultados obtenidos a través de un estudio de tiempos arrojan que actualmente el promedio es de 14:27 minutos, cabe mencionar que el 30% de todos los registros realizados superan el tiempo promedio, dado a que el proceso de búsqueda de productos se realiza en los tres niveles del almacén de la empresa, y que no se cuenta con un control sobre la ubicación exacta de cada tipo de producto, aunado a ello el incremento de variedad de productos que actualmente oferta la empresa (24 000 tipos de productos) propician a que se prolonguen los tiempos de entrega de mercancía al cliente.

El proceso de compra de productos está ligado con el método de registro de ventas en la tienda, dado que se realiza un concentrado único anual de todas las ventas, no se considera el registro de ventas por periodos o por temporada (alta-baja); Por lo que, como se observa en la Figura 2, se inicia realizando una consulta en el sistema sobre las ventas del año anterior, posteriormente se calcula el promedio de ventas trimestral, dividiendo el total de las ventas (anual) entre los 4 trimestres del año. Cada trimestre se revisan las existencias en los tres niveles del almacén para verificar el stock de seguridad, tomando de referencia el promedio trimestral de ventas menos las existencias de los productos, para determinar la cantidad a solicitar; cabe mencionar que esta inspección trimestral de productos no le garantiza a la empresa cumplir con el stock de seguridad, por lo que se generan faltantes, sin haber sido notificado o registrado por el encargado de venta que se vendió la última unidad de producto, de la misma manera se generan excesos de inventario que presenta poca rotación de los productos.

B. Metodología

En este artículo se implementa una metodología que comienza con la descripción de eventos específicos hasta la obtención del comportamiento que caracteriza la situación actual de la empresa Tubycó, teniendo como base los procesos descritos en la Figura 1 y 2, posteriormente se hace uso de la herramienta de Diagrama Causal, para identificar y realizar un análisis de las principales variables relacionadas con el sistema (ver Figura 3), la interacción que tienen las variables entre sí y el impacto de éstas, para finalmente sugerir acciones que permitan contrarrestar los factores que incurren de forma negativa sobre el sistema.

Para realizar el análisis se generalizan los eventos específicos hasta la obtención del comportamiento que caracteriza la situación actual de la empresa. Los criterios considerados en el modelo son:

Demanda, las exigencias del cliente día a día son más variables, dado a la gran diversidad de productos en el mercado, en Tubycó se ofertan 24000 diferentes tipos de productos, pero su gran variedad genera problemas de gestión del inventario, principalmente en el ordenamiento de los productos en los tres niveles de almacenamiento, lo que da como resultado la entrega tardía del producto solicitado.

Ventas, son las salidas del producto, registradas diariamente por cada uno de los vendedores en la tienda, dichos registros se concentran de manera anual es el sistema de la empresa.

Publicidad, los directivos de Tubycó son los encargados de hacer publicidad a la empresa, y debe de estar ubicada en lugares estratégicos de la ciudad y en las salidas de la misma, para promover sus 12 sucursales y orientar sus distintas ubicaciones.

Personal no capacitado, los empleados nuevos son ingresados para estar en el área de venta, en el mismo día de ser contratados, no reciben un curso de capacitación, solo se les ayuda, en medida de lo posible por otro vendedor en cuanto a la ubicación de los productos en los tres niveles de almacén.

Tiempo de servicio al cliente, es el indicador del tiempo empleado que se inicia desde que el empleado comienza a atender la solicitud del producto por parte del cliente hasta que se le entrega la mercancía, según políticas de la empresa el tiempo promedio debería ser de 8:00 minutos y con base a los resultados arrojados por un estudio de tiempos muestran que el tiempo promedio actualmente es de 14:27 minutos.

Temporada, la temporada se clasifica en alta o baja dependiendo de los periodos en los que se encuentre, dicha temporada varía dependiendo del tipo de producto, dado que cuando algunos tienen bajas ventas otros se encuentran en la temporada alta, esto es debido a la gran variedad de productos que ofertan, se registra una cantidad de ventas relevantes, incluso en temporadas de desastres naturales.

Moda, dentro de los 24000 tipos de productos que oferta Tubycó existen unos que son más solicitados por la temporada, y esto lo debe de considerar la empresa para cumplir con la demanda solicitada.

Preferencias del cliente, están determinadas por aquellos productos que otorgan una utilidad al cliente. Son productos que siempre son buscados por sus características en específico.

Precio, es la cantidad de dinero que permite la adquisición de un producto, varía de acuerdo a la calidad y tipo de producto, en la empresa Tubycó se modifica el precio del producto de acuerdo a las políticas de la misma, cada que el proveedor modifica los costos, por consecuencia se modifica el precio en tienda.

Ventas anuales, son el registro de ventas diarias durante todo el año, haciendo un concentrado que al final del año se promedia entre los 12 meses, para saber la cantidad promedio de ventas al mes.

Nivel de servicio, representa la probabilidad esperada de no llegar a una situación de falta de existencias. Este porcentaje es necesario para calcular las existencias de seguridad, debe de estar listo el inventario para proporcionar el producto solicitado.

Nivel de inventario, variable de control que representa los límites predeterminados de las cantidades por almacenar. Estas cantidades varían entre un nivel máximo y un nivel mínimo. Ésta variable es el indicador principal de las variaciones que atacan el inventario, este puede mantenerse si dentro de los almacenes no ocurre ninguna salida, puede incrementar en el momento del abastecimiento, o puede disminuir cuando se realizan ventas de producto.

Excesos, se presentan cuando los pronósticos están por encima de la demanda, esto fundamentalmente no genera ningún tipo de complicación al satisfacer al cliente con respecto al cumplimiento de su requerimiento, sin embargo, generan costos (mantenimiento, salvaguardar, administrativos, operacionales), que muchas veces superan los beneficios obtenidos.

Faltantes, se presentan cuando se realiza la búsqueda de un producto y resulta estar agotado, si esto pasa constantemente se propicia la reducción en la satisfacción de los clientes ocasionada por una disminución en el nivel de servicio.

Compras, los encargados de Tubycó para reabastecer el inventario tienen un método de pronóstico que se basa en realizar la consulta en el sistema del concentrado de las ventas de todos los productos del año anterior, para después calcular el promedio de ventas mensuales, dividiendo el total de las ventas (anual) entre los 12 meses del año. Cada trimestre se revisan las existencias en cada nivel (3 niveles) de almacén para verificar el stock de seguridad de productos, tomando de referencia esta existencia o faltante de producto para determinar la cantidad a solicitar, solo se comparan promedios de ventas mensuales y se realiza una multiplicación por tres, siendo que se realiza cada trimestre este proceso de reabastecimiento para saber qué cantidad se va a solicitar y así realizar la compra.

Orden de compra, es el pedido de los artículos que hace falta en el almacén, una vez que se corroboraron las existencias y los faltantes de productos; esta orden se realiza cada trimestre.

Costo de pedido/ordenar, involucra el costo por día laboral del personal encargado de la revisión de faltantes en los tres niveles de almacén, incluye descuidar el área de ventas, dado que los mismos vendedores son los que verifican estos los productos e involucra los gastos de oficina en la elaboración detallada de cada artículo, dado a que la característica de cada uno varía de acuerdo a su sistema de medición y por la forma en que el proveedor oferta los productos.

Datos históricos, estos datos son alimentados diariamente por las ventas registradas, se concentra en una base de datos donde puede encontrar los 24000 productos que oferta Tubycó, la cantidad vendida al año.

Capacidad de almacenamiento, la empresa Tubycó cuenta con la matriz de tres niveles de almacenamiento, donde guarda y salvaguarda todos los productos, en la planta baja están distribuidos la mayoría de los productos, solo con una muestra para que el cliente, al entrar a la tienda pueda identificar cual producto necesita. Dado al método de reabastecimiento, se han llegado a generar excesos o existencia de artículos que hasta la fecha no tienen salida, esto hace que se ocupe espacio destinado a no ser aprovechado.

Existencias, todos los artículos que están en el inventario.

La Figura 3 ilustra el diagrama causal mediante el cual se realizó el análisis de las variables que influyen en las variaciones de los niveles de inventario, se representa la interacción de las variables relacionadas directa e indirectamente con el sistema.

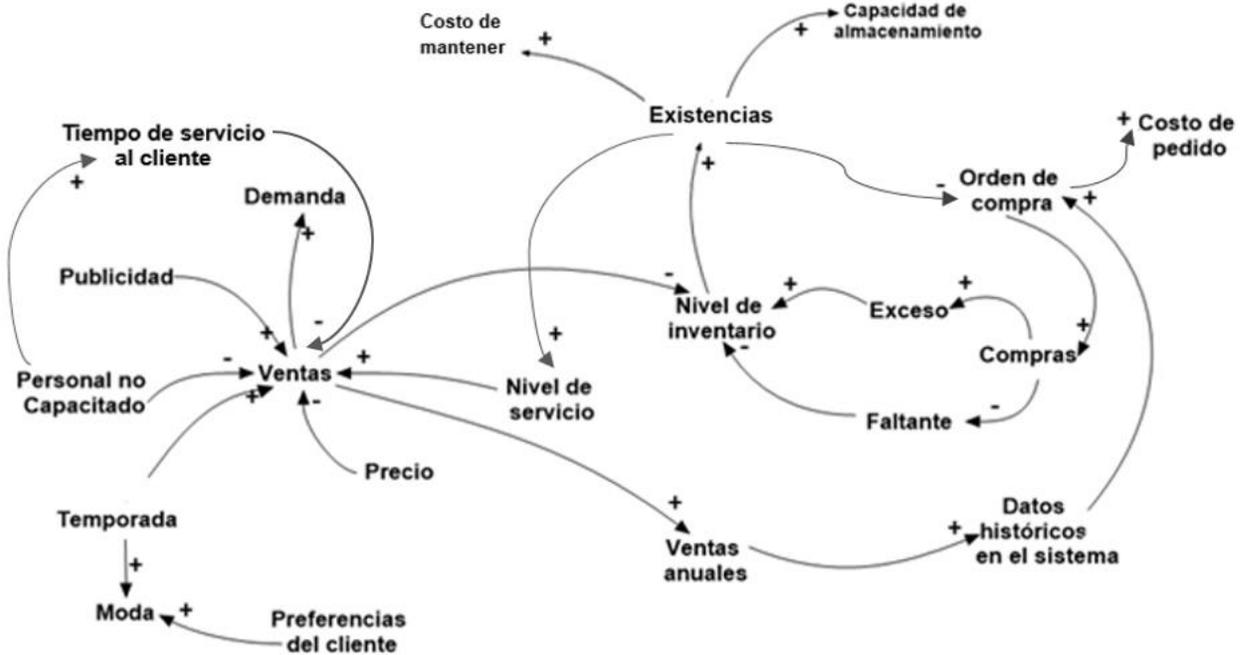


Figura 3. Diagrama causal de las variaciones en el inventario.

De acuerdo con el diagrama causal (Figura 3), se representan las ordenes de compras de los artículos como una variable, la cual se ve influenciada por datos históricos de los registros de las ventas anuales proporcionados por el sistema interno de la empresa, dado que, como se mencionó en sección anterior, éstas dependen del cálculo del promedio de ventas por trimestre, así como también se ven afectadas por la variable que representa las existencias de los artículos en el almacén, ya que cada trimestre se realiza el proceso de reabastecimiento y éste se basa en la diferencia del promedio menos las existencias. Con el incremento del número de órdenes de compra aumentan directamente los costos por realizar un pedido, los cuales incluyen los gastos que se generan al preparar los pedidos; de la misma manera las órdenes de compras se encuentran directamente relacionadas con las compras, ya que las órdenes determinan el tipo y la cantidad de artículos que se requiere comprar.

Como se expone en el diagrama causal la compra de los productos propicia dos problemas de inventario, los cuales son: excesos y faltantes, factores que aunado con las ventas propician directamente las variaciones en los niveles de inventario, ya sea incrementos con los excesos o decrementos con los faltantes, así como las diferentes variaciones de acuerdo a las ventas realizadas. El nivel de inventario tiene influencia directa con las existencias de los productos en la empresa, ya que determina la cantidad de artículos que se encuentran almacenados, estas variables no son las únicas que inciden sobre las variaciones del nivel de inventario, ya que también influyen indirectamente diversos factores, tal es el caso de las variables restantes que se exponen en el diagrama causal.

El nivel de servicio se ve influenciado de manera proporcional por las existencias de los productos, ya que a medida que las existencias disminuyen el nivel de servicio también lo hace, por consiguiente, el nivel de servicio por parte de la empresa tiene influencia con las ventas de la misma, dado que mientras incrementa el nivel de servicio atrae más clientes, debido a ello las ventas se ven influenciadas por este factor y también aumentan.

Son diversas las variables que se encuentran relacionadas a las ventas, dentro se pueden encontrar los precios, ya que en ocasiones las ventas de la empresa incrementan al disminuir el precio de algunos productos; otra de las variables importantes que están relacionadas directamente con las ventas son la temporada, dado que aunque no son consideradas las ventas por temporada en el sistema, tienen mucha influencia en éstas ya que a causa de la temporada es que se presentan mayores variaciones en los registros de las ventas. La temporada se clasifica en alta y baja, dependiendo del incremento o decremento de las ventas, existen productos que son más

solicitados dependiendo de la temporada, esto hace referencia e impacta directamente a la moda, la cual está influenciada directamente por las preferencias del cliente.

El personal no capacitado incide a que se prolonguen los tiempos de servicio al cliente y se tenga una entrega tardía de mercancía, esto se debe al proceso de búsqueda de artículo que realiza, ya que éstos no cuentan con capacitación ni algún método que les permita conocer la ubicación exacta de los productos, estos dos factores tanto el personal no capacitado como el tiempo de servicio al cliente influyen directamente con las ventas, dado que al ofrecer un mal servicio al cliente consecuentemente disminuyen las ventas. La publicidad también incurre en el sistema debido a que es una estrategia que la empresa implementa para incrementar las ventas.

Las ventas se encuentran relacionadas con la demanda, ya que ésta incluye el pronóstico de las ventas como pilar principal.

En el diagrama causal se observa que las existencias tienen relación con los costos de mantener y con la capacidad de almacenamiento, esto es porque mientras aumentan las existencias de los productos en el almacén incrementan los costos que implican mantener dichos artículos, así como también disminuye el espacio disponible para el acomodo de más productos.

4. Resultados

Mediante el análisis realizado se identificaron las relaciones entre cada una de las variables de interés que influyen en la variación del inventario, las cuales son: las compras, las ventas y el nivel de inventario, a diferencia del resto de variables son las que impactan directamente en el sistema; a continuación, se describe el resultado de este análisis:

- Las compras o reabastecimiento involucran los costos operacionales para realizar la orden de compra por trimestre, tomando como datos históricos las ventas anuales; el recorrido de verificación de existencias o faltantes de productos en cada nivel de almacén se realiza en horas extra, con la intención de no saturar las áreas de almacén durante las horas laborales normales; por la situación actual de cómo se distribuyen los productos se demoran un lapso de 4 a 6 días invirtiendo 4 horas extra por día.
- Los excesos que tiene en existencia en el almacén, fueron generados por el método de pronóstico que realiza la empresa trimestralmente, dado que, desde los inicios hasta la fecha, en el proceso de reabastecimiento se han considerado ofertas que ofrenda el proveedor, sin tener en cuenta si es necesario tal producto; por consecuencia se almacena en espacios apenas disponibles, ocupando pasillos, escaleras e incluso sobreponer con otros artículos.
- Los productos faltantes son los que, por consecuencia al no ser registrada la última venta del producto y no ser notificado este al encargado de la tienda, no realizan ninguna acción y sigue siendo faltante hasta que se reabastece el inventario.
- Como reacción en cadena las ventas disminuyen, pero a esto se le atribuye que el empleado nuevo no recibe ninguna capacitación o algún método que le permita conocer la ubicación exacta de los productos, por lo que el tiempo de servicio se excede en promedio 6:27 minutos más que el tiempo promedio establecido por la empresa.
- El nivel del inventario aumenta, disminuye o se mantiene constantemente durante periodos trimestrales por la inesperada e incontrolable demanda que recibe la empresa, ya que esta no considera las nuevas exigencias del cliente, la capacidad de almacenamiento, las variaciones en las ventas causadas por las preferencias del cliente de acuerdo a las temporadas.
- Los datos históricos que alimentan el sistema actual de la empresa se llevan a cabo con base a las ventas diarias registradas, éstas concentradas de tal forma que el sistema sólo permite consultar el concentrado anual; por lo que este método fomenta que el reabastecimiento genere excesos o incluso compras de productos que no tienen registro de ninguna venta o que estén obsoletos, dado también por la falta de actualización de los registros en el sistema.

4. Conclusiones

En este trabajo se planteó la situación actual de la empresa Tubycó–Construrama de Martínez de la Torre, como etapa preliminar se realizó un estudio en el área de venta de productos, almacén y el método de compra para reabastecer el almacén, observando los comportamientos en el tiempo, el proceso de atención al cliente y el modo en que operan y administran las áreas de almacén, se describió con base en un diagrama causal todas las variables que intervienen en las variaciones del inventario; el estudio incluyó el análisis de las variables: ventas, nivel de inventario, excesos, faltantes, compras, existencias, demanda, los costos de mantener, costos de pedido, las ventas anuales, datos históricos, precio de los productos, las preferencias del cliente, el nivel de servicio, la moda, temporada, empleados no capacitados, la capacidad del almacén, orden de pedido/compra, tiempo del servicio al cliente y la publicidad.

Con el estudio se estableció una relación directa de cada variable, bien sea positiva o negativamente, su comportamiento y el impacto sobre el nivel de inventario, la realización del diagrama causal permitió analizar las variables que resaltan, siendo estas las críticas en el sistema: las compras, las ventas y el nivel de inventario, a diferencia del resto de variables son éstas las que impactan directamente con el nivel de inventario.

Teniendo en cuenta los resultados del análisis, se sugiere atender las variables destacadas de forma que se implementen acciones que generen soluciones orientadas a:

Las compras para reabastecer el inventario, implementando un nuevo sistema que permita realizar consultas de las ventas por periodo o por temporada, para que los datos de las ventas sean considerados y al momento de realizar la orden de pedido de los productos se asemeje o se cumpla con la demanda y así poder controlar las cantidades a pedir, esto ayudaría también a que no se generaran excesos, y tomando en cuenta que se registre el uso del stock de seguridad del inventario o incluso registrar y notificar las ventas de últimos productos en existencia, se evitarían los faltantes.

Las ventas, contribuyen la parte más importante de la empresa, se recomienda la disminución de tiempos de entrega de mercancía, realizando el orden y reacomodo de los productos en los tres niveles de almacén y la implementación de un método que permita al empleado conocer la ubicación del producto para que el tiempo de entrega cumpla con la política de la empresa, la cual establece un tiempo promedio de ocho minutos.

El nivel de inventario, una vez modificado el método de compra de productos para reabastecer el inventario y haber ordenado y acomodado las áreas de almacén, se lograría regular el nivel de inventario ajustándose a la demanda registrada y futuramente pronosticada, sin generar excesos ni faltantes; se cumpliría con la reducción de costos de ordenar, costo de mantenimiento, se aprovecharía la capacidad máxima de cada nivel de almacén y por consecuencia incrementará la rotación constante de productos.

5. Referencias

- Chan, F. & Prakash, A. (2011). *Inventory management in a lateral collaborative manufacturing supply chain: A simulation study*. International.
- Gutierrez, Valentina y Vidal, Carlos (2008). *Modelos de gestión de inventarios en cadenas de abastecimiento: Revisión de la literatura*. Revista de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia. Número 43. Colombia. (Pp. 134-149).
- Sterman, J. (2000). *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a complex world*. McGraw.
- McGarvey, B., & Hannon, B. (2004). *Dynamic Modeling for Business Management An Introduction*. New York: Springer-Verla New York, Inc.
- Peña1, O. y Silva, R. (2016). *TELOS. Revista de Estudios Interdisciplinarios en Ciencias Sociales*. Universidad Rafael Belloso Chacín. ISSN 1317-0570 ~ Depósito legal pp: 199702ZU31. Vol. 18 (2): 187 – 207.
- Sterman, J. (2000). *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a complex world*. McGraw Hill.
- Feng Y. (2009). *Study on model of supply chain inventory management based on system dynamics*. Proceedings International Conference on Information Technology and Computer Science, pp. 209-212.
- Isabel Cristina Arango P., Abdul Zuluaga M., *Modelo de gestión para el Suministro de Materiales e Insumos basado en la demanda*. Ing. USBMed, Vol. 5, No. 2, pp62-79. ISSN: 2027-5846. julio-diciembre, 2014.
- Laura A. Mejía Ospina, Oscar Arroyave Contreras, Rodrigo Andrés Gonzalez Bernal. Ingeniería Industrial, Unidad Central del Valle de Cauca, Colombia. *The Critical Variables Analysis of Production System Through System Dynamic*. Scientia et Technica Año XXI, Vol.21, No.1, junio de 2016. Universidad de Pereira. ISSN 0122-1701.

Omaira Peña, Rafael Silva. *Factores Incidentes sobre la gestión de sistemas de inventario en organizaciones venezolanas*. TELOS. Revista de Estudios Interdisciplinarios en Ciencias Sociales Universidad Rafael Bellosó Chacón. ISSN 1317-0570 Vol. 18 (2): 187-207, 2016.

Bellosó Chacón, R. *Revista de Estudios Interdisciplinarios en Ciencias Sociales*, ISSN 1317-0570 ~ Depósito legal pp: 199702ZU31. Vol. 18 (2): 187 - 207, 2016

Sterman, J. (2002). *System Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. [pdf] Cambridge: Massachusetts Institute of Technology Engineering Systems Division. WPS/internal-symposium/esd-wp-2003.pdf.

Hjorth, P. and Bagheri, A. (2006). *Navigating Towards Sustainable Development: A System Dynamics Approach*. *Futures*, 38(1), February, pp. 74-92.

Notas Biográficas

La **Ing. Keila Madai Morales Duran**. Este autor es ingeniero en Tecnologías de la Información y Comunicaciones por el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, en Misantla, Veracruz, México, actualmente es alumna del Tercer semestre de la Maestría en Ingeniería Industrial de la misma institución.

La **Ing. Flor Idalia Tirado Aguilar**. Este autor es ingeniero en Ingeniería Industrial por el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, en Misantla, Veracruz, México, actualmente es alumna del Tercer semestre de la Maestría en Ingeniería Industrial de la misma institución.

El **MII. Carlos Ángel Vicente Rodríguez** es Maestro en Ingeniería Industrial, actualmente se desempeña como profesor investigador por el Instituto Tecnológico Superior de Misantla.

Aplicación de Canvas en una Microempresa Caso de Estudio: Nafruit.

Elsa Elena Corona Mayoral Dra¹, Dra. Susana Margarita Ibars Hernández², Dra. Perfecto Gabriel Trujillo Castro³, Dr. Noemí del Carmen Tenorio Prieto⁴, MIA. Adalberto Torreblanca Zorrilla⁵, II.

¹ Elsa Elena Corona Mayoral, Doctora en Educación, es coordinadora del centro de incubación e innovación empresarial y profesora de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico de Veracruz, Veracruz. Elsaelenacorona@hotmail.com.

² La Doctora en Educación. Susana Margarita Ibars Hernández, es jefa del centro de incubación e innovación empresarial y profesora de la carrera de Ingeniería Industrial del Instituto Tecnológico de Veracruz, Veracruz. Susanaibars@yahoo.com.mx.

³ El Doctor en Ciencias jurídicas, administrativas y de la educación. Perfecto Gabriel Trujillo Castro, es profesor de la Licenciatura en Administración en el Instituto Tecnológico de Veracruz, Veracruz. Tecnito2009@prodigy.net.mx.

⁴ La Maestra en Ingeniería Administrativa. Noemí del Carmen Tenorio Prieto, es profesora de Ingeniería en Sistemas Computacionales del Instituto Tecnológico de Veracruz, Veracruz. Ntenorio2008@gmail.com.

⁵ El Ingeniero Industrial Adalberto Torreblanca Zorrilla es Representante de la Dirección y profesor de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico de Veracruz, Veracruz. torreblancaz@hotmail.com.

Resumen—En este estudio a través del modelo de negocios canvas, se obtienen los elementos clave que permiten la permanencia en el mercado y desarrollo de la Empresa NAFRUIT. Está integrado por el resultado de 3 fases, en la primera se hizo un análisis de los factores que hacen a los empresarios-emprendedores exitosos, siendo el principal la planeación estratégica, en la segunda, se determinaron las herramientas que deben conocer y aplicar los emprendedores, encontrándose: la determinación del producto mínimo viable y la determinación del modelo de negocios mediante la metodología lean canvas, en la tercera fase se le da seguimiento al desenvolvimiento de la microempresa NAFRUIT y se elabora el modelo de negocios canvas.

Se concluyó que los procesos: productivo y de comercialización, así como las alianzas con los proveedores e inversionistas, son los elementos clave para realizar su planeación estratégica.

Palabra(s) clave—*Lean canvas, canvas, producto mínimo viable, modelo de negocios, MiPyME.*

Abstract – In this study through the canvas business model, are the key elements which allow the permanence in the market and development of the company NAFRUIT. Is integrated with the result of 3 phases, the first was an analysis of the factors that make successful, being the main strategic planning, in the second manager-entrepreneurs, determined the tools that must know and apply the entrepreneurs, finding: the determination of the minimum viable product and the determination of the business using the methodology model lean canvas, in the third phase is monitoring the development of the microenterprise NAFRUIT and prepares the model of canvas business. Concluded that processes: production and marketing, as well as partnerships with suppliers and investors, are the key elements to carry out their strategic planning.

Key words – *Lean canvas, canvas, minimum viable product, business model, SMEs.*

1. Introducción

La economía en México al igual que en prácticamente todos los países del tercer mundo, está sostenida por las Micro, Pequeñas y Medianas Empresas (MiPyME). En México “el 99.8% son PyME y corresponden al 52% del Producto Interno Bruto y al 72% del empleo en el país” (Annon, s/f). De ahí la importancia de brindarles todo el apoyo desde las diferentes instancias, incluyendo las educativas a este sector. Es así como el Instituto Tecnológico de Veracruz a través de la línea de emprendedurismo realiza los siguientes estudios de manera secuencial: “Necesidades de capacitación de los empresarios-emprendedores” (Ibars, Corona, Trujillo y Zazueta, 2016), “Aplicación de las Herramientas por los Empresarios-Emprendedores” (Ibars, Corona, Trujillo, Zazueta y Ruiz, 2016) y aplicación de canvas en una Microempresa, caso de estudio: NAFRUIT (2016-2017). En el primero de ellos se hizo un análisis de los factores que hacen a los empresarios-emprendedores exitosos, siendo el principal la planeación estratégica, en el segundo estudio y en base al primero, se determinaron las herramientas que deben conocer y aplicar los emprendedores, encontrándose dentro de la planeación estratégica: la determinación del producto mínimo viable y la determinación del modelo de negocios mediante la metodología lean canvas y en este tercer estudio se da continuidad al anterior ya que se le da seguimiento al desenvolvimiento de la microempresa NAFRUIT y se elabora el modelo de negocios canvas (Alcaraz R. 2011), presentándose los resultados obtenidos.

Este estudio se realizó durante el periodo 2016-2017 lo que lo hace longitudinal; la metodología consistió en revisar la información obtenida en el primer estudio de los factores que hacen a los empresarios-emprendedores exitosos (Erlewinw, M. y Gerl, Ellen. 2004), de acuerdo a National Business Incubation Association (NBIA) se determinó el área de la planeación estratégica a desarrollar con NAFRUIT, invitando a los dueños de la empresa al curso taller Modelo Talento Emprendedor (MTE) en el módulo canvas (Tecnológico Nacional de México, 2015) que fue la herramienta identificada. Se elaboró en forma conjunta el mapa de empatía y lean canvas, durante el 2016 se dio seguimiento al desarrollo de la empresa y se elaboró el modelo canvas donde se determinó la visión, misión, los colaboradores y los procesos clave.

Se encuentra que la literatura es escasa en cuanto a la investigación del seguimiento y evolución de una start up a un negocio ya establecido aplicando lean canvas y posteriormente el modelo canvas como el caso del presente trabajo, aunque, si bien es verdad que abundan los casos de estudio en donde se adopta la metodología lean canvas en una start up algunos de ellos citados en tesis (Quintero, L. 2015) (Serrano, A. 2017) o la metodología canvas en negocios ya establecidos y consultados en tesis (Hernández, E. y Silva, A. 2016) (Ruiz, R. 2014) sin relación alguna en la evolución del negocio.

2. Desarrollo

Método.

Se trata de una investigación con enfoque cualitativo, longitudinal en donde hay una realidad por descubrir, por su alcance es una investigación exploratoria ya que identifica tendencias en la evolución en una pyme del municipio de Veracruz a través del modelo canvas (Ríes, 2011); de acuerdo a Hernández Sampieri (Hernández, Fernández y Baptista, 2016) tal alcance de la investigación no requiere hipótesis.

La pregunta de investigación propuesta es ¿Cuáles son las áreas de mejora de la pyme: “NAFRUIT” identificadas a través de canvas? Por lo que el objetivo es conocer cuáles son las áreas de mejora de la pyme “NAFRUIT”. El método de recolección de la información es mediante una lluvia de ideas.

El procedimiento a seguir fue:

- a) Determinar el área de oportunidad en el campo de la Planeación Estratégica con la que debía trabajar.
- b) Invitar al dueño de la pyme a participar en el curso Modelo Talento Emprendedor específicamente en el módulo: canvas.
- c) Elaborar el modelo lean canvas y mapa de empatía con los representantes de NAFRUIT en reuniones de trabajo.
- d) Dar seguimiento al proyecto y elaborar el canvas. Para elaborar el canvas no se requiere ningún instrumento de recolección de la información, ya que se analizó cada elemento del canvas con todos los responsables de la empresa. Por lo tanto, no se requirió muestra, ni validación del instrumento de medición.

Para el desarrollo del presente trabajo fue preciso la colaboración de los representantes de la PyME, un espacio físico equipado con una mesa de trabajo, un pintarrón, post it, plumones y hojas blancas para el desarrollo de los modelos lean canvas, mapa de empatía y canvas. Una vez desarrollado los modelos lean canvas y mapa de empatía se aplicaron los mismos en el negocio observando y tomando nota de los ajustes precisos a realizar y diseñar posteriormente el canvas.

Antecedentes.

Como antecedentes a la presente investigación se tiene un estudio realizado por el Instituto Tecnológico de Veracruz (Ibars et al., 2016) a 90 PyME socias de la Cámara Nacional de Comercio en donde se tuvo como resultado las necesidades de capacitación en las PyME. en:

1. Planeación estratégica: elaboración de planes de negocio.
2. Herramientas de calidad y productividad
3. Liderazgo
4. Gestión para aprovechar los programas de apoyo a las PyME.

En el gráfico 1 se observan los resultados de la investigación: los factores de éxito de las PyME que se traducen en áreas en donde deben de ser capacitadas, el puntaje más alto se le asignó a planeación estratégica 410 (30%), 330 (24%) resultado, 280(21%) clientes satisfechos, 170 (13%) gestión, 55 (4%) innovación, 45 (3%) competitiva, 40 (3%) empleados satisfechos, 20 (1%) contribución socioeconómica.

A partir de dicho estudio se determinaron las herramientas para apoyar en la planeación estratégica a la PyME.

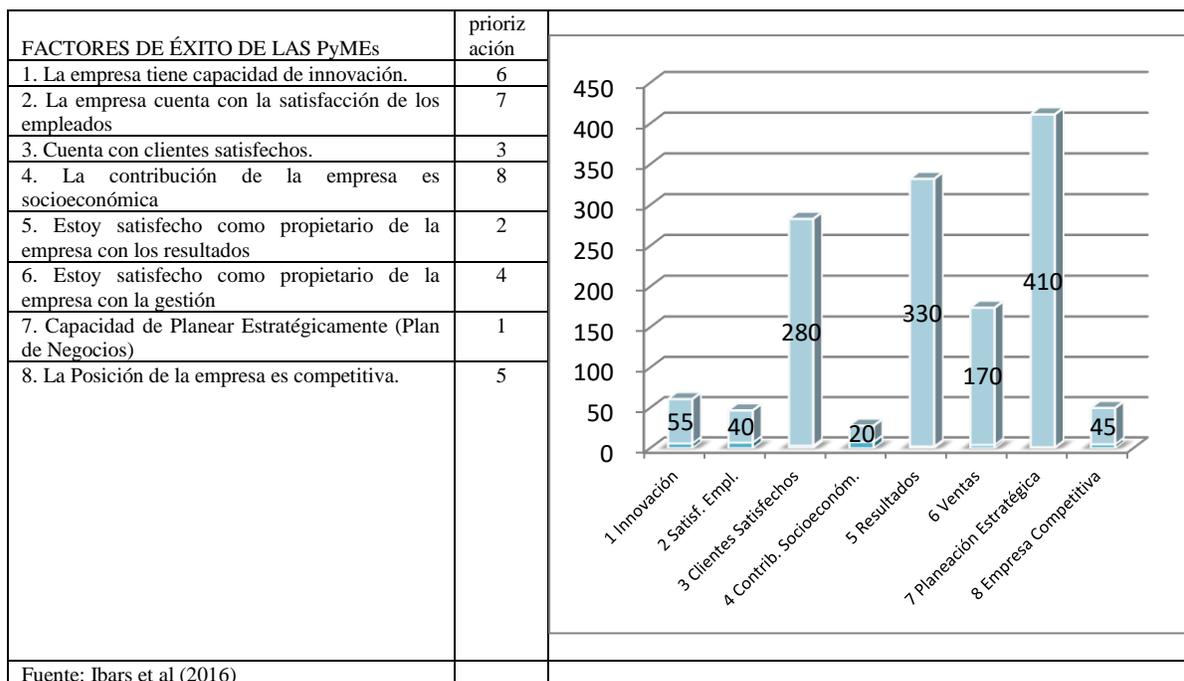


Gráfico 1. Priorización de factores de éxito según los gerentes de estudio

Actividades:

a) Determinar el área de oportunidad en el campo de la Planeación Estratégica con la que debía trabajar.

Se aplicó entrevista a la PyME para conocer el área de oportunidad con las siguientes preguntas:

¿Tiene identificado su mercado meta?

¿Tiene identificados los requerimientos del cliente?

¿Sabe cómo va a satisfacer dichos requerimientos?

¿Ha determinado como va a hacer llegar su producto al cliente?

¿Sabe quiénes son sus aliados de Negocios?

¿Ha determinado el costo de sus insumos?

¿Ha determinado el precio de su producto?

¿Conoce cómo va a diferenciar su concepto de negocio al de la competencia con el de la competencia?

La respuesta de NAFRUIT fue negativa en 4 de 8 preguntas por lo que se determina que debe realizar su modelo de negocios a partir del Producto Mínimo Viable con el que deberá trabajar, por tratarse de una start up se aplicaría el modelo Lean canvas.

b) Invitar al dueño de la pyme a participar en el curso Modelo Talento Emprendedor específicamente en el módulo: canvas.

En el año 2016 se realizó el curso taller Modelo Talento Emprendedor en el Instituto tecnológico de Veracruz participando su propietaria Cynthia Vanessa López Calvillo como invitada al módulo 9 (lean canvas). El Objetivo del curso es el de “Fomentar en el estudiante del Tecnológico Nacional de México la cultura emprendedora e impulsar la generación de empresarios independientes, intraemprendedores y emprendedores sociales” (Tecnológico Nacional de México, 2015). El curso está formado por 12 bloques divididos en 3 fases cuyos objetivos son:

Fase I “Sensibilizar e inspirar al estudiante, a través de un proceso de autoconocimiento y comprensión de su relación personal con el entorno, para identificar la importancia del porque emprender”.

Fase II Desarrollar la creatividad a través de herramienta que faciliten la identificación de oportunidades de mercado y de necesidades sociales para generar propuestas de solución en e entorno inmediato”.

Fase III Vincular al emprendedor con los elementos del ecosistema emprendedor para detonar el modelo de negocio a través de actividades de networking y coworking.

c) Elaborar el modelo lean canvas y mapa de empatía con los representantes de NAFRUIT en reuniones de trabajo.

Con la aplicación de estas dos herramientas se logró obtener el producto mínimo viable que se presenta a continuación: Producto agroindustrial, facilitador de procesos ya que ofrece únicamente la parte comestible de la fruta, libre de semillas y cascara que no se utilizan. No contiene conservadores, endulzantes ni colorantes.



Mix de frutas 6 paquetes de 200 gramos
2 de maracuyá, 2 de fresa y 2 de guanábana



5 porciones de 200 gramos de maracuyá



5 porciones de 200 gramos de guanábana



5 porciones de 200 gramos de fresa

Caracterización del sitio.

NAFRUIT es una MiPyME dedicada al procesamiento y comercialización de pulpa fruta congelada, sin semillas, 100% natural, se encuentra ubicada en Alcocer 564-1 entre Cuauhtémoc y Victoria, col. Ortiz Rubio, CP 91750 con cuatro centros de distribución: Reforma Market, La semilla y Amaretto's ubicados en el Fraccionamiento Reforma y El Buen Hábito ubicado en el fraccionamiento Jardines de Mocambo. Su propietaria es Cynthia Vanessa López Calvillo fue inaugurada en octubre del 2015.

En el proceso de manufactura de la pulpa de fruta congelada, se presenta solo la última fase del proceso. "empacado". (por cuestiones de confidencialidad). Ver foto 1.



Foto1. Empacado de Producto
Última fase del proceso de manufactura de la empresa

La misión de NAFRUIT es: “Somos una empresa Agroindustrial orgullosamente mexicana que procesa y comercializa pulpas congeladas de diversas frutas tropicales de excelente calidad ubicada en el puerto de Veracruz”.

Los puntos de venta cuentan con espacios agradables para consumir el producto procesa Ver. foto 2, presentación de bebidas preparadas a base de pulpa de fruta, aderezos, smoothies de guanábana, fresa, maracuyá.



**Foto 2. Punto de Venta Nafruit
Instalaciones con espacios agradables**



**Foto 3. Marca Registrada NAFRUIT
Presentación Smoothie de maracuyá**

3. Resultados

A través de la Planeación estratégica los negocios se preparan para enfrentar las diversas situaciones que se presentan en el mercado donde posicionaran sus productos, orientando de esta manera sus esfuerzos hacia metas concretas. De acuerdo a (Mintzberg, 2007), los valores estratégicos son: conocimiento y satisfacción del cliente, conocimiento del mercado, eficiencia, innovación, sinergia y liderazgo.

Una herramienta muy útil, sencilla y práctica es el modelo Canvas desarrollada por Alexander Osterwalder (Cowan, 2012), la cual agrega valor a la idea de negocios. De acuerdo al libro Generación de modelos de negocio (www.businessmodelgeneration.com), la mejor manera de describir un modelo de negocios es dividirlo en nueve módulos básicos que reflejen la lógica que sigue una empresa para conseguir ingresos (Emprendedores, 2016), los cuales son: 1. Propuesta de valor, responde a la pregunta ¿el qué?, que se ofrece al cliente que hace que sea diferente y especial; 2. ¿Para quién? Segmento de mercado, conocer perfectamente quien es el cliente; 3. ¿Cómo se entrega al cliente la propuesta de valor?, se debe identificar cuales son los canales convenientes; 4. Para estar cerca del cliente, ¿que tipo de relaciones espera el cliente para estar cerca; 5. Fuentes de ingresos en el negocio, ¿cuánto están dispuestos los clientes a pagar?; 6. Actividades clave del negocio. 7. Recursos clave que definen el negocio; 8. Identificar y conformar los aliados estratégicos que fortalecerán el negocio, como proveedores, productores, instituciones de gobierno, etc; 9. Egresos clave del

negocio. El modelo de negocios Canvas permite de manera gráfica diseñar la estrategia correcta de innovación (Mintzberg, 2007).

Como dice Alex Osterwalder “Un modelo de negocio fundamentado en la innovación se basa en encontrar y fomentar nuevas formas de crear, entregar y captar valor para el cliente”.

A través del modelo canvas se analizaron los 9 aspectos importantes que configuran el modelo de negocio de la empresa NAFRUIT, para que todos los directivos visualizaran de manera clara la visión de la empresa. En estos nueve módulos, la parte derecha es la que hace referencia a los aspectos externos a la empresa, al entorno y se compone por los siguientes bloques: segmento de mercado, propuesta de valor, canales, relación con clientes y fuentes de ingresos; en la parte izquierda se reflejan los aspectos internos de la empresa como asociaciones clave, actividades y recursos clave, y estructura de costos.

Primero se analizan los módulos de la parte derecha, que corresponden al mercado, ya que se parte del conocimiento y análisis del entorno en el que opera la empresa, identificando el segmento de clientes, qué es lo que se les ofrece, cómo vas a llegar el producto al cliente, qué relación se mantiene con ellos y finalmente cómo va a tener ingresos.

Segundo se analizan los módulos de la parte izquierda, que corresponden a los aliados, los procesos clave y recursos clave, que el caso específico de la empresa NAFRUIT tiene que ver con la manufactura de la pulpa de fruta sin conservadores y los expertos que hay que contratar para garantizar la calidad del producto, considerando el pago de patentes, registros de marca, investigación y capacitación de expertos. La elaboración de la herramienta CANVAS se diseñó con los responsables de la empresa NAFRUIT tanto directivos como operativos. Ver figura 2.



Figura2. Modelo Canvas aplicado a la empresa NAFRUIT. Elaboración propia.

Logros de la empresa NAFRUIT

1. Se determinan que los procesos de manufactura y de comercialización son las actividades clave.
2. Se identifican a los proveedores clave (productores de frutas de la región) se establecen convenios y alianzas para garantizar la materia prima del producto NAFRUIT.
3. Se elabora el plan de negocio y se tiene acercamiento con la secretaria de economía para la solicitud de apoyos económicos.
4. Se tramita el registro de marca.
5. Se contrata personal para la empresa creando nuevas fuentes de empleo.

4. Conclusiones

Este estudio dio como resultado el beneficio directo a la empresa NAFRUIT a través de capacitar a los directivos en el uso y aplicación de herramientas, como son: Mapa de empatía, lean canvas y canvas. Concluyendo que los procesos clave de la empresa son los de manufactura y comercialización, así como la importancia de crear alianzas con los productores de fruta y el acercamiento con las diversas dependencias para obtener apoyos.

Este tipo de estudios permiten ofrecer a las MiPyME opciones de permanencia y crecimiento para el desarrollo de nuestro país. Es una necesidad crear conciencia de que la investigación.

5. Referencias

- Alcaraz Rodríguez Rafael. (2011). *El emprendedor de éxito*. México, D.F. McGraw HILL.
- Anon, (n.d.). *Importancia de la PyMes en la economía mexicana Parte II*. [online] Available at: <http://grupotaurus.com/blog/119-la-importancia-de-las-pymes-en-la-economia-mexicana-parte-ii> [Accessed 6 Sep. 2017].
- Bernardo, A. (2013) *Blogthinkbig.com*. Recuperado de <http://blogthinkbig.com/modelo-canvas-9-pasos-exito-negocio/>
- Cowan, A (s/f). *Cowan+*. Recuperado de <http://www.alexandercowan.com/business-model-canvas-templates/>
- Erlwinw, M. y Gerl, Ellen. (2004). *A comprehensive guide to business incubation*. U.S. NBIA Publications.
- Escudero, J. (2016). *Emprendedores*. Recuperado de <http://www.emprendedores.es/gestion/modelo-3>
- Hernández, Fernández y Baptista. (2016). *Metodología de la investigación*. Mc Graw Hill. 6ta edición
- Hernández, E. y Gómez, A. (2016). *Modelo de negocios Canvas aplicado a la empresa D' Perfect color comercializadora de productos de lencería para el hogar, Pitalito, Huila*. (Tesis de licenciatura). Recuperado de <http://stadium.unad.edu.co/preview/UNAD.php?url=/bitstream/10596/11335/1/12169162.pdf>
- Ibars, Corona, Trujillo y Zazueta. (2016). *Necesidades de capacitación de los empresarios-emprendedores*, Global Conference on Business and Finance, Vol.11, Num. 1
- Ibars, Corona, Trujillo, Zazueta y Ruiz. (2016). *Aplicación de Herramientas por los empresarios-emprendedores*, Global Conference on Business and Finance, Vol.11, Num. 2
- Mintzberg Henry.(2007). *Planeación Estratégica*. Colombia, Sede Palmira. Universidad Nacional de Colombia.
- Ries, Eric (2011). *The Lean Startup*. Publishing ISBN978-0-307-88791-7
- Quijano, G. (2013). *Marketing y Finanzas*. Recuperado de <https://www.marketingyfinanzas.net/2013/03/modelo-canvas-una-herramienta-para-generar-modelos-de-negocios/>
- Quintero, L. (2015) *Aplicación del modelo Lean Canvas en la modelación del negocio del proyecto de empresa Intifem* (Tesis de grado). Recuperado de https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/8217/LuisaMaria_Quintero_Toro_MariaJose_BarretoEscamilla_2015.pdf?sequence=2
- Osterwalder (). *Generación de modelo de negocio*.
- Ruíz, R. (2014). *Diseño de un modelo de negocio para un servicio de análisis e indicadores sobre un contenido visual, asociado a proyecto AKORI*. (Tesis de licenciatura). Recuperado de http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/130374/cf-ruiz_rm.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Serrano, A. (2017) *Aplicación del lienzo de negocio como modelo de diseño en el proceso de puesta en marcha de una nueva empresa* (tesis de Licenciatura). Recuperado de http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/91089/fichero/TFG+ACTUAL_OFICIAL.pdf
- Tecnológico Nacional de México (2015) *Modelo Talento Emprendedor*. México. D.F.

6. Notas Biográficas

Elsa Elena Corona Mayoral: profesora del área de Ingeniería industrial en el Instituto Tecnológico de Veracruz, Maestría en Desarrollo Regional, Doctorado en educación en la Universidad La Salle de Costa Rica., consultora, coordinadora de la incubadora de empresas ITV, sus áreas de investigación incluyen análisis financiero, comportamiento organizacional, productividad y generación de empresas.

Susana Margarita Ibars Hernández: profesora del área de Ingeniería industrial en el Instituto Tecnológico de Veracruz, Maestría en Administración de la universidad Cristóbal Colon de Veracruz, Doctorado en educación en la Universidad La Salle de Costa Rica., consultora certificada por CONOCER, directora de incubadora de empresas ITV, sus áreas de investigación incluyen gestión de recursos humanos, mercadotecnia, comportamiento organizacional, y generación de empresas. Coordinador Nacional del Modelo Talento Emprendedor del Tecnológico Nacional de México.

Perfecto Gabriel Trujillo Castro: profesor del área económico-administrativa en el Instituto Tecnológico de Veracruz, Maestría en Administración de la universidad Cristóbal Colon de Veracruz, Doctorado en Ciencias jurídicas, administrativas y de la educación. Consultor de la incubadora de empresas ITV, sus áreas de investigación incluyen ciencias jurídicas, mercadotecnia, comportamiento organizacional, y generación de empresas. Instructor del Modelo Talento Emprendedor del Tecnológico Nacional de México.

Noemí del Carmen Tenorio Prieto: Licenciado en informática, Maestra en Ingeniería Administrativa, sus áreas de investigación incluyen administración, planeación estratégica, desarrollo organizacional y PyME.

Adalberto Torreblanca Zorrilla: Ingeniero Industrial, representante de los sistemas de gestión, auditor líder de ISO 9000, 14000 e igualdad laboral. Sus áreas de competencia incluyen los sistemas de gestión de la calidad, ambiental e higiene, seguridad y protección civil.

Aplicación de las metodologías QFD, TRIZ y AMEF para el rediseño innovador de un horno de secado.

Víctor Alfredo De Los Santos Jimeno¹, Dr. Luis Mejía Macario², LA. María Teresa Domínguez Bovio³.

¹Víctor Alfredo De Los Santos Jimeno, Ingeniero Industrial, es alumno de la Maestría de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz, vadlsj@hotmail.com.

² Luis Mejía Macario, es profesor Investigador del área de posgrado e investigación del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. lmejiam@itsm.edu.mx.

³ María Teresa Domínguez Bovio, Licenciada en Administración de Empresas es jefa de Recursos Humanos de la Exportadora Limones Mónica S.A de C.V, Martínez de la Torre, Veracruz, tdominguez@limonnik.mx.

Resumen— En la presente investigación, se identificó un problema relacionado con la ineficiencia de secado de cera aplicada a limón persa, en donde se emplearon las metodologías QFD, TRIZ y AMEF. Con la aplicación de esta última metodología se identificaron siete fallas con altos valores de RPN principales que aquejan a un horno de secado, cabe mencionar que el horno de secado con el que actualmente se trabaja fue fabricado de manera empírica. La metodología TRIZ fue la base para el análisis de patentes existentes de hornos de secado las cuales se tomaron en cuenta para dar solución a las principales fallas detectadas. También se han identificado los principales requerimientos que necesita el cliente con la aplicación de QFD como lo son el sistema de suministro de calor mediante un sistema eléctrico, prestando también atención a las siete fallas con alto valor RPN para así evitar la concurrencia y así proceder a realizar la innovación de un horno de secado.

Palabra(s) clave—Innovación, Limón, QFD, TRIZ, AMEF.

Abstract – In the present investigation, a problem related to the inefficiency of a wax drying process applied to Persian lemon was identified, where the QFD, TRIZ and FMEA methodologies were used. With the application of the last methodology, seven failures were identified with high RPN values that affect the currently used drying oven which was manufactured in an empirical way. The TRIZ methodology was the basis for the analysis of existing patents of drying kilns which were taken into account to solve the main failures detected. The main customer requirements were identified with the application of QFD, which indicated the use of a heat supply using an electrical system, paying attention to the seven failures with high RPN values to avoid concurrency and thus will proceed to the innovation of a drying oven.

Key words – Innovation, Lemon, QFD, TRIZ, FMEA.

1. Introducción.

La competencia empresarial a nivel global ha forzado a que las organizaciones optimicen sus procesos productivos y de servicios para satisfacer las necesidades y demandas de sus clientes. La innovación tecnológica se ha convertido en un proceso dinámico y estratégico en las empresas, con lo que se garantiza su permanencia en el mercado y su salud financiera. (Young, 2010), cita en su informe “Conectando la innovación con los beneficios. La innovación hoy en día es una necesidad absoluta en las empresas para sobrevivir”. Las compañías que no invierten en innovación tecnológica ponen en riesgo su futuro si no buscan soluciones transformadoras a los problemas que emergen día con día dentro de su campo laboral. El proceso de innovación puede entenderse como “el conjunto de actividades inscritas en un determinado período de tiempo y lugar, que llevan a la introducción con éxito en el mercado, por primera vez, de una idea en forma de productos nuevos o mejorados, de procesos, servicios o técnicas de gestión y organización”. (González, 1988).

En este artículo se describen tres técnicas de diseño las cuales se han utilizado para innovar nuevos productos y procesos, como lo son: TRIZ, AMEF y QFD, donde se demuestran que la combinación de estas metodologías contribuyen de manera única en el diseño innovador de un horno para el secado de una solución de cera aplicada sobre la superficie del limón persa, dentro de la industria citrícola de la región de Martínez de la Torre, Veracruz.

La innovación tecnológica es muy importante dado que da solución a diversas necesidades dentro del ámbito industrial, comercial y de servicio. Sabemos que diariamente se descubren cosas nuevas, o que a partir de la identificación de un problema surge una idea mejorada, es ahí donde surge la oportunidad de innovación

o la creación de un nuevo producto. Algunos autores como (Altshuller, 1994), define a la Teoría para Resolver Problemas de Inventiva (TRIZ) como “el proceso sistemático que permite a cualquier técnico desarrollar significativamente sus habilidades de pensamiento crítico y fomentar sus capacidades tanto inventivas como creativas para la resolución de problemas”. La oportunidad para la innovación y solución de un problema que se presenta continuamente en las empacadoras de limón persa de la región de Martínez de la Torre, Ver. Se han identificado oportunamente diversos problemas relacionados con los hornos de secado. TRIZ es una metodología de innovación que en conjunto con otras metodologías como lo pueden ser, Quality Function Deployment (QFD) mejor conocida como la casa de la calidad, que es una metodología para la planificación de la calidad y garantía hacia la satisfacción del cliente. El QFD apoya la planificación de procesos y productos orientados al cliente. Los requerimientos de los clientes se traducen en requisitos técnicos, estos a su vez se traducen en procesos de organización y necesidades de producción. (Beitz & Pahl, 2007).

De acuerdo con (Artilleros, 2009) la innovación tecnológica a partir de la aplicación de metodologías como lo son QFD y TRIZ en conjunto facilita la identificación de una solución y la caracterización de puntos críticos que aquejan al problema central que se desea solucionar, mediante el análisis de patentes existentes con el fin de innovar y no caer en los mismos errores y así darles una solución óptima. En el artículo publicado por (Yanbin & Huajun, 2013) en donde se atiende una problemática relacionada con el rediseño de máquinas industriales aplicando ingeniería inversa, que al paso del tiempo se fueron identificando áreas de oportunidad de innovación, que en conjunto con las metodologías QFD y TRIZ se pusieron en práctica, donde principalmente se puso en función el considerar la voz del cliente (QFD), es ahí que se tomaron en cuenta las características como lo fueron tamaño especificaciones, dimensiones, la precisión y los diversos requisitos técnicos, dando así soluciones a problemas presentados por años y facilitar el trabajo al personal que con ellas labora.

2. Desarrollo.

2.1 Aplicación de TRIZ.

En los diferentes campos de la industria como lo pueden ser las industrias siderúrgicas, metalúrgicas, citrícolas, textiles, químicas, turística etc., requieren de la constante innovación tecnológica de acuerdo a sus necesidades en sus áreas de trabajo. El contar con la tecnología de punta existente es competir con sus adversarios de una manera agresiva, pues él no invertir en tecnología es quedarse en el camino de la obsolescencia.

Las metodologías QFD, TRIZ y AMEF trabajaran en conjunto para el diseño de un horno para el secado para una solución con cera aplicada sobre la superficie del limón persa. Primeramente se identifican los diversos problemas que aquejan al proceso de secado de cera para el limón persa. A partir de la identificación se procede a tomar principalmente en cuenta los requerimientos que el cliente solicita y las diferentes ineficiencias del proceso para así lograr el menor costo de operación y un mayor rendimiento en el proceso de secado.

Realizando un análisis literario dentro de diferentes fuentes de información encontramos que, (Altshuller, 1994) creador de TRIZ en conjunto con sus colaboradores “detectaron que todos los problemas de inventiva involucraban lo que ellos llamaron una contradicción técnica. Una contradicción técnica existe cuando se requiere mejorar un parámetro A de un mismo sistema tecnológico y esto deteriora un segundo parámetro B”. La teoría de la resolución de problemas de inventiva (TRIZ), es un conjunto de herramientas desarrolladas para la innovación de nuevos productos tecnológicos donde estas herramientas parten de la hipótesis que indica que existe un conjunto de principios básicos para el desarrollo de nuevas invenciones., Altshuller examinó un gran número de patentes, buscando las características de invenciones creativas y encontró que a menudo los mismos problemas habían sido resueltos en varios campos técnicos (Altshuller G. , 1994).

En la metodología TRIZ se parte del análisis de patentes existentes que sirven como base para la innovación de algún producto específico, por lo que en este trabajo se identificaron y analizaron patentes relacionadas con hornos de secado, identificando principalmente las soluciones pertinentes hacia la atención del problema central de secado.

A continuación, se describen diversas patentes consultadas las cuales servirán como base para el diseño de un horno de secado para limón persa, las cuales son:

[9] La invención que se realiza en esta patente consiste en un horno de secado que tiene como objetivo el secado de latas, tras ser sometidas a la operación de barnizado de goma líquida, de donde se toma principalmente el mecanismo para regular el secado de latas lo cual realiza que no se caigan en un mecanismo

donde se desplazan por la acción de unas cadenas de arrastre a las que se vinculan, consiguiéndose evitar rozamientos y vibraciones que se generan en otros dispositivos por lo que de dicha patente nos servirá el sistema de traslado del producto.

(España Patente nº ES2552565, 2015) La invención se refiere a un dispositivo de secado con un recipiente de aislamiento térmico cerrado herméticamente, que consiste en un depósito de paredes sólidas dentro del cual se carga un material en estado bifásico, quedando firmemente cerrado dicho depósito por el cual circula el aire caliente al interior del cajón, existiendo asimismo una mayor recirculación de aire entre los paquetes de carga, teniendo como principal objetivo la retención del calor al interior del horno y paredes del recipiente.

(España Patente nº WO1999019680A1, 1999) Se desarrolla un túnel de secado para frutas y hortalizas que es combinando un evaporador frigorífico y un condensador que permite extraer la humedad de las frutas y hortalizas, manteniendo el aspecto y características de las mismas donde su función principal es el de no permitir la pérdida de calor y así aumentar la eficacia de secado en dicho túnel. Cabe mencionar que en dicho túnel el principal objetivo es la eliminación de bacterias o plagas que puedan afectar el producto.

(Alemania Patente nº AN23N12/06, 2001) Consta de un túnel de secado para el tratamiento de secado de fruta mediante un proceso de lavado o encerado, que se caracteriza por actuar de tal manera que entrando la fruta por un plano de rodillos motorizados y al estar sometida en este proceso de transporte a una corriente forzada de aire caliente, estando el túnel constituido por una estructura chimenea romboédrica principal para la extracción de gases.

(Alemania Patente nº A23N12/08, 2006) El túnel de secado para frutas que incluye: una embocadura de entrada de la carga al interior del túnel; una boca de salida de la carga al exterior de dicho túnel donde los medios de transporte que trasladan la carga desde la embocadura de entrada, hasta la boca de salida por el interior del túnel; y medios de calefacción que están situados en la parte superior del túnel, generan e impulsan aire caliente en el interior de dicho túnel para el secado de la carga. A continuación en la Tabla 1, se muestra un resumen de la relación de patentes identificadas para el diseño de hornos de secado para limón persa.

Nº	Nº de patente.	Fecha de publicación	Autor.
1	Wo1996004515 a1	15/02/96	GARCÍA JOSÉ PEÑALVER
2	Wo1999019680a1	22/04/99	CAINET JAIME CÁTALA
3	Es0223026	24/08/76	JOSÉ LÓPEZ CORTES
4	Es304462	24/08/2003	JUAN RODRÍGUEZ RAMÍREZ
5	Es01012006	01/01/2006	OLIVER CASANOVA
6	Es16122001	16/12/2001	BERNAT VILAR, VICENTE JOSÉ.
7	Es1039023u	01/10/1998	JAIME ANDRÉS
8	Es2137844a1	16/12/1999	RAMÓN DE GARCÍA ANTONIO
9	Es04102009a5	04/10/2009	CASTAÑO F.F.R.RUBIO
10	Es060499u3	06/05/2014	PANNON
11	Cn104266470	01/07/2010	FREDERICK VILLASEÑOR
12	Cn201917181	15/09/2006	GUANGZHAO YANG
13	Gb277135	15/09/2008	ROBERT CORTES
14	Cn2177921	21/05/2003	ZEQING ZHANG
15	Cb2551943	7/11/2016	YANG GUANGZHAO
16	(Wo2016180516)	27/07/2016	ROBBIN JÖRG
17	Ru0002592689	2011	KHIN ERVIN (DE)
18	Unacheciindust20110003	07/05/2011	BRIONES RODRIGO
19	Es0120-0178	2008	OLIVEROS TIBURCIO
20	Issn 0329-5184	2005	M. CONDORI, R. ECHAZÚ.

Tabla1: Patentes analizadas relacionadas con hornos de secado.

(Cordova López, 2004) En su trabajo “TRIZ: Una Metodología Para La Innovación Sistemática” Se atienden dos problemáticas relacionadas con el horno de secado donde no se cuenta con una temperatura óptima de trabajo y el rezago de materia prima al interior por lo que con la metodología TRIZ dio solución a dichos problemas donde se obtuvo la disminución de rezago de materia prima al interior del horno de secado y manteniendo estable la temperatura en su interior.

La información técnica encontrada en la relación de patentes sobre los procesos de secado, se toman en cuenta para la solución a los diversos problemas que aqueja al horno de secado que utiliza actualmente la empacadora de la región de Martínez de la Torre, Ver. A continuación, se mencionan diversos problemas que

se identificaron mediante la herramienta de Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF), con participación en equipo del personal de trabajo de la empacadora.

2.2. Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF).

Cabe señalar que de acuerdo con (Zuluaga, 2016) la aplicación de AMEF a los procesos industriales es de gran apoyo sobre todo para la identificación de problemas relacionados con hornos de secado se detectaron los principales problemas que aquejaban el proceso de galvanizado y en qué grado influían a dicho proceso dándole solución a cada uno de los problemas y así reduciendo en gran cantidad el costo por producción de la empresa metalmecánica. (Pahl & Beitz, 2007), mencionan que es un método usado en las diferentes metodologías de diseño para evaluar el diseño inicial para conocer sus puntos críticos, con el fin de seleccionar el diseño más indicado para resolver la tarea propuesta.

En las empacadoras de la región de Martínez De La Torre, Veracruz se procedió a realizar la aplicación de Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF) principalmente para la identificación de diversos problemas asociados con el bajo rendimiento en el proceso de secado de limón persa originados por la fabricación hornos de secado de una manera empírica y por falta de conocimientos de transferencia de calor por parte de los trabajadores que se dedican a la construcción de dichos hornos. Para la realizar la implementación de (AMEF), se trabajó en colaboración con el personal de trabajo del área de mantenimiento, un equipo conformado por 5 personas encargadas del mantenimiento del horno de secado y en general de las diversas áreas de trabajo de las empacadoras, dicho equipo consta de un ingeniero de mantenimiento, un técnico de mantenimiento, pailero (encargado de la fabricación de los hornos de secado dentro de la empacadora y todo lo relacionado con alta soldadura), el encargado de la torre de control del horno de secado, programador (controlador de características del horno como revoluciones de velocidad de trabajo, capacidad de carga, control en el suministro de gas al horno etc.).

A continuación se muestra la relación de los problemas identificados con un alto porcentaje de influencia en el proceso de secado tomando los problemas de mayor Riesgo Prioridad Número (RPN) que influyen con un alta significancia dentro del proceso de secado los cuales son los que se muestran a continuación en la Tabla 2.

Cabe indicar que la aplicación de AMEF también puede trabajar en conjunto con diversas metodologías como es el caso de QFD, que nos indicará los requerimientos del cliente a partir de la identificación de problemas los cuales ayudaran a solucionar las verdaderas necesidades por parte del cliente, tal es el caso de (Gutierrez, 2015) que detecta y da solución al problema identificado que consiste en el rediseño en sistemas de secado, en donde se identificaron numerosos problemas como lo fueron pedida de calor, disminución de temperatura, cuarteamiento de piezas originado por el descontrol de temperatura etc. Una vez que se identificaron los problemas se procedió a solucionar dichos problemas mediante el estudio de los principales requerimientos por parte de los clientes.

Se identificaron diversos subproblemas que aquejan al problema central que es el no tener la capacidad de secar en su totalidad al limón persa que pasa por el horno de secado. La evaluación de los distintos problemas servirá para no tener recurrencia nuevamente con estos, con el único fin de dar solución de raíz.

ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA POTENCIAL. (AMEF)																	
Componente		Horno de secado.	Responsable del diseño		David Hernández Bautista. Y Sandro Oliveira		Fecha		27/03/2017								
Ensamble						Oliveira											
Equipo de trabajo		Horno de secado.	Preparo		Miguel Hernández.		AMEF N°1										
											Página 1						
Función	Modo o falla	Efectos potenciales de fallas	Severidad	Clase	Causas potenciales /mecanismos de la falla	Ocurrencia	Controles actuales del proceso prevención	Controles actuales del proceso detección	Detección	RPN	Acciones recomendadas	Nombre del responsable Fecha compromiso	Resultados de Accion.				
													Acciones tomadas	Severidad	Ocurrencia	Detección	RPN
1	Limón humedo.	Mala calidad en el proceso.	10	Se atiende la calidad del secado de limón al final del proceso.	El horno de secado no tiene la capacidad de secar el limón al 100% del total que pasa en una jornada laboral.	Diaria.	Ninguna.	Inspeccion visual.	10	1000	Ninguna.	David Bautista y Saandro Oliveira	Ninguna.	10	10	10	1000
2	Pérdida de calor.	No se cumple con el secado de limón que pasa por el horno al 100% originando que el limón salga húmedo.	10	Se identifica que en el horno de secado existe una pérdida de calor.	La falta de hermetismo ocasiona que existan fugas de calor en distintas partes del horno de secado.	Diaria.	Ninguna.	Ninguna.	10	1000	Ninguna.	David Bautista y Saandro Oliveira	Ninguna.	10	10	10	1000
3	Falta de hermetismo.	Pérdida de calor en el sistema de secado y de energía por falta de aislamiento.	10	El principal problema es el asociado con la retención de calor.	Generado por la falta de hermetismo en el horno de secado dado por su creación que fue realizado de una manera empíricamente (fue cojiado).	Diaria.	Ninguna.	Ninguna.	10	900	Ninguna.	David Bautista y Saandro Oliveira	Ninguna.	9	10	10	900
4	Se echo a perder la turbina generadora de calor.	Existió un descuido en el proceso de combustión, originado por la falta de suministro de energía eléctrica (se fue). A causa	10	Se atendió un problema relacionado con el sistema generador de calor.	Error de procedimiento, cuando se va la luz el mechero tiene que apagarse inmediatamente.	Una sola ocasión.	Fue un problema generado por no apagar oportunamente	Mantenimiento Preventivo.	10	900	Se atendió el problema con el cambio de una turbina.	David Bautista y Saandro Oliveira	Se procedio a cambiar. de	10	9	10	900
5	No se conoce el rendimiento de la maquina.	No se conoce la capacidad de secado en el horno de secado. Ciencia exacta el verdadero rendimiento de la	10	No se tienen los datos del rendimiento del equipo (Se	No se tiene un sistema con el cual se determine el rendimiento exacto del Horno de secado, dado que se ha trabajado con el mismo horno.	Continuo	Ninguna.	Ninguna.	10	900	Ninguna.	David Bautista y Saandro Oliveira	Ninguna.	10	10	9	900
6	Limón contaminado.	La principal fuente de contaminante de limón persa es generada por la combustión de gas LP	10	Se atiende un problema relacionado con la contaminación. del	No existe un sistema de filtración para el suministro aire para llevar acabo la combustión.	Diaria.	Ninguna.	Ninguna.	10	1000	Ninguna.	David Bautista y Saandro Oliveira	Ninguna.	10	10	10	1000
7	Horno sin aislamiento.	No existe aislamiento en el horno de secado (no fue contemplado) en su diseño original.	10	Debido a que no hay un aislamiento en el horno de secado.	La principal causa fue que desde su creación no se contempló dicho aislamiento en el horno de secado.	Diaria.	Ninguna.	Ninguna.	10	1000	Ninguna.	David Bautista y Saandro Oliveira	Ninguna.	10	10	10	1000

Tabla2: AMEF realizado a Horno de Secado.

A continuación, se muestran en la imagen 1e imagen 2, el horno de secado con el que actualmente se trabaja para el secado de cera aplicado a limón persa, señalando los principales problemas que lo aquejan.

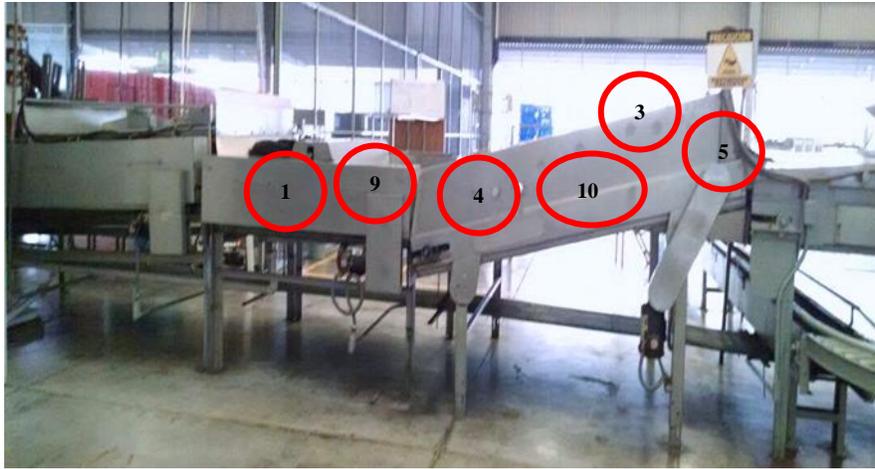


Imagen 1: Vista Lateral derecha de horno de secado actual.



Imagen 2: Vista lateral izquierdo de horno de secado.

Problemas que aquejan al horno de secado.

- Falta de hermetismo.
- Falta de Rotámetro.
- Temperatura no uniforme.
- Perdida de calor en el equipo.
- Horno sin aislamiento térmico.
- Salida de producto contaminado.
- Falta de extractor de gases de combustión.
- Ausencia de filtros para aire en la combustión.
- Mala distribución de temperatura en el horno de secado.
- No se conoce el verdadero rendimiento exacto en el proceso de secado.

2.3. QFD (*Quality Function Deployment*).

Como se dijo anteriormente (AMEF) es una metodología susceptible de mejora como es el caso de su combinación con la metodología Quality Function Deployment (QFD), en donde (Pullman, 2013) y colaboradores señalan que “QFD puede ayudar a desarrollar soluciones únicas para las necesidades de los clientes, en virtud de que es una técnica que promueve el pensamiento creativo para el diseño de las características del producto que cumplan con las necesidades del cliente”. QFD es una herramienta que permite conocer las principales necesidades y características solicitadas por parte del cliente para el diseño del nuevo horno de secado, y que puede ser combinada con (AMEF), se identificaron diversos problemas y estos mismos serán base para la identificación oportuna de una solución y así no repetir dichos problemas identificados en el actual al horno de secado.

En el rediseño del horno se han tomado en cuenta diversas características:

- Chimenea de salida o extractor de gases.
- Mayor eficacia en el sistema de secado.
- Hermetismo total en el horno de secado.
- Suministro de calor generado por resistencias eléctricas.
- Aislamiento térmico en el interior del horno de secado.
- Tamaño y dimensiones (específico para una sola área).

Son al menos 6 las características principales que se sugieren como oportunidades innovadoras. De acuerdo con (Sexto, 2006) en su trabajo “La creatividad en acción” en donde se aplican conjuntamente las metodologías TRIZ, QFD, Six Sigma y RCM, para atender una problemática sobre la innovación tecnológica industrial de un horno de secado, considerando primeramente la voz del cliente, como la detección de variables que influyen en el sistema de secado, la velocidad de respuesta, tiempo de secado, temperatura etc., por lo que se evaluaron cada una de estas variables y se detectó el porcentaje de influencia de cada una de ellas por lo que a partir de ahí se le dio una solución óptima en conjunto con los principales necesidades solicitadas por parte del cliente, lo que llevo a mejorar principalmente el rendimiento del horno de secado con el cual se trabajó. Por otra parte el QFD también ayuda a identificar las molestias e insatisfacciones por parte de los clientes que requieren de un servicio o producto tal es el caso de (Sarmiento & Carmen, 2004) que los resultados obtenidos fueron de reducción en costos de fabricación del 21.15%; los clientes consultados quedaron completamente satisfechos con el resultado obtenido, y se presentó una disminución en el consumo de la materia prima en un 40%, el rendimiento de los operarios mejoró en un 22%, al igual que el tiempo de fabricación unitario, que pasó de 72.8 a 59.1 minutos

En el rediseño de un nuevo horno de secado debe contemplar a la normatividad para el tratamiento de limón respecto con la inocuidad para el tratamiento de productos cítricos de embarque al extranjero, pues uno de los principales requerimientos de exportación es la eliminación de plagas que pueda contener el cítrico, dentro del proceso de aumento de valor en la cadena de producción de empaque de limón persa, en el que el limón lleva una serie de tratamientos los cuales son importantes para su exportación a diversos países de América latina y Europa. En México existe la norma mexicana con el código (NOM-022-FITO-1995, 1995) donde nos indica “los requisitos y especificaciones que deben cumplir las personas morales interesadas en la instalación de una empresa para la prestación de los servicios de tratamientos fitosanitarios de cítricos, sus productos o subproductos de importación, exportación o movilización nacional; así como, los procedimientos para la aplicación de los tratamientos fitosanitarios”.

3. Resultados.

Mediante la implementación de las metodologías AMEF, TRIZ y QFD se obtuvieron los siguientes resultados. Con la metodología AMEF se identificaron siete problemas críticos que afectan al actual proceso de secado de cera aplicada al limón persa, los cuales fueron: uso ineficiente de la energía suministrada, salida de limón húmedo, falta de hermetismo en el horno, deterioro de la turbina generadora de calor, bajo rendimiento en el proceso de secado y el no contar con aislamiento térmico. La metodología TRIZ requirió el análisis de patentes existentes en bases de datos oficiales a nivel mundial, con las cuales nos permitirá dar solución efectiva a los problemas mencionados. Con la metodología QFD se identificaron los principales requerimientos

solicitados por parte de los clientes, y la manera en que un nuevo horno de secado garantizará el cumplimiento de todos los parámetros requeridos.

4. Conclusiones.

Las metodologías TRIZ, AMEF y AMEF fueron utilizadas para identificar los elementos de diseño para un horno de secado de solución de cera aplicada sobre la superficie del limón persa. Con la aplicación de AMEF sirvió para identificar y analizar los siete problemas principales que se tienen actualmente con un horno de secado que fue creado y diseñado de manera empíricamente, obteniendo valores de RPN que son de 900 y 1000.

El QFD fue utilizado para enfocarse en identificar los principales requerimientos que solicita el cliente, también se toma en cuenta las especificaciones requeridos en normas nacionales e internacionales para el diseño de un horno de secado de limón persa totalmente recubierto de una película de cera. Los parámetros requeridos para el diseño del prototipo de túnel de secado son: los materiales de fabricación, dimensiones (alto, ancho y largo total), suministro de calor por corriente eléctrica, impulsores para la dispersión de gases de combustión, banda transportadora de limón, chimenea, materiales de aislamiento y sistema de control.

La metodología TRIZ recomienda una búsqueda exhaustiva de patentes relacionadas con procesos de secado por convección forzada, se identificaron y analizaron los diseños pertinentes de diferentes túneles de secado para el proceso de encerado en las bases de datos de las oficinas de patentes a nivel nacional e internacional.

5. Agradecimientos.

Se agradece enormemente al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología la beca otorgada para realizar la Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Veracruz.

6. Referencias.

- Altshuller, G. (1994). *And Suddenly the Inventor Appeared. Technical Innovation Center, Worcestre.* Worcester.
- Arroyave Loaiza, G., Isaza Nieto, P., & Jarrillo Soto, E. C. (1993). *Análisis de Sensibilidad en los Proyectos de inversión en Salud.* Salud pública de México, 318-327.
- Artilleros, M. (2009). *Mejoramiento del proceso de secado de Nepe de una planta cervecera.* Revista de Ingeniería.
- Baca Urbina, G. (2010). *Evaluación de Proyectos.* México, D.F.: Mc GrawHill.
- Beitz, W., & Pahl, G. (2007). *Engineering Desing.* Springer.
- Calidad, C. &. (17 de Julio de 2013). *Consultoría en crecimiento de Pymes y Empresas Familiares.* Recuperado el 17 de Octubre de 2014, de <http://www.clasec.net/como-hacer-presupuestos-parte-3-presupuesto-de-inversiones/>
- Cordova Lopéz, E. (2004). *RIZ: Una Metodología Para La Innovación Sistemática (Una Aplicación En La Industria Automotriz).* Academia de Ciencias Administrativas, A.C.
- García Echevarría, S. (1994). *Teoría económica de la empresa.* Madrid, España: Díaz de Santos.
- González, R. (1988). *Sistema Español de Innovación.*
- Gutierrez, E. (2015). *Rediseño de sistemas de secado.* ESIME
- Jaime, C. C. (1999). *España Patente n° WO1999019680A1.*
- Juan, M. V. (2015). *España Patente n° ES2552565.*
- Krajewski, L., Ritzman, L., & Malhotra, M. (2008). *Pricipios de Administración de Operaciones.* México: Pearson Educación.
- NOM-022-FITO-1995. (1995). *Tratamientos fitosanitarios a vegetales y citricos.* UNINET.
- Pahl, G., & Beitz, W. (2007). *Engineering Design: A systematic Approach.* Londres Springer.
- Peñalver, G. J. (1994). *España Patente n° WO1996004515A1.*
- Pullman, M. (2013). *Aplicación Del QFD A la Industria Refresquera de San Luis Potosí,* México. Ciencias Económico.
- Sarmiento, L., & Carmen, B. (2004). *Aplicacion de una metodologia de mejora de procesos en modelos de excelencia y QFD* Ingeniería y desarrollo.
- Sexto, L. (2006). *La creatividad en acción: TRIZ, SIX SIGMA y RCM.* Entre el reto innovador y la necesidad industrial. Management Consultant.
- Sistemas, F. (2001). *Alemania Patente n° AN23N12/06.*
- Talleres Oliver y Cia, S. (2006). *Alemania Patente n° A23N12/08.*

Yanbin, D., & Huajun, C. (2013). *Reutilización del método de rediseño de productos usados basado en la teoría del diseño axiomático y QFD*. Journal.

Young, E. &. (2010). Conectando la Innovación con los Beneficios.

Zuluaga, P. (2016). *Aplicación de la metodología six sigma para solucionar problemas de calidad en una empresa metalmecánica*. Facultad de ciencias economicas y administrativas.

Consideraciones técnicas para la toma de imagen de fruto en árbol: Caso Lima persa (*Citrus latifolia Tanaka*)

Pablo Colorado Posadas, Ing.¹, Lic. Rolando G. Olivares Velázquez²I., CP. José A. Zumaya Ahumada³, Lic. Reynaldo Aguirre Alcántara⁴, Ing. Jesús Q. Martínez Armenta⁵.

¹ Pablo Colorado Posadas, Ing. Electrónico, Estudiante de tercer semestre de la Maestría de Ingeniería Industrial del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Ver.

² El C. Lic. Rolando G. Olivares Velázquez, es Director Adjunto de la Exportadora San Gabriel, S.A. de C.V. de Martínez de la Torre, Veracruz, México. rg.olivaresv@gmail.

³ El CP. José A. Zumaya Ahumada es Gerente General de la Exportadora San Gabriel, S.A. de C.V. de Martínez de la Torre, Veracruz, México. antonio@gruposangabriel.com.

⁴ El Lic. Reynaldo Aguirre Alcántara, es Director Administrativo y Financiero de la Exportadora San Gabriel, S.A. de C.V. de Martínez de la Torre, Veracruz, México. reynaldo.aguirre@gruposangabriel.com.

⁵ El Ing. Jesús Q. Martínez Armenta es el Director de Gerencia Técnica de la Exportadora San Gabriel, S.A. de C.V. de Martínez de la Torre, Veracruz, México. jesus.martinez@gruposangabriel.com.

Resumen—En esta investigación se desarrolla un procedimiento para obtener imágenes óptimas (identificación nítida en objeto de interés y fondo, Panasonic 2017), de fruto en huerto, caso de estudio limón persa. La calidad del fruto fresco en el huerto se rige generalmente por dos características: tamaño y color del fruto; estas características son determinantes en la selección-compra del fruto por parte de empresas exportadoras de cítricos, siendo responsable de estas características los proveedores y/o productores de limón persa en el huerto. Las características del fruto en el huerto se pueden conocer desde una inspección visual por expertos de la materia, o realizar un estudio de estas características por medio de imágenes que ayuden a resolver esta tarea.

Para llevar a cabo el procedimiento de imágenes se utilizará la reconfiguración dinámica de la estructura del sistema de las variables que influyen significativamente en el proceso de captura de imágenes con el objetivo de contrarrestar el efecto de las fallas que no permitan obtener el resultado esperado; se presenta una propuesta de reconfiguración dinámica y distribuida que se basa en considerar a cada elemento o variable del sistema como un conjunto de variables dinámicas que se pueden reconfigurar manualmente o simular mediante herramientas de software, en nuestro caso se hará manualmente.

Palabra(s) clave—*Imágenes óptimas, dinámica de sistemas, limón persa.*

Abstract – In the present research, a procedure is developed to obtain optimal images (clear identification in object of interest and background, Panasonic 2017), fruit in orchard, case study Persian lemon. The quality of the fresh fruit in the orchard is generally governed by two characteristics: size and color of the fruit; these characteristics are triggers in the acquisition of the fruit by citrus exporting companies, being responsible for these characteristics the suppliers or producers of Persian lemon in the orchard. The characteristics of the fruit in the garden can be seen from a visual inspection by experts in the field, or perform a study of these characteristics by means of images that help solve this task.

To carry out the imaging process, the dynamic reconfiguration of the system structure of the variables that significantly influence the image capture process will be used in order to counteract the effect of the faults that do not allow the expected result to be obtained; we present a dynamic and distributed reconfiguration proposal that is based on considering each element or variable of the system as a set of dynamic variables that can be reconfigured manually or simulate using software tools, in our case will be done manually.

Key words – *Optimal images, system dynamics, Persian lemon*

1. Introducción

La Lima Persa (*Citrus latifolia Tanaka*) en una de las principales frutas cultivadas en México a nivel mundial con un alto valor de exportación. El comercio internacional rige a este fruto con dos características como fruto fresco: el color, y el tamaño. Las empresas exportadoras de este cítrico, están inmersas en una permanente búsqueda —y en temporada baja hasta agresiva— en un marco de competencia por acaparar la mayor cantidad de fruta para su abastecimiento en su zona local, regional y nacional, con el objetivo de atender los requerimientos de sus clientes en un mercado internacional altamente demandante e incierto.

Para resolver su necesidad de abastecimiento, las exportadoras de este fruto, se proveen de recibo de fruta en sus propias instalaciones por productores de huertos propios, intermediarismo, centrales de abasto, huertos locales y/o regionales. En cualquiera de estas formas de abastecimiento, lo que ingresa al proceso es una “condición incierta” de la fruta esperada que debería ingresar al proceso de empaque. Cuando la fruta llega de proveedores

que no son fieles a la empresa-históricamente registrados-, y que eventualmente deciden llevarla a la empresa, el abastecimiento tiene una alta incertidumbre de calidad esperada en el fruto.

La incertidumbre de proveeduría se presenta en estos sistemas como un problema de “flujo de información” que trae consigo en la exportadora la desventaja de previsión en el proceso de planeación que ayuda a mejorar la ventaja competitiva de velocidad de respuesta de la empresa. Como apoyo y soporte de decisión en este sector agroindustrial de empaque de fruta fresca; se encuentra la Inteligencia Artificial (IA) con la que se han desarrollado diversos enfoques que apoyan a empresas de este sector. En esta área de investigación, la División de Estudios Profesionales e Investigación del Instituto tecnológico Superior de Misantla ha contribuido con investigaciones particularmente a la Cadena de Suministro de la Lima de Persa, con trabajos como lo son: (Fernández Lambert, 2010); (Fernández Lambert, et al., 2014); (Fernández Lambert, et al., 2015); (Miranda Ackerman, et al., 2014); (Fernández Lambert, et al., 2015); (Fernández Lambert, et al., 2017). En este campo de investigación, actualmente se tienen abiertas dos investigaciones relacionadas con la proveeduría de Lima persa. Una orientada a la “selección de proveedores” apoyado con Deep Learning; y la segunda el “diseño de una metodología para el muestreo de fruto en huerto de Lima persa apoyado con vehículo aéreo no tripulado”. En la segunda investigación se trata de obtener elementos de información de la calidad de la fruta en el árbol a través de imágenes, y en consecuencia en forma representativa la calidad del huerto como proveedor de fruta de exportación. Como parte de esta segunda investigación, en este artículo se reportan las condiciones técnicas para la obtención de imágenes óptimas que serán base para el desarrollo del “diseño de una metodología de muestreo de Lima persa en huerto”.

La revisión de literatura para la captura de imágenes se ha encontrado que no existen métodos y/o enfoques únicos para realizar esta actividad, por el hecho de que en un escenario de estudio pueden intervenir una gran cantidad de factores para obtener la calidad de imagen deseada al objetivo de interés de la investigación. Esta investigación aporta una serie de criterios que ayudan a mejorar la captura de imagen del fruto que refleje las características para ser procesadas y obtener de ellas información única para el decisor.

2. Desarrollo

2.1 Materiales y Métodos

El material y equipo que se utilizó en esta investigación se describe en la siguiente Tabla 1.

Material / equipo	Marca / Modelo	Descripción
Cámara digital	Nikon, Coolpix L340	Equipo para captura de imágenes
Fluxómetro	Steren, HER-410	Equipo para la medición de intensidad de luz
Flexómetro	Truper, T-SPN (5 m)	Equipo para la medición de distancias
GPS	AppStore	Equipo para medir la posición global de objetos.

Tabla 1. Equipo y material del proyecto

2.2 Método.

La metodología que se desarrolló, se muestra en la Figura 1.

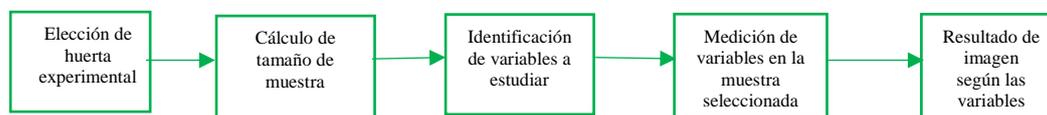


Fig. 1. Metodología de desarrollo implementada en la investigación

En la etapa uno se realizó la elección del huerto experimental, como criterio de elección se consideró que el huerto estuviera en franca producción y con un área de población de limón persa de una hectárea, siendo elegida la huerta ubicada en la localidad de los ídolos, municipio de Misantla, Ver., con ubicación global “19°,53’,49 N, 96°,51’,27 O” la cual tiene un área de una hectárea, distribuida de 50 x 200 metros cuadrados, con una población de 250 árboles. Como se ilustra en la Figura 2.

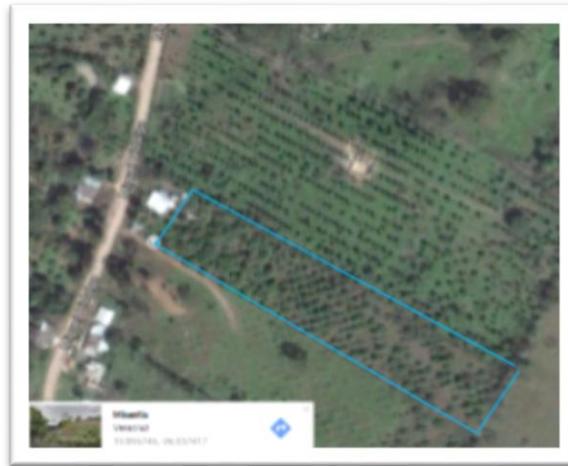


Figura 2. Huerta de limón persa, (fuente Google maps, 2017)

En la etapa dos se realizaron los cálculos de la muestra conociendo la población (250 árboles). Se trabajó con un nivel de confianza del 95%, un error de 10%, un valor p de 0.5 y valor q de 0.5, obteniendo lo siguiente:

$$n_o = \frac{z^2 * p * q}{e^2} \quad \text{Ec. (1)}$$

En donde:

n_o = tamaño de la muestra

z = estadístico

$p * q$ = varianza de la proporción

e = error máximo permitido

Sustituyendo valores:

$$n_o = \frac{(1.64)^2 * (0.5) * (0.5)}{(0.10)^2} = 67$$

Debido a que se conoce el tamaño de la población se tiene que hacer un ajuste en el tamaño de la muestra.

$$n' = \frac{n_o}{1 + \frac{(n_o - 1)}{N}} \quad \text{Ec. (2)}$$

$$n' = \frac{n_o}{1 + \frac{(n_o - 1)}{N}} = \frac{67}{1 + \frac{(67 - 1)}{250}} = \frac{67}{1 + 0.264} = 53 \text{ muestras}$$

En la Figura 3 se muestra un croquis del huerto experimental con una distribución de población de 8 por 25 árboles.

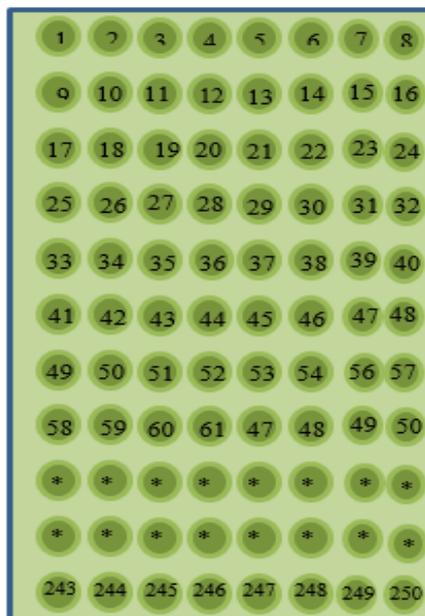


Figura 3. Representación de población experimental de Lima Persa (50 x 200 metros cuadrados)

En la etapa tres se identificaron las variables de estudio que se consideraron en el desarrollo de esta investigación:

- Intensidad de luz en fruto (lúmenes).
- Intensidad de luz en cámara (lúmenes).
- Distancia de fruto a cámara (centímetros).
- Distancia de árbol a cámara (centímetros).
- Altura de fruto (centímetros).
- Altura de cámara (centímetros).

En la etapa cuatro, se presenta la medición de las variables definidas en la etapa tres, definiendo cada medición de la siguiente manera:

- *Intensidad de luz en fruto*: Equipo de medición fluxómetro, unidad de medida lúmenes, “Steren, HER-410”, con tres factores de medición, la unidad, por 10 y por 100, ajustando manualmente cada factor según la magnitud de la variable medida. El fluxómetro se ubicó frente al fruto con vista de línea hacia la cámara
- *Intensidad de luz en cámara*: Equipo de medición fluxómetro, unidad de medida en lúmenes, con tres factores de medición, ubicación de equipo en frente de cámara con vista de línea hacia fruto.
- *Distancia de fruto a cámara*: equipo flexómetro, “Truper, T-SPN (5 m)”;
- *Distancia de árbol a cámara*: Punto inicial se posiciono el flexómetro en la parte inferior de tallo del árbol con dirección hacia cámara colocando el punto final en la parte inferior de lente de cámara a nivel de suelo con vista de línea a árbol, unidad de medida centímetros (cm).
- *Altura de fruto*: Punto inicial parte inferior de fruto, punto final proyección perpendicular de punto inicial hacia suelo, equipo flexómetro, unidad de medida centímetros (cm).
- *Altura de cámara*: Punto inicial parte inferior de lente de cámara con vista de línea hacia fruto, punto final proyección perpendicular de punto inicial hacia suelo, medición con flexómetro, unidad de medida en centímetros (cm).

En la etapa cinco se tienen las imágenes como resultado de las cuatro etapas anteriores, cada imagen con diferente identificación en objeto de interés como en el fondo debido a los efectos de la variación de la magnitud de las variables involucradas, estas imágenes se muestran en el apartado de resultados.

3. Resultados

Se hicieron tres visitas al huerto para realizar la aplicación del procedimiento definido en esta investigación, las fechas de incursión al huerto fueron: 15, 22 y 29 de septiembre de 2017. Las imágenes obtenidas se realizaron en tres tipos de resolución: *VGA (modo crudo o vector gráfico adaptado, 640 x 480 píxeles)*, *2M (1600 x 1200 píxeles)* y *4M (2272 x 1704 píxeles)*. Como resultado final se muestran 10 imágenes de las cuales siete son con enfoque de captura en fruto y tres con enfoque de captura en modo panorámico de árbol, se hace previamente una descripción de cada imagen en función del valor de la magnitud de las variables involucradas en el proceso de captura.

La Figura 4, presenta las siguientes características en función de las variables medidas: *ubicación de fruto* 19° 53'45" N, 19° 51'24 O, *intensidad de luz en fruto* 88800 (lúmenes), *intensidad de luz en cámara* 58900 (lúmenes), *distancia de árbol a cámara* 280 (cm), *distancia de fruto a cámara* 125 (cm), *altura de fruto* 96 (cm), *altura de cámara* 96 (cm), *resolución VGA*.



Figura 4. Lima Persa

La Figura 5: Características: 19° 53' 44" N, 96° 51'25" O, *intensidad de luz en fruto* 36800 (lúmenes), *intensidad de luz en cámara* 60400 (lúmenes), *distancia de árbol a cámara* 262 (cm), *distancia de fruto a cámara* 130 (cm), *altura de fruto* 91 (cm), *altura de cámara* 92 (cm), *resolución VGA*.



Figura 5. Lima Persa

La Figura 6: Características: *ubicación de fruto* 19° 53'44" N 96° 51'25" O, *intensidad de luz en fruto* 36800 (lúmenes), *intensidad de luz en cámara* 60400 (lúmenes), *distancia de árbol a cámara* 262 (cm), *distancia de fruto a cámara* 130 (cm), *altura de fruto* 91 (cm), *altura de cámara* 92 (cm), *resolución 2M*.



Figura 6. Lima Persa

La Figura 7: Características: *ubicación de fruto* $19^{\circ} 53'44''$ N $96^{\circ} 51'25''$ O, *intensidad de luz en fruto* 36800 (lúmenes), *intensidad de luz en cámara* 60400 (lúmenes), *distancia de árbol a cámara* 262 (cm), *distancia de fruto a cámara* 130 (cm), *altura de fruto* 91 (cm), *altura de cámara* 92 (cm), *resolución* 4M.



Figura 7. Lima Persa

La Figura 8: Características: *ubicación de árbol*, $19^{\circ} 53'45''$ N $96^{\circ} 51'22''$ O, *intensidad de luz en punto medio de árbol con vista frontal a cámara* 5640 (lúmenes), *intensidad de luz en cámara* 15000 (lúmenes), *distancia de árbol a cámara* 300 (cm), *altura promedio de árbol* 31 (cm), *altura de cámara* 84(cm), *resolución* VGA.



Figura 8. Captura panorámica de árbol de Lima Persa

La Figura 9: Características: *ubicación de árbol* $19^{\circ} 53' 45''$ N, $96^{\circ} 51' 22''$ O; *intensidad de luz en punto medio de árbol con vista frontal a cámara* 5640 (lúmenes), *intensidad de luz en cámara* 15000 (lúmenes), *distancia de árbol a cámara* 300, (cm), *altura promedio de árbol* 122 (cm), *altura de cámara* 84(cm), *resolución* 2M.



Figura 9. Vista panorámica de árbol de Lima Persa

La Figura 10: Características: *ubicación de árbol 19° 53' 45" N, 96° 51' 22" O; intensidad de luz en punto medio de árbol con vista frontal a cámara 5640 (lúmenes), intensidad de luz en cámara 15000 (lúmenes), distancia de árbol a cámara 300, (cm), altura promedio de árbol 122 (cm), altura de cámara 84(cm), resolución 4M.*



Figura 10. Vista panorámica de árbol de Lima Persa

La Figura 11: Características: *ubicación de árbol 19° 53' 46" N, 96° 51' 23" O; intensidad de luz en fruto 5100 (lúmenes), intensidad de luz en cámara 4800 (lúmenes), distancia de árbol a cámara 289 (cm), distancia de fruto a cámara 226 (cm), altura de fruto 76 (cm), altura de cámara 100 (cm), resolución VGA.*



Figura 11. Lima Persa

La Figura 12: Características: *ubicación de árbol 19° 53' 46" N, 96° 51' 23" O; intensidad de luz en fruto 5100 (lúmenes), intensidad de luz en cámara 4800 (lúmenes), distancia de árbol a cámara 289 (cm), distancia de fruto a cámara 226 (cm), altura de fruto 76 (cm), altura de cámara 100 (cm), resolución 2M.*



Figura 12. Lima Persa

La Figura 13: Características: *ubicación de árbol 19° 53' 46" N, 96° 51' 23" O; intensidad de luz en fruto 5100 (lúmenes), intensidad de luz en cámara 4800 (lúmenes), distancia de árbol a cámara 289 (cm), distancia de fruto a cámara 226 (cm), altura de fruto 76 (cm), altura de cámara 100 (cm), resolución 4M.*



Figura 13. Lima Persa.

El valor de las variables medidas en las imágenes definidas en las Figuras de la 4 a la 13 se muestra en la Tabla 2. En la Tabla 3 muestra el valor de las imágenes de las Figuras 4,5 y 11, que se consideran óptimas (*identificación nítida en objeto de interés y fondo, Panasonic 2017*). En estas imágenes puede apreciarse mayor nitidez en fruto como en fondo, de la imagen, por definición de los expertos las consideran imágenes óptimas. En la Tabla 4 se muestra el valor de las variables medidas de la imagen de la Figura 8 en captura modo panorámico, el resultado de la combinación de las variables en esta imagen dieron como resultado una imagen óptima.

Exposición	Fecha	Ubicación GPS de huerto	Ubicación GPS de fruto	Intensidad de luz (lúmenes)		Distancia de árbol a cámara (cm)	Distancia de fruto a cámara (cm)	Altura de fruto (cm)	Altura de cámara (cm)	Configuración cámara
				Fruto	cámara					
1	15.09.2017	19° 53'49" N 96° 51'27" O	19° 53'45" N 19° 51'24" O	88800	58900	280	125	96	96	Resolución: VGA (Figura 5)
2	15.09.2017	19° 53'49" N 96° 51'27" O	19° 53'44" N 96° 51'25" O	36800	60400	262	130	91	92	Resolución: VGA, 2M, 4M (Figura 6, 7, 8)
3	22.09.2017	19° 53'49" N 96° 51'27" O	19° 53'45" N 96° 51'22" O	5640	15000	300	218	31	84	Resolución: VGA, 2M Y 4M (Figura 9, 10, 11)
4	29.09.2017	19° 53'49" N 96° 51'27" O	19° 53'46" N 96° 51'23" O	5100	4800	289	226	76	100	Resolución: VGA, 2M Y 4M (Figura 12, 13, 14)

Tabla 2. Valores de las variables medidas en el proceso de captura en fruto y árbol de las Figuras 4 a la 13.

Figura No.	Intensidad de luz en fruto en lúmenes	Intensidad de luz en cámara lúmenes	Distancia de árbol a cámara en cm.	Distancia de fruto a cámara	de Altura fruto cm.	de Altura cámara cm.	de Resolución de imagen
4	88000	58900	280	125	96	96	VGA (640X480 píxeles)
5	36800	60400	262	130	91	92	VGA (640X480 píxeles)
11	48000	36000	310	249	45	59	VGA (640 X480 píxeles)

Tabla 3. Valor de las variables de captura en fruto de las figuras 4,5 y 11.

Figura No.	Intensidad de luz en fruto en lúmenes	Intensidad de luz en cámara lúmenes	Distancia de árbol a cámara en cm.	Distancia de fruto a cámara	de Altura fruto cm.	de Altura cámara cm.	de Resolución de imagen
8	5640	15000	300	218	31	84	VGA (640X480 píxeles)

Tabla 4. Valor de las variables de captura en árbol de la imagen 8.

4. Conclusiones

Las imágenes 4, 5 y 11, se definen como óptimas (*imágenes con nitidez en objeto de interés como en el fondo de la imagen, Panasonic, 2017*), el resultado obtenido de estas imágenes, fue en función de la combinación del valor de las variables involucradas en el proceso de esta metodología. Estos valores y características de las variables se describen a continuación

- Valor de la intensidad de luz en fruto, 88000, 36800, 48000, en lúmenes, respectivamente por imagen. Se observa que existe una diferencia en su nitidez de la imagen 4 con respecto a las imágenes 5 y 11.
- El valor de la intensidad de luz en cámara es de 58900, 60400, y 36000 lúmenes, respectivamente por imagen. Se observa que existe una diferencia en el valor de la imagen 11 con respecto a las imágenes 4 y 5.
- El valor de la distancia de árbol a cámara es de 280,262 y 310 centímetros, respectivamente por imagen. Se observa que existe una diferencia proporcional entre las tres imágenes del menor al mayor valor es decir de la imagen 5,4 y 11 de un valor promedio aproximado de 20 centímetros.
- La distancia de fruto a cámara es de 125,130, 249 centímetros, respectivamente por imagen. Se observa que el valor de la imagen 11 presenta una diferencia en nitidez respecto a los valores de las imágenes 4 y 5, de aproximadamente el doble de cada valor.
- Los valores de altura de fruto con referencia al suelo fueron 96, 91 y 45 centímetros, respectivamente por imagen. Se observa que el valor de la imagen 11 es la mitad del valor de las imágenes 4 y 5.
- La altura de la cámara con referencia al suelo fue de 96, 92 y 59 centímetros, respectivamente por imagen. Se observa que la imagen 11 presenta una diferencia aproximada de 40 % menor que las imágenes 4 y 5.

- La resolución de las imágenes 4, 5 y 11 son en calidad VGA, es decir de 640 x 480 píxeles. En las tres imágenes se tiene el mismo valor de la variable de resolución en cámara, lo que da como efecto ***una imagen, es decir, existe nitidez tanto en fruto como en el fondo de la imagen (Panasonic, 2017).***

La imagen 8, al realizar la medición de las variables, se obtuvieron los siguientes resultados de la magnitud de cada una: intensidad de luz en fruto 5640 lúmenes, intensidad de luz en cámara 15000 lúmenes, distancia de árbol a cámara 300 cm, distancia de fruto a cámara 218 cm, altura promedio en fruto 31 cm, altura de cámara 84cm, resolución de cámara VGA (640 x píxeles). La combinación de todas las variables dan como resultado una imagen óptima (*nitidez en fruto y fondo de imagen, Panasonic, 2017*).

Las imágenes 6, 7, 9, 10, 12 y 13, el valor de las variables medidas en cada una de ellas, dieron como resultado imágenes no óptimas, es decir, no presentan una nitidez en fruto ni en fondo en cada imagen, por lo tanto, estas imágenes no cumplen las características para ser objeto de estudio en futuras investigaciones.

En la aplicación de la metodología para obtener imágenes óptimas, es de vital importancia considerar la magnitud de las variables más significativas que influyen en el proceso de captura de cada imagen, ya que, del valor de cada variable depende el resultado obtenido. Se observó que la variable de mayor influencia en el proceso de captura de la imagen es el valor de resolución de cámara. En este experimento la resolución en VGA (640 x 480 píxeles), fue la que más influyó para obtener imágenes óptimas.

Para realizar el desarrollo de esta metodología se debe tener en cuenta las condiciones climáticas, por experiencia del equipo de trabajo, en el estudio realizado en la huerta experimental dos veces no se pudo trabajar en el proyecto debido a que el clima no lo permitió, presencia de lluvia, lo cual se recomienda tener en cuenta esta consideración para poder realizar esta metodología. Los siguientes experimentos de captura de imagen considerará la velocidad del viento.

5. Referencias

- Fernández Lambert, G. (2010, 05 12). *Identificación de prácticas agrícolas para su integración como criterios de decisión en un modelo difuso de selección de proveedores de lima persa*. Memoria en extenso. Puebla, Puebla, México: Universidad Autónoma del Estado de Puebla.
- Fernández Lambert, G., Aguilar Lasserre, A. A., Azzaro Pantel, C., Miranda Ackerman, M. A., Purroy Vazquez, R., & Pérez Salazar, M. D. (2015). *Behavior patterns related to the agricultural practices in the production of Persian lime (Citrus latifolia tanaka) in the seasonal orchard*. Computers and Electronics in Agriculture., 116(2015), 162–172. doi:10.1016/j.compag.2015.06.007
- Fernández Lambert, G., Aguilar Lasserre, A. A., Martínez Castellanos, G., Rubalcaba Sánchez, M. G., Correa Medina, J. G., & Marínez Flores, J. L. (2015). *Contexto y Caracterización de la Cadena de Suministro del Limón Persa (Citrus latifolia Tanaka) en Veracruz-México*. Conciencia Tecnológica(50), 21 - 31.
- Fernández Lambert, G., Aguilar Lasserre, A. A., Miranda Ackerman, M. A., Azzaro Pantel, C., Purroy Vázquez, R., & Pérez Salazar, M. D. (2017). *Artificial neural network for predicting orchard yield, fruit quality and its impact on the Persian Lime (Citrus latifolia Tanaka) supply chain*. Nutrient Cycling in Agroecosystems, DRAF(FRES-D-16-00095).
- Fernández Lambert, G., Aguilar Lasserre, A. A., Miranda Ackerman, M. A., Moras Sánchez, C. G., Ismatlahua R., B. O., & Azzaro Pantel, C. (2014). *An expert system for predicting orchard yield and fruit quality and its impact on the Persian lime supply chain*. Engineering Applications of Artificial Intelligence. 33(2014), 21-30. doi:10.1016/j.engappai.2014.03.013
- Miranda Ackerman, M. A., Fernández Lambert, G., Azzaro Pantel, C., & Aguilar Lasserre, A. A. (2014). *A multi-objective modelling and optimization framework for operations management of a fresh fruit supply chain: a case study on a Mexican lime Company*. En Springer (Ed.), Applications of Metaheuristics in Process Engineering. (págs. 375-396). international Publishing Switzerland. doi:10.100/978-3-319-06508-3_16

6. Notas Biográficas

El Ing. **Pablo Colorado Posadas** es Ingeniero Electrónico por el Instituto Tecnológico de Veracruz, Ver. Actualmente estudiante del tercer semestre de la Maestría en Ingeniería Industrial del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Ver. pcoloradop@itsm.edu.mx.

Constructo Teórico para el cálculo del número de operadores óptimos en el proceso de Pre-selección manual de la industria de lima persa.

Edwin Arturo González Ávila, Ing.¹, M.I.A. Luis Enrique García Santamaría², Ing. Jenny Besiche Barranco, Ing.³

¹González Ávila Edwin Arturo, I.I. estudiante de la Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. carturoga@hotmail.com.

²M.I.A García Santamaría Luis Enrique, profesor en el instituto Tecnológico superior de Misantla, Misantla, Veracruz. legarcias@itsm.edu.mx

³Besiche barranco Jenny, I.I. estudiante de la maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla Veracruz. jennybesicheb@outlook.es.

Resumen — Este artículo presenta un constructo teórico para el desarrollo de un modelo de simulación, que describa el comportamiento del proceso de “pre-selección” manual de lima persa en diferentes escenarios, con la finalidad de prever el número óptimo de operadores, en función del volumen de limón que ingresa al sistema, además de cuantificar el impacto de la relación que existe entre las entradas, salidas y el número óptimo de trabajadores en el proceso. Éste constructo teórico aporta las variables involucradas en el modelo, tales como las exógenas “*independientes o de entrada*”, como el volumen de limón que ingresa al proceso de pre-selección; las variables endógenas “*dependientes o de estado*”, como el volumen de limón procesado o seleccionado y el número de operadores, las “*variables de salida*”, como el volumen de limón con calidad de exportación en sus respectivos calibres. La información necesaria fue proporcionada por una empresa dedicada a la exportación de limón persa San Gabriel S.A de C.V en el estado de Veracruz.

Palabra(s) clave — *Modelo de simulación, Número óptimo de operadores, pre-selección.*

Abstract — This article presents a theoretical construction for the development of a simulation model, which describes the behavior of the manual "pre-selection" of lime in different scenarios, in order to predict the number of optical operators, depending on the volume of lemon that is introduced into the system, in addition to quantifying the impact of the relationship between inputs, outputs and the number of workers in the process. This theoretical construct contributes the variables involved in the model, such as them exogenous "*independent or input*", as the volume of lemon that enters the pre-selection process; the endogenous "*dependent or state*" variables, such as the volume of processed or selected lemon and the number of operators, the "*output variables*", as the volume of lemon with export quality in their respective calibers. The necessary information was provided by a company dedicated to the export of Persian lemon San Gabriel S.A of C.V in the state of Veracruz.

Key words – *Simulation model, Optimal number of operators, pre-selection.*

1. Introducción

En un ambiente industrial cada vez más competitivo es imprescindible aprovechar y optimizar los recursos disponibles al alcance de las empresas (tangibles, intangibles y humanos). Cada uno de éstos recursos deben ser utilizados estratégicamente para cumplir con los requerimientos del mercado, sin que estos sean agotados. En este sentido, el recurso humano cobra gran importancia a la hora de cuantificar el costo generado por su utilización, por esta razón debe determinarse la cantidad en el que éste es requerido (Garijo, 2014). En pocas palabras, la cantidad de trabajadores necesarios para llevar a cabo una actividad debe ser proporcional a la cantidad de mano de obra necesaria para poder realizarla.

La simulación en la industria, se ha convertido en una valiosa herramienta de diseño, experimentación y análisis de modelos basados en sistemas productivos reales. De acuerdo con Gelves en el (2010) menciona. “El propósito de la simulación es comprender el comportamiento de un sistema y poder evaluar diferentes estrategias de operación que se adecuen a los propósitos buscados, todo esto a un costo menor y con la posibilidad de decidir cuál cambio, o variación del proceso es conveniente y se empareje con los objetivos buscados, en vez de implementar cambios físicos o variaciones reales con resultados que puedan ser distintos a los esperados y esto implique reajustar el sistema, generando costos excesivos, lo cual es perjudicial para las empresas”.

Con el uso del software en el computador, se emulan las actividades o procesos con el objeto de estudiarlo científicamente a través del establecimiento de relaciones con el fin de evaluar las características reales del modelo y anticipar la respuesta del sistema ante los cambios (Martínez, 2011). La simulación permite realizar una

estimación del desempeño del sistema bajo condiciones controladas y de esta forma poder estudiar las alternativas de operación, manteniendo el control de algunas de las condiciones experimentales.

La simulación se ha aplicado a problemas tan diversos como los análisis financieros, las líneas de espera (M.Portilla, 2010) los sistemas de producción (Sánchez y Ceballos (2014); Y. López et al (2011)), sistemas de inventarios (Montenegro (2011); Arzac et al (2011)) comunicación y transporte, etc. Sin embargo, no se reporta en la literatura la implementación de la simulación para el cálculo de operadores óptimos, lo cual es una importante línea de trabajo que se pretende abordar en este caso.

Particularmente, este estudio trata sobre la construcción de un modelo de simulación el cual determine la cantidad de recurso humano necesario para el proceso de preselección manual, es decir, un número óptimo de selectores manuales que se adecuen a la cantidad de limón que se procesa y en este sentido incrementar la eficiencia del proceso de exportación de lima persa en general, disminuyendo así algunos desperdicios tales como los tiempos de espera, los retrabajos y los paros del sistema, etc.

Para atender este problema de optimización del número de operadores, este artículo presenta el Constructo Teórico en las siguientes secciones de este documento: la sección dos describe en enfoque teórico que sustenta el desarrollo de un modelo de simulación y la obtención de un número determinado de operadores necesarios. La sección tres plantea el caso de estudio, dentro del cual se caracterizan los términos, variables, y elementos de información que asume la solución para el desarrollo del modelo; y finalmente, una sección de conclusiones.

2. Desarrollo

2.1 Método

Es evidente que para la elaboración apropiada de un modelo de simulación es imprescindible la utilización de una serie de pasos secuenciales, los cuales proporcionen la información requerida para la construcción de dicho modelo. En la figura 2.1 se muestra la metodología empleada para la simulación de este proceso.

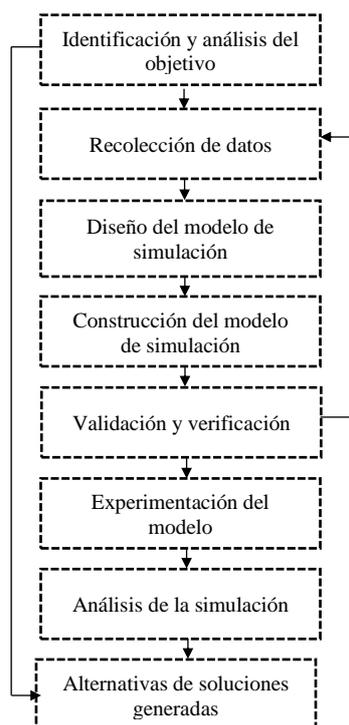


Figura 2. 1 Metodología para la simulación de un sistema. Fuente: Elaboración propia a partir de (Cadavid & Henao,2007; Belda, 2009)

2.1.1 Identificación y análisis del objetivo

Se define plenamente el sistema que se estudiará, en este caso, se pretende modelar el proceso de pre-selección manual, que forma parte del proceso de producción de una empresa exportadora de limón persa ubicada en el municipio de Martínez de la torre, Veracruz. También se debe identificar variables que describan el comportamiento del proceso y proporcionen la información cuantificable necesaria; Éstas son los elementos que definen el comportamiento del sistema y que son relevantes para su funcionamiento, con las cuales éste es

representado de manera genérica. Se puede establecer tres tipos de variables como son las mencionadas por (Calderón, 2003).

Particularmente en este estudio, las variables exógenas “*independientes o de entrada*” (tales como el volumen de limón que ingresa al proceso de pre-selección), las variables endógenas “*dependientes o de estado*” (como el volumen de limón procesado o seleccionado y el número de operadores), las variables de salida (el volumen de limón con calidad de exportación), los atributos, las interrelaciones existentes, los supuestos (ya que no se pueden reflejar todas las condiciones del sistema), los límites y el objetivo del sistema en estudio, el cual persigue el cálculo del número óptimo de operadores necesarios para el proceso de pre-selección.

2.1.2 Recolección de datos

La recolección de datos suele ser la parte más lenta ya que requiere el tiempo y la atención necesaria para el aseguramiento de la obtención de información confiable, esto con la finalidad de que el modelo se comporte de manera muy similar al proceso de estudio. La veracidad de la información obtenida es vital, debido a que en ella se refleja el éxito de los resultados según la calidad de la información, ya que si la información recolectada no es precisa y no representa el verdadero comportamiento del sistema cualquier alternativa de solución será inválida debido a que se experimenta con un modelo impreciso y distinto al real.

Como menciona Tarifa (2012) La naturaleza y cantidad de datos necesarios están determinadas por la formulación del problema y del modelo. Los datos pueden ser provistos por registros históricos o mediciones realizadas en el sistema real. Los mismos deberán ser procesados adecuadamente para darles el formato exigido por el modelo. Debido a que se solo se presenta un constructo teórico para la construcción del modelo, los datos necesarios relacionados con las variables de entrada, de estado y de salida están en proceso de recolección por la inexistencia de datos históricos. En concreto, debe considerarse el volumen total de limón que ingresa al proceso de pre-selección manual, también el número de operadores (*selectores*) procesaron dicho volumen de limón, así como el volumen de limón con calidad de exportación en sus calibres (110,150,170,200,230,250) respectivamente.

Para los tiempos de procesamiento es necesario realizar mediciones cronométricas del tiempo de duración del limón durante el proceso de pre-selección, el método que se pretende emplear para esto es marcar con una etiqueta un limón y contar el tiempo que dura desde la entrada hasta la salida del proceso durante todas las repeticiones. Posteriormente se estimará el tamaño de muestra que sea representativa de la población total, para éste caso en especial la técnica de muestreo adecuada es probabilística y el tipo de muestreo de tipo aleatorio sin replazo. Diremos que un muestreo es aleatorio cuando, el proceso de selección de la muestra garantice que todas las muestras posibles que se pueden obtener de la población tienen la misma probabilidad de ser elegidas, es decir, todos los elementos de la población tienen la misma posibilidad de ser seleccionados para formar parte de la muestra (Barreiro, 2011).

2.1.2.1 Balance de entradas y salidas

Una consideración relevante para el cálculo del número óptimo de operadores, es el volumen de limón que espera ser procesado por dichos operadores, si bien, se conoce el volumen de limón que ingresa al sistema debemos considerar la pérdida de volumen tras el transcurso del proceso. Dado que el proceso es continuo se estableció un modelo de balance de materiales o balance de entradas y salidas.

La ecuación 1. Representa el volumen de limón que ingresa a cualquier parte del proceso cuando este es continuo.

$$Vol. Entrada_i = V_T - \sum_{i=1}^{n-1} P_i \quad Ecuación 1.$$

Dónde:

i = Cualquier proceso del sistema K .

P_i = Pérdida de volumen del proceso i

V_T = Volumen total que ingresa al sistema

En la Ecuación 2. Se representa el volumen de limón que sale del proceso;

$$Vol. Salida_i = V_T - \sum_{i=1}^n P_i \quad Ecuación 2.$$

Obsérvese que la diferencia entre ambas ecuaciones radica en su resultado obtenido, el cual se ve afectado por el número de P_i (Pérdida de volumen del proceso i) en la sumatoria. De esta forma se tiene una idea aproximada del volumen de entrada y de salida en particular del proceso en el caso de estudio.

2.1.3 Diseño del modelo de simulación

En el diseño del modelo es donde se aterriza la información recolectada dentro de una combinación que constituirá un reflejo de la esencia del sistema de pre-selección, así como de los cambios deseados en los parámetros y variables para ver los distintos escenarios de éste (Pérez, 2007).

Una de las principales razones para enfocar el estudio al proceso de pre-selección manual es debido a que cuenta con el mayor número de operadores de todo el proceso, además de que es el filtro principal para el limón que cuenta con los estándares de calidad para exportación, es decir, la cantidad de limón que se exporta es aquella que fue aprobada por dicho filtro y se consideró que cumplía con las características adecuadas, como tamaño, color, estado, etc.

Para la construcción del modelo se consideró el software de ARENA 14.5® por su practicidad y fácil manejo para la simulación de procesos industriales, en la Figura 2.2 se observa parte del diagrama SIPOC correspondiente al proceso de exportación de lima persa, en él, se muestra la parte en estudio del proceso y sus características. En la Figura 2.3 se muestran los elementos del sistema correspondiente al proceso de pre-selección manual.

Supplier Proveedor	Input Entradas	Process Proceso	Output Salida	Customer Cliente
La empresa divide a los proveedores de limón en 13 lotes diferentes.	Limón persa de primera, segunda y tercera de acuerdo a su calidad.	Recepción de Materia prima	Limón clasificado por lotes de proveedor.	Vaciadora con elevador (Vaciado del limón reja por reja por lote de proveedor).
Área de recepción de materia prima	Limón clasificado por lotes de proveedor (de acuerdo al lote perteneciente).	Vaciadora	Limón libre de contaminantes físicos como (hojas, ramas, astillas de madera, etc).	Calibrador Mecánico (1) (Clasificador de limón de acuerdo a su respectivo calibre 110, 150, 170, 200, 230, 250).
Vaciadora con elevador	Limón libre de contaminantes físicos. (hojas, ramas, astillas de madera, etc).	Calibrador mecánico (1)	Todas las calidades, calibres 110, 150, 170, 200, 230, 250 excepto 275 (limón Torreón) y terceras (limón de mercado nacional).	Mercado nacional :Jugueras CITROFRUT Y CITREX, taquerías y comerciantes Preselección manual (Eliminación de la fruta que NO cumple con calidad de exportación).
Calibrador mecánico (1)	Limón de calibre 110, 150, 170, 200, 230 y 250 excepto 275 (limón Torreón), libre de contaminantes físicos.	Preselección	Limón de primera y segunda calidad, calibre 110, 150, 170, 200, 230 y 250, libre de terceras.	Área de lavado con rodillos y detergente biodegradable aprobado por la EPA (Environmental Protection Agency).
MAQUIMEX (Especialistas de soluciones químicas) Preselección	Limón de primera y segunda calidad. Detergente biodegradable	Lavado	Limón de primera y segunda calidad limpio.	Tina de sanitizado por inmersión en agua clorada (Hipoclorito de sodio 100-200 ppm)
Área de lavado	Limón de primera y segunda calidad (cepillado y lavado). Hipoclorito de sodio	Sanitizado	Limón de primera y segunda calidad, (cepillado, lavado, desinfectado).	Área de secado con rodillos (Escurreamiento y absorción de agua).
Tina de sanitizado	Limón de primera y segunda calidad (cepillado, desinfectado).	Secado con rodillos	Limón de primera y segunda calidad, (cepillado, lavado, desinfectado y escurrido).	Área de secado con ventiladores (secado de la humedad con ventiladores).

Figura 2. 2 Parte del diagrama SIPOC, proceso de producción " Exportadora San Gabriel S.A de C.V"

Fuente: Elaboración propia

Es importante mencionar que el proceso que antecede al de pre-selección es un calibrador mecánico (1) y el posterior es el proceso de lavado, sin embargo, por fines de simplicidad es conveniente simular solo el proceso de interés, en este caso es el de pre-selección manual para la obtención del número óptimo de operadores en este proceso. La importancia de este proceso es crucial en el efectivo funcionamiento del sistema en general, es decir, es el filtro principal para el limón que cumple con las características de exportación y el de venta nacional o terceras, es aquí donde se evalúa si el limón es apto para seguir siendo procesado por los siguientes procesos generando un costo representativo para la empresa.

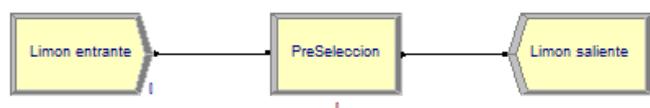


Figura 2. 3 Modelo inicial del proceso de Pre-selección manual

Fuente: Arena 14.5, elaboración propia.

2.1.4 Validación del modelo de simulación

Validación y verificación consiste en despejar todas las dudas que se tengan respecto a la credibilidad del diseño del modelo en comparación con el sistema real, el programa y su funcionamiento (C. Ojeda et al., 2014).

Para realizar un juicio adecuado sobre la veracidad de los datos recolectados y del modelo es necesario realizar una prueba de sensibilidad. Este análisis se puede realizar mediante un DSA (Análisis de sensibilidad diferencial) y un MCSA (análisis de sensibilidad de Monte-Carlo) agregando robustez y credibilidad al modelo (J. San Isidro, 2012).

2.1.5 Experimentación del modelo de simulación

En la etapa de experimentación, se deciden las características de los experimentos a realizar: el tiempo de arranque, el tiempo de simulación y el número de simulaciones. Se busca experimentar o evaluar diversos comportamientos o escenarios del sistema con el fin de comparar los que presentan los mejores resultados de acuerdo al objetivo planteado inicialmente. Herrera (2014) Menciona que es importante en este paso establecer indicadores de desempeño con los cuales realizar las comparaciones de los diversos escenarios y así tener un criterio objetivo de selección de la mejor opción.

Una vez listas dichas características se realizan las simulaciones correspondientes, cambiando y alterando las variables que están involucradas en el modelo, como en este caso; las variables de entrada, la cuales representa el volumen de limón que ingresa al proceso de pre-selección, la velocidad de la línea y el número de operadores necesarios para procesar o clasificar un determinado volumen de limón.

2.1.6 Análisis de la simulación

Esta etapa es muy importante para el cumplimiento del objetivo principal, puesto que en ella se lleva a cabo el análisis de los resultados del modelo de simulación, se analiza e interpreta la sensibilidad con respecto a los parámetros que son representativos o generan un alto impacto en el resultado global. Es importante mencionar que el tipo de simulación que se esté llevando a cabo determina el carácter y requerimiento para la recolección de datos así mismo para el análisis de resultados. En este sentido se sabe que el tipo de simulación para el cálculo de operadores óptimos en el proceso de pre-selección es de tipo comparativa debido a que se busca encontrar la diferencia que hay entre dos o más corridas, y en cada una de estas corridas se cambian los valores de las variables de decisión.

2.1.7 Alternativas de solución generadas

Una vez realizados los análisis pertinentes y la presentación de los informes correspondientes, es necesario que se tomen decisiones alineadas con el objetivo en estudio, en éste caso el cálculo del número óptimo de operadores para seleccionar un volumen determinado de limón entrante al proceso de pre-selección, es decir, a cierto volumen de limón que entra al sistema será asignado un número óptimo de operadores capaces de realizar la clasificación adecuadamente, manteniendo o en su caso aumentando el rendimiento del limón en la salida del proceso con un número exacto de operadores para llevar a cabo dicha operación. Sin embargo, para la implementación de éstas alternativas de solución deben tomarse en cuenta las siguientes consideraciones.

- Los costos en los que incurrirá ejecutando los cambios que fueron sugeridos por parte del modelo de simulación, traducidos en:
 - *Mano de obra involucrada.*
 - *Posibles retrasos de la operación por motivo de los cambios.*
 - *Capacitación o entrenamiento al personal acerca del nuevo proceso.*
- El tiempo que tardará en realizar los cambios propuestos.
- El tiempo estimado de retorno de la inversión.

3. Resultados

Planteamiento del Caso de Estudio:

El presente caso de estudio atiende un problema relacionado con el número de operadores que se encargan de la clasificación de limón persa en el proceso de pre-selección manual en una empresa dedicada a la exportación y comercialización del fruto, con destino a Estados Unidos, Europa y Japón. Ésta se encuentra ubicada en la ciudad de Martínez de la Torre, Veracruz-México, cuenta con una línea de producción con una capacidad de producción de 5 toneladas/hora, y un arribo promedio de 40 toneladas diarias. Es debido la expansión de su mercado, se encuentra buscando la manera de aprovechar el recurso humano (*operadores*) dentro de sus procesos más importantes y con más incidencia de factor humano.

Es así como nace la necesidad de determinar el número óptimo de operadores para el proceso de pre-selección, con la finalidad de aprovechar el recurso humano y con ello reducir tanto los costos por mano de obra, como alguno de los desperdicios generados, tales como: tiempos de espera, sobre procesamiento, y retrabajos. Sin embargo, para poder determinar la cantidad de óptima de operadores es necesario realizar diferentes pruebas y repeticiones debido a la naturaleza estocástica del proceso, por lo cual se hará uso de un modelo de simulación que represente el sistema real en estudio y poder realizar las variaciones adecuadas que proporcionen la información acerca del número óptimo de selectores manuales.

Por lo anterior, el modelo de simulación busca realizar pruebas en múltiples escenarios, las cuales reflejen el comportamiento de las variables de salida relacionadas con el volumen de limón que cumple con los estándares de calidad para exportación en sus respectivos calibres, además de revelar el impacto que tiene el número de operadores sobre el volumen de entrada, y en este sentido determinar el número óptimo de ellos para volver más eficiente la selección manual de limón.

Términos y variables

V_T = Volumen total de limón que ingresa al sistema.

n_o = Número de operadores en el proceso de pre-selección.

V_S = Volumen total de limón que sale del sistema con calidad de exportación.

$V_{s, \text{calibre}}$ = Volumen de limón que sale del sistema en su respectivo calibre.

P_i = Pérdida de volumen de limón en el proceso i . $i=1,2,3,4$

1=Vaciadora

2=Calibrador mecánico (1)

3=**Pre-selección manual**

4=Lavado

V_{Ei} =Volumen de limón que entra al proceso i . $i=1,2,3,4$

V_{Si} = Volumen de limón que sale del proceso i . $i=1,2,3,4$

4. Conclusiones

Debido a la naturaleza estocástica del proceso es importante asegurar la veracidad de la información recolectada para que los resultados obtenidos sean confiables y describan el verdadero comportamiento del sistema real. Una vez obtenida dicha información, es posible calcular el tamaño de muestra representativa de la población total y de ésta forma poder realizar las variaciones y pruebas necesarias a las variables establecidas para el modelo.

Tras la interacción de las variables relacionadas con los volúmenes de entrada y salida del sistema, se prevé obtener las variaciones correspondientes a la variable de estado (*número de operadores*), lo cual proporcione un estimado del número de operadores necesarios para clasificar un volumen determinado de limón, así hasta encontrar un número óptimo de selectores manuales para cada cantidad de limón que ingrese al sistema, sin afectar de manera negativa al rendimiento final del limón.

Los autores extienden un agradecimiento al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo de la beca académica para los estudios de la Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, otorgado al Ing. Arturo González Ávila, Ing. Jenny Besiche Barranco autores de esta investigación.

5. Referencias

- Barreiro, J. P. (2011). *Población y muestra. Técnicas de muestreos. Management Mathematics for European Schools*.
- C. Ojeda et al. (2014). *Análisis de sensibilidad paramétrica del proceso de producción de ciclo - trimetileno-Triamina. Información Tecnológica*.
- García F., S. J. (2015). *Cálculo de número óptimo de simulaciones Simulación de sistemas para administración e ingeniería*.
- Garijo. (2014). *La importancia de los recursos humanos en la eficacia de la empresa. Ciencias empresariales y de trabajo*.
- Gelves, T. M. (2010). *Uso de la simulación como recurso digital para la transferencia de conocimiento*. Apertura.
- Herrera, B. (2014). *Diseño general de las etapas de simulación de procesos con énfasis en el análisis de entrada. "Excellence in Engineering To Enhance a Country's Productivity"*, 10.
- Hillier, Liberman. (2004). *Introducción a la investigación de operaciones. México: McGraw-Hill*.
- J. San Isidro. (2012). *Proceso de validación de modelos de simulación*. Informes Técnicos Ciemat, 72.
- M.Portilla, L. S. (2010). *Análisis de líneas de espera a través de teoría de colas y simulación*. Scientia et technica.

- Mancilla, A. (1999). *Simulación. Herramienta para el estudio de sistemas reales*. Ingeniería Y Desarrollo, Universidad de Norte. 6, 104-112.
- Martinez, L. (2011). *Aplicación de modelos de simulación en el estudio y planificación de la agricultura, una revisión*. Tropical and Subtropical Agroecosystems, 14.
- P. Sánchez, F. C. (2014). *Análisis del proceso productivo de una empresa de confecciones: Modelación y Simulación*. Ciencia e Ingeniería Neogranadina.
- Pérez, J. F. (2007). *Queuing Analysis for the Design of a Cafeteria Using Discrete-Event*. Revista de ingeniería. Universidad de los andes (25), 12-21.
- Tarifa. (2012). Teoría de Modelos de Simulación. Universidad nacional de Jujuy.
- Walpole, M. &. (1999). *Probabilidad y estadística para ingenieros*. 6ª. Edición. Prentice may. México. 6ª. Edición. Prentice may. México.

6. Notas Biográficas

El **Ing. González Ávila Edwin Arturo**, es estudiante del programa de postgrado de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz, México. Mail: Earturoga@hotmail.com

La **Ing. Besiche Barranco Jenny**, es estudiante del programa de postgrado de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz, México. Mail: Jennybesicheb@outlook.es

El **M.I.A. García Santamaría Luis Enrique**, es Profesor Investigador del área de licenciatura e investigación del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. Mail: legarcias@itsm.edu.mx

Determinación de modo de transporte para distribuir mercancías, apoyado con Lógica Difusa

Martha Aurea Salazar Castellanos, Ing¹.

Martha Aurea Salazar Castellanos, Ingeniero Industrial, estudiante de tercer semestre de la Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz., thamareau@hotmail.com, (01) 2351035653

Resumen— En este artículo se determina la flota vehicular para la distribución de bebidas gasificadas de la empresa “El Original de Tehuacán”. Un Diagrama Causal ayuda a determinar cuatro variables de estudio, con las cuales se diseña un Soporte de Decisión apoyado de la Lógica Difusa: Carga a transportar, Distancia a recorrer, Número de clientes, y el Tiempo de distribución. Los resultados muestran que el Soporte de Decisión, apoyado con Lógica Difusa simplifica el proceso de decisión para elegir el modo de transporte cuando existe conflicto entre el tamaño de carga a transportar y el número de clientes por atender. Merece la atención en trabajos futuros la inserción de nuevas variables a este Sistema de Soporte a la decisión como lo es la prioridad de las rutas relacionado con ventanas de tiempo para la distribución del producto.

Palabra(s) clave— *Lógica difusa, redes de distribución, maximización de carga, modo de transporte.*

Abstract— This article is determined the vehicle's fleet for the distribution of carbonated beverages of "El Original de Tehuacán" Company. A Causal Diagram helps to determine four study variables, with which is designed a support of the Fuzzy Logic Decision based in: Load to carry, Distance to be traveled, Number of clients, and Distribution Time. The results show that Decision Support, based by Fuzzy Logic simplifies the decision process to choose of transporting mode when there is a conflict between the load size and the number of clients to be served. Deserves attention the insertion of new variables to this System of Support in future works as well the decision to priority of the routes related to the time windows for the distribution of the product.

Keywords – *Fuzzy Logic, Distribution Network, Load Maximization, Transporting Mode.*

8. Introducción.

La cadena de suministro tiene como objetivo principal satisfacer competitivamente al consumidor; desde el cumplimiento de los requerimientos del cliente hasta la entrega del producto o servicio, así será posible lograr que las compañías no fracasen y se mantengan exitosamente en el mercado, esto de acuerdo a Hernando Camacho (2012). En este caso, nos centramos en uno de los eslabones de la cadena de suministro: Distribución.

Toda empresa comercializadora encargada de realizar la distribución de artículos particulares a sus clientes tiene que tener planteados los objetivos para cumplir y mantener su competitividad en el mercado, entre ellos, engrandecer el nivel de satisfacción del cliente, mejorar la velocidad de respuesta en los bienes y/o servicios y reducir los costos inmersos en el proceso de distribución.

Una red de distribución tiene como objetivos obtener el menor costo total asociado a transporte, menor distancia recorrida, menor tiempo de distribución, así como maximizar el tamaño del lote vehicular, aumentar las ventas, y en algunos casos ampliar la zona de mercado, todo esto sujeto a los requerimientos de la organización o el caso de estudio en particular, así lo menciona Rocha Medina (2011).

Actualmente, con el desarrollo de los avances tecnológicos se han incrementado las técnicas y metodologías para optimizar y agilizar la cadena de suministro, muchas empresas aún siguen diseñando sus rutas de manera empírica, sin manejar alguna de las herramientas de análisis o apoyo para determinar la cantidad de carga total a llevar en determinada ruta de distribución.

La lógica difusa o lógica borrosa fue planteada por el ingeniero norteamericano Lotfi Zadeh, quien desarrollo algoritmos aplicables a electrodomésticos volviéndolos autosuficientes en las actividades involucradas en la rutina. Antonio Sánchez, 2013.

Martín Arango (2008) menciona que la teoría de los conjuntos difusos ha motivado el mayor alcance de las estructuras matemáticas acordes a los sistemas lingüísticos que se relacionan con la toma de decisiones. Expresiones como “muy importante” o “menos relevante” se pueden formular matemáticamente bajo las condiciones de la lógica difusa, con el fin de dar soluciones a problemas de decisión en el mundo real. Fernanda Ávila, 2013.

El presente trabajo presenta la utilización de Lógica Difusa para decidir el vehículo que tiene que ser seleccionado para abastecer la demanda de las diferentes rutas de distribución de una empresa refresquera, tratando

de maximizar la capacidad de carga y a su vez minimizar los gastos de distribución. Este método permitirá enfocarse en las características que lleguen a presentar el decidir la mejor opción vehicular de acuerdo a algunas variables de entrada; la distancia por recorrer, el peso total de la carga, el número de clientes por ruta, el tiempo de distribución, por mencionar algunas, que en algún momento llegan a tener una interacción que se vuelve incierta. Los resultados arrojados por el modelo ayudarán a determinar cuál será el vehículo de transporte adecuado que permita llevar la carga definitiva a cualquiera de las cinco rutas definidas para evitar dobles recorridos. El modelo se construye en MATLAB® 7.10.0 (R2010).

9. Caso de estudio.

Para la formulación del modelo matemático se recolectaron datos de las rutas de distribución que pertenecen a una empresa comercializadora de bebidas gasificadas, su centro de distribución se ubica en la ciudad de Misantla, Veracruz, cuenta con 5 rutas de distribución recorriendo más de 25 ciudades municipio y comunidades cercanas a la cabecera municipal. También se tienen los datos de distancia entre cada punto de abastecimiento, distancia total de las rutas y por último las demandas de cada cliente obtenidas por el historial de compra-venta.

Cabe mencionar que el objetivo que se persigue particularmente es determinar el modo de transporte. Para determinar con mayor precisión cada una de las variables que afectan el estudio, se construyó un Diagrama Causal, el cual de manera visual muestra la relación que existe entre dichas variables. El diagrama se muestra en el Figura 1, demostrando la interrelación que existe entre las variables determinadas.

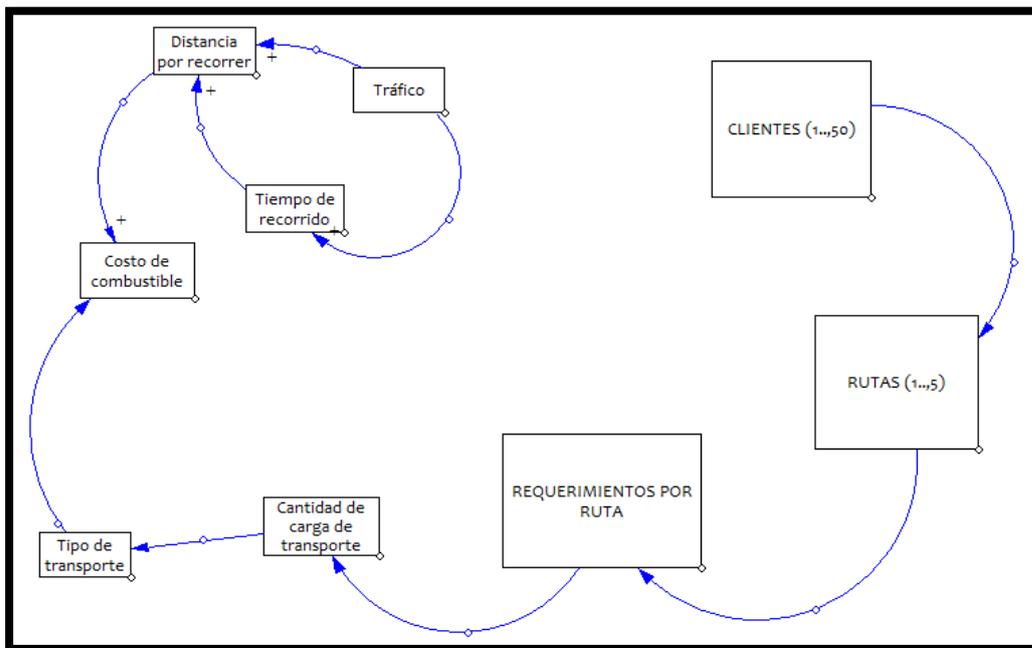


Figura 1: Interacción de variables y/o factores en la distribución de mercancías.

10. Metodología

10.1. Planteamiento del Problema.

En la distribución de mercancías, intervienen muchos factores que pueden afectar la entrega de los productos a los consumidores, esto es un problema común en las empresas dedicadas a la distribución logística y comercial los cuales se pueden estudiar y simplificar en representaciones matemáticas que ayudan a asemejar la necesidad real buscada por las empresas; minimizar los costos asociados con el abastecimiento desde los requerimientos solicitados por los clientes hasta su entrega final.

Es por ello que se pretende hacer un modelo matemático apoyado en lógica difusa, que incluya diversas variables de entrada; distancia, tiempo de distribución, número de clientes y cantidad de carga, que muestren los diferentes panoramas que pueden existir para determinar el modo de transporte para determinada interacción entre las variables. La empresa de este Caso de Estudio busca encontrar una manera más conveniente de seleccionar el

tipo de transporte que le ayude a abarcar más puntos de venta, maximizar la capacidad de carga para evitar quedarse sin mercancía para abastecer los puntos de venta.

Se realizó la recolección de los datos necesarios para el modelo, otorgados por la empresa “El Original de Tehuacán”, entre ellos los costos por transportar cada uno de los artículos que se tienen en el mercado siendo 11 productos diferentes, presentados en el mercado en paquetes de 6 piezas. La Tabla 1 muestra la obtención de los costos unitarios de los productos ofertados, tomando en cuenta que mensualmente se recibe un abastecimiento de 1100 cajas en un vehículo de carga.

En la Tabla 1 el peso por presentación se obtuvo de la multiplicación del peso unitario (kg) por el número de piezas que cuenta la presentación.

Costos por unidad de artículo a transportar					
Producto:	Kilogramos	Presentación (piezas)	Peso por presentación (kg)	Total de cajas por presentación	Costo por unidad (presentación)
Tehuacán sabor 3 litros	3	6	18	1000	\$ 6.75
Tehuacán sabor 600 mililitros	0.6	24	14.4	1250	\$ 5.40
Tehuacán sabor 355 mililitros	0.355	24	8.52	2113	\$ 3.20
Agua mineral 2 litros	2	6	12	1500	\$ 4.50
Agua mineral 600 mililitros	0.6	24	14.4	1250	\$ 5.40
Agua mineral lata 355 mililitros	0.355	24	8.52	2113	\$ 3.20
Agua mineral 355 mililitros	0.355	24	8.52	2113	\$ 3.20
Mix de sabores de 600 mililitros	0.6	24	14.4	1250	\$ 5.40
Agua natural 1.5 litros	1.5	12	18	1000	\$ 6.75
Agua natural 1 litro	1	12	12	1500	\$ 4.50
Agua natural 600 mililitros	0.6	24	14.4	1250	\$ 5.40

Tabla 1.- Costos unitarios de los productos ofertados

En la Tabla 2, se determinó el número total de cajas que abarcan la capacidad total de la unidad de transporte de los pedidos, de cada uno de los productos que distribuye la empresa estudiada.

Costo por unidad de transporte (Torton)	\$ 6,750.00
Contenido del vehículo	1100 cajas
Capacidad de peso	18000 Kilogramos

Tabla 3.- Costo y contenido de pedido mensual

Consecuentemente, para el funcionamiento del modelo, en la Tabla 3 se estimó la demanda de cada ruta, esto basándonos en los datos históricos y una investigación de campo que se realizó durante 6 meses y, por otro lado, el peso total de la demanda por ruta.

	DEMANDA POR RUTA				
	RUTA 1 Palma Sola	RUTA 2 Martínez	RUTA 3 Colipa	RUTA 4 Casitas	RUTA 5 Misantla
Producto 1	16	27	12	25	7
Producto 2	25	20	20	25	20
Producto 3	1	6	1	1	1
Producto 4	6	6	6	10	6
Producto 5	0	15	3	0	5
Producto 6	2	5	2	3	2
Producto 7	0	1	0	0	0
Producto 8	3	10	2	4	2
Producto 9	5	3	3	5	3
Producto 10	2	2	2	7	2
Producto 11	2	6	3	2	3

Tabla 4.- Demanda por ruta (paquetes)

En la Tabla 4, aparecen los pesos de la demanda, por cada producto y los totales por ruta, estos valores servirán para fijar los parámetros del modelo difuso.

PESOS TOTALES POR RUTA					
	RUTA 1 Palma Sola	RUTA 2 Martínez	RUTA 3 Colipa	RUTA 4 Casitas	RUTA 5 Misantla
Producto 1	288	486	216	450	126
Producto 2	360	288	288	360	288
Producto 3	8.52	51.12	8.52	8.52	8.52
Producto 4	72	72	72	120	72
Producto 5	0	216	43.2	0	72
Producto 6	17.04	42.6	17.04	25.56	17.04
Producto 7	0	8.52	0	0	0
Producto 8	43.2	144	28.8	57.6	28.8
Producto 9	90	54	54	90	54
Producto 10	24	24	24	84	24
Producto 11	28.8	86.4	43.2	28.8	43.2
PESO TOTAL POR RUTA	931.56	1472.64	794.76	1224.48	733.56

Tabla 5.- Peso total por ruta

Por último, las Tabla 5 muestra la distancia recorrida en cada ruta, cabe mencionar que solamente aparece el kilometraje de ida.

	RUTA 1 Palma Sola	RUTA 2 Martínez	RUTA 3 Colipa	RUTA 4 Casitas	RUTA 5 Misantla
Distancias	72.8	41.1	21.9	53.6	16.2

Tabla 6.- Distancias por ruta

10.2. Selección de Variables.

Las variables de entrada que se tomarán en cuenta son las se encuentran involucradas en la decisión principal sobre la elección del tipo de transporte a utilizar. Como se ha venido mencionando, el objetivo que se busca es encontrar los diversos panoramas para saber que transporte y cuanta carga de productos se debe de transportar, de manera que se aproveche los espacios en ambos vehículos, cubriendo la demanda correspondiente en las rutas de distribución.

Para ello se encontraron cuatro principales variables de entrada las cuales son determinantes para dar solución a la problemática, en este caso, la variable de salida: tipo de transporte.

- Variables de entrada
 - Cantidad de carga de transporte con rango de 0 a 3 toneladas. En el modelo, esta variable fue ponderada de la siguiente manera:
 - Carga ligera (0 - 0.9)
 - Carga media (0.8 - 1.8)
 - Carga pesada (1.7 - 3)
 - Distancia por recorrer con rango de 0 a 150 kilómetros. Su ponderación es la siguiente:
 - Distancia corta (0 - 45)
 - Distancia media (40 - 100)
 - Distancia larga (90 - 150)

- Número de clientes con rango de 1 a 50 clientes.
 - Pocos clientes (2 - 30)
 - Muchos clientes (25 - 50)
- Tiempo de distribución con rango de 0 a 9 horas
 - Periodo corto (0.5 - 5)
 - Periodo largo (4 - 9)
- Variable de salida
 - Tipo de camioneta con rango de 0 a 3 toneladas.
 - Camioneta 1, una tonelada (0 – 1.5)
 - Camioneta 2, tres toneladas (1 - 3)

10.3. Realización en MATLAB® 7.10.0 (R2010).

Los valores se introdujeron al programa MATLAB® 7.10.0 (R2010)., éste es un software especializado en el análisis de datos, el desarrollo de algoritmos o la creación de modelos matemáticos. A continuación, se mostrará en las ilustraciones el desarrollo del modelo.

Primeramente, en la pantalla de inicio se denota la palabra “fuzzy” esto para llamar la paquetería Toolbox de Lógica Difusa como se aprecia en la Figura 2; aquí es donde se introducen los comandos del modelo difuso. Existen dos opciones de modelos difusos; Mamdani y Sugeno, en cada uno de estos se utilizan reglas de inferencia las cuales son un conjunto de proposiciones IF y THEN que modelan el problema a resolver.

En los modelos Mamdani las reglas de operación están dadas por expresiones lingüísticas, por otro lado, en el modelo Sugeno las reglas de operación son funciones de la variable de entrada que tenga el sistema en un momento dado. En este artículo se utilizó el modelo tipo Mamdani, en donde se comienza a nombrar las variables de entrada (rectángulos amarillos) y la de salida (rectángulo azul) justamente como se observa en la Figura 2, para posteriormente determinar los valores de rango y los parámetros de cada una de las variables de manera particular, los rangos que se manejan tienden a comportarse como una distribución triangular, con un valor mínimo, un máximo y una media (a, b, c).

La Figura 3 pertenece a la variable de Distancia; ésta es medida en kilómetros, con un rango de 0 a 150, y dividido en tres niveles con su respectiva ponderación: Corta (0, 0,50), Media (40, 75, 100) y Larga (90, 150, 150).

En la Figura 4 se muestra la variable cantidad de carga; medida en toneladas, con rango de 0 a 3 toneladas, y también se divide en tres niveles con la siguiente ponderación: Ligera (0,0,0.9), Media (0.8, 1.6, 1.8), y Pesada (1.7, 2, 3, 3). La Figura 5 es de la variable nombrada Número de Clientes ponderada entre los valores de 0 a 50, refiriéndose a personas, esta variable se dividió en dos niveles: Pocos (2,15,30) y Muchos (25,40,50). La variable denominada Tiempo de Distribución se encuentra en la Figura 6, la cual se maneja en horas de trabajo de 0 a 9, se dividió en dos niveles: Corto (0.5, 3,5) y Largo (4.5, 7, 9). Por último la variable de salida llamada Tipo de Camioneta a seleccionar, medida en toneladas, y solamente teniendo dos opciones de respuesta: Camioneta Tipo 1 (0, 0.5, 1.5) y Camioneta Tipo 2 (1, 3, 3).

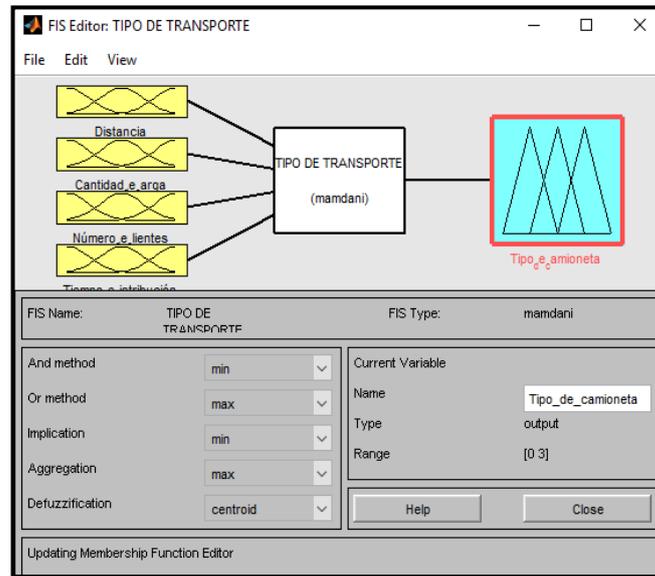


Figura 2: Modelo de Lógica Difusa Mamdani

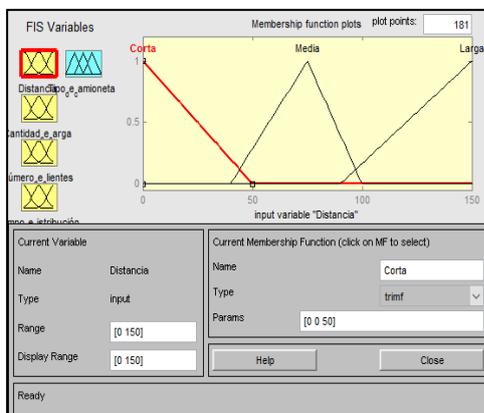


Figura 3: Variable Distancia

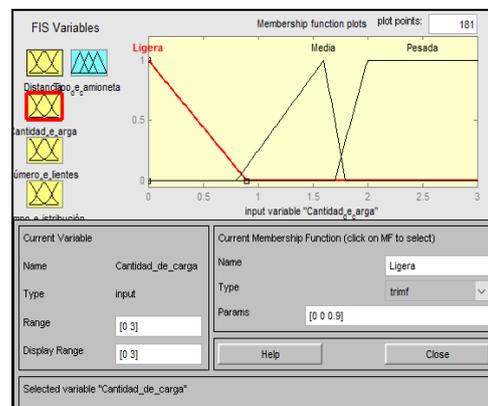


Figura 4: Variable Cantidad de Carga

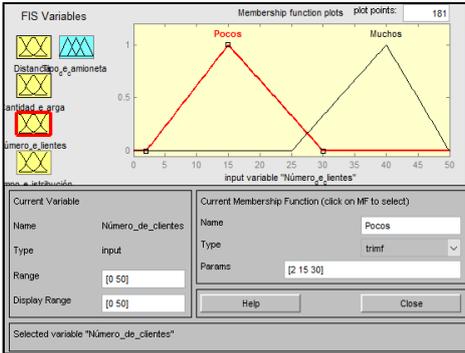


Figura 5: Variable Número de Clientes

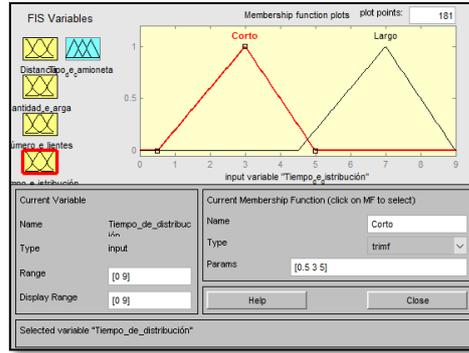


Figura 6: Variable Tiempo de Distribución

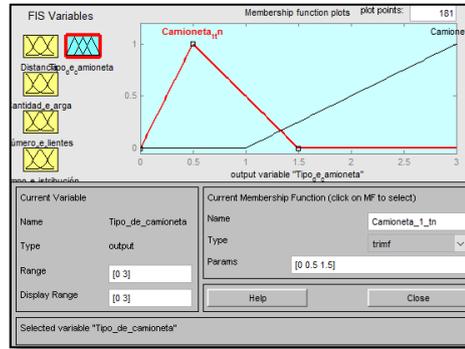


Figura 7: Variable de Salida Tipo de Transporte

Una vez determinados los rangos y niveles de pertenencia de cada una de las variables, se realizaron las reglas de operación, en donde se observan las combinaciones de las variables con sus diferentes límites y rangos. Esto se hace para poder visualizar las interacciones de manera gráfica. La Figura 8 muestra las reglas de operación del modelo trabajado, el cual arrojó 36 reglas o restricciones que son las situaciones de decisión con las que se puede afrontar el administrador.

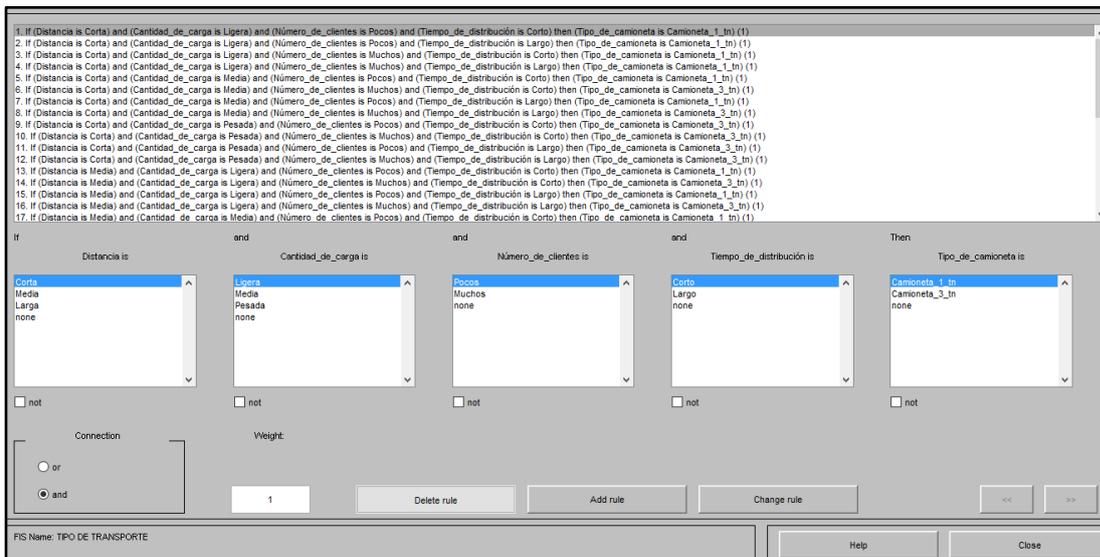


Figura 8: Reglas de Operación.

Por último, se selecciona la visualización del modelo, el cual se observa en la Figura 9 las líneas rojas se pueden manipular para ver el comportamiento de la variable de respuesta de color azul (lado derecho).

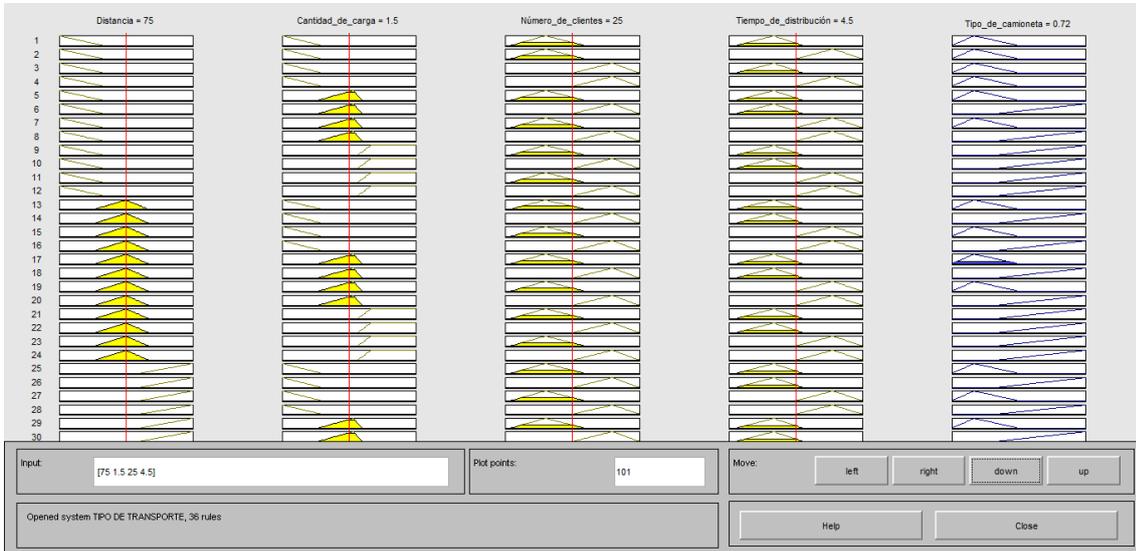


Figura 9: Reglas de Operación Graficadas

Resultados.

La empresa comercializadora de bebidas gasificadas requiere que en este trabajo se aprecien los beneficios de tener un adecuado control en la distribución de sus productos, sabiendo de antemano qué cantidad de producto y en qué vehículo se debe de transportar dicha mercancía.

El modelo de lógica difusa presentado en este trabajo, muestra a las variables y su comportamiento al mover algún valor entre las mismas.

Ejemplo: Se tiene una distancia de 120 kilómetros, la cantidad de carga es 2.1 toneladas, se visitarán 20 clientes y aproximadamente el tiempo de recorrido es de 8 horas, estos valores se introducen en el espacio inferior izquierdo en INPUT como lo muestra la Figura 10.



Figura 10: INPUT Valores de Ejemplo.

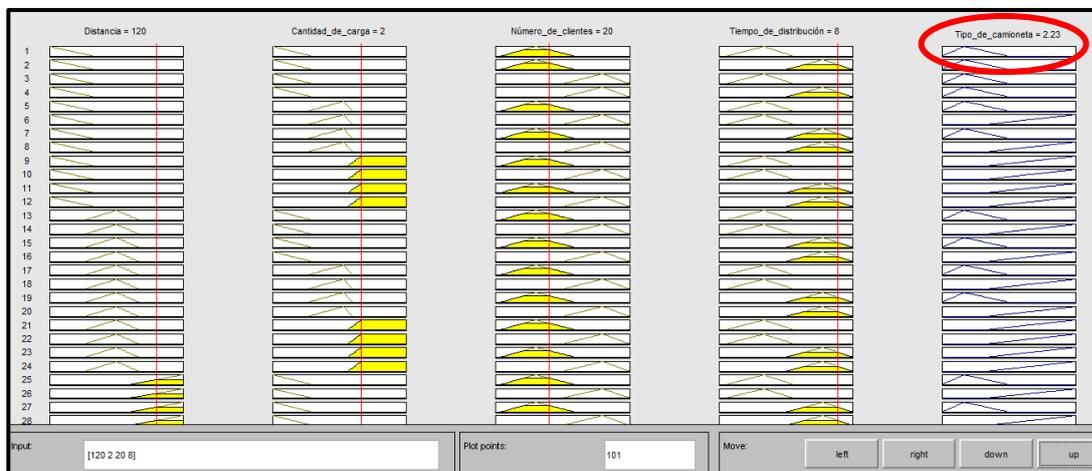


Figura 11: Resultado de Tipo de Transporte

El modelo arroja el resultado de 2.22 como se observa en la Figura 11, lo que significa en este caso, que la opción de transporte adecuada para este ejemplo de combinación de variables es la opción 2: Camioneta de tres toneladas.

Las rutas actuales han dado mucho que desear a la administración; que, por no apoyarse en alguna herramienta de la ingeniería, genera que sus planeaciones no son las adecuadas y consecuentemente los costos son elevados. La investigación realizada muestra las variables y factores que influyen en el proceso de distribución, mostrando algunas holguras en las cuales se pudiesen encontrar otros parámetros u otras variables que sean relevantes para el administrador y se puedan adherir al modelo de manera que se muestren los mejores y/u óptimos resultados.

11. Conclusiones.

Esta investigación permitirá realizar trabajos futuros que ayuden a los usuarios a determinar los diversos panoramas de una problemática en particular para tomar la mejor decisión y que ésta le beneficie y logre cumplir el objetivo del trabajo. El modelo presentado en éste artículo se centró en la decisión de qué transporte elegir, especificando el tamaño de carga de cada uno de los vehículos encargados de la distribución, así como también determinar cuanta mercancía llevar en cada ruta, qué vehículo es más conveniente utilizar para abastecer la demanda y manejar ciertos factores que pudiesen interferir en el trayecto de la ruta de distribución.

12. Agradecimientos.

Como autora de esta investigación hago un reconocimiento al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo con la beca académica otorgada para realizar mis estudios de posgrado de la Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla.

13. Referencias.

- Ávila Swinburn, Fernanda, 2013. *Diseño de un sistema de gestión de demanda basado en lógica difusa para micro-redes*. Universidad de Chile, Facultad de ciencias físicas y matemáticas.
- Cuesta Cuesta, Diego, 2013. *Aplicación de la lógica difusa en redes eléctricas inteligentes Smart Grid*. Revista Vínculos. Volumen 10, Número 2.
- Camacho Camacho, Hernando, 2012. *Importancia de la cadena de suministros en las organizaciones*, Universidad Sergio Arboleda, Bogotá Colombia.
- Godoy Espinoza, Diego 2011. *Desarrollo de un sistema de monitoreo difuso para detectar fugas en un sistema de distribución de líquidos*. Instituto Politécnico Nacional. México D.F.
- Rosso Mateo, Ángel. 2010. *Evaluación del impacto de los vehículos eléctricos en las redes de distribución*. Universidad Pontificia Comillas, Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Madrid, España.
- Escobar Mariana Alexandrovna 2004. *Determinación del nivel de deterioro en líneas eléctricas utilizando lógica difusa*. Universidad de Camaguey, Cuba.
- Arango Serna, Martín Darío, 2008. *Applicability of fuzzy logic to supply chains*. Escuela de ingeniería de la organización, sede Medellín Colombia.
- Wesley F. Usida, 2008 *Control Fuzzy para la mejora del perfil de tensión en sistemas de distribución de energía eléctrica*. Escuela de ingeniería de San Carlos, Brasil.
- Duarte, Oscar 2000. *Aplicaciones de la lógica difusa*. Revista Ingeniería e Investigación Número 45.
- Vidal, C.J. & Goetschalckx, M., 1997. *Strategic production-distribution models: A critical review with emphasis on global supply chain models*. European Journal of Operational Research, 98.

14. Notas bibliográficas

Martha Aurea Salazar Castellanos es Ing. Industrial egresada del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Veracruz, México. Actualmente se encuentra cursando el tercer semestre de la Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla.

Determinación de la confiabilidad de proveedores de Lima persa: Una aproximación desde la teoría de conjuntos difusos.

Martha Yesenia Gerón Fernández Ing.¹, LA. María Teresa Domínguez Bovio².

¹ Martha Yesenia Gerón Fernández, Ing. Industrial, es alumno del Programa de Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. Marthayesenia01@hotmail.com.

² La Licenciada en Administración. María Teresa Domínguez Bovio es el jefe de Recursos Humanos de la Exportadora Limones Mónica S.A. de C.V, Martínez de la Torre, Veracruz. tdominguez@limonik.mx.

Resumen— Este artículo presenta un método de evaluación (ME), utilizando Lógica Difusa. Con 3 variables de decisión relacionadas con calidad de la proveeduría, volumen de la proveeduría y el tipo de demanda que debe atender una exportadora de Lima persa del municipio de Martínez de la Torre en la selección de proveedores. La importancia de calificar al proveedor es identificar qué proveedores demuestran la confiabilidad para atender un pedido en particular requerido por la empresa. Los resultados muestran que el soporte de decisión ayuda a medir la confiabilidad de proveeduría de los productores actualmente registrados en la empresa exportadora. La implementación del diseño fue validada por personal experto encargado del área de producción.

Palabra(s) clave— *Lógica Difusa, Calidad, Producción, Proveedor, Cliente.*

Abstract— This paper presents an evaluation method (ME), using Fuzzy Logic. With 3 decision variables related to quality of supply, volume of supply and type of demand to be served by a Persian Lima exporter from the municipality of Martínez de la Torre in the selection of suppliers. The importance of qualifying the supplier is to identify which suppliers demonstrate the reliability to handle a particular order required by the company. The results show that the decision support helps to measure the reliability of suppliers of the producers currently registered in the exporting company. The implementation of the design was validated by expert personnel in charge of the production area

Key words – **Key words** – *Fuzzy Logic, Quality, Production, Supplier, Customer.*

1. Introducción

El desarrollo de proveedores ha aplicado y desarrollado técnicas, métodos y procedimientos de selección con atributos y variables que se deben evaluar, de acuerdo, al sector de cada empresa, de acuerdo a (Alex,2007). Uno de los métodos más sobresalientes en la actualidad es la Lógica Difusa, en donde se ha considerado de manera general que el concepto de lógica difusa apareció en 1965, introducido por Lotfi A. Zadeh. La lógica difusa ha tenido aplicaciones de suma relevancia en el procesamiento electrónico de datos, en determinadas áreas de conocimiento, a sus enunciados se les asocia valores de verdad que son grados de veracidad o falsedad, mucho más amplios que los meros “verdadero” y “falso”. En un sistema deductivo se distingue enunciados “de entrada” y enunciados “de salida”. El objetivo de todo sistema manejador de una lógica difusa es describir los grados de los enunciados de salida en términos de los de entrada. Más aún, algunos sistemas son capaces de refinar los grados de veracidad de los enunciados de salida conforme se refinan los de los de entrada. Por estas propiedades es que ciertos sistemas de lógica difusa aparentan una labor de aprendizaje, y son excelentes mecanismos de control de procesos. Desde el punto de vista tecnológico, las lógicas difusas se encuadran en el área de la llamada Inteligencia Artificial y han dado origen a sistemas expertos de tipo difuso y a sistemas de control automático (Morales, 2002).

La Lógica Difusa es una forma de lógica multivariada, que intenta cuantificar la incertidumbre, permitiendo obtener conclusiones a partir de la información de entrada imprecisa. Esencialmente un sistema difuso es una estructura basada en el conocimiento definida a través de un conjunto de reglas difusas, las cuales, contienen una cuantificación lógica difusa de la descripción lingüística del experto de cómo realizar un control adecuado (Salas, 2005).

A continuación se presenta el diagrama de bloques y los componentes básicos de un sistema difuso en donde los conjuntos clásicos U_i y Y_i son llamados el universo del discurso para U_i y Y_i respectivamente. En particular, $U_i \in U_i$ con $i = 1, 2, 3, \dots, n$ y $Y_i \in Y_i$ con $i = 1, 2, m$ definen las entradas y salidas correspondientes del sistema difuso, en la Figura 2 se muestra el diagrama del sistema difuso (Díaz, 2009).

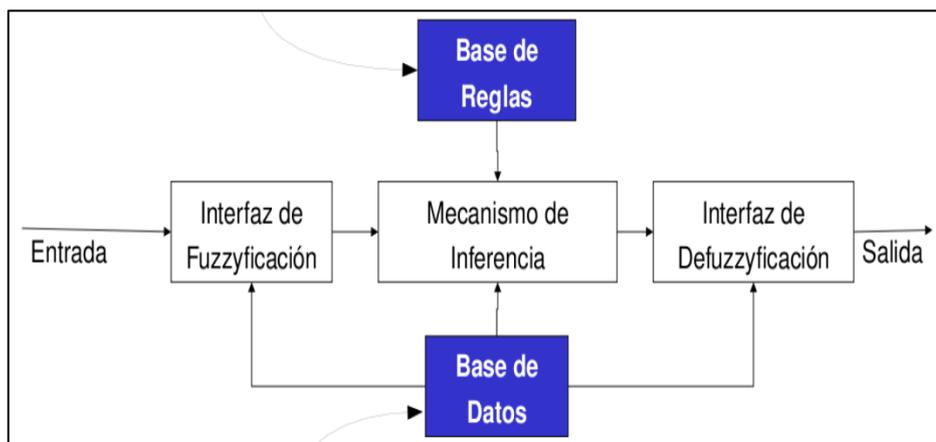


Figura 1: Esquema del controlador difuso.
Fuente: Díaz 2009.

A continuación se detallan los elementos que conforman el Sistema Difuso los cuales son:

-Fuzzyficación: Consiste en una transformación de un dato o de un conjunto clásico a su correspondiente conjunto difuso (asociando los valores de pertenencia) en donde la idea principal es que un elemento forme parte de un conjunto llamado grado de pertenencia. De este modo una proposición no es totalmente (si no parcialmente) cierta o falsa, expresándose mediante un intervalo de $[0,1]$ (González, 2002).

-Mecanismo de Inferencia: El mecanismo de inferencia difusa es el núcleo de cualquier controlador difuso. Su comportamiento dinámico es en general caracterizado por un conjunto de reglas difusas de la en donde A y B son valores lingüísticos definidos por un conjunto difuso en un universo X y Y respectivamente (Martínez, 2010).

-Defuzzyficación: En esta etapa se toma como entrada el conjunto difuso anteriormente obtenido para dar un valor de salida. Existen varios métodos de defuzzyficación, pero probablemente el más ampliamente usado es el **centroide**; que calcula el punto donde una línea vertical divide el conjunto en dos áreas con igual masa.

Dentro de la lógica Difusa se estructuran diferentes formas de membresía las cuales son las siguientes: Triangular, Trapezoidal, Gaussiana y Singleton.

El objetivo de este trabajo es construir un Soporte de Decisión apoyado en Lógica Difusa para el nivel de confiabilidad de los proveedores de una exportadora de Lima persa. El propósito es identificar qué proveedor podrá entregar la fruta en cuanto a la calidad y volumen, requerida por el cliente. El SE ME diseña en el ambiente Fuzzy Tool Box Matlab®.

2. Desarrollo

Se definen cinco etapas para el diseño del ME las cuales son:

- 1) estructura del problema actual.
- 2) el objetivo principal.
- 3) Análisis de las variables.
- 4) Diseño en Lógica Difusa.
- 5) Análisis y resultados.

Para el desarrollo metodológico se interactuó con los expertos en el proceso de lima persa.

Caso de estudio.

Para el desarrollo de este modelo se consideró una línea de producción de lima persa desde la llegada de los proveedores hasta el producto final, en una exportadora del sector cítrico de Martínez de la Torre. En esta exportadora se empaca Lima persa en sus diferentes calidades (primera, segunda y tercera), dependiendo de lo que el cliente requiera. Actualmente en la exportadora existen des-tiempos de embarque, ya que en el área de recepción existe un descontrol al ingresar a los proveedores de lima persa al área de proceso de empaquetado, de acuerdo a las necesidades del cliente. Es por ello que el caso de estudio se centra en diseñar un ME para medir la proveeduría de Lima persa, tomando en cuenta los pedidos del cliente.

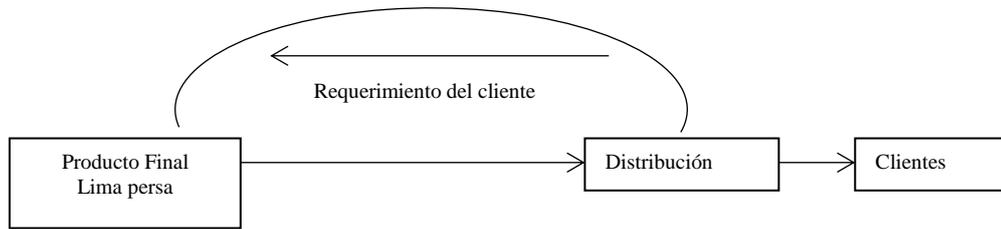


Figura 2: Esquema sobre los requerimientos del cliente.

Construcción del modelo.

La construcción del ME se formula a partir de la aplicación de un análisis causal, dicha elaboración, se basa en la realización del análisis de las variables, donde se reflejan las relaciones entre cada una de ellas, que forman el sistema y decidir que variables son de mayor importancia para el desarrollo de conjuntos difusos, utilizando Fuzzy Tool Box Matlab®, el cual, sirve para el proceso de toma de decisiones en la selección de proveedores de Lima persa.

Se construye un diagrama causal para analizar las variables, orientadas al producto final, utilizando Vensim PLE, como se presenta en la Figura 3.

- (1) los pedidos de embarque de acuerdo con las características que el cliente haya requerido.
- (2) la capacidad de producción.
- (3) inventario disponible.
- (4) decisión de proveeduría en base a su calidad y volumen.

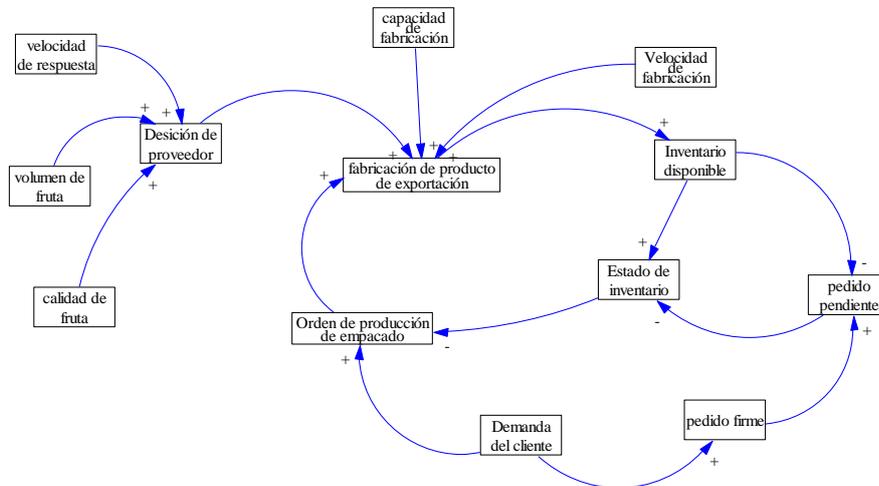


Figura 3: Diagrama causal.

Las principales variables de mayor importancia son las siguientes:

- calidad** de proveeduría de lima persa.
- Volumen** de proveeduría de lima persa.
- Demanda** cliente que la empresa debe atender.

El ME basado en Lógica Difusa se construye para calificar el nivel de confiabilidad de los proveedores de la exportadora de Lima persa, provisto por sus redes físicas, comparándose las diferentes variables. Ambas variables cuentan con un cierto grado de organización, pero su valoración se diferencia en función de la calificación que el experto considera.

El ME permite calificar el nivel de confiabilidad de los proveedores. Cuenta con 3 variables de decisión relacionadas con la calidad de la proveeduría, volumen de la proveeduría y el tipo de demanda que debe atender la exportadora y 1 salida que califica la confiabilidad del proveedor en cada caso particular. La estructura básica se muestra en la Figura 4.

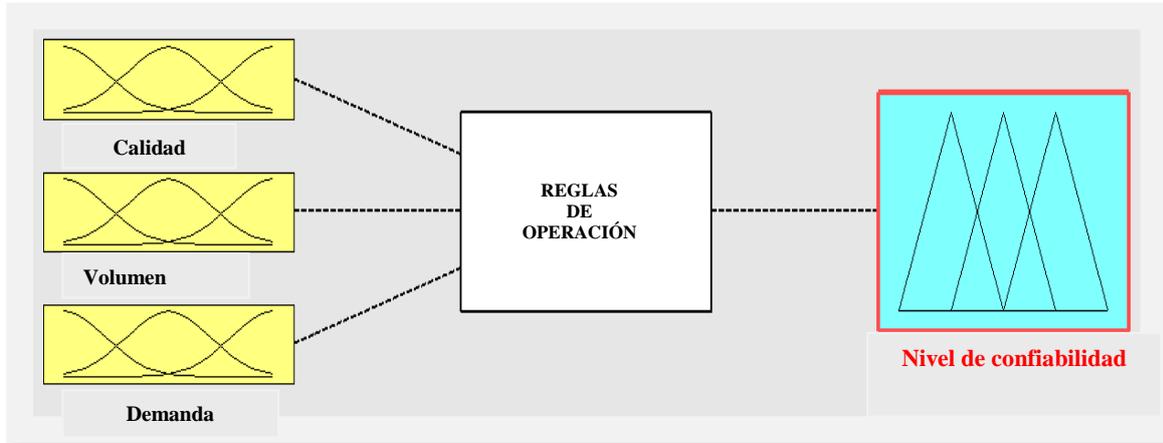


Figura 4: Arquitectura del ME diseñado en Lógica Difusa en Matlab®.

La configuración de las reglas de operación se conformó en función de cada variable. Desde la expectativa del experto se les asignó una etiqueta lingüística estableciendo cadenas lógicas de comportamiento en función de la salida requerida:

- Calidad- [bajo, medio, alto].
- Volumen- [bajo, medio, alto].
- Demanda- [baja, alta].

Cada variable se modela con una función de pertenencia triangular, debido a que se definió el límite inferior, el límite superior y el límite modal, como se describe en la Tabla 1.

VARIABLES DE ENTRADA	PONDERACIÓN A CADA LÍMITE
Calidad	Bajo [0,0,30]
	Medio[10,30,70]
	Alto[50,80,100]
Volumen	Bajo [0,5,15]
	Medio[10,20,30]
	Alto[25,35,40]
Demanda	Baja [0,15,25]
	Alta[20,30,50]

Tabla 1. -Ponderación de las variables de entrada.

Así mismo para la variable de salida se estableció con función de pertenencia triangular en donde se definieron los límites descritos en la Tabla 2.

VARIABLE DE SALIDA	PONDERACIÓN A CADA LÍMITE
Nivel de confiabilidad	Bajo [0,0,30]
	Medio[15,35,50]
	Alto[40,100, 100]

Tabla 2.- Ponderación de la variable de salida.

3. Resultados

Declaradas las variables de entrada, se realizaron las reglas de operación, para definir el resultado de la decisión final, como se muestra en la Figura 5.

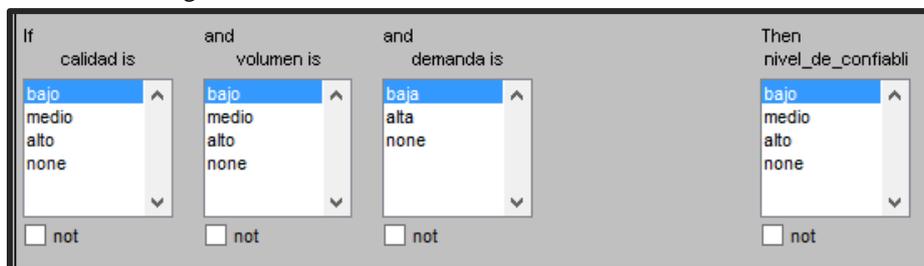


Figura 5: Diseño de reglas de operación de la forma IF-THEN en Matlab®.

Para la interacción de las variables de entrada y de salida, se definen las sentencias If-Then (si...entonces...), llamadas reglas. La parte del If (si) se llama antecedente y contiene una o varias condiciones referidas a si cada una de las entradas del sistema pertenece a tal o cual conjunto difuso.

Mientras que la parte Then (entonces) se denomina consecuente o conclusión y contiene los nombres de los conjuntos difusos a los que deben pertenecer las salidas del sistema si se cumple el antecedente correspondiente. De acuerdo a esta descripción se obtuvo un total de 54 reglas de operación. A continuación se describen sólo 10 reglas de operación, en la Tabla 3.

Reglas de operación

- If (calidad is bajo) and (volumen is bajo) and (demanda baja) Then (nivel_de_confiabilidad is bajo) (1)
- If (calidad is bajo) and (volumen is bajo) and (demanda baja) Then (nivel_de_confiabilidad is medio) (1)
- If (calidad is bajo) and (volumen is bajo) and (demanda baja) Then (nivel_de_confiabilidad is alto) (1)
- If (calidad is bajo) and (volumen is bajo) and (demanda alta) Then (nivel_de_confiabilidad is bajo) (1)
- If (calidad is bajo) and (volumen is bajo) and (demanda alta) Then (nivel_de_confiabilidad is medio) (1)
- If (calidad is bajo) and (volumen is bajo) and (demanda alta) Then (nivel_de_confiabilidad is alto) (1)
- If (calidad is bajo) and (volumen is medio) and (demanda baja) Then (nivel_de_confiabilidad is bajo) (1)
- If (calidad is bajo) and (volumen is medio) and (demanda baja) Then (nivel_de_confiabilidad is medio) (1)
- If (calidad is bajo) and (volumen is medio) and (demanda baja) Then (nivel_de_confiabilidad is alto) (1)
- If (calidad is bajo) and (volumen is bajo) and (demanda baja) Then (nivel_de_confiabilidad is bajo) (1)

Tabla 3.- Ponderación de la variable de salida.

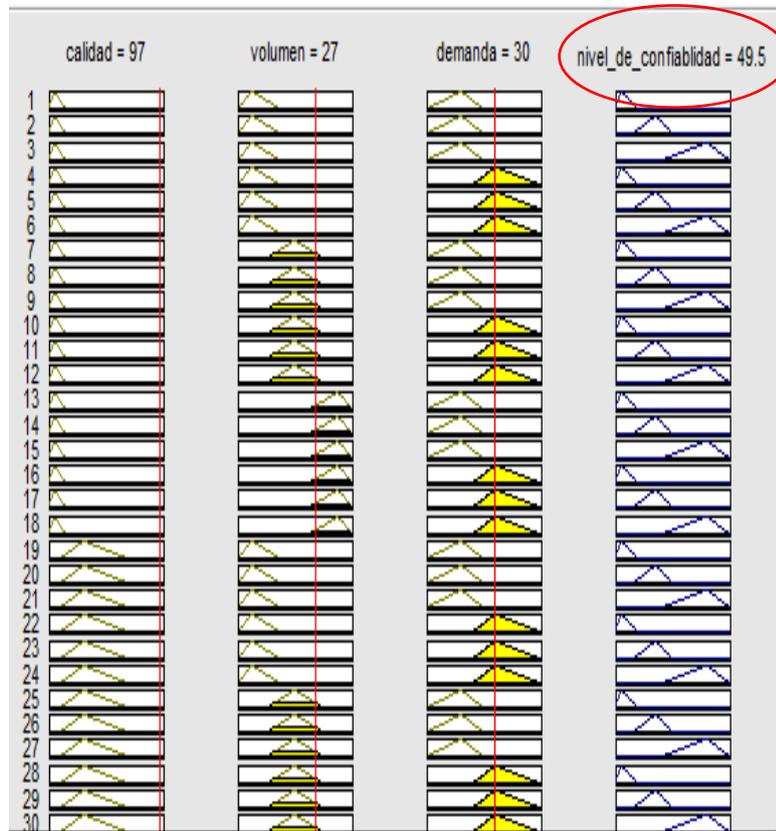
Para demostrar la utilidad del ME, se evaluaron 5 proveedores de una exportadora de Lima Persa. Se determina el nivel de confiabilidad de acuerdo a las reglas de operación de los conjuntos difusos. Los valores de calidad y volumen se obtienen de la calificación asignada por los expertos de la empresa, apoyados de un método de jerarquía. Los valores de la demanda descritas con un valor asignado se presenta en la Tabla 4.

Proveedores	Variables de decisión		
	Calidad	Volumen	Demanda
P1	97	27	30
P2	39	30	50
P3	22	22	18
P4	22	40	38
P5	9	30	25

Tabla 4.- Variables de decisión.

Basándose en la Tabla 4, se definió el proceso para el conjunto difuso en donde la entrada es un número dado del análisis multicriterio y la salida es el resultado del nivel de confiabilidad que cada proveedor demuestra para

atender un pedido en particular requerido por la empresa. Utilizando el software Tool Box Matlab®, la Figura 6 muestra un ejemplo de los resultados del nivel de confiabilidad que arrojó sistema del Proveedor 1. Figura 6.



Los datos de entrada con los datos de la salida se describen en la gráfica que se muestra en la Figura 7.

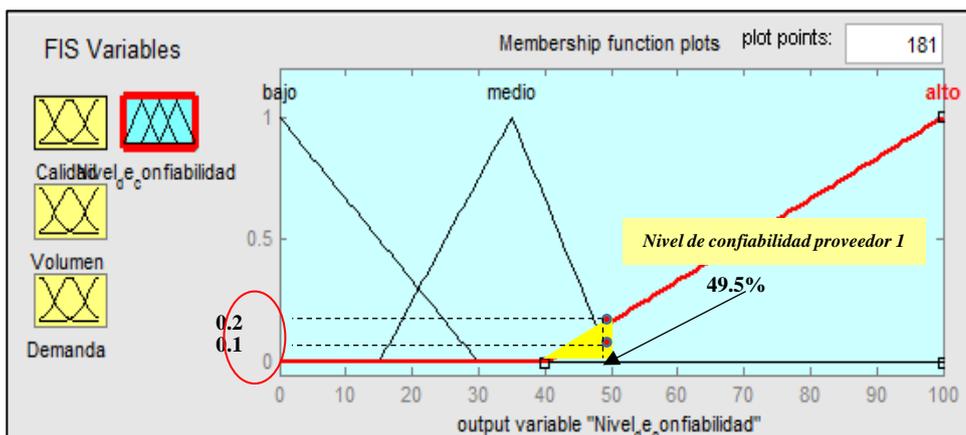


Figura 7: Nivel de confiabilidad difuso del Proveedor 1.

Se observa que el nivel de confiabilidad del Proveedor 1 se encuentra dentro de los niveles de conjuntos difusos medio-alto con un 49.5%, con valores de pertenencia de 0.1 y 0.2 respectivamente. De acuerdo del rango de calificación 0 a 100%, el proveedor tiene una “alta” confiabilidad para atender una necesidad de demanda de 30 toneladas.

En base al ME, el nivel de confiabilidad de los 5 proveedores, como se muestra en la Tabla 5, es de 49% a 50%, para atender una demanda media-alta.

Proveedores	Nivel de confiabilidad
P1	49.5%
P2	50.0%
P3	49.8%
P4	50.0%
P5	49.7%

Tabla 5.- Resultados de los conjuntos difusos del nivel de confiabilidad.

El sistema demuestra una practicidad para poder jerarquizar en importancia a los proveedores objeto de este estudio. Comparado contra el método tradicional basado en la despartiz de los trabajadores de la empresa el resultado de esta priorización, según los expertos, coincide contra el juicio de cada uno de ellos.

Este resultado deja abierto un panorama cierto de proveedores que a juicio de los expertos puede ayudar a resolver el problema de entregas tardías.

4. Conclusiones

La Lógica Difusa permitió codificar el nivel de confiabilidad de diversos proveedores de Lima persa. Los resultados demuestran que es una herramienta capaz de dar respuestas razonables y perceptivas a la realidad. Considerándose que se parte de fuentes tanto objetivas como subjetivas. La Lógica Difusa facilita obtener valoraciones numéricas para cada variable, cuyo valor formaliza una calificación síntesis, correspondiente al rango normalizado por decisor.

La Lógica Difusa implementada considera a cada variable como un conjunto difuso (a partir de establecer variables lingüísticas y grados de pertenencia según los alcances de cada variables de acuerdo con el decisor), y a partir de su grado de pertenencia modifican la calificación final del nivel de confiabilidad, que son, los valores obtenidos en la salida. Los resultados de la salida, decidirá si se acerca al máximo valor(100), representando un valor óptimo en cuanto al alto nivel de confiabilidad, y de nula incidencia degradante a los valores menores (cercasas a 0) correspondiendo a un medio o bajo nivel de confiabilidad de los proveedores.

Dada la gran potencialidad demostrada en la implementación de la metodología de conjuntos difusos y en función de la experiencia obtenida a partir de este trabajo, se obtuvo una nueva visión, en base al nivel de confiabilidad por cada proveedor, para atender los requerimientos de la empresa. Dejando abierto un panorama cierto de proveedores, que, a juicio de los expertos puede ayudar a resolver el problema de entregas tardías.

5. Agradecimientos

Como parte del desarrollo de esta investigación hago un reconocimiento al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por el soporte brindado, de acuerdo a la beca otorgada para la realización de mis estudios de posgrado en la Maestría de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla.

6. Referencias.

- Alex, R. (2007). *Fuzzy point and its application on fuzzy supply chain analysis*. Fuzzysets and systems, 158.
- Arango, M. D. (2008). *Aplicaciones de lógica difusa a las cadenas de suministro*. Avances en sistemas de informática, 10.
- Carlos Discolí, L. D. (2014). *Modelo de calidad de vida urbana. Formulación de un sistema de valoración*. Avances en energías renovables y medio ambiente, 9.
- Díaz, G. A. (2009). *Aplicación de la lógica difusa tipo 2 en una planta didáctica en control de procesos industriales, respecto al flujo de las variables y flujo*. Universidad ICESI, 21.
- Gómez, M. F. (2006). *Modelo para la gestión de proveedores utilizando AHP Difuso*. Estudios gerenciales, 20.
- González, A. (2002). *Lógica difusa: introducción*. Sistema de informática, 29.
- Gómez, E (2010). *Modelo para el ajuste de pronósticos agregados utilizando lógica difusa*. Ingeniería, investigación y tecnología, 12.
- Jimenez, E. (2002). Marco conceptual de la cadena de suministro: un nuevo enfoque logístico Computer science escherweg, 26.
- Martínez, R. (2010). *Borroso para la evaluar los factores que afectan la productividad en las PYME*. Ciencia y tecnología, 9.
- Salas, M. (2005). *Lógica difusa*. Universidad Valparaíso Chile, 5.

7. Notas Biográficas

Martha Yesenia Gerón Fernández es Ing. Industrial por el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Veracruz, México, actualmente se encuentra cursando el tercer semestre de la Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Veracruz, México.

María Teresa Domínguez Bovio es Licenciada en Administración por la UNAM, México, actualmente se encuentra trabajando como Jefe de Recursos Humanos en la Exportadora Limones Mónica S.A. de C.V. de Martínez de la Torre, Veracruz, México.

Diagrama de Influencias para la interacción depredador-presa de las poblaciones bovino -gramínea.

Jenny Besiche Barranco Ing. ¹, M.I.I. Gabriel Grosskelwing Núñez ², Ing. Edwin Arturo Gonzales Ávila³

¹I. Besiche Barranco Jenny, estudiante de la Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. Jennybesicheb@outlook.es

²M.I.I. Gabriel Grosskelwing Núñez, profesor en el instituto Tecnológico superior de Misantla, Misantla, Veracruz, ggrosskelwingn@itsm.edu.mx

³I. Edwin Arturo González Ávila, estudiante de la Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. Earturoga@hotmail.com

Resumen— En este artículo se describe la dinámica de la interacción bovino-gramínea con el objetivo de mantener un control en un sistema de pastoreo en el rancho “San Isidro” en base de un modelo depredador-presa. En este artículo se elaboró el diagrama de influencias que permitirá construir un modelo de dinámica de sistemas. En el diagrama de influencias se describen las interacciones dinámicas que ocurren entre plantas y animales en una situación de pastoreo. Como resultado se definieron las variables que intervienen en el proceso de interacción bovino-gramínea, así como la relación que existe entre ellas y la influencia que ejerce una sobre la otra ya sea positiva o negativa. Estas variables servirán para la construcción del modelo de dinámica de sistemas depredador-presa, este modelo permitirá al administrador del rancho tener un mejor control en el manejo del sistema de pastoreo.

Palabra(s) clave— *Dinámica de sistemas, diagrama de influencias, modelo presa-depredador, interacción gramínea-bovino, sistema de pastoreo.*

Abstract - This article describes the dynamics of bovine-grass interaction with the objective of maintaining a control in a grazing system in the "San Isidro" ranch on the basis of a predator-prey model. In this article the influence diagram was developed that will allow the construction of a system dynamics model. The influence diagram describes the dynamic interactions that occur between plants and animals in a grazing situation. As a result, we defined the variables involved in the process of bovine-grass interaction, as well as the relationship between them and the influence exerted one over the other, whether positive or negative. These variables will be used to construct the dynamical model of predator-prey systems, this model will allow the manager of the ranch to have a better control in the management of the grazing system.

Key words – *Systems dynamics, influence diagram, prey-predator model, grass-cattle interaction, grazing system.*

1. Introducción

La dinámica de sistemas (DS) es una metodología de uso generalizado para modelar y estudiar el comportamiento de cualquier clase de sistemas y su comportamiento a través del tiempo con tal que tenga características de existencias de retardos y bucles de retroalimentación. Los campos de aplicación de la dinámica de sistemas son muy variados, se han utilizado para construir modelos de simulación en casi todas las ciencias. Un área en la que se han desarrollado importantes aplicaciones es la de los sistemas ecológicos y medioambientales, en donde se han estudiado problemas de dinámica de poblaciones (Aracil, 1995). La mayor parte de los estudios sobre dinámica poblacional se centran en el desarrollo de herramientas que permitan predecir la evolución futura de los ecosistemas sometidos a ciertas condiciones, con el fin de introducir técnicas de control en estos (Wilmar & Harold, 2010). En tal dinámica, las poblaciones interactúan de múltiples formas, uno de los tipos de interacción básico es el depredador-presa.

El modelo de Lotka-Volterra (depredador-presa), está basado en el crecimiento logístico y ha sido popularmente utilizado como modelación interespecífica (entre especies) de competencia (Hwang & Lee, 2005), en la que una especie presa y una especie depredadora, comparten un mismo ecosistema, pero supuestamente sólo interactúan entre ambas, sin considerar las otras especies, o sea el modelo parte de la hipótesis de ser un sistema cerrado.

Los sistemas de pastoreo utilizados y controlados por el hombre, desde pastizales intensivos hasta extensas extensiones, pueden considerarse como un caso especial de sistemas de "*depredador-presa*".

Los modelos de simulación de dinámica de poblaciones han sido utilizados en el estudio de las interacciones que se producen en ecosistemas pastoriles naturales desde hace bastante tiempo. Los más simples se basan en el supuesto del crecimiento logístico de la población y a través de la determinación de los coeficientes de dicha

ecuación de crecimiento se infieren aspectos relacionados con el comportamiento de la población (Bonacic & Mcdonald, 2002).

Son diversos los modelos reportados en la literatura que describen la dinámica de las interacciones planta-herbívoro, a través de la simulación de los cambios que se producen tanto en la biomasa de herbívoros como los de los pastizales que son pastoreados (Augustine, D.J et, al, , 1998) siendo similares en su estructura a los también clásicos modelos de dinámica de vegetación-herbívoros desarrollados por Caugley (1976) y estos a su vez son adaptaciones de los modelos *depredador-presa* propuestos por Lotka-Volterra (Thornley & J. France, 2007). A pesar de la simpleza, este tipo de modelos ha sido utilizado en el estudio de la dinámica de poblaciones de ungulados e incluso han incorporado los efectos de depredadores sobre dichas poblaciones (Bayliss & Choquenot, 2002). Algunos de estos modelos han sido modificados con el propósito de incorporar la estructura de edades en la población, así como efectos climáticos y disponibilidad de los alimentos sobre las tasas de natalidad y sobrevivencia de los distintos grupos de edades de los rebaños, para de esa manera dar mayor realismo al sistema simulado.

Un ejemplo de un sistema planta-herbívoro, es la interacción que se da entre la gramínea y el bovino en la cual, la existencia de incompatibilidad entre estas dos especies ha establecido una marcada degradación en los pastos nativos.

En este estudio se realizaron las dos primeras etapas de la construcción de un modelo de dinámica de sistemas de una interacción planta-herbívoro, donde se definió el problema a estudiar y se elaboró el diagrama de influencias que tiene como objetivo analizar las variables que intervienen en el proceso, las relaciones que existen entre ellas y la influencia que se ejerce de forma positiva o negativa de un modelo simplificado, aunque de alguna manera bastante general, de un sistema de pastoreo. Con la finalidad de encontrar las condiciones para que un determinado sistema de pastoreo sea estable a una densidad de ganado constante, y determinar las jornadas de alimentación del ganado bovino recomendables que permitan que la gramínea se regenere o rebrote en un tiempo prudencial.

2. Desarrollo

Método

El proceso de modelado es un proceso iterativo mediante el cual se combinan los distintos elementos conceptuales y operativos que suministra la dinámica de sistemas, para alcanzar como resultado final un modelo aceptable del proceso que estamos estudiando. En este sentido, se dice que el proceso de modelado tiene más de arte que de ciencia, y en él el modelista juega un papel esencial. Entonces el dinamista elabora modelos cualitativos, llamados “modelos de dinámica de sistemas” (Aracil, 1995; Schaffernicht, 2009), y consiste en las 6 etapas que se muestran en la Figura 1.

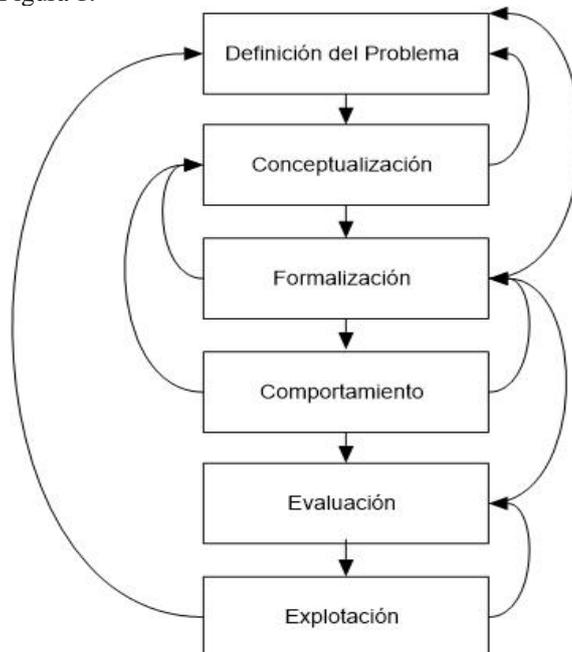


Figura 1. Fases de la construcción de un modelo de dinámica de sistemas

Fuente: Aracil, 1995

Este proceso, consiste, en esencia, en analizar toda la información de la que se dispone con relación al proceso, depurarla hasta reducirla a sus aspectos esenciales, y reelaborarla de modo que pueda ser transcrita al lenguaje sistémico. En el proceso de modelado se pueden distinguir las fases siguientes: *Definición del problema*, en esta fase se define claramente el problema y se establece si es adecuado para ser descrito con los útiles sistémicos que se han desarrollado; *Conceptualización del sistema*, una vez asumida, en la fase anterior, la adecuación del lenguaje sistémico elemental para estudiar el problema, en esta segunda fase se trata de acometer dicho estudio, definiendo los distintos elementos que integran la descripción, así como las influencias que se producen entre ellos. El resultado de esta fase es el establecimiento del diagrama de influencias del sistema; *Formalización*, en esta fase se pretende convertir el diagrama de influencias, alcanzado en la anterior, en el de Forrester. Al final de la fase se dispone de un modelo del sistema programado en un computador; *Comportamiento del modelo*, Esta cuarta fase consiste en la simulación informática del modelo para determinar las trayectorias que genera; *Evaluación del modelo*, en esta fase se somete el modelo a una serie de ensayos y análisis para evaluar su validez y calidad. Estos análisis son muy variados y comprenden desde la comprobación de la consistencia lógica de las hipótesis que incorpora hasta el estudio del ajuste entre las trayectorias generadas por el modelo y las registradas en la realidad; *Explotación del modelo*, en esta última fase el modelo se emplea para analizar políticas alternativas que pueden aplicarse al sistema que se está estudiando. Estas políticas alternativas se definen normalmente mediante escenarios que representan las situaciones a las que debe enfrentarse el usuario del modelo.

1.1. *Definición del Problema*

El caso particular de este estudio se lleva a cabo en el “Rancho San Isidro” ubicado en la localidad de Arroyo Frio perteneciente al municipio de Misantla, Veracruz. El rancho, tiene un total de 40 hectáreas de las que actualmente, utiliza la mayor parte para la crianza de ganado bovino de doble propósito. La mayor parte de los ingresos que se obtienen del rancho, son generados a través de la ganadería. Se tiene actualmente un total de 80 cabezas de ganado, de las cuales 40 son vacas lecheras, se utilizan dos toros para la fertilización por monta natural, las crías hembras se conservan mientras que los machos se venden. Se practica la ganadería de forma tradicional y este es un tipo de ganadería extensiva, por lo que se presentan problemas de insuficiencia de la biomasa vegetal que el rancho produce para alimentar el hato ganadero, esto debido a varios factores que influyen en la producción de pastos, como consecuencia de esto el ganado presenta pérdidas en el peso, la producción de leche, y, por lo tanto, no permite maximizar las ganancias del rancho. Por lo que se realizara un modelo de dinámica de sistemas para estudiar la interacción planta-herbívoro y encontrar estabilidad en el sistema de pastoreo.

En la interacción planta-animal se pueden presentar dos casos: competencia positiva y competencia negativa. En el primer caso, las dos especies se ven beneficiadas por dicha interacción (mutualismo), mientras que el segundo caso solamente una especie se ve beneficiada (presa- depredador). Un caso particular de este último sistema, es la interacción planta-herbívoro, en el cual el daño sufrido por la planta como consecuencia de la acción de los herbívoros, puede ser nulo o llegar a la defoliación total y posterior muerte. En la teoría, el primero hace referencia a un sistema no interactivo, es decir, el herbívoro no afecta la tasa de renovación de la vegetación, mientras que el segundo hace referencia a un sistema interactivo, el herbívoro afecta la tasa de renovación de la vegetación, aunque cabe resaltar que los herbívoros pueden tener efectos positivos sobre las plantas si los tejidos vegetales que se consumen incluyen órganos reproductores tales como semillas.

El aumento en la población de una especie presa genera un aumento en la población de sus depredadores, ocasionando una reducción de la población de presas mediante el aumento de la mortalidad debido a la depredación (Haemig, 2011), en el modelo se identifica al ganado bovino como la especie depredadora y la gramínea representa la especie presa, pero esto no explica en totalidad la interacción que existe entre el ganado bovino y la gramínea.

1.2. *Conceptualización*

La descripción mínima de un sistema viene dada por la especificación de las distintas partes que lo forman, mediante el conjunto **C** de su composición, y por la relación **R** que establece cómo se produce la influencia entre esas partes (Aracil, 1995). El sistema depredador-presa, consiste en la interacción de dos poblaciones, la de bovinos (depredador) y la gramínea (presa), en este proceso se representa la dependencia que tiene la población de bovinos a la población de gramínea, y los efectos que se producen en el pastizal a través de la defoliación por el bovino. Este proceso se describe en un lenguaje ordinario de la siguiente manera:

Descripción del proceso Depredador-Presa (lenguaje ordinario)
Población de Bovinos

- R1: A mayor tasa de nacimiento, mayor el nacimiento de bovinos;
 R2: A mayor nacimiento de bovinos, mayor es el hato ganadero; y,
 R3: A su vez a mayor número del hato ganadero, mayor será el nacimiento de bovinos;
 R4: Mientras que, a mayor número del hato ganadero, mayor será la saciedad de ganado; y
 R5: A mayor saciedad de ganado, menor será el número del hato ganadero;

Población de Gramínea

- R6: A mayor tasa de brote de pasto, mayor será el brote de pasto; y
 R7: A mayor brote de pasto, mayor será la fitomasa del pastizal;
 R8: A mayor fitomasa del pastizal, mayor será el brote de pasto;

Interacción Bovino-Gramínea

- R9: A mayor número de hato ganadero, menor será la fitomasa del pastizal; y
 R10: A mayor fitomasa del pastizal, mayor será el número del hato ganadero que puede soportar el pastizal;
 R11: A su vez a mayor número del hato ganadero, mayor será el consumo de pasto; y
 R12: A mayor fitomasa del pastizal, mayor será el consumo de pasto;
 R13: A su vez a mayor consumo de pasto, menor será la fitomasa del pastizal;
 R14: Y mayor tasa de consumo, mayor será el consumo de pasto.

Los enunciados anteriores, describen de forma básica la relación del proceso depredador-presa, estos se pueden convertir en relaciones de influencia entre las diferentes variables con las que se puede describir el proceso. Las variables con las que se describe el proceso son las siguientes:

- TN: Tasa de Nacimiento;
- NB: Nacimiento de bovinos;
- HG: Hato Ganadero;
- S: Saciedad;
- TB: Tasa de Brote;
- BP: Brote de Pasto;
- P: Fitomasa del pastizal
- CP: Consumo de Pasto
- TC: Tasa de Consumo

Con estas variables, de acuerdo con los enunciados de relación anteriores, se pueden establecer las relaciones de influencias siguientes:

Relaciones de influencias del proceso depredador-presa

R1:	TN	→ +	NB
R2:	NB	→ +	HG
R3:	HG	→ +	NB
R4:	HG	→ +	S
R5:	S	→ -	HG
R6:	TB	→ +	BP
R7:	BP	→ +	P
R8:	P	→ +	BP
R9:	HG	→ -	P
R10:	P	→ +	HG

R11: HG $\xrightarrow{+}$ CPR12: P $\xrightarrow{+}$ CPR13: CP $\xrightarrow{-}$ PR14: TC $\xrightarrow{+}$ CP

El conjunto de estas relaciones se puede representar de forma más sintética mediante un diagrama de influencias como el que se muestra en la Figura 2. En este diagrama se muestran los sucesos más importantes que intervienen en el proceso.

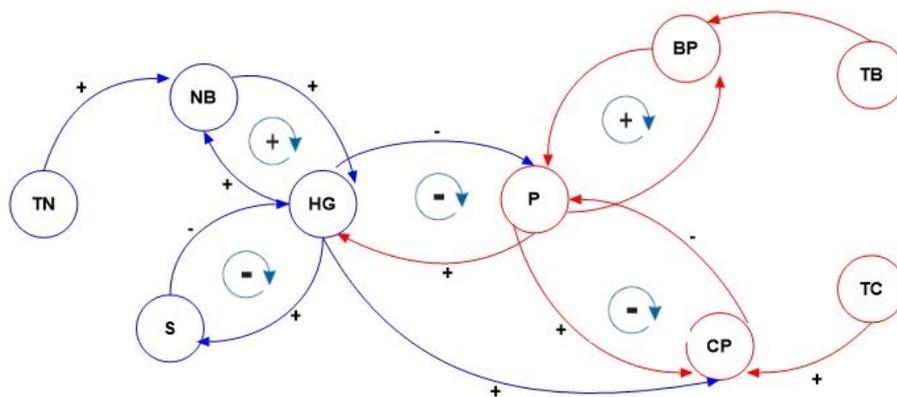


Figura 2. Diagrama de Influencias de la interacción Gramínea-bovino.
Fuente: Elaboración propia.

Estos elementos básicos del proceso están unidos entre sí mediante flechas que indican las influencias entre ellos. La influencia, en esta descripción, se mantiene a un nivel cualitativo, en el sentido de que únicamente se dice si se produce o no influencia, pero no la forma o magnitud que tenga. El diagrama de influencias en su forma simple está formado por lo que se conoce como un grafo orientado. A las flechas que representan las aristas se puede asociar un signo. El cual indica si las variaciones del antecedente y del consecuente son o no del mismo signo. Como en la interacción de TN y NB donde existe una relación de influencias positiva, esto significa que, si TN se incrementa, sucederá lo mismo con NB y por lo contrario si TN disminuye, así mismo lo hará NB, se hace lo mismo con todas las interacciones positivas. En la interacción S y HG se presenta una relación de influencia negativa, lo que significa que el incremento de S provoca una disminución de HG, y viceversa, lo mismo ocurre para todas las interacciones negativas, tal y como se muestra en la Figura 2.

2. Resultados

En este caso de estudio se presenta un problema de insuficiencia del pastizal utilizado para alimentar el hato ganadero del rancho San Isidro. En este constructo se propone un modelo de dinámica de sistemas de la interacción bovino-gramínea, que permitirá simular el crecimiento de la población de bovinos alimentados con *Cynodon nlemfluensis* y el efecto que el animal tiene en el pastizal y el efecto del pastizal sobre el animal. Como resultado de este trabajo se obtuvieron las variables que intervienen en el proceso depredador-presa, dichas variables son las siguientes: la tasa de nacimiento (TN), el nacimiento de bovinos (NB), el hato ganadero (HG), la saciedad (S), la tasa de brote (TB), el brote de pasto (BP), la fitomasa del pastizal (P), el consumo de pasto (CP) y la tasa de consumo (TC). Una vez identificadas estas variables se establecieron las relaciones de influencias que existen entre ellas.

En el grupo de relaciones de influencias se agrega un grafo orientado con un signo positivo o negativo, que indica si el antecedente y el consecuente son del mismo signo. Cuando existe una influencia positiva indica que las dos variables incrementarán o disminuirán, mientras que, con el signo negativo, cuando una variable aumenta la otra disminuye y viceversa. Con el conjunto de relaciones se realizó el diagrama de influencias observado en la Figura 2. En este diagrama se pone de manifiesto que el proceso posee una estructura con dos bucles de realimentación positiva y tres bucles de realimentación negativa.

3. Conclusiones

Para la construcción de los modelos de dinámica de sistemas, se considera información muy variada, con relación a como se producen las interacciones en el sistema. Esta información, mediante el proceso de conceptualización, conduce al diagrama de influencia. Como producto de este estudio se obtuvieron las variables que intervienen en el proceso depredador presa para el bovino y la gramínea. Se construyó un diagrama de influencias que refleja la relación que existe entre dichas variables y su respectiva interacción como se muestra en la figura 2. Con la construcción de este diagrama se pueden observar los bucles de realimentación existentes. En el proceso depredador-presa se encontraron tres bucles de realimentación negativa y dos bucles de realimentación positiva. Los bucles de realimentación negativa son bucles estabilizadores, mientras que los bucles de realimentación positiva desestabilizan el sistema. Lo que significa que el proceso tiene tres bucles encargados de estabilizar el sistema y dos que lo desestabilizan. Además de observar la relación e influencia que existe entre las variables que intervienen en el proceso, el diagrama de influencias, permitirá clasificar las variables en tres tipos: variables de nivel, variables de flujo y variables auxiliares, que permitirán la construcción del diagrama de Forrester del proceso presa-depredador, que permitirán encontrar las condiciones para que un determinado sistema de pastoreo sea estable a una densidad de ganado constante, y determinar las jornadas de alimentación del ganado bovino recomendables que permitan que la gramínea se regenere o rebrote en un tiempo prudencial.

3. Agradecimientos

Los autores extienden un agradecimiento al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por el apoyo de la beca académica para los estudios de la Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, otorgado a la Ing. Jenny Besiche Barranco e Ing. Edwin Arturo Gonzalez Ávila autores de este artículo.

4. Referencias

- Aracil, J. (1995). *Dinámica de Sistemas*. Madrid: Edison.
- Augustine, D.J et, al, (1998). *Ecological Applications*.
- Baily, P. J. (1887). *Purchasing and Supply Management*. Springer-Science Bussines Media R.V.
- Bayliss, P., & Choquenot, D. (2002). *The numerical response: rate of increase and food limitation in herbivores and predators*. R. Soc. Lond.
- Bonacic, C., & Mcdonald, D. (2002). *Density dependence in the camelid Vicugna vicugna: the recovery of a protected population in Chile*. Oryx.
- Castillo, Q.-Q. P. (2005). Q-Q Plot Normal. *Los puntos de posición gráfica. Departamento de Estadística e Investigación Operativa*.18-22.
- Hwang, S., & Lee, S. (2005). *A Dynamic Competition Analysis of Stock Markets*. Journal of Emerging.
- Ospina, L. M. (2008). *Modelo de Programación para Integrar Producción, Inventario Y*. Scientia et Technica Año XIV, No 40, 102-103.
- Thornley, J., & J. France, J. (2007). *Mathematical Models in Agriculture. Quantitative Methods for the Plant, Animal and Ecological Sciences*.
- Wagner, H. M. (1958). *Dynamic Version of the Economic Lot Size*. Management Science, 9, 1, 89-96.
- Walpole, M. &. (1999). *Probabilidad y estadística para ingenieros*. 6ª. Edición. Prentice may. México. 6ª. Edición. Prentice may. México.
- Wilmar, D. O., & Harold, V. G. (2010). *Análogo Estocástico del Modelo Lotka-Volterra*. Visión Electronica.

5. Notas Biográficas

- La **Ing. Jenny Besiche Barranco**, es Estudiante de posgrado en la Maestría de Ingeniería Industrial del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz, México.
- El **MII. Gabriel Grosskelwing Núñez** es Maestro en Ingeniería Industrial por el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, en Misantla, Veracruz, México, actualmente se desempeña como profesor investigador por el Instituto Tecnológico Superior de Misantla.
- El **Ing. Edwin González Ávila**, es Estudiante de posgrado en la Maestría de Ingeniería Industrial del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz.

Gestión de Mantenimiento en Instituciones de Nivel Superior

Leonardo Martínez Lara M.I.I.¹, M.I.A. Luis Enrique García Santamaría², M.I.I. Gema del Carmen Jiménez Gómez³, M.C. Sandra Guadalupe García Aburto⁴, I.M.I. Marcos Martínez Valenzuela⁵

¹M.I.I. Leonardo Martínez Lara, es docente del área de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Alvarado, Veracruz. Mail: leomtzlara@gmail.com

²M.I.A. Luis Enrique García Santamaría, es profesor investigador del área de postgrado en Ingeniería Industrial del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Veracruz. Mail: legarcias@itsm.edu.mx

³M.I.I. Gema del Carmen Jiménez Gómez, es docente del área de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Alvarado, Veracruz. Mail: gemajimgo@gmail.com

⁴M.C. Sandra Guadalupe García Aburto, es Docente del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Veracruz. Mail: ssggarciaa@itsm.edu.mx.

⁵I.M.I. Marcos Martínez Valenzuela, es docente del área de Ingeniería Mecánica en el Instituto Tecnológico Superior de Alvarado, Veracruz. Mail: ing.marcosmv@gmail.com

Resumen- Este artículo presenta la gestión del mantenimiento basado en confiabilidad en instituciones de Educación Superior Tecnológica, el caso de estudio toma como base al Instituto Tecnológico Superior de Alvarado quien busca incrementar la efectividad en el mantenimiento. El contenido del proyecto se desarrolla desde el análisis de la situación actual del instituto en materia de mantenimiento, hasta la propuesta para el diseño de planes de mantenimiento, basándonos en el análisis Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) y dando un seguimiento a indicadores de mantenimiento para estandarizar los trabajos y cumplir con los objetivos de la institución. La Gestión de mantenimiento contempla la elaboración de formatos y una guía de aplicación para el subsistema detectado con mayores fallos y estudiado por un Análisis de Criticidad (ACR). Asimismo, se elaboró un análisis FMEA donde se integraron las partes del equipo que necesitan atención a través de su criticidad. El análisis de confiabilidad se desarrolló mediante el software Relest® para la toma de decisiones en el diseño del plan de mantenimiento y por último se contemplan los resultados obtenidos.

Palabra (s) clave - Confiabilidad, Criticidad, Mantenimiento, Modelo de gestión.

Abstract -This article shows a management model to maintenance based in the reliability higher education in institutions of Technology, in the Instituto Superior de Alvarado as a pilot institution in the implementation it, for increase effectiveness in the maintenance. The content of this project includes the actual situation of maintenance matter institute, until approach design plans for maintenance, based in the analysis RCM (Reliability Centered Maintenance) and giving a track to indicators of maintenance, with the objective to standardize these works, to achieve the objectives institution. The model provides the development of formats and an application guide, in the detected subsystem with elderly failures and studied by ACR (criticality analysis), then realized FMEA (Failure Mode Effects) to know the weakness equipment part. The reliability analysis is developed through the software engineering for reliability, Relest® which guarantee the work for making decision in the design plan of maintenance.

Key words - Reliability, Criticality, Maintenance, Management Model.

1. Introducción

La evolución del mantenimiento considera cinco etapas principales en su historia, la primera sobre a conservación autónoma de las maquinarias, la segunda en el mantenimiento programado, la tercera en el enfoque JIT y la no afectación de los sistemas de seguridad y medio ambiente, la cuarta etapa la generación sobre el análisis estadístico para la determinación del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) y el Mantenimiento Productivo Total (TPM), y una etapa actual orientada a la inteligencia de los equipos para el diagnóstico de fallas y ahorro energético para mejorar su conservación (Fernández, 2009). En este sentido el mantenimiento puede considerarse como el sostenimiento de la funcionalidad de los equipos y el buen estado de las máquinas a través del tiempo según (Gutiérrez, 2009). Del mismo modo, para (García Garrido, 2010) se entiende como el conjunto de técnicas destinadas a conservar equipos e instalaciones en servicio durante el mayor tiempo posible buscando la disponibilidad con el máximo rendimiento. Por su parte (Rey Sacristán, 2001) considera una clasificación del mantenimiento dividida en cuatro partes: Correctivo, Preventivo, Predictivo y Productivo Total.

Dentro del ámbito de la conservación no podemos excluir la importancia del sistema de gestión de la calidad, y su relación con la gestión de los recursos dentro del apartado 6.3 de la norma NMX-CC-9001-IMNC-2008 que menciona que la organización debe determinar, proporcionar y mantener la infraestructura necesaria para lograr la conformidad con los requisitos del producto, de la misma manera (Gutiérrez, 2009) reconoce dos aspectos básicos en el mantenimiento, la gestión y la operación. La primera referida al manejo de los recursos, y la segunda a la realización física del servicio de mantenimiento. Dentro de la planificación del mantenimiento se han logrado

desarrollar métodos como el TPM acuñado por el Instituto Japonés de Ingenieros de Plantas (JIP) de 1970 según (Francesca Torrell, 2010) y el cual ha logrado integrar seis pilares fundamentales dentro de su implementación; así como también se ha considerado metodologías basadas en el análisis de la confiabilidad para la determinación del desempeño satisfactorio de su función durante un período de tiempo, bajo condiciones previamente especificadas.

Dentro de la revisión bibliográfica de los trabajos desarrollados con respecto a los modelos de gestión del mantenimiento basados en la confiabilidad de equipos que se han utilizado en empresas del sector público y privado se establece en lo siguiente: la presentación de una guía de optimización de disponibilidad por mantenimiento de una máquina esmaltadora en una empresa productora de papel (Garzón & Gómez, 2011), en el cual el proyecto plantea darle solución a la disponibilidad de una máquina específica en la planta productora, este trabajo se centra especialmente en la implementación de sistemas de control y seguimiento dentro del departamento de mantenimiento, los elementos de control consideran la aplicación de nuevos indicadores de mantenimiento y una propuesta para el seguimiento que permitan mejorar la productividad de la máquina estudiada.

Por su parte (Medina, 2010) propone una metodología para el mantenimiento centrado en confiabilidad a una máquina paletizadora de cementos, dentro del cual elabora un diagnóstico de la situación actual de la paletizadora, recabando toda la información referente a esta, posteriormente clasifica en seis subsistemas la máquina para después aplicar una matriz de impacto-esfuerzo y así poder jerarquizar de los subsistemas, posteriormente elabora un análisis de criticidad para después ejecutar un Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF), estableciendo así las fallas y los efectos que estas tienen sobre los equipos críticos.

Es importante mencionar que dentro de un sistema educativo (espacio donde se centra este proyecto) las áreas de gestión de mayor impacto en este proceso son los recursos materiales y financieros. Éstas dos áreas se complementan específicamente en brindar el soporte para que las instalaciones se encuentren en buen estado y que los equipos dentro de las mismas estén disponibles para que los usuarios (alumnos) puedan disponer de ellas en tiempo y forma. En este sentido, la metodología del RCM de este proyecto se basa en el diagnóstico, la identificación del sistema, la determinación de los fallos funcionales, el análisis de confiabilidad y la determinación del plan para las medidas preventivas; de los KPI (Indicadores Clave de Desempeño del mantenimiento), que proveen un sistema de alerta temprana para procesos operando fuera de la normal y ofreciendo información cuantitativa en base a reglas claves para su buen desempeño como son: medir lo que realmente la empresa espera del departamento de mantenimiento, contar con indicadores representativos y fáciles de medir, tener en cuenta a los clientes internos, analizar indicadores de la competencia, implantar una cultura de medición en sus operarios, involucrar a su equipo en la definición del indicador y analizar la eficiencia de cada indicador.

2. Desarrollo

2.1 Metodología de trabajo

La metodología utilizada para la investigación se desarrolló en tres etapas. En la etapa uno se conformó el equipo de trabajo y estuvo integrado por personal Administrativo y de servicios generales del ITSAV. En la segunda etapa se definieron los pasos para la gestión del mantenimiento y por último se muestran los resultados a las que se llegaron una vez que se desarrolló el trabajo.

2.1.1 Conformación del equipo de trabajo

En la elaboración de esta investigación se tomó en cuenta al departamento de mantenimiento del Instituto que depende del jefe de recursos materiales y servicios generales y a su vez es liderado por el área de la subdirección administrativa del instituto. El área de recursos materiales y servicios generales está integrada por 18 trabajadores, de diversos niveles que van desde el jefe del área hasta el personal de intendencia. Como parte del personal involucrado se integró un equipo de trabajo el cual llevó a fondo el análisis del estudio y se encargó de llevar a cabo la metodología y apoyo a todos los integrantes del equipo, así como también proporcionó la capacitación requerida para el conocimiento del mantenimiento basado en confiabilidad y su aplicación.

2.1.2 Modelo para la Gestión del Mantenimiento.

Se elaboró un comparativo de distintos modelos de mantenimiento de los últimos 10 años, de los que comúnmente utilizan las organizaciones para la administración del mantenimiento, tomados como base del trabajo de (Campos & Márquez, 2008). Dentro de este comparativo se consideraron los criterios de enfoque de sistema, responsabilidad de la dirección, la elaboración del mantenimiento, la gestión de los recursos, la medición análisis y mejora. Además, se considera sostener un enfoque basado en procesos, la presentación de una metodología clara para su implementación, la generación de documentos, enfoque a la mejora continua, modelo cíclico, que el objetivo de este modelo se vincule con el de la institución, que integre técnicas de soporte de él y que considere la administración sobre un sistema de gestión (Figura 1).

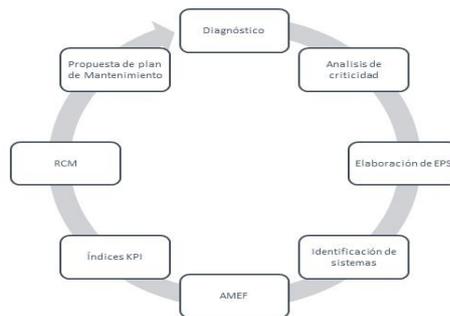


Figura 1. Modelo de gestión del mantenimiento.
Fuente: Elaborado a partir de las aportaciones de (López & Campos, 2008).

2.1.2.1 Diagnóstico

En el modelo de gestión del mantenimiento basado en RCM contempló la elaboración de un diagnóstico de la situación actual del instituto con base en el mantenimiento. El análisis se planteó de manera cualitativa revisando la estructura organizacional del instituto, un análisis causa-efecto, y la realización de entrevistas directas con el personal involucrado, y de manera cuantitativa aplicando encuestas, y el análisis FODA ampliado.

A partir de las entrevistas realizadas al personal del departamento de mantenimiento se logró conocer que no hay evidencia de un índice de cumplimiento a planes de mantenimientos por periodos, u objetivos de mantenimientos, y al no contar con ello esta área orienta sus esfuerzos hacia objetivos distintos planteados por la organización, la parte de la planificación de las tareas, es aplicable a personal que no tiene una capacitación ni formación en la administración del mantenimiento, esto suele ser un conjunto de esfuerzos no encausados para lograr las metas planteadas. Una vez que se recopilaron todas las variables, mediante un diagrama de Ishikawa se enlistaron las causas potenciales de las constantes fallas y se determinó la mayor causa asignable, entre las que destacan: falta de plan de mantenimiento, inexistente liderazgo al mantenimiento y mal manejo de los equipos de aire acondicionados (Figura 2).

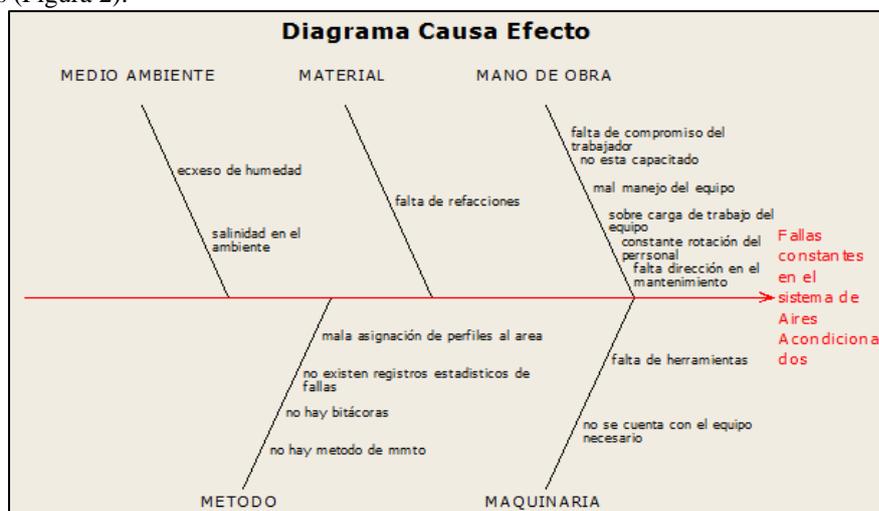


Figura 2. Diagrama Causa-Raíz.
Fuente: De elaboración propia mediante Software Minitab.

Aunque el sistema de gestión de la calidad presenta la administración de los recursos dentro del sistema mediante el procedimiento TecNM/D-AD-PO-001, esta parte llega a quedar corta al no mostrar utilidad en el mejoramiento hacia el mantenimiento, y en muchas ocasiones la aplicación de esta gestión vendría siendo nula en el sistema, existen muchos otros aspectos que afectan la situación de la empresa en relación a la aplicación de un modelo en la administración del mantenimiento, lo cual se detalló en un análisis FODA (Tabla 1)

Fuerzas internas	Peso	Calificación	Peso ponderado
Fortalezas			
En el ITSAV se cuenta con un sistema de gestión de la calidad.	.20	4	.80
Se cuenta con el apoyo de la dirección.	.20	4	.80
Se conocen los sistemas y el equipo de trabajo.	.10	3	.30
Total			1.90
Debilidades			
Falta de compromiso por el personal operativo	.15	2	.30
No dar el seguimiento al modelo de mantenimiento	.10	1	.10
Falta de tiempo para la elaboración del plan de mantenimiento.	.10	1	.10
Cambio rotativo en el personal encargado del área de mantenimiento.	.15	2	.30
Total	1.0		.80

Tabla 1. Tabla MEFI.
Fuente: Del análisis FODA

Fuerzas Externas	Peso	Calificación	Peso ponderado
OPORTUNIDADES			
Actualmente no existe plan de mantenimiento para los sistemas del ITSAV campus central.	.20	4	.80
Aprendizaje de los funcionamientos de los equipos del ITSAV.	.10	3	.30
Disminuir el gasto económico para el mantenimiento de los equipos.	.10	2	.20
Realizar prácticas con los alumnos que nos ayuden en la implementación de los conocimientos obtenidos en la asignatura correspondiente	.10	3	.30
Se cuenta con el equipo necesario para la realización del mantenimiento.	.15	3	.45
Implementación del plan de mantenimiento a los diferentes campus.	.05	1	.05
			2.10
AMENAZAS			
Otro proyecto para la realización de un plan de mantenimiento para el ITSAV	.10	2	.20
Intervención de una compañía enfocada al mantenimiento que brinde el servicio al instituto	.10	2	.20
Inestabilidad laboral.	.05	1	.05
Exposición a riesgos.	.05	1	.05
TOTAL	1.0		.50

Tabla 2. Tabla MEFE.
Fuente: Elaboración propia

2.1.2.2 Análisis de criticidad

Dado que en el Instituto no se cuenta con historial de fallas en horas, se consideró tomar estos datos de los reportes de mantenimiento que se encuentra para las fallas en el subsistema de mayor criticidad, en este caso del subsistema de aire acondicionado, para un solo equipo de aire acondicionado y consultando con los trabajadores involucrados en cada uno de sus mantenimientos. La aplicación de este modelo se desarrolló específicamente en el subsistema ya mencionado.

Tipo de sistema	Número de fallas	Porcentaje	Número acumulado	Porcentaje acumulado	Nivel de Criticidad
1. Aire acondicionado	75	59.52 %	75	59.52 %	Clase A
2. Eléctrico	28	22.22 %	103	81.74 %	Clase B
3. Fluvial	13	10.31%	116	92.05 %	Clase B
4. Instalaciones	9	7.14 %	125	99.19 %	Clase C
5. Áreas verdes	1	0.79 %	126	100 %	Clase C

Tabla 3. Estratificación por falla en los sistemas.

Fuente: Elaboración propia a partir de los Registros: TecNM/D-AD-PO-001-02 y TecNM/D-AD-PO-001-04.

Basado en la tabla 1 del número de fallas encontrados dentro del análisis de la situación actual se determinó la criticidad de los subsistemas de aire acondicionado, eléctrico, fluvial, instalaciones y áreas verde para enfocarse al más crítico. Quedando de la siguiente forma. Si tenemos una totalidad de 126 de fallas en los 5 subsistemas que es igual al 100% del total de la población.

Teniendo en cuenta los siguientes valores: Clase A menor al 15% con un nivel crítico alto, Clase B entre el 15% al 25% con un nivel crítico medio, Clase C el porcentaje restante con un nivel no crítico se presenta lo siguiente: un 15% representa 1 subsistema, que, a su vez, según el diagrama, vienen dadas por el de aire acondicionado por tal motivo las fallas de alta criticidad serían las del subsistema de aire acondicionado, el 25% representa 2 subsistemas, las cuales están dado por el subsistema eléctrico y fluvial estos subsistemas los definimos como una criticidad media, el conjunto de fallas restantes, representadas por los subsistemas de instalaciones y áreas verdes corresponden a las fallas no críticas (ver tabla 3).

2.1.2.3 Elaboración de EPS

Por medio de un diagrama EPS Entrada-Proceso-Salidas (ver imagen 3) se muestran las entradas, salidas de variables y las funciones de un aire acondicionado integradas dentro de su funcionamiento, también se desglosan los elementos del sistema de aire acondicionado y su sistema básico (ver imagen 5).



Imagen 3. Diagrama EPS
Fuente: Elaboración propia.

2.1.2.4 Identificación de sistemas

Se definieron los diagramas de flujos de procesos donde se identificaron las entradas, el proceso y las salidas de cada subsistema esto con el fin de identificar fácilmente el proceso del subsistema a estudiar (ver imagen 4).

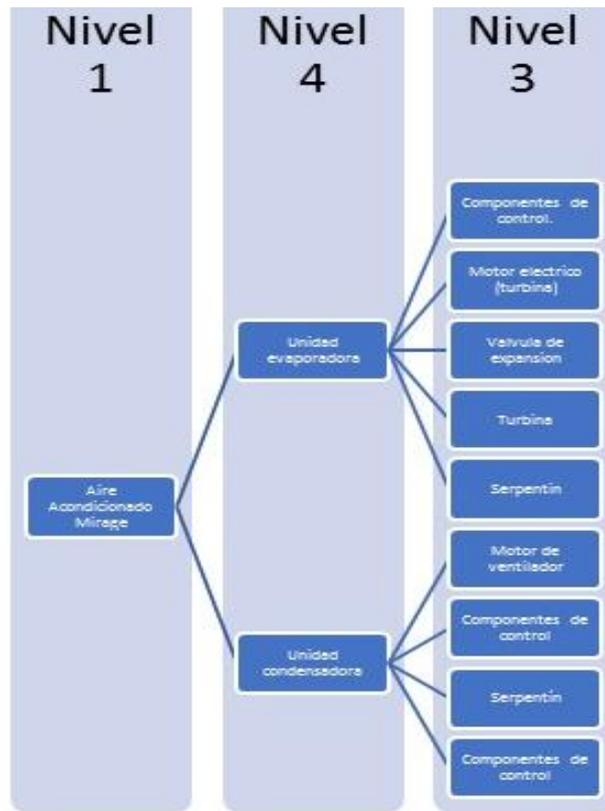


Imagen 4. Diagrama elementos del sistema.

Fuente: Manual de fallas técnicas en refrigeración (CONALEP).

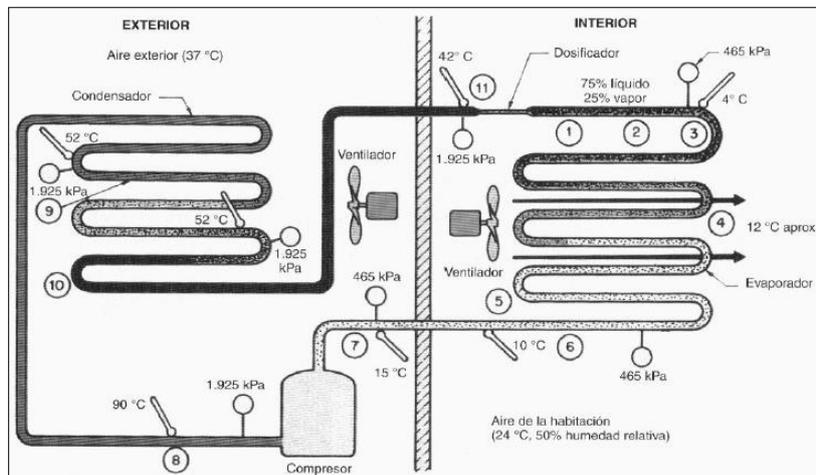


Imagen 5. Elementos de un aire acondicionado.

Fuente: Manual de fallas técnicas en refrigeración (CONALEP).

2.1.2.5 AMEF (Análisis de Modo y Efecto de Fallas)

Con la aplicación del FMEA encontraremos todas las formas o modos en los cuales puede fallar el activo durante un proceso e identificaremos las posibles consecuencias o efectos de fallas y con esto ayudar al nivel del mantenimiento que deberá de aplicarse. Con el formato FMEA (ver tabla 4) se encuentran todas las formas o modos en los cuales puede fallar el activo durante un proceso e identificamos las posibles consecuencias o efectos de fallas y con esto ayudar al nivel del mantenimiento que deberá de aplicarse.

Tabla 4. Tabla FMEA.
Fuente: De elaboración propia.

		Fecha:	Revisado por:	Realizado por: Leonardo Martínez. Lara.			
		Hoja:	Sistema:	Área: Centro de computo			
		Sub sistema:	Equipo:	Código:			
Función		Falla funcional ¿Pérdida de función?		Modo de falla ¿Qué causa la falla?		Efecto de falla ¿Qué ocurre cuando falla?	Acciones recomendadas
1	Compresor.	A	Compresor se fue a tierra.	A1	Voltaje de alimentación variable. y/o Ausencia o bajo voltaje de entrada al equipo.	No presenta síntomas.	Comprobar el voltaje que debe ser de 120V.
		B	No arranca el compresor	B1	El termostato se encuentra dañado. No hay presencia de voltaje a la entrada del compresor.	No presenta síntomas.	Reemplazar por uno nuevo de las mismas especificaciones. Verificar con el Óhmetro la continuidad de los cables que van desde el control. Probar continuidad en el térmico si no hay continuidad o está disparado, es mejor cambiarlo por otro de igual capacidad. Cambiar por uno de las mismas especificaciones aconsejable cambiar el térmico también. Reemplazar el compresor. En las tuberías untar aceite de compresor y verificar si hay alguna fuga, si no se encuentra se deberá cargar de gas refrigerante a alta presión utilizando un detector de fugas con agua y jabón y esparciéndolo en cualquier unión que sospechosa. Esto es provocado por un mal vacío del sistema, lo recomendable es cambiar el filtro de humedad hacer un buen vacío y volver a recargar el sistema. Calibrarlo siguiendo las recomendaciones del manual, si no mejora reemplazar el termostato.
				B2	Interruptor término defectuoso.	No presenta síntomas.	
				B3	Relevador dañado.	No presenta síntomas.	
				B4	Compresor dañado.	Se escucha un disparo del térmico al momento de conectar el equipo.	
				B5	Falta refrigerante por fugas en el sistema.	Aumento de intensidad de corriente en las terminales del compresor. El sistema se detendrá y no arrancará.	
				A1	Humedad en el sistema.	Baja el enfriamiento de área.	
				A2	Termostato descalibrado.	No presenta ningún cambio.	
2	Evaporador.	A	El sistema no enfría.	B1	El termostato está en la posición máxima o existe exceso de gas refrigerante.	Se congela tubo de succión	Corregir la posición del control y/o dejar la carga adecuada de gas al sistema.
		B	Poco frío en el evaporador.	B2	El termostato está en la posición máxima o existe exceso de gas refrigerante.		

2.1.2.6 Índices KPI

Los indicadores que se emplearon para medir el nivel de mantenimiento fueron los índices de efectividad, estos nos darán la medida de las acciones de mantenimiento efectivo en cuanto al comportamiento operacional de las instalaciones, sistemas, equipos y dispositivos, además permitirá medir la calidad de los trabajos y grado de cumplimiento de los planes de mantenimiento, así como evaluar si estos planes están siendo efectivos o no, a continuación se muestran los indicadores a aplicarse en el formato Indicadores de mantenimiento ver imagen 6.

1. Tiempo Promedio Para Fallas (TPPF): Tiempo promedio que es capaz de operar un sistema a capacidad requerida sin interrupciones dentro del periodo considerado del estudio.

$$TPPF = \frac{\text{Horas Operadas}}{\text{Numero de Fallas}} \dots\dots\dots \text{Ecuación 1}$$

2. Tiempo Promedio Para Reparar (TPPR): Tiempo promedio en que puede ser reparado el sistema.

$$TPPR = \frac{\text{Horas de Fallas}}{\text{Numero de Fallas}} \dots\dots\dots \text{Ecuación 2}$$

3. Disponibilidad (D): Tiempo promedio en que puede ser reparado el sistema.

$$D = \frac{TPPF}{TPPF + TPPR} \dots\dots\dots \text{Ecuación 3}$$

4. Utilización (U): Tiempo efectivo de operación de un sistema durante un periodo determinado.

$$U = \frac{\text{Horas Operadas}}{\text{Horas en el periodo}} \times 100 \dots\dots\dots \text{Ecuación 4}$$

5. Confiabilidad (C): Probabilidad de que un sistema pueda realizar una función requerida en un periodo considerado (t).

$$C(t) = e^{-\frac{1}{TPPF}(t)} \dots\dots\dots \text{Ecuación 5}$$

2.1.2.7 Análisis RCM.

Para la aplicación de este modelo y para la obtención de la información en cada uno de los equipos contemplados dentro del sistema se realizará el llenado de un formato llamado historial de vida del equipo (ver tabla 5) el cual se toma de los formatos: solicitud de mantenimiento y orden de trabajo de mantenimiento para el levantamiento de los tiempos entre fallos, tiempos fuera de servicio y tiempo de operación de estos. Para realizar la estimación de la confiabilidad se utilizará el software Relest® (reliability estimation /estimación de fiabilidad), este software ajusta las distribuciones de probabilidad a datos de tiempos de fallo. Ofrece una serie de ayudas para escoger al modelo de distribución probabilística apropiado y como consecuencia permitir la realización de análisis de confiabilidad. Con esta información se podrá establecer la frecuencia de intervención a equipos críticos, y así poder generar planes de mantenimiento acordes al estudio.

Numero de fallas	Descripción de la falla	TEF (Horas)
1	No arrana el compresor	898
2	No enfría el aire acondicionado	1036
3	Tubo capilar congelado	532
4	No enfría el evaporador	787
5	No arranca el compresor	422
6	El no enfría el evaporador	676
7	No enfría el aire acondicionado	527
8	No arrana el compresor	879
9	No arranca ventilador	1112
10	Se congela el evaporador	422
11	El tubo apilar se congela	937

Tabla 5. Tabla TEF.
Fuente: Datos obtenidos del historial de vida de equipos.

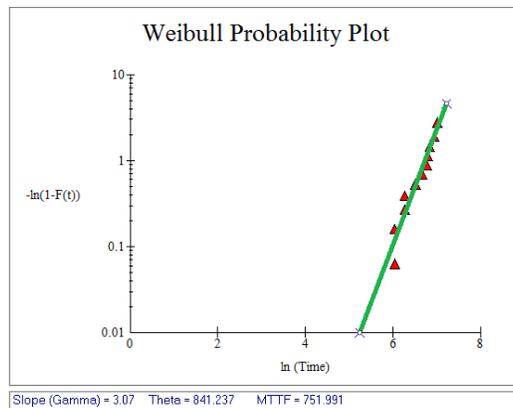


Imagen 7. Distribución Weibull.
Fuente: Software Relest®.

Para tomar una decisión sobre cual distribución tomar para realizar el estudio de confiabilidad, se verifica aquella distribución en la cual se acepte la prueba de hipótesis de los datos ingresados con un nivel de significancia del 95% y la comparación del valor menor de desviación estándar de cada una de las posibles distribuciones: Weibull S=228, Log normal S=260, Gamma S=288, por lo tanto la distribución a emplear para el análisis de confiabilidad será la distribución de Weibull (ver imagen 7). La fiabilidad no es una predicción, sino que es la probabilidad de acción correcta de un artículo en otras palabras, el fabricante no garantiza en

absoluto que el artículo trabaje durante horas, sólo da la probabilidad de su funcionamiento correcto durante las horas, en la imagen 8 se observa las gráficas características de la función de confiabilidad, tasa de riesgo, función de densidad probabilística y función de densidad acumulativa.

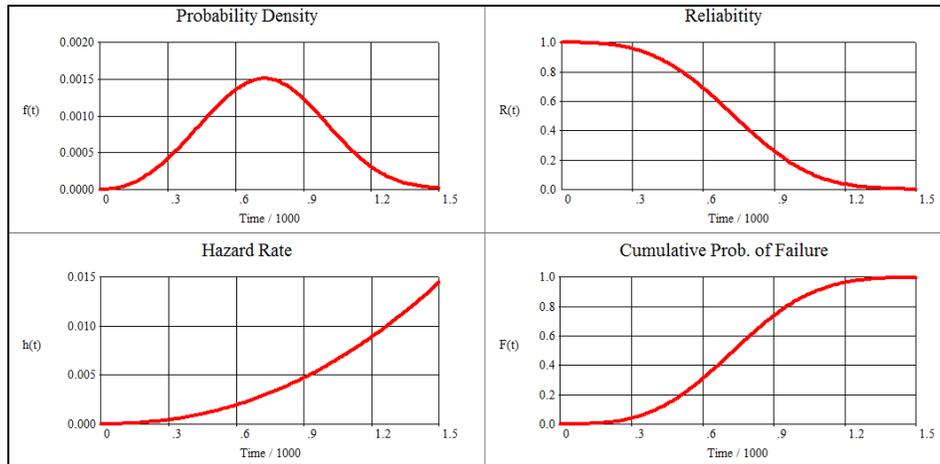


Imagen 8. Resultado de gráficas.
Fuente: Software Relest®.

Posteriormente determinamos la confiabilidad del equipo y observamos que el TMEF es de 751.089, y en la imagen 9 se muestran el cálculo de diferentes tiempos estimados para valores para una la confiabilidad de 1% al 100%.

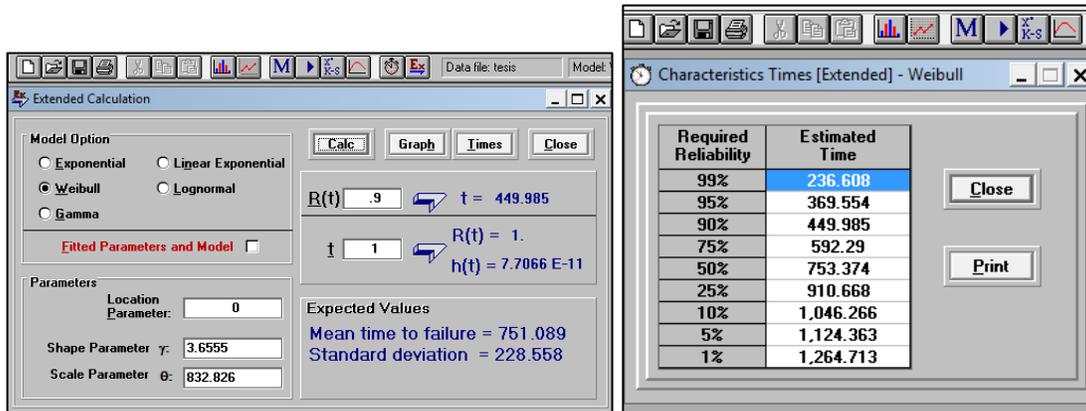


Imagen 9. Datos de confiabilidad.
Fuente: Software Relest®.

Este equipo tiene un promedio de fallas de 751 horas por tal motivo se deberá de ajustar este plan de mantenimiento a realizarse por debajo de esta media de fallas, para tener una mejor confiabilidad del equipo. La frecuencia sugerida para una inspección del mantenimiento seria de 552 Horas con una confiabilidad del 80% y así tener un margen de tiempo de 200 horas para considerar la aplicación de un mantenimiento preventivo con una frecuencia establecida, ya que el valor de los parámetros de forma Beta son de 3.65 que indican que el estado del equipo en fase tres, de la curva de la bañera, etapa donde existen de fallas en crecimiento.

2.1.2.8 Propuesta de plan de mantenimiento

El subsistema de aire acondicionado analizado y como todos los equipos utilizados en la institución no cuenta con ningún plan de mantenimiento, por tal motivo se detallarán las siguientes recomendaciones para su diseño en los equipos de aire acondicionado:

Este equipo tiene un promedio de fallas de 751 horas por tal motivo se deberá de ajustar este plan de mantenimiento a realizarse por debajo de esta media de fallas, para tener una mejor confiabilidad del equipo. La frecuencia sugerida para una inspección del mantenimiento sería de 552 Horas con una confiabilidad del 80% y así tener un margen de tiempo de 200 horas para considerar la aplicación de un mantenimiento preventivo con una frecuencia establecida, ya que el valor de los parámetros de forma Beta son de 3.65 que indican que el estado del equipo en fase tres, de la curva de la bañera, etapa donde existen de fallas en crecimiento.

2.1.3 Resultados

Cuando el equipo este trabajando se deberá realizar un seguimiento proactivo a los componentes críticos de los subsistemas ya reparados. Con la realización del mantenimiento correctivo al equipo, realizaremos una muestra del comportamiento y se validará la calidad del estudio de confiabilidad. Con el desarrollo del plan de mantenimiento para escuelas de nivel superior, se espera reducir el TEF a valores menores a los actuales, establecer mejora continua y parámetros Beta menores a uno, que reflejen un estado real de Confiabilidad Máxima.

3. Resultados

El desarrollo de un modelo para la gestión del mantenimiento en el ITSAV basado en RCM (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad), llega a ser de gran apoyo para el adecuado diseño de los planes de mantenimiento de la institución, y a su vez permitir garantizar la disponibilidad de los equipos en la misma, a lo largo del desarrollo se logró dar cumplimiento con lo planteando, en primer lugar se analizó el estado actual del mantenimiento en el área mediante la aplicación de encuestas al departamento, analizando las causas y efectos de fallas más críticas en el ITSAV, se analizaron las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas (FODA) en la institución, también en la determinación del área piloto para la aplicación del proyecto e identificando el sistema a utilizar mediante el desarrollo un diagrama EPS, para después estudiar los modos de fallos (FMEA) para el equipo del sistema de aire acondicionado. Con todo esto se pudo observar que este análisis aplicado de forma adecuada será una herramienta importante para planificar adecuadamente el mantenimiento de todos los equipos existentes en el instituto.

4. Conclusiones

A lo largo del desarrollo del proyecto se midió el estado actual del mantenimiento y definiendo la manera del cómo se gestionaría el mismo, tomado en cuenta que no se contaba con nada en esta área para la gestión del mismo, mediante la aplicación del RCM al área piloto dentro del equipo seleccionado, se pudo observar que este análisis aplicado de forma adecuada será una herramienta importante para planificar adecuadamente el mantenimiento de todos los equipos existentes en el instituto.

Con todo lo propuesto definimos que el diseño de un modelo de gestión del mantenimiento en el ITSAV mediante la aplicación de RCM puede garantizar la disponibilidad de los equipos y de la infraestructura la cual es necesaria en el proceso educativo para ofrecer un sistema educativo de calidad. Se definen ciertas recomendaciones para la aplicación y seguimiento de este modelo:

- Concientizar al personal y capacitarlo para que ingrese los datos de forma correcta los indicadores de mantenimiento y llene adecuadamente cada uno de los formatos planteados: solicitud de mantenimiento, orden de mantenimiento, historial de vida del equipo, indicadores, etc.
- Realizar auditorías de mantenimiento de forma cualitativa y cuantitativa apoyadas con los indicadores del mantenimiento.
- Considerar la mayor cantidad de TEF para poder aplicar un análisis de confiabilidad.
- Aplicar el modelo de gestión de mantenimiento a todos los equipos del subsistema de aire acondicionado y el subsistema eléctrico.

- Después de haber realizado el análisis de criticidad por subsistema deberá realizar un análisis por cada uno de los equipos que integran ese subsistema.
- Recibir capacitación para el manejo del software Relest® al personal administrativo.
- Establecer la técnica causa-efecto como herramienta, para la mejora continua de la efectividad del mantenimiento.
- Elaborar los planes de mantenimiento anuales en base a los resultados obtenidos después de haber realizado el análisis de confiabilidad.
- Evaluar la implementación de un software que gestione el mantenimiento en el instituto, el cual podar facilitara el manejo de información y la administración del mismo.

5. Referencias

- Acuña Acuña, j. (2003). *Ingeniería de confiabilidad*. Costa, Rica.: Editorial Tecnológica.
- Francesca Torrell, I. (2010). *TPM en un entorno lean Management*. Barcelona, España.: PROFIT.
- Fuentes, f. E. (s/n). Indicadores de eficiencia para el mantenimiento.
- García Garrido, s. (2010). *Organización y gestión integral de mantenimiento*. Madrid: Ediciones Diaz de Santos.
- Garzón, Hernando Godoy, Joanna Andrea Mercado Gómez. (2011). *Guía de optimización de disponibilidad por mantenimiento de una maquina esmaltadora*. Santiago de Cali, Colombia.: universidad ICESI.
- González Fernández, Francisco Javier. (2009). *Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado*. Madrid, España.: Fundación CONFEMETAL.
- Gutiérrez, I. A. (2009). *Mantenimiento, Planeación, Ejecución y control*. México, D.F.: Alfaomega.
- Hernández Sampieri, r. (2010). *Metodología de la investigación*. México, D.F.: Mc Graw-Hill.
- IMNC. (13 de 11 de 2009). Nmx-cc-9001-imnc-2008. *Sistema de gestión de la calidad -Requisitos*. D.F., México: IMNC.
- ITSAV. (30 de 3 de 2016). *Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Alvarado*. Obtenido de Tecnológico nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Alvarado.: <http://itsav.edu.mx/historia.htm>
- Martínez, r. M. (2015). *Propuesta y Validación de un modelo integrador de implantación del mantenimiento productivo total (TPM)*. Valencia, España.: universidad politécnica de valencia.
- Medardo Yáñez, José I Perdomo, Hernando Gómez de la vega. (s/n). *"Ingeniería de Confiabilidad; Pilar Fundamental del Mantenimiento"*. S/N: Reliability and Risk Management S.A.
- Medina, e. E. (2010). *Diseño de un Plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) para una Paletizadora de Sacos de Cemento*. Puerto la Cruz, Venezuela.: Universidad de Oriente.
- Mónica López Campos, Adolfo Crespo Márquez. (2008). *Un Modelo de Referencia para la Gestión del Mantenimiento*. Lérida, España.: x Congreso de Confiabilidad.
- Rey Sacristán, f. (2001). *Manual de Mantenimiento Integral en la Empresa*. Madrid, España: Fundación CONFEMETAL.

6. Notas Biográficas

M.I.I. Leonardo Martínez Lara, es Maestro en Ingeniería Industrial, actualmente es docente del área de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Alvarado, Veracruz.

M.I.A. Luis Enrique García Santamaría, es Maestro en Ingeniería Administrativa, actualmente es profesor investigador del área de postgrado en Ingeniería Industrial del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Veracruz.

M.I.I. Gema del Carmen Jiménez Gómez, es Maestra en Ingeniería Industrial, actualmente se desempeña como docente del área de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Alvarado, Veracruz.

M.C. Sandra Guadalupe García Aburto, es Maestra en Ciencias, actualmente es Docente del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Veracruz.

I.M.I. Marcos Martínez Valenzuela, es Ingeniero Mecánico Industrial, actualmente es docente del área de Ingeniería Mecánica en el Instituto Tecnológico Superior de Alvarado, Veracruz.

Gestión de riesgos en las cadenas de suministro: Exploración Bibliográfica

Alain Gabriel García Martínez, Ing¹., MII. Gabriel Grosskelwing Núñez², Ing. Adriana Arellano Montes³, Ing. Enrique Torrez Chávez⁴.

¹ El **Ing. Alain Gabriel García Martínez** es Ingeniero Industrial por el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, alumno del tercer semestre de la Maestría en Ingeniería Industrial por la misma institución. alaingabrielg@gmail.com.

² El **MI. Gabriel Grosskelwing Núñez**, es Ingeniero Industrial por el Instituto Tecnológico Superior de Misantla. Con Maestría en Ingeniería Industrial por la misma institución. Actualmente es Docente en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla. ggrosskelwingn@itsm.edu.mx.

³ La **Ing. Adriana Arellano Montes** es Ingeniero Industrial por el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, alumna del tercer semestre de la Maestría en Ingeniería Industrial por la misma institución. adrianaarellano209@gmail.com.

⁴ El **Ing. Enrique Torrez Chávez** es Ingeniero Industrial por el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, alumno del tercer semestre de la Maestría en Ingeniería Industrial por la misma institución. enriquetorrs@gmail.com.

Resumen- La gestión en la cadena de suministro es la integración de los procesos que va desde los proveedores hasta el cliente final. Debido a la creciente globalización, las mayores expectativas de los clientes y la volatilidad del entorno, las cadenas de suministro están más expuestas a riesgos. Las interrupciones pueden ocurrir en cualquier lugar a lo largo de la cadena de suministro, ya sea en el suministro, durante los procesos internos dentro de las instalaciones, o en el lado de la salida. Existe una creciente dependencia de los proveedores que lleva a las empresas a estar más expuestas a eventos inciertos. Diversos costos como costos de transporte, costos de penalización, etc. están asociados desde el lado del proveedor que varían debido a condiciones inciertas, el impacto de estas variaciones sobre las incertidumbres debe minimizarse. La gestión de riesgos de la cadena de suministro (SCRM) ha surgido como un área importante de estudio. El presente artículo hace hincapié en los modelos utilizados en los últimos años para mitigar los riesgos, entre los cuales se puede mencionar las listas de verificación, análisis de tareas, Análisis de Riesgos y Operaciones (HAZOP), Evaluación de Riesgos Cuantitativos (QRA), Análisis de Riesgos Críticos y de Errores (CREA), Análisis de Árboles de Fallos (FTA), Análisis de Modo de Falla y Efectos (FMEA), Distribución de Probabilidad de Fallas y Fiabilidad (PDEA), Redes Petri, Redes Bayesianas, enfoque markoviano, etc.

Palabra (s) clave- *gestión de riesgos en la cadena de suministro, proveedores, incertidumbre, riesgo, gestión de la cadena de suministro.*

Abstract- Supply Chain management is the integration of processes from suppliers through to customers. Due to higher customer expectations, increasing globalization, and the environment volatility, supply chains are more exposed to risks. Disruptions can occur anywhere along the supply chain, whether in the supply, during internal processes within the facility, or on the output side. There has been increasing dependence on suppliers that leads companies to be more exposed to uncertain events. Various costs such as transportation costs, penalty costs, etc., are associated from supplier's side that also vary due to uncertain conditions, the impact of these variations on uncertainties needs to be minimized. Supply chain risk management (SCRM) has emerged as an important area of study. This article emphasizes the models used in recent years to mitigate risks, among which we can mention checklists, analysis of tasks, Risk Analysis and Operations (HAZOP), Quantitative Risk Assessment (QRA), Critical and Error Risks Analysis (CREA), Fault Tree Analysis (FTA), Fault Mode and Effects Analysis (FMEA), Fault Probability Distribution and Reliability (PDEA), Petri Nets, Bayesian Networks, Markovian approach, etc.

Key words- *Supply Chain Risk management, suppliers, uncertainty, Risk, Supply Chain management.*

1. Introducción

La cadena de suministro juega el papel más importante en la gestión de negocios en el mundo competitivo de hoy en día. La gestión en la cadena de suministro ha observado un enorme crecimiento durante las dos últimas décadas. Desde 1990, las empresas se han visto obligadas a mejorar la eficiencia en muchos aspectos debido a la competitividad global. Las industrias globales y multinacionales han empezado a enfatizar lentamente en el concepto de gestión de riesgos de la cadena de suministro (Supply Chain Risk Management) en sus operaciones cotidianas (Ennouri, Frikha, & Chabchoub, 2013). Todas organizaciones pueden enfrentar múltiples riesgos en toda su cadena de suministro, tales como proveedor, procesos, regulaciones, propiedad intelectual, riesgos políticos y económicos (Ma, Li, Liang, & Cheng, 2013). Se dice que Supply Chain Risk Management (SCRM) se compone de al menos dos componentes clave que son críticos para la supervivencia del mercado de la organización y el rendimiento de la compañía dentro de una cadena de suministro global, es decir, la cadena de suministro y la gestión de riesgos. El principal beneficio es que SCRM puede ser el único concepto que puede ayudar a la organización en la minimización o reducción a cero de la probabilidad de una ocurrencia de un evento indeseable que causa una interrupción extensa de la cadena de suministro (Guo, 2011).

Hoy en día, la tendencia empresarial ha mostrado interés en la subcontratación, reducción de la base de proveedores, relaciones a largo plazo con los proveedores, inventario reducido y plazos de entrega cortos; debido a estas actividades empresariales, la vulnerabilidad a los riesgos aumenta en la cadena de suministro. Por lo tanto, la selección de proveedores se convierte en una decisión de nivel estratégico. Para hacer la selección apropiada del proveedor, es una tarea importante mitigar los riesgos planificando las diversas incertidumbres. La dependencia del proveedor se ha convertido en la consecuencia principal de la selección, esta creciente dependencia de los proveedores es más propensa a eventos inciertos, por lo tanto, la gestión de riesgos de la cadena de suministro se ha convertido en parte necesaria de la selección de proveedores [41].

2. Desarrollo

La presente revisión bibliográfica es de tipo exploratoria y descriptiva, en la cual se revisan de los últimos veinte años, modelos y metodologías usadas para el proceso de gestión de riesgos en las cadenas de suministro reportados en artículos de Bases de Datos especializadas, como lo son EBSCO, EMERALD, SCIEDIRECT, REDALYC, SCIELO, DIALNET, así como Bases de Datos de acceso libre de Universidades, con el objetivo de identificar el panorama de la gestión de riesgos en las cadenas de abastecimiento.

Esta revisión, se enfoca en la literatura de SCRM buscando en las bases de datos en línea con las palabras clave: gestión de riesgo de la cadena de suministro, incertidumbre, gestión de riesgos, riesgos y proveedores en la gestión de riesgos (Figura 1). La búsqueda se redujo aún más tomando en cuenta el enfoque clave en los artículos que abordan los siguientes temas:

- Descripción e implementación del proceso SCRM.
- Contribución de diversas metodologías de investigación a la gestión de los riesgos.
- Gestión de riesgos en la selección de proveedores.

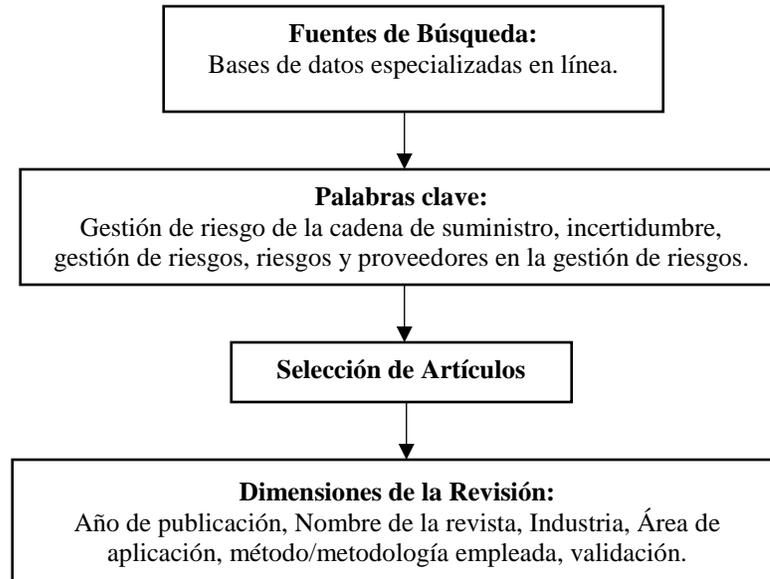


Figura 2: Metodología de la revisión bibliográfica
Fuente: Elaboración propia

3. Resultados: Exploración Bibliográfica

3.1 La Cadena de suministro en SCRM

El primer componente de SCRM es la cadena de suministro, en general, se refiere a un sistema de organizaciones, personas, actividades, información y recursos involucrados en el traslado de un producto o servicio de proveedor a cliente; incluye compras, fabricación, almacenaje, transporte, servicio al cliente, planificación de la demanda, planificación de suministros y gestión de la cadena de suministro. En otras palabras, la cadena de suministro abarca los pasos que se necesitan para obtener un bien o servicio del proveedor al cliente (Vaughan-Morris, 2012). Otra definición de cadena de suministro es "un conjunto de tres o más entidades (organizaciones o individuos) directamente involucradas en los flujos ascendente y descendente de productos, servicios, finanzas y/o información de una fuente a un cliente" (Mentzer, y otros, 2002). (Chapman, Christopher, Jüttner, Peck, & Wilding, 2002) y (Christopher, Logistics and Supply Chain Management – Creating Value-Adding Network, 2005) argumentan que una cadena de suministro debe ser considerada como algo más complejo que simplemente una cadena que es demasiado sencilla considerando el aumento de la distribución geográfica de las empresas hoy en día; con las organizaciones que operan desde muchos lugares geográficos, no hay manera de que la cadena de suministro puede seguir siendo simple, pero ahora está aumentando en complejidad, además, las interacciones entre los miembros de la cadena deben ahora ser complejas, ya que ahora se están extendiendo en redes más que en cadena.

Curiosamente, la gestión también se reconoce en la literatura como una parte integral de la cadena de suministro, por lo tanto, el término gestión de la cadena de suministro (SCM por sus siglas en inglés) utilizado por algunos investigadores, incluye estar al tanto de los otros miembros de la cadena de suministro, cuyos procesos deben vincularse entre los miembros de la cadena, además de conocer cuáles técnicas de gestión deberían utilizarse para integrar los procesos de estos miembros (Lambert, Cooper, & Pagh, 1998). Otra definición dada por The Global Supply Chain es bastante similar, es decir, "La gestión de la cadena de suministro es la integración de los principales procesos de negocio del usuario final a través de proveedores originales que proporcionan productos, servicios e información que agregan valor a los clientes y otras partes interesadas. A partir de estas definiciones, generalmente se puede describir que la gestión en la cadena de suministro trata de cómo los miembros de la cadena, las partes interesadas y los clientes administran la cadena.

3.2 Contexto de la Gestión de Riesgos

La gestión de riesgos es otro componente clave de SCRM, en la literatura, la mayoría de los debates sobre esta cuestión se limitan a controles internos. De acuerdo con (March & Shapira, 1987), el riesgo es "la variación en la distribución de los posibles resultados, su probabilidad y sus valores subjetivos". Por otro lado, existen diferentes revisiones de literatura que indican que no hay una definición clara de lo que es el riesgo en la cadena de suministro. En la tabla 1 se observan diferentes definiciones seleccionadas de diferentes publicaciones.

Autor (s)	Título	Definición
(Foroughi, Albin, & Kocakulah, 2006)	Perspectives on Global Supply Chain Supply-Side Risk Management	Un riesgo de cadena de suministro es una incertidumbre o evento impredecible que afecta a una o más de las partes dentro de la cadena de suministro o su entorno empresarial, lo que puede influir negativamente en el logro de los objetivos.
(Chen, Sohal, & Prajogo, 2013)	Supply chain operational risk mitigation: a collaborative approach	El riesgo de la cadena de suministro es la desviación potencial del valor esperado de una determinada medida de rendimiento de la cadena de suministro.
(Tang C., 2006)	Perspectives in supply chain risk management	Riesgo de la cadena de suministro se define como riesgos "operacionales" y riesgos de "interrupción".
(Tang & Musa, 2011)	Identifying risk issues and research advancements in supply chain risk management	El riesgo de la cadena de suministro se refiere a (i) eventos con probabilidad pequeña, pero pueden ocurrir abruptamente y (ii) estos eventos traen consigo consecuencias negativas sustanciales para el sistema.
(Juttner, Peck, & Christopher, 2003)	Supply chain risk management: outlining an agenda for future research	El riesgo de la cadena de suministro es cualquier riesgo para la información, el material y los flujos de producto desde el proveedor original hasta la entrega del producto final para el usuario final.
(Badea, Prosteană, Goncalves, & Allaoui, 2014)	Assessing risk factors in collaborative supply chain with the analytic hierarchy process (AHP)	El riesgo de la cadena de suministro se refiere a los riesgos que afectan el movimiento del proceso eficiente de información, materiales y productos entre diferentes partes de la cadena de suministro en una organización o en una cadena de suministro global.

Tabla 7: Definición de riesgo en la cadena de suministro

Fuente: Elaboración propia

La temática de la gestión del riesgo no es nueva, pero es reciente y poco estudiada en la cadena logística. La gestión de riesgos es el proceso mediante el cual se toman decisiones para aceptar o evaluar un riesgo conocido, al igual que para implementar acciones para reducir las consecuencias o la probabilidad de ocurrencia de un evento adverso (Cheng, Yip, & Yeung, 2012). La gestión de riesgos se refiere a estrategias, métodos y herramientas de apoyo para identificar y controlar el riesgo a un nivel aceptable (Alhawari, Karadsheh, Talet, & Mansour, 2012). De acuerdo con ISO 31000: 2009 (Gestión de riesgos: principios y directrices), la gestión de riesgos se refiere a un conjunto coordinado de actividades y métodos que se utilizan para dirigir una organización y para controlar los muchos riesgos que pueden afectar su capacidad para alcanzar los objetivos.

La gestión del riesgo en la organización permite asegurar que el tomador de decisiones conozca y entienda los riesgos y prepare el plan necesario que pueda prevenir desastres o reducir su impacto. El proceso de gestión de riesgos se ejecuta en cuatro etapas (Tuncel & Alpan, 2010); (Giannakis & Louis, 2011); (Lavastre, Gunasekaran, & Spalanzani, 2012):

- Identificación de riesgos: considerada como el paso fundamental para detectar los eventos inciertos que pueden alterar el buen funcionamiento de la cadena de suministro.

-
- Evaluación de riesgos: es un paso necesario para la selección de las acciones correctivas adecuadas para el riesgo identificado, se refiere a la asignación de la probabilidad de ocurrencia de los eventos. Al final de este paso, los riesgos pueden clasificarse en un evento muy improbable, evento improbable, evento moderado, evento probable, evento muy probable.
 - Control de Riesgos: se refiere a la selección e implementación de la estrategia correctiva óptima para los riesgos identificados.
 - Monitoreo de riesgos: este es el último paso en el proceso de gestión de riesgos, donde el sistema está supervisado para medir la eficiencia de las acciones correctivas y detectar los riesgos potenciales que no se identifican en los pasos anteriores, este paso puede mejorar el sistema de gestión de riesgos.

Por lo tanto, se puede considerar la gestión de riesgos como la aplicación sistemática de políticas, procedimientos y prácticas de gestión para evaluar, manejar y controlar los riesgos. En la revisión de la literatura, existen varias metodologías para la realización de estos pasos dependiendo de que sea una estrategia proactiva (es decir, predecir riesgos e implementar medidas para prevenir efectos no deseados) o estrategia reactiva (es decir, después de la ocurrencia de riesgos).

3.3 SCRM: Alcances y limitaciones

SCRM se define como el proceso de mitigación del riesgo que se logra a través de la colaboración, coordinación y aplicación de herramientas de gestión de riesgos entre los socios para asegurar la continuidad, junto con la rentabilidad a largo plazo de la cadena de suministro (Faisal, Banwet, & Shankar, 2006). SCRM puede definirse como un proceso estructurado y sinérgico a lo largo de la cadena de suministro, que busca optimizar la totalidad de estrategias, procesos, recursos humanos, tecnología y conocimiento en los objetivos de controlar, monitorear y evaluar el riesgo de la cadena de suministro y salvaguardar la continuidad y maximizar la rentabilidad (Sun, Matsui, & Yin, 2012). Otra definición de SCRM es dada por (Jüttner, 2005) "SCRM es la identificación y gestión del riesgo para la cadena de suministro, a través de un enfoque coordinado entre los miembros de la cadena de suministro, para reducir la vulnerabilidad de la cadena en su conjunto ". Las definiciones aportan como objetivo principal del SCRM la reducción de la vulnerabilidad de la cadena, es decir, una vez identificados y analizados los riesgos, es posible actuar sobre ellos reduciendo sus impactos, sus ocurrencias, o incluso empleando estrategias para evitar que se produzcan. La reducción de vulnerabilidad señalada en las definiciones de algunos trabajos está directamente correlacionada con el desempeño de la cadena, su velocidad de respuesta y rentabilidad, ya que con la vulnerabilidad de reducción de la cadena es posible mitigar los efectos adversos asociados con el riesgo evitando pérdidas. Algunas definiciones señalan claramente las relaciones entre la rentabilidad de la cadena y su desempeño asociado con la gestión del riesgo; SCRM desempeña un papel importante en el éxito de la gestión de los procesos de negocio de una manera proactiva.

SCRM se reduce a cómo controlar los factores que pueden tener efectos negativos sobre el funcionamiento normal de la cadena de suministro, para mejorar su fiabilidad (Guo, 2011). Además, SCRM tiene una fuerte influencia en la estabilidad de la cooperación dinámica entre los socios de la cadena, por lo que es importante para el desempeño de todas sus operaciones (Xia & Chen, 2011). Por lo tanto, el objetivo de SCRM es identificar posibles fuentes de riesgo e implementar medidas apropiadas para evitar o restringir la vulnerabilidad de la cadena de suministro, esto significa controlar los factores que pueden causar efectos negativos sobre el funcionamiento normal de la cadena mejorando su fiabilidad [41]. Varios autores (Harland, Brenchley, & Walker, 2003), (Zsidisin, Ragatz, & Melnyk, 2005), (Wieland & Wallenburg, 2012), entre otros, han propuesto modelos de SCRM con el fin de gestionar los riesgos en las cadenas de suministro reduciendo la vulnerabilidad y asegurando el funcionamiento continuo de la cadena. Para (Jia & Rutherford, 2010) por ejemplo, SCRM consiste básicamente en: i) definir los conceptos de riesgo y consecuencias adversas; ii) evaluar las fuentes de riesgo; iii) seguimiento de los factores de riesgo; y iv) minimizarlos. Para (Tummala & Schoenherr, 2011) en forma similar, SCRM también implica cuatro pasos: i) identificación del riesgo; ii) evaluación del riesgo; iii) propuesta de estrategias para aceptar, transferir, reducir o mitigar los riesgos; y iv) seguimiento del riesgo. SCRM puede ser visto como la capacidad de ser ágil, según (Braunscheidel & Suresh, 2009), la agilidad se considera una iniciativa de gestión de riesgos que permite a la empresa responder rápidamente a los cambios del mercado, así como a las interrupciones potenciales y reales en la cadena de suministro, por lo tanto, la agilidad es de valor para la mitigación del riesgo y como respuesta a sus efectos

Se puede resumir que el proceso de gestión de riesgos en la cadena de suministro consiste en la integración y gestión de las organizaciones y actividades de la cadena de suministro a través de relaciones organizativas cooperativas, procesos empresariales eficaces, gestión de riesgos y altos niveles de intercambio de información para crear sistemas de alto rendimiento que proporcionan a las organizaciones una ventaja competitiva sostenible; también se puede decir que SCRM es la gestión del riesgo que implica horizontes estratégicos y operativos para la evaluación a largo plazo y a corto plazo, se refiere a riesgos que pueden modificar o impedir parte del movimiento y flujo eficiente de información, materiales y productos entre los actores de una cadena de suministro dentro de una organización o entre actores de una cadena de suministro global.

3.3.1 Modelos y métodos comunes en SCRM

Con base en la revisión de la literatura, se pueden encontrar varios métodos para la gestión de riesgos. Estos métodos se pueden clasificar en dos categorías: el enfoque determinístico y el enfoque estocástico; se puede mencionar las listas de verificación, análisis de tareas, Análisis de Riesgos y Operaciones (HAZOP), Evaluación de Riesgos Cuantitativos (QRA), Análisis de Riesgos Críticos y de Errores (CREA), Análisis de Árboles de Fallos (FTA), Análisis de Modo de Falla y Efectos (FMEA), Distribución de Probabilidad de Fallas y Fiabilidad (PDEA), Redes Petri, Redes Bayesianas, etc.

En este trabajo se trata de dar una visión general de algunas nuevas aplicaciones de la gestión de riesgos en las cadenas de suministro y sus métodos. Por ejemplo, y para estudiar el impacto de los riesgos de interrupción en el proceso de gestión de inventario de un proveedor de noticias, un modelo estocástico ha sido desarrollado por (Vlachos, Lakovou, & Xanthopoulos, 2012), en este modelo se consideró la examinación conjunta de la gestión de inventarios y los riesgos de interrupción de las redes de la cadena de suministro teniendo en cuenta la toma de decisiones de aversión al riesgo; puede ser aplicable a diferentes tipos de interrupciones (proceso de producción, suministro de materias primas, etc.).

En 2013, el QRA fue utilizado por (Ma, Li, Liang, & Cheng, 2013) para analizar la probabilidad de accidentes de la red de gas y sus consecuencias de una red de tuberías urbanas chinas, este estudio de caso puede interpretarse como un problema de distribución en la cadena de suministro; este mismo método fue utilizado por (Si, Ji, & Zeng, 2012) para cuantificar el riesgo de fugas de productos químicos peligrosos y tomar precauciones contra sus accidentes. El modelo se ha aplicado para evaluar cuantitativamente un tanque de almacenamiento en una empresa china (Changshou industria química). Estos dos casos pueden justificar la implementación de este método (QRA) en los problemas de la cadena de suministro y con mayor precisión en la cadena de suministro farmacéutica y la red de transporte de tuberías (agua, petróleo, gas).

(Lavastre, Gunasekaran, & Spalanzani, 2012) demostraron que para que las organizaciones sean eficaces, la SCRM debe ser una función de gestión de naturaleza inter-institucional y estrechamente relacionada con las realidades estratégicas y operativas de la actividad en cuestión. Sugieren que la SCRM se basa en la colaboración y el establecimiento de procesos transversales conjuntos y comunes con los socios industriales; ellos utilizaron una metodología híbrida basada en entrevistas cara a cara, cuestionarios y análisis estadísticos, basado en un estudio empírico de 142 gerentes generales y gestores logísticos y de la cadena de suministro de 50 empresas francesas diferentes.

Por otra parte, el proceso jerárquico analítico difusa (FAHP) se utilizó para determinar los riesgos más importantes de la cadena de suministro y las correspondientes estrategias de gestión de riesgos para una empresa turca que opera en la industria siderúrgica, los resultados de esta investigación concluyen que los riesgos de suministro y riesgos operativos son muy importantes en comparación con los riesgos ambientales (Sofyalioglu & Kartal, 2012).

Para investigar la vulnerabilidad de las cadenas de suministro en general y examinar los factores clave de los riesgos de la cadena de suministro, se han realizado análisis empíricos de las prácticas de gestión en la cadena de la industria automotriz alemana, el resultado del análisis basado en la matriz de probabilidad-impacto revela que las empresas con alto grado de implementación muestran un mejor desempeño en la cadena de suministro (Thun & Hoenig, 2011). Para modular y analizar una red de cadena de suministro que está sujeta a diversos riesgos, se utilizó una Red de Petri (PN) cronometrada para integrar los procedimientos de gestión de riesgos en el proceso de diseño, planificación y evaluación del rendimiento de la red de cadena de suministro de la empresa turca, PN se ha utilizado para modular la cadena de suministro dinámica y resolver la problemática de los riesgos mediante una toma de decisiones en tiempo real (Tuncel & Alpan, 2010).

En 2012, las redes bayesianas se utilizaron para priorizar los factores que influyen en el riesgo de accidentes de transporte de materiales peligrosos en China, los autores recogieron y analizaron 94 casos de accidentes de transporte en China, encontraron que los factores de más influencia en accidentes de transporte de materiales peligrosos son factores humanos, el vehículo de transporte y las instalaciones, y el embalaje y carga del material peligroso (Zhao, Wang, & Qian, 2012). Además, en el contexto de los riesgos de error humano, y para mejorar la cuantificación de las influencias organizacionales en los marcos de análisis de la fiabilidad humana y para modelar los efectos de los factores organizativos en la fiabilidad humana, se utilizó la red bayesiana difusa para identificar las causas raíz más probables y la priorización de las causas raíz causadas por el error humano (Peng-cheng, Guo-hua, Li-caio, & Li, 2012).

(Marhavilas & Koulouriotis, 2012), desarrollaron un marco de evaluación de riesgo alternativo mediante la inclusión de un proceso estocástico y un proceso determinista, que llamaron método STODET. Se aplica en la Corporación Pública griega; este método se consideró como una mejora en las técnicas de evaluación de riesgos debido a la presentación de una nueva técnica completa de evaluación del riesgo combinada con datos reales de eventos y accidentes indeseables.

Para cuantificar el riesgo de fugas de productos químicos peligrosos en la industria química, se ha establecido el Modelo de Probabilidad Cuantitativa por Envenenamiento por Explosión de Fuego (FEPQPM) basado en la Evaluación Cuantitativa de Riesgos (QRA), se ha aplicado a un tanque de almacenamiento de empresas en China (Si, Ji, & Zeng, 2012).

Entre los métodos utilizados en la gestión de riesgos en la logística, podemos mencionar el Análisis de Modo de Falla y Efectos (FMEA). El FMEA es una herramienta ampliamente utilizada en evaluación de riesgos para definir, identificar y eliminar posibles fallas o problemas en productos, procesos, diseños y servicios (Ennouri, Frikha, & Chabchoub, 2013); (Kutlu & Ekmekçioğlu, 2012); (Liu, Liu, & Liu); (Cicek & Celik, 2013).

(Foroughi, Albin, & Kocakulah, 2006) se centraron en el estudio de la vulnerabilidad y en los riesgos para la parte entrante / proveedor de la cadena de suministro, en la cual las partes o servicios pasan del proveedor al fabricante o minorista. Las razones para aumentar la vulnerabilidad en la cadena de suministro son: 1) El número de compañías en todo el mundo que utilizan cadenas de suministro globales está creciendo; 2) El aumento de la competencia ha llevado a muchas empresas a adoptar las prácticas de inventario reducido de JIT, que demandan tamaños de lotes frecuentes y pequeños, el mantenimiento de poco o ningún inventario y estrechas relaciones con sólo uno o muy pocos proveedores; 3) Las empresas hoy en día se encuentran inmersas en factores relacionados con el aumento de la competencia. Estos factores relacionados con la competencia hacen que la previsión de la demanda y el ajuste a un ciclo inesperado de vida del producto y las preferencias de los clientes sean un gran desafío; 4) Las relaciones entre los miembros de la cadena de suministro de una empresa suelen ser complejas, un factor que aumenta y hace difícil identificar vulnerabilidades; 5) Por último, sorprendentemente pocas empresas están realmente planeando riesgos. Los sistemas de planificación avanzados no tratan tradicionalmente de lo inesperado y muchas empresas carecen de un enfoque estratégico para la gestión de riesgos. Los desajustes entre la demanda y la oferta ocurren porque los planes de muchas empresas son demasiado agregados y se basan en información inexacta de inventario y capacidad.

(Tang C. , 2006) revisó varios modelos cuantitativos para manejar las cadenas de suministro y las relacionó con las prácticas actuales. Abordó la preocupación de SCRM en dos aspectos: 1) Riesgo de la cadena de suministro, riesgos operacionales y/o riesgos de interrupción; 2) Enfoque de Mitigación - gestión de la oferta, gestión de la demanda, gestión del producto o gestión de la información. (Goh, Lim, & Meng, 2007) presentó un modelo estocástico del problema de la red de cadena de suministro global de varios niveles, incorporando un conjunto de riesgos relacionados, es decir, la oferta, la demanda, el intercambio y la interrupción, ellos utilizaron la regularización de Moreau-Yosida para diseñar un algoritmo para tratar el problema de la red global de cadena de suministro de varios niveles bajo un escenario de variedad de riesgos con el objetivo de maximizar los beneficios y minimizar el riesgo.

(Huang & Huang, 2012) propusieron un enfoque integrado para la selección más de proveedores, la fijación de precios y las decisiones de inventario en una cadena de suministro multinivel. Para evaluar el beneficio marginal de los miembros de la cadena de suministro, se realizó un estudio numérico y un análisis sensible de la teoría de juegos. Ellos concluyeron lo siguiente: 1) El aumento de una escala de mercado minorista aumenta el precio de venta y la demanda del producto en ese mercado, sin afectar a otros mercados minoristas; 2) Una mayor escala de mercado aumenta la importancia de este mercado y los proveedores que sólo

proporcionan componentes para el producto en este rango de mercado; 3) El cambio en el costo de instalación tiene relativamente poco impacto en las decisiones de fijación de precios y el beneficio marginal de los miembros de la cadena de suministro.

A. N. Sadigh et al. (2013) propusieron un modelo matemático con el objetivo de decidir cuanto producir, la determinación del esquema del montaje de las maquinarias, la ubicación del centro de distribución y la planificación de la distribución logística integrada con la selección de proveedores. La función objetivo considerada fue: 1) Minimización del costo total incluyendo el costo del pedido, el costo de compra, los centros de distribución que localizan el costo y el costo del transporte; 2) Minimización del tiempo máximo de transporte de los productos comprados a los clientes. Con el fin de resolver el problema multi-objetivo, se utilizó el método de ponderación. Además, se propuso un algoritmo genético modificado para obtener conjuntos óptimos de Pareto. Después de los experimentos computacionales, se observó que se obtuvieron soluciones de alta calidad, así como mejores tiempos computacionales en comparación con el modelo matemático original, por lo que se observa que los algoritmos genéticos son un apoyo en la toma de decisiones.

(Srinivasan, Mukherjee, & Gaur, 2011) examinaron la calidad de la relación comprador-proveedor y el desempeño de la cadena de suministro en presencia de los riesgos de la oferta-demanda, y la incertidumbre ambiental; desarrollaron una hipótesis específica basada en los principios teóricos de la visión basada en los recursos, la teoría del capital relacional y la economía de los costos de transacción utilizando el proceso de análisis de datos. Los resultados demostraron que existe una relación positiva entre la calidad de la asociación y el desempeño de la cadena de suministro, que se fortalece en presencia de altos riesgos de demanda y oferta, pero debilitada por la alta incertidumbre ambiental.

Los proveedores pueden ser considerados como fuentes inevitables de riesgos externos en las cadenas de suministro modernas. En este contexto, la resiliencia que representa la capacidad de adaptación para responder a las interrupciones y recuperarse de ella debe considerarse en la selección de proveedores. Pero la selección de proveedores es un desafío que involucra la evaluación de atributos tanto cualitativos como cuantitativos y que en la actualidad tienen información imprecisa y limitada. (Christopher & Lee, 2004) resaltaron el papel de los proveedores en impartir resistencia a las cadenas de suministro y subrayaron las necesidades de tener una relación de colaboración con los proveedores. (Moore & Manring, 2009) abordaron los aspectos de sostenibilidad de una cadena de suministro flexible y subrayaron que las cuestiones relacionadas con el medio ambiente y la sostenibilidad deberían considerarse para el desarrollo de estrategias de selección de proveedores para pequeñas y medianas empresas.

(Christopher, 2010) opina que un proveedor debe tener suficiente aceleración para cumplir con las fluctuaciones de la demanda. La visibilidad es la capacidad del proveedor para tener una visión extensa de los inventarios, las condiciones de demanda y suministro y los horarios de producción y compra.

Otro aspecto relevante es la gestión de la interrupción, especialmente con respecto a la disponibilidad de los proveedores. (Silbermayr & Minner, 2014) desarrollaron un modelo analítico basado en procesos de decisión de Markov en el cual los proveedores pueden estar completamente indisponibles en un intervalo de tiempo (estocástico) dado, debido a la complejidad de las políticas de ordenamiento óptimo, también derivan un enfoque heurístico. La incertidumbre se ha incorporado en los problemas de selección de proveedores ya sea mediante programación estocástica o simulación. Además, se han considerado fuentes distintas de incertidumbre y diferentes distribuciones para estas incertidumbres. Utilizando una metodología de optimización de simulación híbrida, (Ding, Benyoucef, & Xie, 2005) pueden estimar el impacto de la selección de proveedores en los procesos tácticos de la cadena de suministro y utilizar esta información en la decisión sobre qué proveedores seleccionar.

4. Discusión

Las organizaciones que implementan SCRM pueden obtener muchos beneficios, en particular porque ofrece a las organizaciones un enfoque mejorado en el riesgo y una mitigación de estos más efectiva. Otros beneficios de la gestión de riesgos de la cadena de suministro incluyen la eliminación de los costos potenciales e inesperados, la reducción de la interrupción y la disminución del tiempo de recuperación. El seguimiento y la gestión de los eventos de la cadena de suministro, teniendo en cuenta elementos de riesgo potenciales, predecibles e incluso inciertos, generalmente evidencian una mejora en el desempeño general de la cadena de suministro. A medida que la cadena de suministro y las redes de transporte evolucionan en un entorno dinámico, es urgente revisar las prácticas de gestión de riesgos para apoyar la toma de decisiones estratégicas tanto a largo

como a corto plazo. La exposición al riesgo de las organizaciones debe analizarse cuidadosamente en función de criterios objetivos. El trabajo cuenta con un conjunto de definiciones de lo que es el riesgo en la cadena de suministro, ya que es esencial distinguir entre riesgo y otros términos que son similares. Además, dado que los riesgos pueden ocurrir en cualquier momento y en cualquier lugar de la cadena, entonces la gestión de riesgos se hace necesaria.

5. Conclusiones

Este artículo ofrece una revisión de la literatura sobre SCRM usando el enfoque de análisis de contenido. Aunque esta investigación no es exhaustiva, trabajos seleccionados constituyen una parte significativa y representativa de la investigación científica realizada sobre SCRM. Sirve como una base integral para la comprensión de las principales definiciones, los principales temas y estudios de la SCRM en las empresas. La revisión destaca la falta de una definición unánime de SCRM entre los investigadores; sin embargo, comparten un punto de vista similar sobre la definición de SCRM. Otro punto destacado es la necesidad de realizar más estudios, debido a que hay muchas industrias que presentan muchas fuentes de riesgo y eventos que aún no están cubiertos en la literatura, por ejemplo, la industria del petróleo y gas/petróleo. La literatura carece de un marco integrado y aceptado para el SCRM, muchos modelos necesitan ser probados en cadenas de suministro reales; se necesitan más estudios sobre la etapa de evaluación en SCRM, con la conducción de más investigación sobre cómo el riesgo puede ser analizado y tratado.

A partir de la revisión de la literatura, se puede ver que aún es necesario generalizar y validar los modelos propuestos y las estrategias formuladas sobre el proceso de gestión de riesgos en las cadenas de abastecimiento. Además, sólo unos pocos parámetros se tienen en cuenta como demanda, tiempo y costo, pero en ciertos casos, se necesitan condiciones y parámetros para ser tomados en condiciones inciertas. Por último, pero no menos importante, las maneras de reducir la dependencia de proveedores importantes y especiales son necesarios y las barreras y el riesgo secundario asociado con ellos son necesarios para ser descubierto. Algunos investigadores han prestado atención, pero es necesario analizar la eficacia de las metodologías de evaluación de riesgos. La investigación futura podría considerar los esfuerzos en la validación de varios modelos de riesgo; los métodos y/o enfoques, así como las herramientas y técnicas utilizadas hoy en día para la medición del riesgo en la cadena de suministro.

Agradecimiento

El Ing. Alain Gabriel García Martínez agradece especialmente al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología la Beca otorgada para realizar la Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla.

6. Referencias

- Alhawari, S., Karadsheh, L., Talet, A., & Mansour, E. (2012). *Knowledge-Based Risk Management framework for Information Technology project*. International Journal of Information Management, 32, 50-65.
- Badea, A., Prosteana, G., Goncalves, G., & Allaoui, H. (2014). *Assessing Risk Factors In Collaborative Supply Chain with The Analytic Hierarchy Process (AHP)*. Procedia - Social And Behavioral Sciences, 114-123.
- Braunscheidel, M., & Suresh, N. (2009). *The organizational antecedents of a firm's supply chain agility for risk mitigation and response*. Journal of Operations Management, 27(2), 119-140.
- Chapman, P., Christopher, M., Jüttner, U., Peck, H., & Wilding, R. (2002). *Identifying and Managing Supply-Chain Vulnerability*. Logistics and Transportation Focus, 4(4), 59-63.
- Chen, J., Sohal, A., & Prajogo, D. I. (2013). *Supply Chain Operational Risk Mitigation: A Collaborative Approach*. International Journal of Production Research, 51(7), 2186-2199.
- Cheng, T., Yip, F., & Yeung, A. (2012). *Supply risk management via guanxi in the Chinese business context: The buyer's perspective*. International Journal of Production Economics, 3-13.
- Christopher, M. (2005). *Logistics and Supply Chain Management – Creating Value-Adding Network (Tercera ed.)*. Great Britain: Pearson Education Limited.
- Christopher, M. (2010). *Logistics and Supply Chain Management*. Financial Times/Prentice Hall.
- Christopher, M., & Lee, H. (2004). *Mitigating supply chain risk through improved confidence*. Int. J. Phys. Distrib. Logist. Manag, 388-396.

- Cicek, K., & Celik, M. (2013). *Application of failure modes and effects analysis to main engine crankcase explosion failure on-board ship*. Safety Science, 6-10.
- Ding, H., Benyoucef, L., & Xie, X. (2005). *A simulation optimization methodology for supplier selection problem*. International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 210-224.
- Ennouri, W., Frikha, A., & Chabchoub, H. (2013). *Risks management in Tunisian industry: case study*. The International Conference on Advanced Logistics and Transport.
- Faisal, M., Banwet, D., & Shankar, R. (2006). *Supply chain risk mitigation: Modelling the enablers*. Business Process Management Journal, 12(4), 535-552.
- Foroughi, A., Albin, M., & Kocakulah, M. (2006). *Perspectives on Global Supply Chain Supply-Side Risk Management*. Portland International Center For Management Of Engineering And Technology, 2732-2740.
- Giannakis, M., & Louis, M. (2011). *A multi-agent based frame work for supply chain risk management*. Journal of Purchasing and Supply Management, 23-31.
- Goh, M., Lim, J., & Meng, F. (2007). *A Stochastic Model For Risk Management In Global Supply Chain Networks*. European Journal Of Operational Research, 164-173.
- Guo, Y. (2011). *Research on Knowledge-Oriented Supply Chain Risk Management System Model*. Journal of Management and Strategy, 2(2), 72-77.
- Harland, C., Brenchley, R., & Walker, H. (2003). Risk in supply networks. Journal of Purchasing & Supply Management, 9(2), 51-62.
- Huang, Y., & Huang, G. (2012). *Integrated Supplier Selection, Pricing And Inventory Decisions In A Multi-Level Supply Chain, Decision-Making For Supply Chain Integration*. Decision Engineering, 47-62.
- Jia, F., & Rutherford, C. (2010). *Mitigation of supply chain relational risk caused by cultural differences between China and the West*. The International Journal of Logistics Management, 21(2), 251-270.
- Jüttner, U. (2005). *Supply chain risk management: Understanding the business requirements from a practitioner perspective*. The International Journal of Logistics Management, 16(1), 120-141.
- Juttner, U., Peck, U., & Christopher, M. (2003). *Supply Chain Risk Management: Outlining An Agenda For Future Research*. International Journal of Logistics, 6(4), 197-210.
- Kutlu, A., & Ekmekçioğlu, M. (2012). *Fuzzy failure modes and effects analysis by using fuzzy TOPSIS-based fuzzy AHP*. Expert Systems with Applications, 61-67.
- Lambert, D., Cooper, M., & Pagh, J. (1998). *Supply Chain Management: Implementation Issues and Research Opportunities*. International Journal of Logistics Management, 9(2), 1-19.
- Lavastre, O., Gunasekaran, A., & Spalanzani, A. (2012). *Supply chain risk management in French companies*. Decision Support Systems, 828-838.
- Liu, H., Liu, L., & Liu, N. (s.f.). *Risk evaluation approaches in failure mode and effects analysis: A literature review*.
- Ma, L., Li, Y., Liang, L., & Cheng, L. (2013). *A novel method of quantitative risk assessment based on grid difference of pipeline sections*. Safety Science.
- March, J., & Shapira, Z. (1987). Managerial Perspectives on Risk and Risk Taking. Management Science, 33(11), 1404-1418.
- Marhavidas, P., & Koulouriotis, D. (2012). *Developing a new alternative risk assessment framework in the work sites by including a stochastic and a deterministic process: A*. Safety Science, 448-462.
- Mentzer, J., DeWitt, W., Keeber, J., Min, S., Smith, C., & Zacharia, Z. (2002). *Defining Supply Chain Management*. Journal of Business Logistics, 22(2), 1-25.
- Moore, S., & Manring, S. (2009). *Strategy development in small and medium sized enterprises for sustainability and increased value creation*. J. Clean. Prod., 276-282.
- Peng-cheng, L., Guo-hua, C., Li-cao, D., & Li, Z. (2012). *A fuzzy Bayesian network approach to improve the quantification of organizational influences in HRA frameworks*. Safety Science, 1569-1583.
- Si, H., Ji, H., & Zeng, X. (2012). *Quantitative risk assessment model of hazardous chemicals leakage and application*. Safety Science, 1452-1461.
- Silbermayr, L., & Minner, S. (2014). *A multiple sourcing inventory model under disruption risk*. International Journal of Production Economics, 37-46.
- Singhal, P., Agarwal, G., & Mittal, M. (2011). *Supply chain risk management : Review, classification and future research directions*. International Journal of Business Science and Applied Management, 6(3), 15-42.

-
- Sofyalioglu, C., & Kartal, B. (2012). *The selection of global supply chain risk management strategies by using fuzzy analytical hierarchy process a case from Turkey*. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 1448-1457.
- Srinivasan, M., Mukherjee, D., & Gaur, A. (2011). Buyer–Supplier Partnership Quality and Supply Chain Performance: Moderating Role Of Risks, And Environmental Uncertainty. *European Management Journal*, 260-267.
- Sun, J., Matsui, M., & Yin, Y. (2012). *Supplier risk management: An economic model of P-chart considered due-date and quality risks*. *International Journal of Production Economics*, 58-64.
- Tang, C. (2006). Perspectives in Supply Chain Risk Management. *International Journal of Production Economics*, 103, 451-488.
- Tang, O., & Musa, S. (2011). *Identifying Risk Issues And Research Advancements In Supply Chain Risk Management*. *The International Journal Of Production Economics*, 133, 25-34.
- Thun, J., & Hoenic, D. (2011). *An empirical analysis of supply chain risk management in the German automotive industry*. *International Journal of Production Economics*, 242-249.
- Tummala, R., & Schoenherr, T. (2011). *Assessing and managing risks using the Supply Chain Risk Management Process (SCRMP)*. *Supply Chain Management: An International Journal*, 16(6), 474-483.
- Tuncel, G., & Alpan, G. (2010). Risk assessment and management for supply chain networks: A case study *Computers in Industry*, 250-259.
- Vaughan-Morris, G. (2012). *Strategic Infrastructure Steps to Prioritize and Deliver Infrastructure Effectively and Efficiently*. Geneva: World Economic Forum in collaboration with PwC.
- Vlachos, D., Lakovou, E., & Xanthopoulos, A. (2012). *Optimal newsvendor policies for dualsourcing supply chains: A disruption risk management framework*. *Computers and Operations Research*, 350–357.
- Wieland, A., & Wallenburg, C. (2012). *Dealing with supply chain risks: Linking risk management practices and strategies to performance*. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 42(10), 887–905.
- Xia, D., & Chen, B. (2011). *A comprehensive decision-making model for risk management of supply chain*. *Expert Systems with Applications*, 38(5), 4957–4966.
- Zhao, L., Wang, X., & Qian, Y. (2012). Analysis of factors that influence hazardous material transportation accidents based on Bayesian networks: A case study in China. *Safety Science*, 1049–1055.
- Zsidisin, G., Ragatz, G., & Melnyk, S. (2005). *An institutional theory perspective of businesscontinuity planning for purchasing and supply management*. *International Journal of Production Research*, 43(16), 3401–3420.

Metodología de Análisis de Operaciones mediante simulación discreta en estaciones de gasolina. Caso de estudio Gasolinera Veracruz.

Martha Sarai Serrano Chávez Ing. ¹, Ing. José Alberto Hernández Rodríguez ² Ing. Sthefany Alvarez Vargas¹
Ing. Ibridoris Tatnai Burguete Palacios ⁴, Dr. Saúl Santiago Cruz ⁵

¹ Sarai Serrano Chávez, Ingeniería industrial es Profesor de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. Saraiserrano14@gmail.com

² Ingeniero Industrial. José Alberto Hernández Rodríguez. Ing.Jahr92@gmail.com

³ Ingeniera Industrial. Sthefany Alvarez Vargas sthefany_alvar@hotmail.com

⁴ Ingeniera Industrial Empresarial. Ibridoris Tatnai Burguete Palacios. ibridorisbp@gmail.com

⁵ Dr. en Medio Ambiente Saúl Santiago Cruz es Profesor Investigador del Área de Posgrado e Investigación del Instituto Tecnológico Superior de Misantla. Veracruz ssantiagoc@itsm.edu.mx

Resumen-La presente investigación tiene un enfoque descriptivo dentro de un estudio piloto de un proyecto de simulación en una gasolinera de la ciudad de Veracruz. El modelo permite diagnosticar el comportamiento de las estaciones del proceso de venta de gasolina en las instalaciones de la gasolinera. El diagnóstico toma en consideración la recolección de datos e información para analizar e interpretar el estado actual del sistema con el fin de determinar las áreas de oportunidad para su mejora. Para esta investigación fueron utilizados conceptos de modelación de procesos a partir de la simulación asistida por computadora, apoyado de una simulación estocástica, como resultado se obtiene un modelo en el software Arena que permite visualizar el proceso, además de generar estadísticos útiles para medir cuantitativamente el desempeño del sistema.

Palabras clave: (Simulación, Diagnóstico, Servicio, Arena)

Abstract -The current research has been developed within a pilot simulation project in a gas station from Veracruz city. This type of model allows to diagnose how a selling-process behave in gasoline dispensing pumps. This includes data recovery and information in order to analyze the current system status and improve it in divers sectors afterwards. In order to achieve the wanted target, tools such as CAD modeling process and simulation concepts along with stochastic simulation were utilized getting the software Arena as a result which allows visualize the process, besides creating helpful charts in order to measure the system performance.

Key words: (Simulation, Diagnostic, Service, Arena).

1. Introducción

En el periodo enero a noviembre de 2016, 60% de la gasolina que se consumió en México provino del exterior, es decir, 816 mil barriles diarios en promedio, así mismo, el peso acumuló una devaluación del 18%. Para el 2017 el precio de la gasolina incrementó \$2.01 de magna y \$2.98 de premium en relación con los valores establecidos en el 2016 [CEESCO, 2016]

A principios del 2017 el Impuesto Especial sobre Producción y Servicios aplicado a la venta de gasolina en el país se alcanzó 34, 842 millones de pesos, siendo menor a lo recaudado el año anterior durante el mismo período; demostrando así un decremento en el consumo de gasolina por parte de los automovilistas [Albarrán E., 2017].

En la actualidad la simulación se ha hecho más popular y poderosa, es un tema muy referido, pero muy pocas veces se puntualiza en sus verdaderos alcances y utilidades en diferentes campos y sus múltiples aplicaciones. [Kelton y col., 2004]. Tanto las industrias como las organizaciones han empleado la simulación como una herramienta que les permite prever el futuro basado en la historia de sus comportamientos, sin embargo, la interpretación de dicha información es el elemento clave para su uso apropiado en la representación del futuro [Ruiz N., 2009].

La simulación es definida como “la imitación de la ejecución de un proceso o sistema del mundo real a través del tiempo” [Banks J., 1998]. Sin embargo, el término varía dependiendo del área de aplicación, en

negocios por ejemplo, es referida al uso de una computadora para llevar a cabo experimentos en un modelo de un sistema real, [Chase y col., 2009].

La simulación es utilizada para describir y analizar el comportamiento de un sistema, realizar preguntas del tipo “que sucede si...” relacionadas con el mundo real, y ayudar en el diseño de sistemas reales. Tanto los sistemas existentes como los conceptuales pueden modelarse con la simulación”.

La aplicación de la simulación implica, por lo general, el manejo de un volumen considerable de datos y la ejecución de un alto número de repeticiones del proceso, ya que se pretende lograr una adecuada historia artificial que permita tomar una decisión con alto grado de confiabilidad; solo es factible que este manejo se haga en el computador con la ayuda de un software especializado [Fábregas y col., 2003].

Actualmente, la simulación se utiliza para ayudar a la toma de decisiones al proporcionar una herramienta que permite que el comportamiento actual de un sistema pueda ser analizado y comprendido [Greasley A, 2003]. Esta herramienta es de utilidad en la disminución de costos operaciones y apoyan la toma de decisiones previa a la decisión final, es amagible también para un entendimiento del estado actual de la empresa.[Delgado F., 2011].

A partir de lo anterior, se puede deducir que la simulación busca la creación de un modelo virtual de una situación real con mínima incertidumbre, por lo tanto, se puede constituir en una gran herramienta para el proceso de toma de decisiones. Asimismo, puede ayudar a predecir el rendimiento de ese sistema en una serie de escenarios determinados por el tomador de decisiones. El resultado de la simulación se ha convertido en un método sistemático utilizado por las organizaciones para examinar los procesos como parte de una estrategia de gestión del riesgo o la incertidumbre, [Helquist y col., 2012]. Es decir, ya está dentro de la planeación estratégica que son los cimientos de una compañía, [Orozco E., 2012].

La modelación de sistemas productivos depende en gran medida de parámetros aleatorios, como la demanda o tiempos de servicio, lo cual los convierte hoy día en un amplio campo de investigación [Urquía M., 2013]. En particular, la modelación asistida por computador es empleada en diversas áreas como la prestación de servicios, [Rodríguez y col., 2013]. Un modelo es una representación simplificada del sistema en un instante de tiempo o espacio concreto realizada para comprender el sistema real, [Cachutt C., 2009].

En la presente investigación, la simulación asistida por computadora fue de utilidad para diagnosticar la situación actual del proceso y a partir de ello proponer la optimización de los recursos que se utilizan para la gestión de sus operaciones.

2. Desarrollo

Análisis de la situación actual

La gasolinera donde se realiza la investigación está ubicada en Boca del Río, Veracruz. Su horario de servicio es de 24 horas, Tiene una plantilla de cinco operarios distribuidos en tres turnos y un jefe de estación. Cuenta con dos entradas al sistema, cuatro bombas dispensadoras de gasolina y dos salidas del sistema. Un esquema general de la prestación del servicio se muestra en la Figura 1.

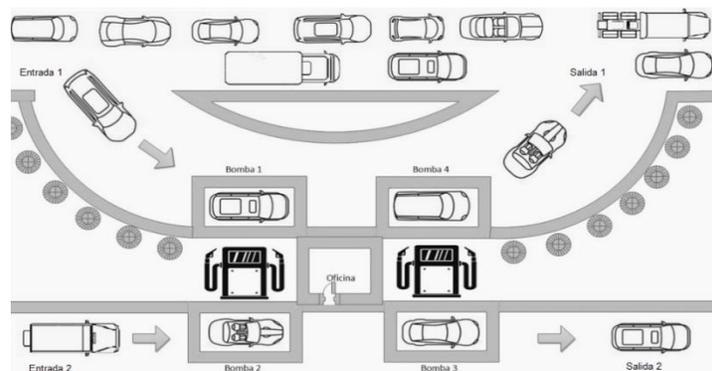


Figura 1. Distribución de la estación de servicio. Fuente: Elaboración propia

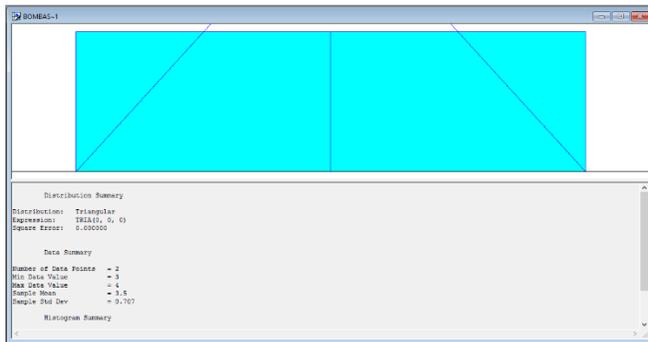
El acceso a la primera entrada (Entrada 1) al sistema se encuentra conectada a una avenida principal, ésta dispone de las bombas 1 y 4 para el aprovisionamiento de gasolina, después, se presenta la finalización del servicio reincorporándose el vehículo a la avenida. Mientras que, la segunda entrada (Entrada 2) al sistema se encuentra ubicada dentro del estacionamiento de una tienda de ventas al por mayor, esta entrada dispone de las bombas 2 y 3, posteriormente sale del sistema reincorporándose el vehículo al estacionamiento de la tienda.

Metodología

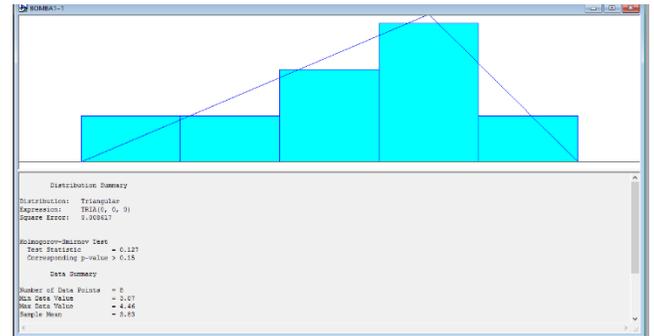
1. Definición del problema y planificación del estudio. El objetivo de la investigación es determinar el funcionamiento actual de la gasolinera y sobre ello asignar los recursos de manera óptima. De manera que, se inicia con un registro de las entradas al sistema y los tiempos de servicios. Para evaluar la situación actual. Para hacer la observación se tomó en consideración el horario en el que el sistema se encuentra más concurrido.

2. Recolección de datos. Para recolectar la información se generan formatos en las que se considera: llegada del cliente, momento en el que es atendido y salida del servidor. La recolección de datos se realizó en un periodo de 8 días debido a las limitantes establecidas por la empresa. El horario del levantamiento de tiempos fue de 11:00 a 15:00 horas, esto de acuerdo a la información proporcionada por la administración de la gasolinera sobre el horario de mayor flujo de entradas al sistema. Posterior a ello, se captura el registro de la muestra obtenida en una hoja de cálculo.

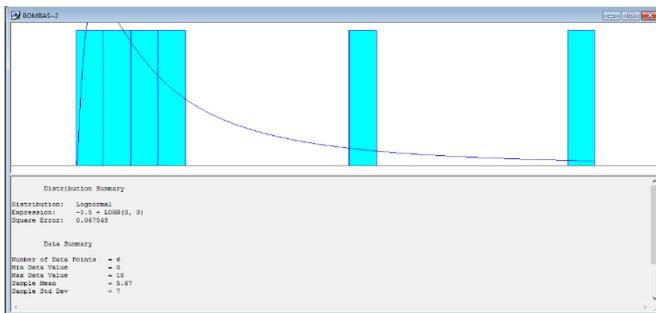
3. Obtención de datos estadísticos. Se obtienen datos que ayudarán al planteamiento de la simulación, tales como: promedio de llegadas, promedio de salidas, tiempo promedio de espera, tiempo promedio de servicios, tiempo promedio entre llegadas, número promedio de clientes en la cola, número de clientes por bomba, Porcentaje de utilización de las bombas. Asimismo, mediante la herramienta Input Analyzer del software Arena se determina el tipo de distribución que sigue la llegada de las entidades al sistema y los tiempos de servicios a partir de los tiempos obtenidos en la recolección de datos, mismas que se muestran en la Figura 2.



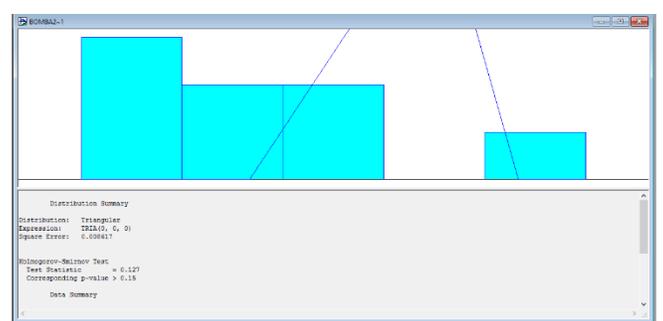
Entrada 1. Llegada al sistema. (Triangular)



Entrada 1. Tiempo de servicio (Triangular)



Entrada 2. Llegada al sistema (Lognormal)



Entrada 2. Tiempo de servicio (Triangular)

Figura 2. Distribuciones de las variables del sistema. Fuente: Elaboración Propia.

El número máximo de llegadas fue de 20 automóviles en los días 2 y 4 en un horario de 13:00 a 14:00 y de 14:00 a 15:00 respectivamente, como se muestra en la Figura 3.

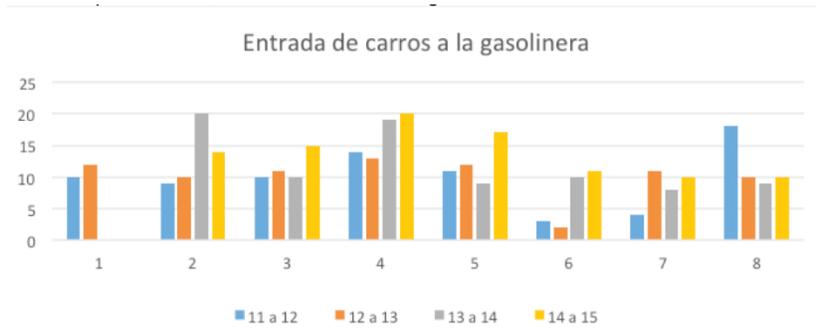


Figura 3. Entrada de carros a la gasolinera. Fuente: Elaboración propia

Se tienen dos colas de espera el día 4, en un horario de 13:00 a 14:00 con 4 automóviles y de 14:00 a 15:00 con 8 automóviles sin atender. En la Figura 4 se muestra los carros en la cola de espera.

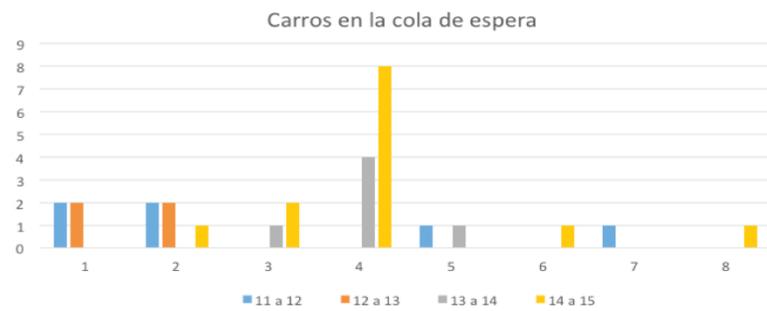


Figura 4. Carros en la cola de espera. Fuente: Elaboración propia

4. Construcción y verificación del programa para computador del modelo. Se construye un modelo de simulación del sistema en el software Arena, el cual se encuentra integrado por 2 subsistemas (Entrada 1 y Entrada 2), de esta manera se está trabajando con 2 procesos independientes, cada una con 2 bombas para el abastecimiento de gasolina; posteriormente, se presenta una salida para la finalización del servicio de cada subsistema. El modelo del sistema actual se presenta en la Figura 6 (Ver Figura 1).

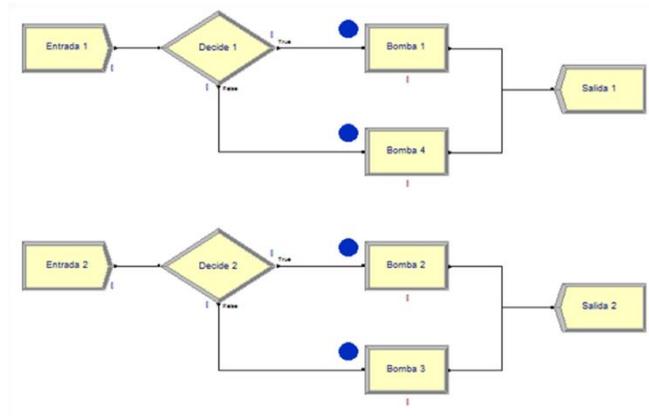


Figura 6. Modelo del Sistema de la gasolinera en el software Arena. Fuente: Elaboración propia

Las consideraciones más relevantes en la construcción del modelo es que el modelo fue simulado para un día de trabajo (24 horas), así como, la inactividad de la entrada 2 (bombas 2 y 3) en un horario de 23:00 a 7:00 horas debido al cierre del acceso a dicha entrada.

3. Resultados y discusión

La simulación del modelo en el software permitió generar diferentes estadísticos que permitieron comprender el comportamiento del sistema. Entre los resultados obtenidos se encuentran: las entradas y salidas del sistema, el tiempo promedio sin valor agregado, tiempo promedio de espera, tiempo total promedio por entidad, tiempo total acumulado por entidad y número promedio de entidades en procesos.

Para las 24 horas simuladas un total de 529 vehículos entraron y salieron del sistema, siendo la bomba 4 la de mayor entrada con 234 vehículos, mientras que, la bomba 3 obtuvo el menor número de entradas con 72 vehículos. Asimismo, se obtienen los tiempos promedio sin valor agregado, así como sus valores máximos y mínimos para cada bomba especificados en la Tabla 1. La Bomba 1 muestra un promedio de 0.06443338 horas equivalente a 3.866 minutos. Para la Bomba 2 el promedio es de 0.06451913 horas equivalente a 3.871 minutos. Mientras que, la Bomba 3 el promedio es de 0.06404425 horas equivalente a 3.842 minutos. Y para la Bomba 4 el promedio es de 0.06454568 horas equivalente a 3.872 minutos.

Entity	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Bomba 1	0.06443338	(Insufficient)	0.05138041	0.0754826
Bomba 2	0.06451913	(Insufficient)	0.05235726	0.07458841
Bomba 3	0.06404425	(Insufficient)	0.0523749	0.07478037
Bomba 4	0.06454568	(Insufficient)	0.05117428	0.07611436

Tabla 1. Tiempo sin valor Agregado.

El Tiempo de Espera en el Sistema de cada bomba y sus valores mínimos y máximos se representa en la Tabla 2. Se puede observar que la Bomba 1 se obtiene un promedio de Tiempo de Espera de 0.00518887 equivalente a 0.311 minutos. En la Bomba 2 se obtiene un promedio de Tiempo de Espera de 0.02465472 equivalente a 1.479 minutos. En la Bomba 3 se obtiene un promedio de Tiempo de Espera de 0.02218972 equivalente a 1.331 minutos. En la Bomba 4 se obtiene un promedio de Tiempo de Espera de 0.00885073 equivalente a 0.531 minutos.

Entity	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Bomba 1	0.00518887	(Insufficient)	0.00	0.05066504
Bomba 2	0.02465472	(Insufficient)	0.00	0.1813
Bomba 3	0.02218972	(Insufficient)	0.00	0.1995
Bomba 4	0.00885073	(Insufficient)	0.00	0.08660094

Tabla 2. Tiempos de Espera.

Se obtiene también el Tiempo Total Promedio, equivalente al Tiempo de Servicio Promedio más el Tiempo de Espera Promedio de cada Entidad. De manera que, el Tiempo Total Promedio de la Bomba 1 es de 4.177 minutos, el de la Bomba 2 es de 5.350 minutos, el de la Bomba 3 es de 5.174 minutos y el de la Bomba 4 es de 4.403 minutos. Lo mencionado anteriormente se puede observar en la Tabla 3.

Entity	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Bomba 1	0.06962225	(Insufficient)	0.051883320	0.1123
Bomba 2	0.08917384	(Insufficient)	0.05458095	0.2463
Bomba 3	0.08623396	(Insufficient)	0.052374900	0.2583
Bomba 4	0.07339641	(Insufficient)	0.051891930	0.1463

Tabla 3. Tiempo Total Promedio por Entidad.

En la Tabla 4 se puede observar el Tiempo Total Acumulado para cada Entidad, el cuál está conformado de la suma del Tiempo de Espera y el Considerado sin Valor Agregado durante la réplica de 24 horas. La entrada 1 es la que presenta más tiempo de ocupación de las cuales, la bomba 4 presenta un tiempo de trabajo mayor, generando 15.10 horas, y la bomba 1 11.34 horas.

Entity	Value
Bomba 1	11.3403
Bomba 2	4.6454
Bomba 3	3.0101
Bomba 4	15.1037

Tabla 4. Tiempo Total Acumulado por Entidad.

Considerando el horario en funcionamiento de la entrada 1 y entrada 2, se genera un porcentaje para cada bomba correspondiente a su actividad de tiempo de servicio mostradas en la tabla 5. La entrada 2 está activa 16 horas, de ese tiempo según la capacidad de servicio sólo es ocupada la bomba 3 en un 21% y la bomba 2 en un 33%. Por otro lado las bombas de la entrada 1, tienen un porcentaje mayor de utilización, no obstante no se están ocupando en su capacidad máxima.

Entity	Value
Bomba 1	0.4725
Bomba 2	0.3318
Bomba 3	0.2150
Bomba 4	0.6293

Tabla 5. Porcentaje de utilización bajo el horario de trabajo.

En la tabla 6 se muestra la utilización de los recursos utilizados para cada bomba sobre su capacidad máxima para un día laboral. Las bombas de la entrada 2 se ven afectadas por su horario de servicio, pues su

porcentaje de su uso es menor al 20%. Se presenta de manera gráfica en la Figura 7 el porcentaje en el que el servidor está en uso y ocioso para las 4 bombas.

Entity	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Bomba 1	0.4725	(Insufficient)	0.00	1.0000
Bomba 2	0.1936	(Insufficient)	0.00	1.0000
Bomba 3	0.1254	(Insufficient)	0.00	1.0000
Bomba 4	0.6293	(Insufficient)	0.00	1.0000

Tabla 6. Utilización de los recursos.

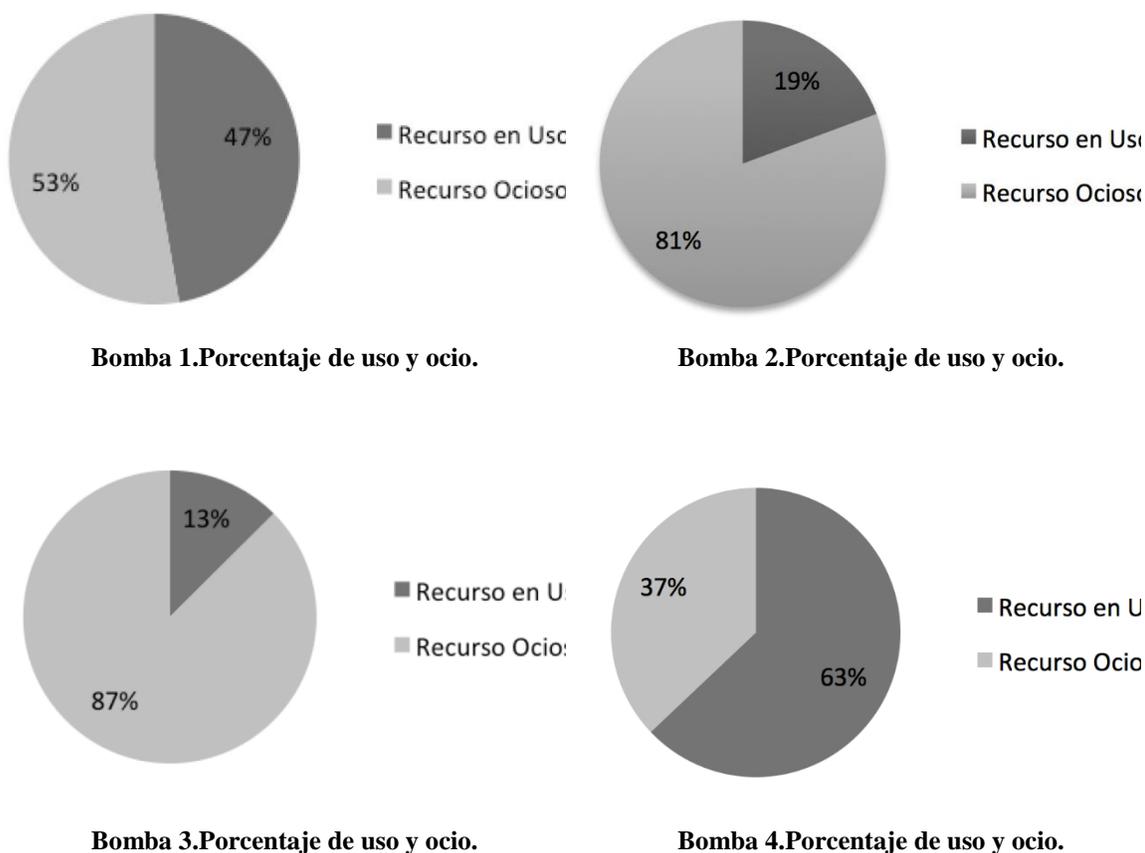


Figura 7. Comparativo de aprovechamiento de los servidores. Fuente: Elaboración propia

4. Conclusiones

La simulación es una herramienta útil para realizar análisis de los sistemas, partiendo desde la situación actual hasta la creación de escenarios que apoyen a la toma de decisiones de la organización. La simulación con el

software Arena en la presente investigación permitió conocer la situación actual del proceso de aprovisionamiento de gasolina a partir de datos estadísticos. De las interpretaciones de los mismos se destaca lo siguiente:

- ❖ En un día laboral se generaron 529 entradas y salidas del sistema.
- ❖ Las bombas no trabajan a su capacidad máxima.
- ❖ Las bombas de mayor uso son la bomba 1 y la bomba 4, siendo de 47% y 63% respectivamente.
- ❖ Las bombas 2 y 3 presentan mayor tiempo de ocio, siendo de 81 y 87% respectivamente. tomando en consideración que dichos servidores se encuentran inactivas 10 horas.
- ❖ El sistema no presenta un problema colas de espera, debido a que, el tiempo promedio máximo de espera es de 1.479 minutos.

Con base a los datos obtenidos en el análisis de la situación actual de la gasolinera, se recomienda implementar técnicas de marketing que permitan aumentar sus ventas el uso de las bombas no supera las dos terceras partes de su capacidad en la Entrada 1. Además, debido a la restricción que se maneja en la Entrada 2, el tiempo de ocio es muy elevado, por consiguiente, se propone abrir esta entrada después del tiempo de cierre de la tienda para tener más flujo en esta entrada. A pesar de que el tiempo de espera por automóvil no es elevado (1.479 minutos), lo ideal sería poder disminuir el tiempo de espera, esto puede traducirse en que los empleados estén atentos a las llegadas de los clientes, así como, mejorar el tiempo en pagos con tarjeta de crédito, pues la rapidez en el servicio es clave en la percepción del cliente.

Como posible trabajo futuro se prevé analizar los factores que influyen en la entrada de los clientes a través de un estudio sobre la calidad de servicio y con ello determinar estrategias que permitan incrementar las llegadas. Además, se puede trabajar en la optimización de sus recursos, partiendo del análisis de la situación actual del sistema y el costo/beneficio que presenta por alto porcentaje de ocio. Asimismo, es posible desarrollar un estudio más exhaustivo que brinde mayor confiabilidad a los datos, contemplando días festivos, días de pago de los clientes, mantenimiento de las instalaciones, carga de combustible, entre otros.

5. Agradecimientos.

Externamos un agradecimiento al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca académica otorgada para la realización de nuestros estudios de maestría en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla.

5. Referencias

- Albarrán, E. (2017) “Recaudación por IEPS a gasolina cae por segunda vez en el año”, Obtenido en la Red Mundial el 18 de Agosto de 2017, <http://eleconomista.com.mx/finanzas-publicas/2017/03/30/recaudacion-ieps-gasolina-cae-segunda-vez-ano-0>
- Banks, J. (1998), *Handbook of Simulation: Principles, Methodology, Advances, Applications, and Practice*, New York: John Wiley & Sons, chapter Principles of Simulation. 3–30.
- Cachutt C. (2009). *Visión actual de la logística de operaciones*. Ingeniería y Sociedad, 117-125.
- Centro de Estudios Económicos del Sector de la Construcción (CEESCO)., “Análisis sobre el impacto del precio de la Gasolina y Diésel en la Industria de la Construcción”, Obtenido en la Red Mundial el 18 de agosto de 2017, <http://www.cmic.org.mx/cmic/ceesco/>.
- Chase R.; Jacobs R.; Aquilano N. (2009). *Administración de Operaciones*. Producción y Cadena de Suministro, México D.F., México: McGraw-Hill.
- Delgado Moreno & Gallo E (2011), *Propuesta del mejoramiento de la metodología de Manufactura Esbelta por medio de optimización de sistemas de manufactura y modelación de eventos discretos*. Iteckne, 119 -131
- Fábregas A.; Wadnipar R., Paternina C., Mancilla A. (2003). *Simulación de sistemas productivos con Arena*. Colombia: Editora Uninorte Barranquilla.
- Greasley, A. (2003). *Using business-process simulation within a business-process reengineering approach*. Business Process Management Journal, 408-420.
- Helquist, J., Deokar, A., Cox, J. & Walker, A. (2012). *Analyzing process uncertainty through virtual process*

simulation. Business Process Management Journal, 4-19.

Kelton W.; Sadowski R.; Sturrock D. (2004). *Simulation with Arena*. Boston: editorial McGraw- Hill.

Orozco E. (2012). *Simulación en tiempo discreto de un proceso de abastecimiento de combustible como una herramienta de toma de decisiones: Caso de estación de servicios en Barranquilla*. Universidad Libre Colombia,14-23.

Rodríguez M.; León G.; Álvarez D., Cano A., Montoya J. (2013). *Modelación de una situación empresarial para la enseñanza de simulación discreta*. Innovation in research and engineering education: key factors for global competitiveness. Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería, 24-27.

Ruiz N. (2009). *Simulación asistida por agentes para sistemas de fabricación inteligentes*. (Tesis de Doctorado). Universidad Politécnica de Valencia. 12. Urquía M. (2013). *Modelado y Simulación de Eventos Discretos*. Madrid, España: Editorial UNED.

Metodología para el análisis de series de tiempo estacionalizados utilizando pronósticos para la demanda de hospedaje.

Israel Zarate Hernández Ing.¹, M.I.I. Margarito Landa Zarate²

¹ Israel Zarate Hernández, es alumno del Programa de Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. israel_yhernandez@hotmail.com.

² Margarito Landa Zarate, es coordinador del programa de posgrado en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Veracruz. mlandaz@itsm.edu.mx.

Resumen—Con la presente investigación se hace un análisis estadístico partiendo de los datos históricos de hospedaje de un Hotel Eco-Turístico. Dicho análisis es de tipo metodológico, basado en la aplicación de pronósticos de la demanda trimestral. El modelo elaborado permite estimar la demanda futura de hospedaje. La finalidad del pronóstico es tener actualizado el sistema de registro y verificar si existe capacidad para atender la demanda no conocida. Los pronósticos parten de la recolección de datos históricos del 2013 al 2016, permitiendo evaluar el método de pronóstico más apropiado que se ajuste a los datos. Al analizar el comportamiento de los datos se observa que existe estacionalidad tendencial. Al pronosticar la demanda del año 2017 y 2018, se tiene que: T17=1592, T18=2471, T19=3174, T20=1884, T21=1760, T22=2725, T23=3493 y T24=2068, donde se observa que T18, T19, T22, T23, son los pronósticos trimestrales más alto de hospedaje en relación a las temporadas vacacionales donde existe mayor fluctuación de clientes.

Palabra(s) clave—Pronósticos, Demanda, Tiempo de respuesta, Tendencia y pruebas estacionales.

Abstract – With the present investigation a statistical analysis is done starting from the historical data of lodging of an Eco-Tourism Hotel. This is a methodological type analysis, based on the application of quarterly demand forecasts. The elaborated model allows estimating the future demand for hosting. The purpose of the forecast is to have the registration system updated and verify if there is capacity to attend the unknown demand. The forecasts start from the collection of historical data from 2013 to 2016, allowing to evaluate the most appropriate forecasting method that fits the data. The analysis of the behavior of the data shows that there is seasonal trend. Forecasting the demand for 2017 and 2018, it is shown: T17 = 1592, T18 = 2471, T19 = 3174, T20 = 1884, T21 = 1760, T22 = 2725, T23 = 3493 and T24 = 2068, where it is observed that T18, T19, T22, T23, are the highest quarterly forecasts of lodging in relation to the holiday seasons where there is greater fluctuation of clients.

Key words – Forecast, Demand, Response time, Trend and Seasonal Testing.

1. Introducción

Para En este artículo se utilizan herramientas estadísticas de ingeniería, para determinar el método de pronóstico que se debe utilizar. El objetivo es determinar la rentabilidad de hospedaje futura, con fines de tener un registro que permita conocer las tendencias de ventas y contribuya a la toma de decisiones. La demanda es una variable que no se puede controlar pero si estimar, en dicho caso de estudio es un comportamiento creciente y decreciente debido a las temporadas altas y bajas de hospedaje. Un pronóstico de ventas es una estimación o nivel esperado de ventas de una empresa, que abarca un periodo de tiempo determinado y un mercado específico (Kotler, 2002). Para (Méndez, 2003) los pronósticos son estimaciones, son costosos y toman tiempo considerable para prepararse y para ser monitoreados.

De acuerdo con (Chase, Jacobs, & Aquilano., 2009), los pronósticos son elementos importantes para una organización ya que la mayoría de las veces éstos son considerados como pieza clave para la toma de decisiones dentro de una empresa. De acuerdo con (Nahmias, 2007) menciona que los pronósticos se clasifican en tres horizontes de tiempo los cuales son; 1) corto plazo son importante para la planeación del día a día y regularmente medidos en días y semanas, 2) mediano plazo se miden en semanas y meses, 3) largo plazo se miden en meses y años y regularmente ocupados para ver la necesidad de capacidad, patrones de ventas y tendencias de crecimiento. La ventaja de utilizar pronósticos es que te permite estimar la demanda futura en un

periodo determinado y contribuye a la toma de decisiones gerenciales en base a dicha estimación (Chase, Jacobs, & Aquilano., 2009) y (Nahmias, 2007).

De acuerdo con (Ruiz, 2011), existen métodos de series de tiempos que estiman o pronostican futuras ventas, partiendo de la obtención de datos históricos de ventas. Para una serie de tiempo una de las preguntas que se plantea el investigador es: ¿Cuál es el proceso generador de datos (DGP, en inglés, Data Gene rating Process) del que proviene de la muestra estudiada? La aproximación convencional es tratar de detectar los diferentes componentes del DGP. De acuerdo con (Alonso, 2013), es la tendencia, la parte cíclica, el componente puramente aleatorio que es la horizontalidad y componentes estacionales que pueden ser determinísticos o estocásticos. El análisis de los datos en una serie de tiempo puede ser observado en meses, bimestres, trimestres, etc., al estudiar el comportamiento de los datos se tiene que son estacionales, dicho comportamiento permite estudiar la serie en trimestre para ver el comportamiento de la demanda (Acevedo, 2011).

Por otra parte realizando pruebas de tendencias se tiene que la técnica es una descomposición estacional. La selección del pronóstico se basa en: 1) identificar el menor MAPE (Error absoluto medio), 2) identificar el menor MAD (Desviación absoluta media), y 3) el menor MSD (Desviación cuadrática media). De acuerdo a (Aguilar, 2012), este análisis no permite observar el comportamiento de la curva en S durante el tiempo, permite observar los ciclos de vida del producto y/o tendencia. Esto parte de cuatro fases (Pérez, 1992); 1) Etapa de difusión inicial o de conocimiento público (producto recién nacido), 2) Etapa de rápido crecimiento (temprano), se caracteriza por la privatización del conocimiento, 3) Etapa de rápido crecimiento tardío, en esta etapa se preserva la privatización del conocimiento y 4) Etapa de conocimiento público, en esta fase se pasa de la saturación a la obsolescencia, lo que propicia la creación de un nuevo paradigma y por ende una nueva oportunidad tecnológica.

En el presente análisis se utilizó series de tiempos estacionalizados, y se observó que el ajuste de la demanda es estacional. Dicho análisis permitió determinar la demanda futura a más de dos periodos. Los patrones estacionales son fluctuaciones que ocurren dentro de un año y tienden a repetirse anualmente a través del tiempo.

2. Desarrollo

La metodología propuesta para el cálculo del pronóstico de ventas es elaboración propia, donde cada fase propuesta tiene razón de ser y cumple con una función específica que es mejorar el proceso de cálculo y medición de pronósticos de ventas. Inspirada en la esencia de los pasos que integran a esta estrategia de mejora continua, se formuló una metodología integrada por seis etapas las cuales son; 1) recolección de información, 2) pruebas de normalidad, 3) análisis de series de tiempo y tendencia 4) Selección y desarrollo del modelo pronóstico, 5) Validación del modelo de pronósticos, 6) análisis e interpretación de resultados, como se observa en la figura 1.1.

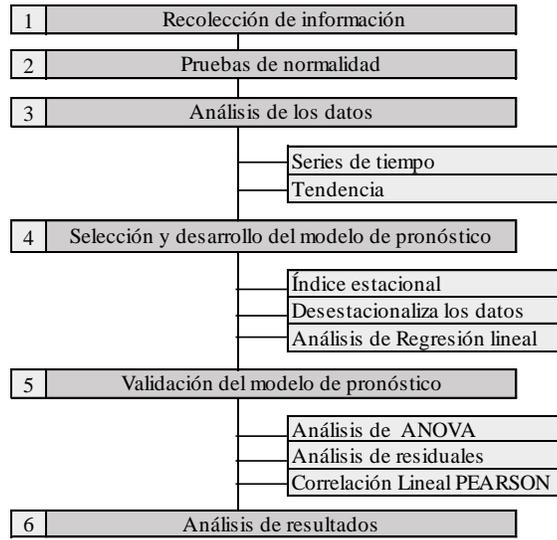


Figura: 1.1 Metodología para el análisis de pronósticos de venta del Hotel Eco-turístico.
Fuente: Elaboración propia.

A. Histórico de ventas

En los últimos 4 años se han presentado bajas y altas en el consumo de hospedaje de un Hotel Eco-turístico, y esto se debe a que la demanda es variante por temporada, en donde se ve afectado el sistema por la inestabilidad de la demanda, y consecuentemente ha impactado en el reclutamiento del personal laboral, esto debido al comportamiento de la demanda. Este comportamiento permite descontrollar el sistema y disminuir la calidad en el servicio si no se toma en cuenta la demanda de hospedaje futura del Hotel. Obsérvese la tabla 1.1 del histórico de ventas del periodo 2013-2016.

Mes	2013	2014	2015	2016
Enero	142	164	301	490
Febrero	322	283	338	264
Marzo	645	622	553	806
Abril	505	927	820	597
Mayo	504	643	731	711
Junio	479	392	538	613
Julio	809	951	1294	1263
Agosto	722	746	1107	876
Septiembre	121	338	634	475
Octubre	175	302	555	478
Noviembre	184	359	614	450
Diciembre	417	574	675	620
Total	5025	6301	8160	7643

Tabla 1.1 Histórico de ventas del Hotel Eco-turístico (2013-2016).

B. Pruebas de normalidad

De acuerdo con (Correo, 2014) el uso de pruebas de normalidad es importante para ver el comportamiento y variabilidad de los datos, en ellos se plantea una hipótesis donde H_0 es la hipótesis nula y H_1 la hipótesis alterna, donde el Valor- $P > \alpha$, se acepta el supuesto de normalidad.

Sin embargo, la suposición de la normalidad de los datos o el empleo de pruebas de bondad de ajuste que no son adecuadas para el tamaño muestral empleado son aspectos habituales. De acuerdo con (Correo, 2014) se definen cinco pruebas de bondad de ajuste (Kolmogorov-Smirnov, Kolmogorov-Smirnov-Lilliefors, Shapiro-Wilk, Anderson-Darling y Jarque-Bera), la más recurrente es la prueba de Shapiro-Wilk (Shapiro & Wilk, 1965) es una de las más consolidadas y con mayor potencia estadística entre las existentes actualmente (Arcones & Wang, 2006). Su fundamento estadístico está basado en una gráfica de probabilidad en la que se considera la regresión de las observaciones sobre los valores esperados de la distribución hipotetizada. Obsérvese la tabla 1.2 donde se observa su estadístico W que representa el cociente de dos estimaciones de la varianza de una distribución normal.

Shapiro-Wilk normality test
data: Demanda mensual
 $W = 0.961$, $p\text{-value} = 0.1112$

Tabla 1.2.- Pruebas de normalidad de la demanda de hospedaje.

El análisis de pruebas de normalidad se realizó en el software R-studio, donde el Valor- $P > \alpha$, del estadístico con una confiabilidad del 95%.

C. Análisis de series de tiempo y tendencia

1.) Análisis de la serie de tiempo

La serie de tiempo se refiere a datos estadísticos que se recopilan, observan o registran en intervalos de tiempo regulares (diario, semanal, semestral, anual, entre otros). En una serie de tiempo existen cuatro tipos básicos de variación que pueden presentarse según sean los datos obtenidos, estos contribuyen a los cambios observados en un periodo de tiempo real y simulan el comportamiento futuro. Estos cuatro componentes son: tendencia secular, variación estacional, variación cíclica y variación irregular.

Es importante determinar la serie de tiempo de los datos para ver el tipo de variación que se está presentando. Para el presente caso de estudio es una serie de tiempo de variación estacional combinada con variación tendencial, como se muestra en la figura 1.1.

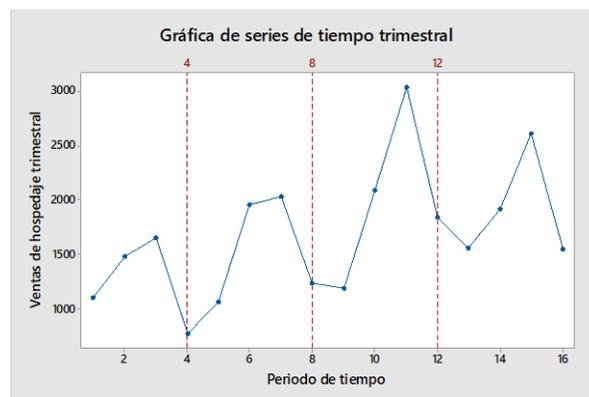


Figura: 1.2 Análisis de datos históricos de ventas trimestralmente.

Su comportamiento se debe a que existen temporadas altas y bajas en el sector turismo, y eso permite que en las temporadas vacacionales el hotel Eco-Turístico tenga más ingresos de hospedaje, en cuestiones de ingresos económicos se puede observar que ha ido en aumento por el comportamiento de la variación tendencial positiva. Con este comportamiento, se puede predecir que para los próximos años la demanda de hospedaje será mayor y la tendencia siga disparándose dando valores positivos y generando más ingresos.

2.) Valoración de tendencias

El análisis de tendencia permite identificar la mejor opción de pronóstico a utilizar de acuerdo al histórico de ventas de hospedaje. En este punto de valoración de la técnica de pronóstico se debe analizar el comportamiento de los datos históricos en las diferentes tendencias como la son; Tendencia Lineal, Tendencia Cuadrática, Tendencia Exponencial, Curva S y Descomposición, el análisis se realiza de manera trimestral identificando el menor error absoluto como se observa en la tabla 1.3.

Periodo trimestral	Cálculos	Tendencia Lineal	Tendencia cuadrática	Tendencia exponencial	Curvas	Descomposición
2013-2016	MAPE:	27	27	26	27	12.2
	MAD:	418	412	414	436	195.8
	MSD:	242399	237323	251046	263643	55348.3

Tabla 1.3.- Análisis de tendencias de datos históricos de ventas trimestralmente.

De acuerdo con (Acevedo, 2011) la selección de la técnica de pronóstico es mediante criterios de valoración 1) identificando el menor MAPE (Error absoluto medio), 2) identificar el menor MAD (Desviación absoluta media), y 3) el menor MSD (Desviación cuadrática media). Si se estudian los datos históricos por año la selección de la técnica es variante por el comportamiento decreciente de las ventas de hospedaje. De acuerdo con (Pérez, 1992) si se toma en consideración estaciones de tiempo tales como; meses, trimestres, semestres o años hacen más práctico el análisis de los datos. Para este modelo se observa en la tabla 1.3 el menor MAPE, corresponde a la tendencia de descomposición estacional, este análisis de pronóstico estadístico es utilizado cuando se observan patrones estacionales en los datos. Para la selección del método de pronóstico apropiado se utilizó el software Minitab 17®.

D. Desarrollo de Pronóstico de series de tiempos estacionalizado

Para este modelo de pronóstico se parte con el cálculo de los índices de estacionalidad y de esta manera se observa que se divide la cantidad promedio trimestral de cada periodo entre el promedio general del histórico de venta del 2013 al 2016. A continuación se detallan los periodos de tiempo y su índice de estacionalidad representado en la tabla 1.4

1.) Índice de estacionalidad

Año	Trimestre 1	Trimestre 2	Trimestre 3	Trimestre 4	Total anual
2013	1109	1488	1652	776	5025
2014	1069	1962	2035	1235	6301
2015	1192	2089	3035	1844	8160
2016	1560	1921	2614	1548	7643
Total Trimestral	4930	7460	9336	5403	27129
Promedio trimestral	1233	1865	2334	1351	6782
Índice estacional	2.91	4.40	5.51	3.19	16.00

Tabla 1.4.- Índice estacional para cada periodo trimestral.

2.) Desestacionaliza los datos

Una vez ya calculado el índice de estacionalidad, se obtiene la desestacionalización de los datos. En la tabla 1.5 se observan los resultados donde se toma cada valor trimestral dividido entre el índice estacional.

Año	Trimestre 1	Trimestre 2	Trimestre 3	Trimestre 4
2013	381	338	300	244
2014	368	446	370	388
2015	410	475	551	579
2016	537	437	475	486

Tabla 1.5.- Índice de desestacionalización de los periodos de tiempo trimestrales.

Una vez obtenidos los datos de: índices de estacionalidad y desestacionalidad trimestral de hospedaje, a continuación se elabora un análisis de regresión lineal.

3.) Análisis de regresión

De acuerdo con (Walpole, 2007) se utilizara el método de Mínimos cuadrados donde se debe calcular β_1 y β_0 .

$$\beta_1 = \frac{\sum xy - \frac{\sum x \sum y}{n}}{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}} \quad \text{Ecuación (1)}$$

$$\beta_0 = \bar{y} - \beta_1(\bar{x}) \quad \text{Ecuación (2)}$$

La recta de la regresión lineal tiene la forma $Y = \beta_0 + \beta_1(x)$, donde Y es el valor de la variable dependiente que se despeja, (β_0) es la secante en Y, (β_1) es la pendiente y (x) es la variable independiente en el análisis de serie de tiempo. Las (x) son unidades de tiempo, lo cual ayudará a obtener las proyecciones de hospedaje para los 2 años siguientes.

En la tabla 1.6 se muestra el análisis de regresión ejecutado a los datos desestacionalizados.

Año	Trimestres	x	y	x ²	y ²	xy
2013	T1	1	381	1	145161	381
2013	T2	2	338	4	114244	676
2013	T3	3	300	9	90000	900
2013	T4	4	244	16	59536	976
2014	T1	5	368	25	135424	1840
2014	T2	6	446	36	198916	2676
2014	T3	7	370	49	136900	2590
2014	T4	8	388	64	150544	3104
2015	T1	9	410	81	168100	3690
2015	T2	10	475	100	225625	4750
2015	T3	11	551	121	303601	6061
2015	T4	12	579	144	335241	6948
2016	T1	13	537	169	288369	6981
2016	T2	14	437	196	190969	6118
2016	T3	15	475	225	225625	7125
2016	T4	16	486	256	236196	7776
Total		136	6785	1496	3004451	62592

Tabla.1.6.- Datos obtenidos realizando Análisis de Regresión.

En la tabla 1.7 se encuentran los datos para realizar los pronósticos de los siguientes periodos, envase a la ecuación de la recta se simboliza usando (3) en donde las incógnitas son los valores de (β_0) y (β_1).

$$Y = \beta_0 + \beta_1(x) \quad \text{Ecuación (3)}$$

Una vez ya obtenido los valores de (β_0) y (β_1) se encuentra el pronóstico estacional que se muestran en la Tabla.1.7.

Año	Trimestres	x	y	IE	y*IE
2017	T1	17	547.05	2.91	1592
2017	T2	18	561.52	4.4	2471
2017	T3	19	575.99	5.51	3174
2017	T4	20	590.46	3.19	1884
2018	T1	21	604.93	2.91	1760
2018	T2	22	619.4	4.4	2725
2018	T3	23	633.86	5.51	3493
2018	T4	24	648.33	3.19	2068

Tabla 1.7.- Pronósticos estacionales para los siguientes 2 años.

4.) Análisis de varianza

El análisis de varianza nos permite observar si el análisis estadístico es significativo y/o representativo para la toma de decisiones gerenciales del pronóstico de ventas, aquí se debe calcular la suma de cuadrados de la regresión lineal (SSR), suma de cuadrados del error (SSE), suma de cuadrados total (SST), cuadrado medio de regresión (MSR), cuadrado medio del error (MSE), valor F calculada ($\frac{MSR}{MSE}$) y valor-P ($F(\alpha, 1, n - 2)$) como se muestra a continuación en la tabla 1.8.

$$SSR = \beta_1(\sum xy - \frac{\sum x \sum y}{n}) \quad \text{Ecuación (4)}$$

$$SST = \sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n} \quad \text{Ecuación (5)}$$

$$SSE = Syy - SSR \quad \text{Ecuación (6)}$$

$$MSR = \frac{SCr}{g.l} \quad \text{Ecuación (7)}$$

$$MSE = \frac{SCe}{g.l} \quad \text{Ecuación (8)}$$

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Fc	Valor-p
Regresión	71180.8	1	71180.8	17.793	4.6
Error	56006.1	14	4000.4		
Total	127186.9	15			

Tabla 1.8.- Análisis de ANOVA de las ventas pronosticadas.

Con el análisis de varianza se plantean las hipótesis correspondientes donde: H_0 = El análisis de pronóstico es significativo para eventos futuros y la hipótesis alterna H_1 = El análisis de pronóstico no es significativo para eventos futuros. Al realizar los cálculos del ANOVA se observa que $F_c > Valor - P$, lo que indica que el análisis estadístico de pronósticos para ventas futuras en el hotel es significativo.

5.) Análisis de residuales

De acuerdo con (Walpole, 2007) el análisis de residuales es la diferencia entre el valor observado y_i , y el valor estimado por la línea de regresión \hat{Y} . El residual puede ser considerado como el error aleatorio e_i observado (9). A partir del análisis de residuales se puede calcular el coeficiente de determinación (10), usado en el contexto de un modelo estadístico cuyo principal propósito es predecir futuros resultados, el coeficiente determina la calidad del análisis estadístico pronosticado y la proporción de variación de los resultados. El coeficiente de determinación mide la correlación entre y_i y \bar{y} , dicho coeficiente fluctúa entre $0 \leq R^2 \leq 1$. Obsérvese en la tabla 1.9 los valores calculados para las ecuaciones.

$$e_i = y_i - Y$$

Ecuación (9)

$$R^2 = 1 - \left(\frac{\sum e_i^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2} \right)$$

Ecuación (10)

y_i	Y	$e_i = y_i - Y$	e_i^2	$(y_i - \bar{y})^2$
381	315.5	65.5	4284.5	1854.4
338	330.0	8.0	63.8	7406.8
300	344.5	-44.5	1978.7	15391.5
244	359.0	-115.0	13213.8	32422.5
368	373.4	-5.4	29.4	3143.0
446	387.9	58.1	3376.8	481.3
370	402.4	-32.4	1047.1	2922.8
388	416.8	-28.8	831.1	1300.5
410	431.3	-21.3	453.6	197.8
475	445.8	29.2	854.6	2594.6
551	460.2	90.8	8238.2	16113.1
579	474.7	104.3	10877.6	24005.6
537	489.2	47.8	2287.4	12754.9
437	503.6	-66.6	4441.2	167.4
475	518.1	-43.1	1858.6	2594.6
486	532.6	-46.6	2169.8	3836.3
6785			56006.1	127186.9

Tabla 1.9.- Valores calculados para el análisis de residuales y coeficiente de determinación.

De acuerdo con los residuales del análisis se observa que existe relación entre las variables x e y es lineal, con un coeficiente de determinación de $R^2=0.56$, lo que significa que el ajuste de regresión lineal es medio, indicando la representación del análisis estadístico.

6.) Correlación lineal PEARSON

De acuerdo con (Restrepo & González, 2007) coeficiente de correlación, mide el grado de relación o asociación existente generalmente entre dos variables aleatorias, es posible que haya una alta correlación entre dos acontecimientos y que sin embargo, no exista entre ellos relación de causa o efecto. Los cálculos para esta medición son el nivel de confianza S_{xy} (11), desviaciones estándar de las variables S_x (12) y S_y (13), y el coeficiente de correlación R (14). Cabe recordar que el coeficiente fluctúa entre $-1 \leq R \leq 1$. Obsérvese la tabla 1.10

$$S_{xy} = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{n}$$

Ecuación (11)

$$Sx = \sqrt{\frac{\sum(x-\bar{x})^2}{n}} \quad \text{Ecuación (12)}$$

$$Sy = \sqrt{\frac{\sum(y-\bar{y})^2}{n}} \quad \text{Ecuación (13)}$$

$$R = \frac{Sxy}{SxSy} \quad \text{Ecuación (14)}$$

x	y	(x - \bar{x})	(y - \bar{y})	(x - \bar{x}) ²	(y - \bar{y}) ²	(x - \bar{x})(y - \bar{y})
1	381	-7.5	-43.1	56.25	1854.4	323.0
2	338	-6.5	-86.1	42.25	7406.8	559.4
3	300	-5.5	-124.1	30.25	15391.5	682.3
4	244	-4.5	-180.1	20.25	32422.5	810.3
5	368	-3.5	-56.1	12.25	3143.0	196.2
6	446	-2.5	21.9	6.25	481.3	-54.8
7	370	-1.5	-54.1	2.25	2922.8	81.1
8	388	-0.5	-36.1	0.25	1300.5	18.0
9	410	0.5	-14.1	0.25	197.8	-7.0
10	475	1.5	50.9	2.25	2594.6	76.4
11	551	2.5	126.9	6.25	16113.1	317.3
12	579	3.5	154.9	12.25	24005.6	542.3
13	537	4.5	112.9	20.25	12754.9	508.2
14	437	5.5	12.9	30.25	167.4	71.2
15	475	6.5	50.9	42.25	2594.6	331.1
16	486	7.5	61.9	56.25	3836.3	464.5
136	6785			340.0	127186.9	4919.5

Tabla 1.10.- Valores calculados para el análisis de correlación lineal PEARSON.

De acuerdo con el método PEARSON, se tiene una correlación lineal positiva de 0.75, considerado como una correlación bastante aceptable. En otra palabras indica que cuando x aumenta se espera que y aumente, en caso contrario con correlación negativa se espera que al aumentar x disminuya y .

3. Resultados

Este trabajo se realizó con el objetivo de determinar los pronósticos de ventas de hospedaje de un hotel Eco-Turístico, mediante la obtención de datos históricos de ventas obtenidos del 2013, 2014, 2015 y 2016. Al desarrollar la metodología propuesta se obtienen el histórico de venta de manera trimestral donde; $T_1=1109$, $T_2=1488$, $T_3=1652$, $T_4=776$, $T_5=1069$, $T_6=1962$, $T_7=2035$, $T_8=1235$, $T_9=1192$, $T_{10}=2089$, $T_{11}=3035$, $T_{12}=1844$, $T_{13}=1560$, $T_{14}=1921$, $T_{15}=2614$, $T_{16}=1548$, y al pronosticar la demanda de hospedaje del 2017 y 2018 trimestralmente se tiene que; $T_{17}=1592$, $T_{18}=2471$, $T_{19}=3174$, $T_{20}=1884$, $T_{21}=1760$, $T_{22}=2725$, $T_{23}=3493$ y $T_{24}=2068$. De acuerdo a los valores obtenidos de pronósticos estacionales se puede observar que el comportamiento de ventas de hospedaje es estacional creciente obsérvese en la figura 1.2.

Los resultados de validación de los pronósticos de ventas mediante el análisis de residuales se observan que existe relación entre las variables x e y , con un coeficiente de determinación de $R^2=0.56$, lo que significa que el ajuste de regresión lineal se encuentra en un nivel medio con el 56% de la variabilidad de la variable de respuesta y . Para corroborar el análisis se obtiene el coeficiente de correlación mediante el método PEARSON es de 0.75 considerada aceptable, indicando que cuando la variable cuando x aumenta se espera que y aumente. En conclusión, de acuerdo al análisis ante mencionado los pronósticos de ventas es representativo con un nivel medio de 56%, indicando un leve aumento futuro, en otras palabras al aumentar las ventas actuales x la predicción futura de ventas para y aumenta, con respecto a x .

El análisis de pronósticos permite tomar decisiones aceptadas especialmente cuando se requiere contratar personal o aprovisionamientos de materia prima para la satisfacción del consumidor, de esta manera se tiene mejor monitoreo y control al momento de analizar el comportamiento del pronóstico de ventas.

4. Conclusiones

Para el modelo presente se utilizó hoja de cálculo Excel y el software Minitab 17[®]. Los pronósticos calculados para el 2017 son de 9120 habitaciones y del 2018 es de 10046, se estima vender hasta el mes de diciembre del 2018 la cantidad de 19166 habitaciones, esto significa que tiene una creciente en las ventas de hospedaje. El análisis de estos datos permite estimar el ingreso en promedio de la demanda calcula y estar preparado con la fluctuación del personal requerido y el suministro de recurso, en el momento oportuno que la demanda lo solicite. Resolviendo la estimación de la demanda mediante el software Minitab 17[®] se tiene los siguientes resultados; $T_{17}=1708$, $T_{18}=2468$, $T_{19}=3144$, $T_{20}=1860$, $T_{21}=1896$, $T_{22}=2730$, $T_{23}=3471$ y $T_{24}=2049$. La estimación de pronóstico mediante Minitab 17[®] de los 8 trimestres calculados son de: 19326 habitaciones, en comparación con la hoja cálculo de Excel es: 19166 habitaciones y la variación entre ambos es de: 160 habitaciones. Esta relación indica que el pronóstico estimado es cercano a la realidad.

De modo general el estudio de pronósticos constituye un factor primordial para la organización, debido a que esto conlleva a tomar mejores decisiones empresariales. En el Hotel Eco-Turístico para el año 2017 y 2018 se prevé el incremento considerable de hospedaje, esto significa que el hotel debe estar preparado en abastecimiento de materia prima, como también contar con el personal necesario para satisfacer al cliente y consecuentemente este análisis estadístico permite al decisor tener un plan de trabajo bien estructurado para cuando la demanda de trabajo sea baja pueda aprovechar mejor sus recursos. Por otra parte, es importante resaltar que la estacionalidad de ventas de hospedaje más altas de la minería de datos, se presentó en las estaciones de julio, agosto y septiembre, las cuales representan temporadas vacacionales, donde el número de requerimiento de hospedaje aumenta considerablemente. Al obtener la estimación de los pronósticos se puede observar el comportamiento estacional donde T_{18} , T_{19} , T_{22} , T_{23} , son los pronósticos trimestrales más alto de hospedaje en relación a las temporadas vacacionales donde existe mayor fluctuación de clientes.

5. Agradecimientos

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y al área de posgrado en Ingeniería Industrial del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, por su apoyo para la realización del presente artículo que tiene por nombre: Metodología para el análisis de series de tiempo estacionalizados utilizando pronósticos para la demanda de hospedaje. De igual manera, agradezco al comité editorial del Congreso Interdisciplinario de Ingenierías (CII-2017), por su apoyo en la revisión del artículo y su publicación en este congreso.

6. Referencias

- Acevedo, B. (2011). *Análisis de cadena de markov para el análisis y pronóstico de series de tiempo*. Universidad Industrial de Santander.
- Aguilar, S. (2012). *La curva en S como herramienta para la medición de los cliclos de vida de productos*. Journal of Technology.
- Alonso. (2013). *Empleo del comportamiento estacional para mejorar el pronóstico de un commodity: El caso del mercado internacional de azúcar*. Scielo, 11.
- Araceli, & Andrés. (1993). *Las series de tiempo en el estudio de los fenómenos sociales*. redalyc, 409-422.
- Arcones, & Wang. (2006). *Some new teste for normality based on U-processes*. Statistics and Probability Letters, 69-82. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1016/j.spl.2005.07.003>
- Chase, Jacobs, & Aquilano. (2009). *Administración de Operaciones, Producción y Cadena de Suministros*. México: Mc Graw Hill.
- Correo, I. p. (2014). *Pruebas de bondad de ajuste en distribuciones simétricas. ¿qué estadístico utilizar?* Universitas Psychologica, 15-24.
- Kotler, P. (2002). *Dirección de Marketing Conceptos Esenciales* México: Prentice Hall.
- Mendez, G. (2003). *Gerencia de manufactura*. Universidad distrital Francisco Jose de Caldas.
- Nahmias, S. (2007). *Análisis de la producción y las Operaciones*. México: McGraw-Hill.
- Pérez. (1992). *Cambio Técnico, restructuración competitiva y reforma institucional en los paises en desarrollo*. El trimestre Economico, 23-64.

- Restrepo, L. F., & González, J. (2007). *De Pearson a Spearman*. Colombiana de Ciencias Pecuarias, 183-192.
- Ruiz, R. (2011). *Análisis de series de tiempo en el pronóstico de la producción de caña de azúcar*. Redalyc, 103-109.
- Shapiro, & Wilk. (1965). *An analysis of variance test for normality (Complete sample)*. Biometrika, 591-611. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.2307/2333709>
- Walpole. (2007). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias (Vol. Octava edición)*. México: Pearson.

7. Notas Biográficas

El **Ing. Israel Zárate Hernández** es alumno del posgrado de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, en Misantla, Veracruz, México. Terminó sus estudios de licenciatura en Ingeniería Industrial en el mismo plante educativo, Misantla, México. El **MII. Margarito Landa Zárate** es coordinador de estudios de postgrado de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla. Tiene estudios de maestría en Ingeniería Industrial por el Tecnológico de Puebla, Puebla, México.

Propuesta de mejora en los tiempos de servicio de una dulcería basado en simulación.

Gisela Irene García Martínez, Ing.¹, Ing. Karen Citlally Covarrubias Gutiérrez², Ing. Nallely Hermida Gutiérrez³, Ing. Melina de Jesús Acosta Martínez⁴, Ing. Analine Ocaña Trujillo⁵

¹Gisela Irene García Martínez, es estudiante de Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla. garcia_mtz_gisela@yahoo.com.mx

²La ingeniero. Karen Citlally Covarrubias Gutiérrez, es estudiante de Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla. karen_ccg@outlook.com

³La ingeniero. Nallely Hermida Gutiérrez, es estudiante de Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla. nallelyhermida@gmail.com

⁴La ingeniero. Melina De Jesús Acosta Martínez, es estudiante de Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla. mtz.melina@hotmail.com

⁵La ingeniero. Analine Ocaña Trujillo, es estudiante de Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla. analine_ot@hotmail.com

Resumen— En este trabajo se estudió el sistema de servicio al cliente en la dulcería “la Josefina” con el fin de observar su comportamiento en los diversos servidores, para ello se tomaron en cuenta los siguientes datos: tiempos de llegada, compra, espera y salida de los clientes. Una vez obtenidos los datos del sistema se realizó la simulación del escenario actual y el escenario propuesto en el software Arena. Con base a lo anterior se hizo un análisis de los resultados obtenidos, los cuales muestran que la propuesta de solución tiene un aumento del 78% en el rendimiento del sistema en líneas de espera.

Palabra(s) clave— *Sistema de colas, Simulación, Modelos, Mejora.*

Abstract –In this work we studied customer service system in “La Josefina” candy store in order to observe their behavior in different servers, for this purpose, the following data were taken into account: times of arrival, purchase, waiting and departure of customers. Once obtained the data from the system, we work in the simulation of the current scenario and the scenario proposed in the Arena® software. Based on the above we did an analysis of the obtained results, they show us the solution proposal has a increase of 78% on the system performance of waiting lines.

Key words – *Queue systems, Simulation, Models, Improvement.*

1. Introducción

En gran parte de los procesos que existen dentro de las empresas de manufactura y de servicio, surgen las líneas de espera, comúnmente esto se debe a que la capacidad del servicio en algún momento es menor que la capacidad demandada. La generación de líneas de espera, trae consigo diferentes tipos de inconvenientes que se reflejan a corto y mediano plazo. A partir de esto, Erlang formalizó una investigación que después sería conocida como “Teoría de Colas” con el fin de analizar la espera y los factores que intervienen en ella. La “Teoría de Colas” busca el equilibrio entre el número de unidades que se encuentran en la línea de espera y la cantidad de servidores que satisfagan la demanda del servicio. Steven (1999).

Existen ocasiones donde es pertinente que el investigador se apoye en técnicas o herramientas para analizar de una manera más flexible e integral el fenómeno de la línea de espera. Por consiguiente, en el presente artículo la técnica seleccionada es la Simulación que consiste en realizar experimentos de muestreo sobre el modelo de un sistema. Un modelo no es más que un conjunto de variables y ecuaciones matemáticas que se relacionan y restringen entre sí. La modelización es una etapa presente en la mayor parte de los trabajos de investigación (especialmente en las ciencias experimentales). En muchas ocasiones, la realidad es bastante compleja como para ser estudiada directamente y es preferible la formulación de un modelo que contenga las variables más relevantes que aparecen en el fenómeno en estudio y las relaciones más importantes entre ellas. Cao (2002).

Simultáneamente apoyados en la estadística se estimaron los parámetros y se contrastó la validez del modelo a partir de los datos observados del sistema real que se pretendía modelar. Dicha modelización fue desarrollada a través de un Software llamado “Arena” que es un modelo de simulación por computadora que nos ofrece un mejor entendimiento y las cualidades del sistema, ya que además de representar el sistema, efectúa automáticamente diferentes análisis del comportamiento. También facilita la disponibilidad del software que está formado por módulos de lenguaje (lenguaje de simulación). El software Arena® incluye animaciones dinámicas en el mismo ambiente de trabajo y prevé apoyo integrado, incluyendo gráficas para los diseños estadísticos y analiza aspectos que son parte del estudio.

Esta investigación fue desarrollada en “La Industrial del Golfo de Veracruz, S.A. de C.V” empresa mexicana y familiar de origen veracruzano, conocida comúnmente como “Dulcería La Josefina” que se dedica a la comercialización de dulces y artículos para fiestas. Actualmente la empresa cuenta con 13 sucursales situadas en las ciudades de Boca del Río, Córdoba, Orizaba y Xalapa. Su base central se encuentra establecida en Hidalgo 880 Esq. Canal. Col. Centro, de la Ciudad de Veracruz, Ver.

Dicho análisis de investigación fue basado en el sistema actual de teoría de colas en la sucursal base Hidalgo, donde se detectaron ciertas anomalías en los retrasos pertenecientes a las entregas de la mercancía a granel a los clientes que ya habían finalizado su operación de compra en el servidor caja. De tal modo, al final del proyecto, nos fue posible hacer recomendaciones a la empresa para que mejore su calidad en el servicio.

2. Desarrollo

Método.

La metodología implementada en el caso de estudio se desarrolló con base en lo planteado por Villanueva (2008) ver figura 1.

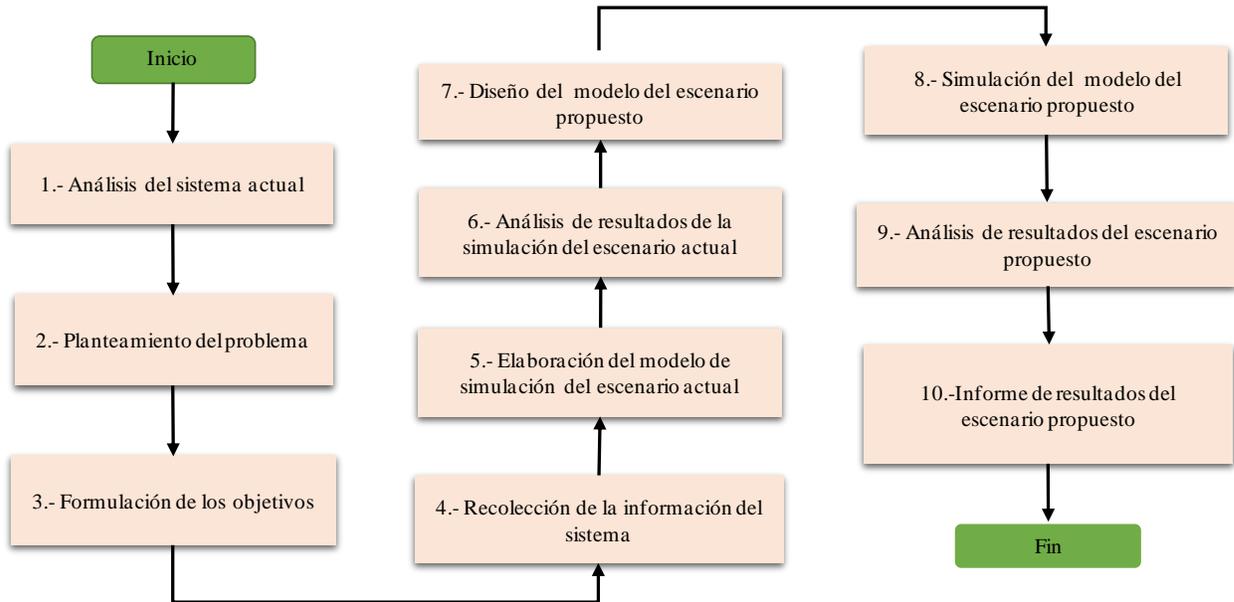


Figura 1. Diagrama de las etapas del estudio de simulación (Elaboración propia a partir de: Villanueva, 2008).

1.- Análisis del sistema actual.

Inicialmente se realizó un análisis del sistema actual en la empresa “La Industrial del Golfo de Veracruz S.A. de C.V.” (La Josefina). Para identificar cada uno de los componentes, es decir, el número de servidores, los clientes, tiempos a considerar, horarios de servicio, personal, flujo del sistema, etc., lo que permitió conocer las áreas de oportunidad y mejora y con ello visualizar la problemática que se presenta.

2.- Planteamiento del problema.

El principal problema es generado por los retrasos en la entrega de mercancía a granel que el cliente adquiere en la tienda, es decir el cliente debe esperar cierto tiempo para recibir su mercancía una vez que ya finalizó la compra en la última operación del sistema en el servidor caja

3.- Formulación de los objetivos.

Modelar el sistema actual y las propuestas de mejora a través del software Arena® e identificar la solución óptima para el problema del tiempo de espera en la entrega de la mercancía a granel.

4.- Recolección de la información del sistema.

Para el análisis de la línea de espera es necesario tomar en cuenta algunos componentes claves para ser analizados, estos son: los tiempos de llegadas de los clientes, la capacidad de la cola, la disciplina de la cola, los tiempos de servicio, la cantidad de servidores, las etapas del sistema, y los tiempos de espera. Portilla et al. (2010)

La metodología general se basó en la recolección de datos, relacionados con tiempos de llegada y de atención, y el análisis exploratorio estadístico de los mismos para comprobar supuestos del modelo y confiabilidad de los datos. Gómez (2008).

Dado lo anterior, se realizó la recolección de datos que fueron analizados por medio del software Excel®, con dicho análisis se discriminaron ciertos datos atípicos evitando así la variación en las distribuciones, de esta manera se realizó la validación de datos que se tomaron como punto de partida para clasificar el comportamiento de los usuarios a la llegada a la dulcería, dicha recolección de datos se efectuó en un lapso de tiempo de dos semanas 4 días por semana, abarcando las 4 horas diarias con mayor flujo de clientes dentro de la jornada laboral.

5.- Elaboración del modelo de simulación del escenario actual.

Se identificó que el sistema tiene una entrada de clientes, un área de compra que incluye el autoservicio y venta de granel, 4 cajas con sus respectivos empacadores y una salida.

En la tabla 1 se indican las distribuciones de tiempo para los distintos servidores, así, como para la entrada de los clientes, estas se obtuvieron mediante el software Arena®.

Concepto	Distribución
Entrada de clientes	POIS (0.966)
Tiempo de compra	-0.5+LOGN (6.15, 5.81)
Tiempo de servicio caja 1	1.5+LOGN (0.76, 0.491)
Tiempo de servicio caja 2	1.5+LOGN (0.998, 0.775)
Tiempo de servicio caja 3	1.5+LOGN (0.802, 0.53)
Tiempo de servicio caja 4	1.5+7*BETA (0.746, 4.35)
Tiempo de empacador 1	2.5+3*BETA (0.849, 1.38)
Tiempo de empacador 2	2.5+LOGN (1.1, 0.837)
Tiempo de empacador 3	2.5+EXPO (1.11)
Tiempo de empacador 4	2.5+EXPO (1.2)

Tabla 1. Distribuciones de tiempos (Elaboración propia).

Una vez identificadas las distribuciones se construyó el modelo en el software Arena® como se muestra en la figura 2, indicando los flujos del sistema y el recorrido de los clientes en los diferentes servidores.

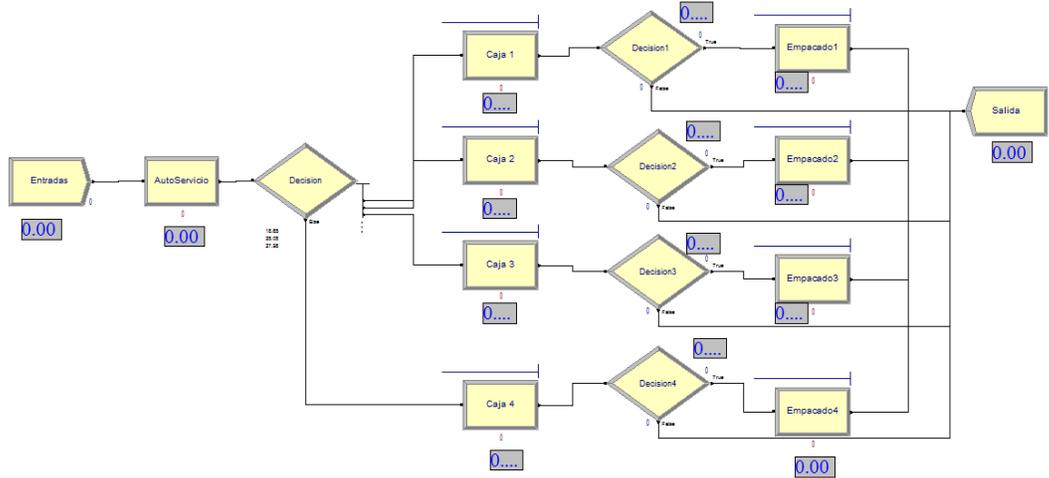


Figura 2. Diseño del modelo del escenario actual (Elaboración propia).

Seguido de lo anterior, se determinó la duración de la simulación y se indicaron los contadores necesarios. Para el estudio, se corrió el programa con un tiempo de 120 minutos con 4 repeticiones.

6.- Análisis de resultados de la simulación del escenario actual.

Con base a los resultados de tiempos de espera arrojados por el software, el promedio máximo del tiempo de espera de un cliente en el servidor empaclado uno, es de 1 minuto con 70 segundos, empaclado dos, es de 2.45 minutos, empaclado tres es de 1.87 minutos y empaclado cuatro es de 52 segundos como se muestra en la figura 3.

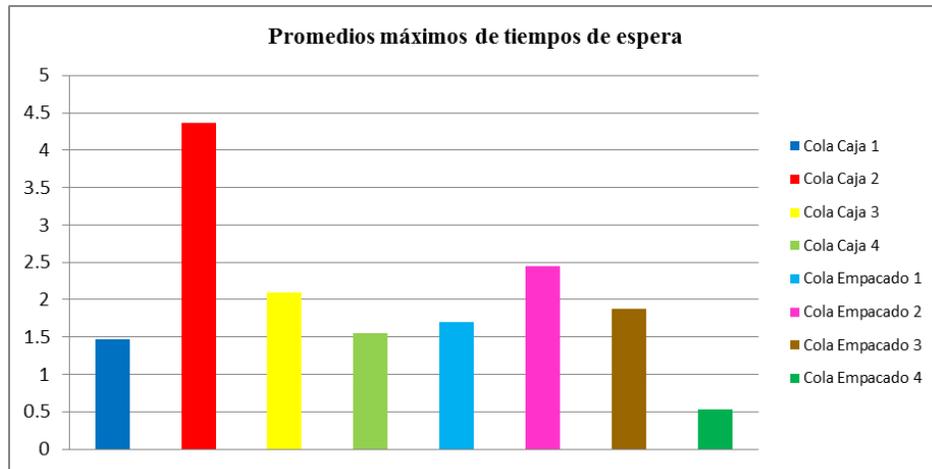


Figura 3. Promedios máximos de tiempos de espera (Elaboración propia).

La figura 4 demuestra los números de clientes en espera de ser atendidos y siendo de nuestro interés las colas en el servidor empacado, se corroboró que llega a existir más de un cliente esperando su producto.

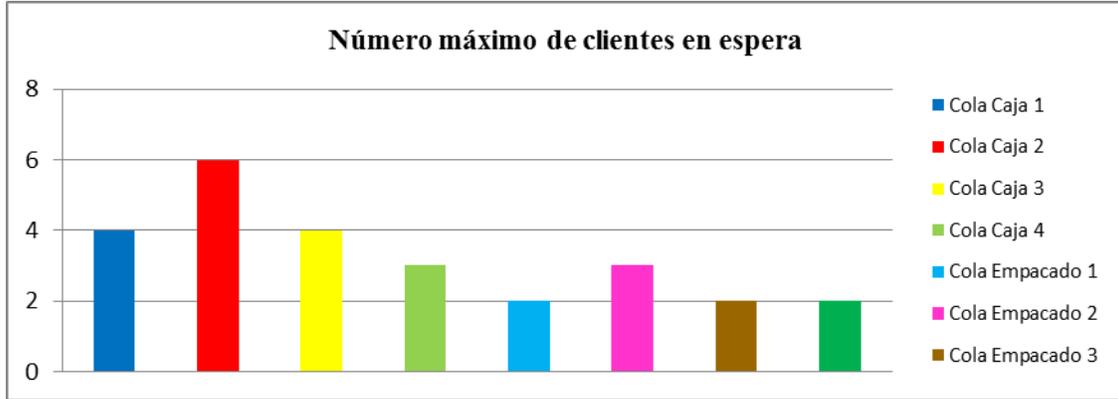


Figura 4. Números máximos de clientes en espera (Elaboración propia).

Como se observa en la figura 5, los clientes se encuentran en espera en el servidor caja y de igual forma en el servidor empacado.

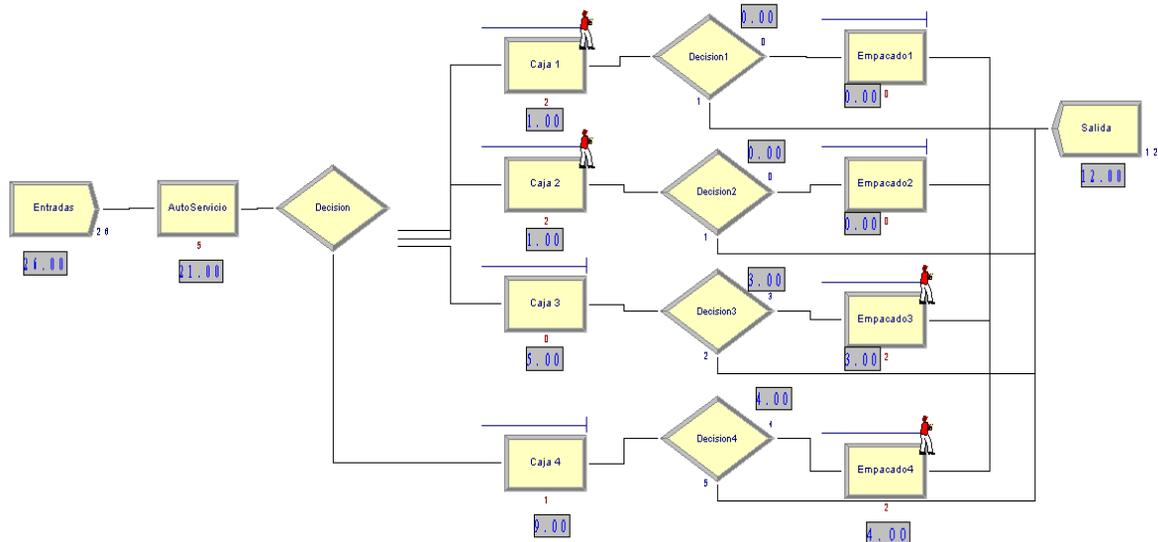


Figura 5. Corrida del modelo del escenario actual (Elaboración propia).

Con lo anterior se demostró que el principal problema se encuentra cuando el cliente permanece detenido a la espera de la entrega de su producto a granel (mercancía).

7.- Diseño del modelo del escenario propuesto.

Basado en los resultados obtenidos, se diseñó la propuesta de mejora del sistema. Como se observa en la figura 6, ya no se muestran en el modelo los servidores de empaque, puesto que, estos no tendrían la función de dirigirse al área de granel para poder entregar el producto al cliente.

Se consideró como propuesta de solución mover el servidor caja uno hacia el área de venta a granel, para que el cliente al mismo tiempo de pagar reciba su mercancía (granel).

Para la propuesta se corrió el programa con un tiempo de 120 minutos con 4 repeticiones y la estructura del modelo fue la siguiente.

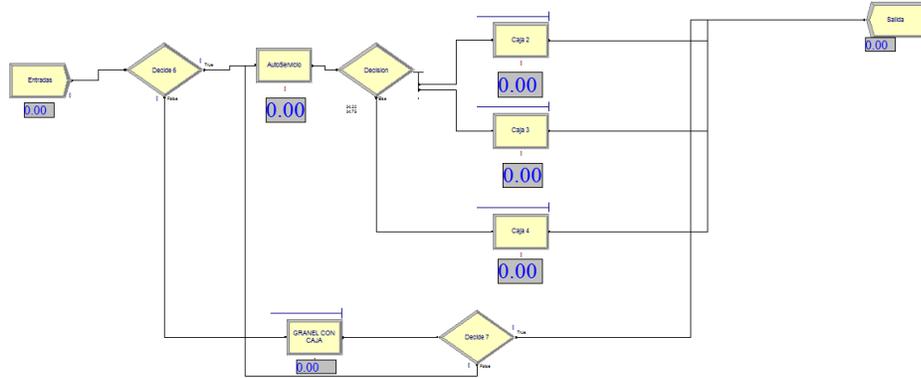


Figura 6. Diseño del modelo del escenario propuesto.

8.- Simulación del modelo del escenario propuesto.

Una vez definida la etapa anterior se realiza la simulación de la propuesta, así como se muestra en la figura 7.

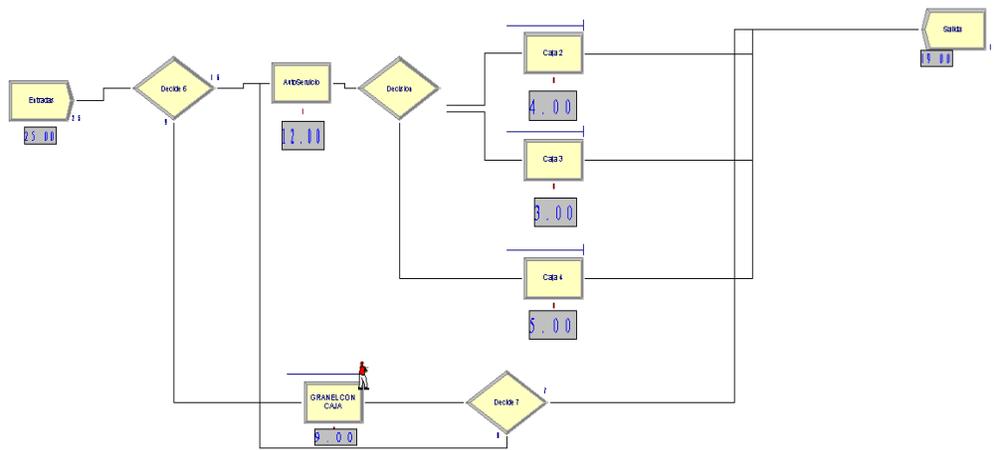


Figura 7. Corrida del modelo del escenario propuesto.

9.- Análisis de resultados del escenario propuesto.

En la corrida de simulación se detectó una considerable disminución de tiempo en las colas de espera del área de cajas y de los clientes que compraban únicamente producto a granel.

10.- Informe de resultados del escenario propuesto.

Los resultados obtenidos se detallaron en el apartado de resultados y discusión.

3. Resultados

Los resultados de la propuesta de mejora se presentan en la figura 8, ésta nos indica que los tiempos promedios de espera son de máximo 1 minuto a diferencia del escenario actual, donde un cliente llega a esperar hasta 2.45 minutos.

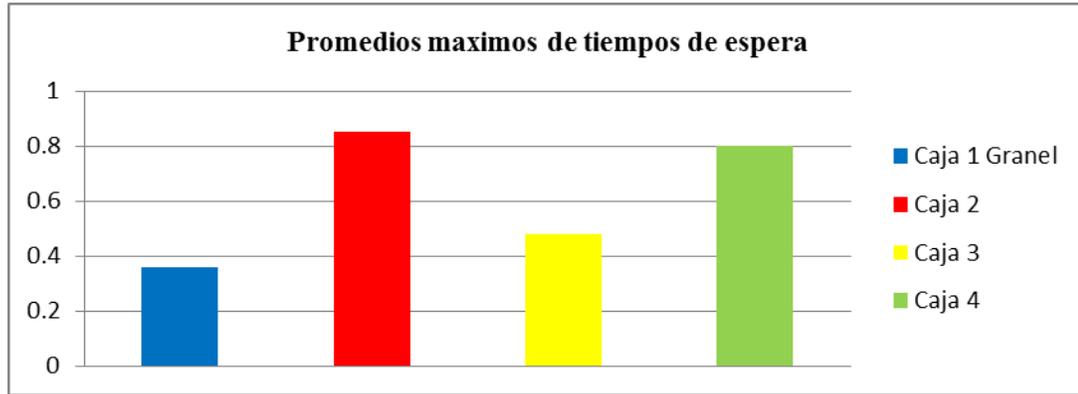


Figura 8. Promedios máximos de tiempos de espera del modelo propuesto

Finalmente en la figura 9 se muestra el número máximo de clientes en espera y éste nos indica que en el servidor de producto a granel máximo se encuentran dos clientes en espera, sin embargo en comparación con el modelo actual el tiempo de espera se reduce.

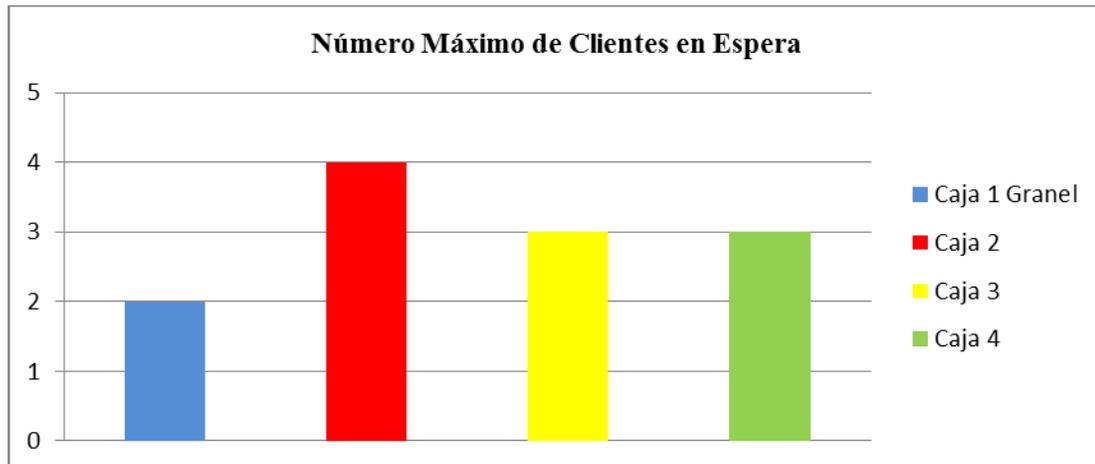


Figura 9. Números máximos de clientes en espera del modelo propuesto

4. Conclusiones

Se identificaron las áreas de oportunidad de mejora de la empresa.

Como resultado del análisis del sistema actual se observó que el problema es generado por los retrasos en la entrega de mercancía a granel una vez finalizada la última operación en el servidor caja, donde se observó que permanecían en espera más de dos clientes, lo que generaba un tiempo máximo de 2.45 minutos en la fila.

Posteriormente se diseñó un escenario para proponer una mejora al sistema, que consta de la apertura de una caja en el área de granel, éste escenario se simuló con ayuda del software Arena®.

El modelo aplicado en este trabajo es adecuado como soporte para la toma de decisiones ayudando al mejoramiento del proceso de atención al cliente.

En este caso se determinó mover la caja uno hacia el área de granel con el fin de disminuir el tiempo de espera de la mercancía adquirida con un 78% de mejora determinado del promedio máximo del tiempo de espera de un cliente en el servidor empacado que equivale al 100%, con el tiempo de servicio de caja granel

que equivale a 0.3568 segundos (reflejado en el software Arena®), se obtuvo el porcentaje de contraste entre el modelo actual y propuesto mediante el método de la regla de 3.

Las colas que se presentan en el transcurso de los procesos de atención al usuario tienen una forma de operar dependiendo de los días y las horas en que ocurre el evento, por ello es recomendable obtener un modelo de dicho comportamiento para mejorar su sistema de atención.

Se presentó esta propuesta al dueño de la dulcería.

Trabajo a futuro

Después del análisis del sistema de la dulcería se observaron diversas áreas de oportunidad y por ello se sugiere que los posibles proyectos a futuro sean:

Análisis de Simulación de escenarios para la redistribución de la dulcería aplicando Asignación Cuadrática.

Detección de inventarios de mercancías mediante la aplicación de un Modelo de Simulación.

Agradecimientos

A la empresa “La Industrial de Golfo de Veracruz, S.A. de C.V.” por permitir la realización del estudio y recolección de datos para el mejoramiento del proceso en atención al servicio de compra venta de la organización. Así mismo, a los evaluadores del artículo que contribuyeron significativamente al mejoramiento del mismo.

De igual manera se le agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico financiero para cursar la Maestría en Ingeniería Industrial y permitirnos el desarrollo de ésta investigación para el enriquecimiento personal y profesional.

5. Referencias

- Blanco Castañeda, L. (2012). *Probabilidad*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Cao Abad, R. (2002). *Introducción a la Simulación y a la Teoría de Colas*. Coruña: NETBIBLO.
- Gómez Jiménez, F. (2008). Aplicación de teoría de colas en una entidad financiera: herramienta para el mejoramiento de los procesos de atención al cliente. *Revista universidad EAFIT*
- Helquist, J., Deokar, A., Cox, J. & Walker, A. (2012). Analyzing process uncertainty through virtual process simulation. *Business Process Management Journal*.
- Kelton, W., Sadowski, R. & Sturrock, D. (2004). *Simulation with Arena*. Boston: McGrawHill.
- Llinás, H. & Rojas, C. (2012). *Estadística descriptiva y distribuciones de probabilidad*. Barranquilla: Editorial Universidad del Norte.
- Portilla, L., Arias Montoya, L. & Fernández Henao, S. A. (2010). Análisis de líneas de espera a través de teoría de colas y simulación. *Scientia Et Technica*.
- Villanueva Castrillón, J. (2008). Simulación de procesos, clave en la toma de decisiones. *Organización y dirección de empresas*.

Red logística como un problema multi-agente viajero para distribuir agua purificada en garrafrones de 19 litros

Valentín Blanco Bustamante, Ing.¹, MII. Marieli Lavoignet Ruíz²

¹El Ing. Valentín Blanco Bustamante, es Ingeniero Industrial por el Instituto Tecnológico de Morelia, alumno del tercer semestre de la Maestría en Ingeniería Industrial por el Instituto Tecnológico Superior de Misantla. Contacto: 162t0059@itsm.edu.mx.

²La MII Marieli Lavoignet Ruíz, es Ingeniero Industrial por el Instituto Tecnológico Superior de Misantla con Maestría en Ingeniería Industrial por la misma institución. Actualmente se desempeña como Docente en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla. Contacto: mlavoignet@itsm.edu.mx.

Resumen- Este artículo presenta la modelación de escenarios de una red de distribución de agua purificada para la venta de garrafrones de 19 litros. Se implementa la metodología “Problema de Múltiples Agentes Viajeros” apoyado de un algoritmo genético con “Solver” de Microsoft Excel® para optimizar la red global de distribución en 3 rutas comerciales utilizadas por una empresa purificadora de agua local. Los resultados muestran para la ruta 1, una distancia mínima de recorrido de 12.55 a 10.95 kilómetros y un consumo de combustible de \$30.70 a \$26.80 por día. La ruta 2 muestra una distancia mínima de 23.60 a 22.50 kilómetros con un consumo de combustible de \$57.70 a \$55.00 diarios. Finalmente, la ruta 3 ofrece una distancia mínima de 9.77 a 8.71 kilómetros y un consumo de combustible de \$23.90 a 21.30 por día.

Palabra(s) clave: Logística, Problema de Múltiples Agentes Viajeros, red de distribución, ruta óptima, algoritmo genético.

Abstract- This paper presents the scenario modeling of a purified water distribution network for the sale of 19 liter bottles. The methodology "Multiple Travelling Salesman Problem" supported by a genetic algorithm with "Solver" of Microsoft Excel® is implemented for optimizing the global distribution network in 3 commercial routes used by a local water purification company. The results show for Route 1, a minimum travel distance of 12.55 to 10.95 kilometers and a fuel consumption of \$ 30.70 to \$ 26.80 per day. Route 2 shows a minimum distance of 23.60 to 22.50 kilometers with a fuel consumption of \$ 57.70 to \$ 55.00 per day. Finally, Route 3 offers a minimum distance of 9.77 to 8.71 kilometers and a fuel consumption of \$ 23.90 to 21.30 per day.

Key words- Logistics, Multiple Travelling Salesman Problem, distribution network, optimal route, genetic algorithm.

1. Introducción:

Uno de los principales problemas a los que se enfrentan las empresas hoy en día es el cómo hacer llegar sus productos y servicios al cliente de tal manera que sus costos de distribución no representen una amenaza para sus utilidades. Algunas aplicaciones de la IO muestran mejoras en el campo logístico y de distribución. Eliana Mirdedy Toro Ocampo (2016), diseñó un modelo matemático entero mixto para resolver un problema de localización de centros de distribución (CD's) y ruteo vehicular logrando asignar las rutas que minimizan las distancias recorridas por los vehículos y minimizar a su vez, los costos por apertura de los CD's. Litvinchev (2013), empleó un modelo matemático en programación lineal entera mixta para el diseño de una red de distribución, logrando reducir los costos de transporte y disminuir tiempos de entrega de producto. Nicole Diana Araya sanhueza (2012), propuso un modelo matemático entero para el ruteo de vehículos dedicados al transporte escolar en donde lograron determinar las rutas óptimas a seguir para minimizar los tiempos de recorrido, distancias y costos de transporte. Los casos anteriores, toman como referencia la aplicación de técnicas de la IO adaptadas a su problemática para generar soluciones factibles. En base al estudio de los casos anteriores, y de acuerdo con sus resultados obtenidos, se propone la aplicación de la metodología proveniente del campo de la IO “Problema de Múltiples Agentes Viajeros” por sus siglas en inglés MTSP. El MTSP es un modelo generalizado del conocido Problema del Agente Viajero (TSP) donde más de un agente puede ser empleado en la solución. Este consiste en encontrar las rutas óptimas a seguir por un conjunto de vehículos distribuidores de producto que minimicen las distancias recorridas por los mismos en donde los vehículos deben iniciar y terminar su recorrido en el punto de partida, pasando por todos los nodos existentes en un grafo previamente definido (Carlos P. Nuñez, 2017). El MTSP es un claro ejemplo de problemas de optimización

combinatoria cuya aplicación se puede dar en diversas áreas como son: logística, manufactura, proyectos de inversión, asignación de tareas, etc. Maneiro (2003) menciona los beneficios más sobresalientes que se pueden obtener con la aplicación del MTSP: Reducción de costos en combustible por Km recorrido, minimización de distancias recorridas, incremento de cobertura de reparto y aumento de ventas y utilidades.

2. Desarrollo.

2.1. Planteamiento del problema

La empresa “Agua Purificada Santa Clara” es una empresa dedicada a la purificación, embotellado y venta de garrafones de 19 litros en la ciudad de Misantla, Veracruz. Un diagnóstico realizado en la empresa, identificó que su red logística de distribución de producto se diseñó de forma empírica por el propietario por lo que no se cuenta con alguna metodología definida que proporcione un sustento que permita evaluar sus resultados a fin de mejorarlos. Hoy en día la logística en la cadena de suministro juega un papel crucial para las empresas si de generar ventajas competitivas se trata. De acuerdo con Aquilano (2009), mejorar y agilizar los procesos logísticos dentro de las organizaciones permite no solo la reducción de tiempos y costos, sino también, mejorar el grado de satisfacción del cliente.

2.2. Método.

Para manejar la problemática presentada en este trabajo y una vez realizada una revisión de la literatura relacionada a problemas de optimización de redes logísticas de distribución y técnicas de ruteo, se presenta la aplicación del “MTSP”. De forma general, el MTSP se describe de la siguiente manera: dado un conjunto de nodos (clientes en este caso), se identifica a “*m*” como el número de viajeros ubicados en un mismo depósito. Los clientes que deben ser visitados por los viajeros son llamados nodos intermedios. Posteriormente, para la resolución del problema, el MTSP consiste en encontrar una ruta, mediante un algoritmo, que minimice las distancias recorridas para cada uno de los *m* viajeros la cual debe iniciar y terminar en el punto de partida, visitando exactamente una sola vez cada nodo intermedio (se asume que las distancias entre nodos intermedios son conocidas). Para efectos de este trabajo, los nodos intermedios son representados por los clientes que atiende la purificadora dentro de la ciudad de Misantla, los viajeros son los vehículos repartidores que distribuyen el producto y las distancias serán denotadas por los kilómetros que separan un cliente de otro, formando así, un grafo con inicio y fin en la empresa. El modelo MTSP asociado se define por medio de tres datos:

1. El número de clientes, “*n*”.
2. El número de viajeros, “*m*”.
3. Las distancias “*dij*” entre los clientes *i* y *j* (*dij* = ∞ si los clientes *i* y *j* no están comunicados).

Un modelo MTSP es simétrico si *dij* = *dji* para todas las *i* y *j*. De lo contrario, el modelo es asimétrico. El modelo del MTSP entonces queda definido de la siguiente manera:

$$X_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{si se llega al cliente } j \text{ desde el cliente } i \\ 0, & \text{en caso contrario} \end{cases}$$

De acuerdo con Sedighpour (2011), el modelo matemático en programación binaria para la resolución del MTSP queda definido como se muestra a continuación: Mohammad

Minimizar **Z** =

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n dijx_{ij}, dij = \infty \text{ para todas las } i = j \text{ Ecuación (1)}$$

Sujeto **a:**

$$\sum_{i=1}^n X_{ij} = 1, j = 2, \dots, n \text{ Ecuación (2)}$$

$$\sum_{i=1}^n X_{ij} = m, j = 1 \text{ Ecuación (3)}$$

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} = 1, i = 2, \dots, n \text{ Ecuación (4)}$$

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} = m \quad i = 1 \text{ Ecuación (5)}$$

$$\sum_{i \in S} \sum_{j \in N-S} X_{ij} \geq 1 \quad (\emptyset \neq S \subset N = \{2, \dots, n\}), |S| \geq 2 \text{ Ecuación (6)}$$

$$\sum_{i \in N-S} \sum_{j \in S} X_{ij} \geq 1 \quad (\emptyset \neq S \subset N = \{2, \dots, n\}), |S| \geq 2 \text{ Ecuación (7)}$$

$$X_{ij} \in \{0,1\} \text{ Ecuación (8)}$$

La función objetivo (1) busca el camino más corto posible que forme un circuito cerrado entre todos los clientes para cada ruta. Las restricciones (2) y (3) aseguran que los vendedores lleguen una vez a cada nodo y m veces al depósito. Las restricciones (4) y (5) aseguran que el vendedor se retiré de cada nodo una vez y del depósito m veces. Las restricciones (6) y (7) se generan con el fin de evitar la existencia de sub-tours para cada vendedor en el modelo. Finalmente, la restricción (8) define las condiciones binarias en las variables. Si la solución del modelo de asignaciones resulta ser un recorrido, entonces automáticamente es óptimo para el MTSP —se forma un viaje redondo por los nodos intermedios— (Taha, H. A., 2012).

2.3. Obtención de datos

Para la distribución de los garrafones de 19lts, la empresa determinó el hacer uso de 3 rutas que comprenden el municipio de Misantla, Veracruz y sus alrededores. La recolección de la información necesaria acorde a los requerimientos del MTSP, se obtuvo mediante el siguiente esquema: 1) Puntos de venta, los cuales fueron definidos previamente por el propietario de la empresa. 2) Posibles agrupaciones de clientes, que son las rutas que se pueden establecer para cada conjunto de clientes. 3) Vehículos disponibles. 4) Distancias entre clientes, obtenidas por medio de Google Maps® y Google Earth®, dos aplicaciones web que ofrecen imágenes de mapas desplazables de todo el mundo con precisión satelital. Los vehículos recorren para la venta de garrafones un total de 25 calles y colonias distribuidas en toda la ciudad, divididas en 3 rutas, de Lunes a Sábado. La purificadora dispone de 3 camionetas Nissan estaquitas modelo 2000 con un consumo aproximado de combustible de 7.5 km / litro (cargadas) y una capacidad de carga de 1.5 toneladas (42 garrafones de 19lts cada vehículo por cuestiones de espacio). Las distancias entre clientes expresadas en kilómetros se muestran en las Tablas 1,2 y 3. Las agrupaciones de los clientes con sus respectivas rutas actuales para la comercialización del producto se muestran en las Figuras 1,2 y 3.

Ruta 1	P	1	2	3	4	5	6	7
P	0	3.5	2.7	1.9	2.4	1.4	1.9	0.45
1	3.5	0	1.3	2.5	3.2	2.2	3	4.2
2	2.7	1.3	0	1.5	2.3	1.3	2.1	3.3
3	1.9	2.5	1.5	0	0.8	0.65	0.6	2.4
4	2.4	3.2	2.3	0.8	0	1.3	0.9	3
5	1.4	2.2	1.3	0.65	1.3	0	1	1.9
6	1.9	3	2.1	0.6	0.9	1	0	2.7

7	0.45	4.2	3.3	2.4	3	1.9	2.7	0
---	------	-----	-----	-----	---	-----	-----	---

Tabla 8 Matriz de distancias para la ruta 1

Codificación ruta 1: P) Purificadora, 1) Buenos Aires, 2) Puerto Palchan, 3) Pocito del Zotuco, 4) Pocito de Nacaquinia, 5) Calle Naolinco, 6) Calle Zaragoza, 7) Calle José Uribe R.

La ruta de comercialización 1 atiende un total de 7 clientes con una distancia de recorrido de 12.55 kilómetros y un consumo de combustible de \$30.70 para el vehículo 1.

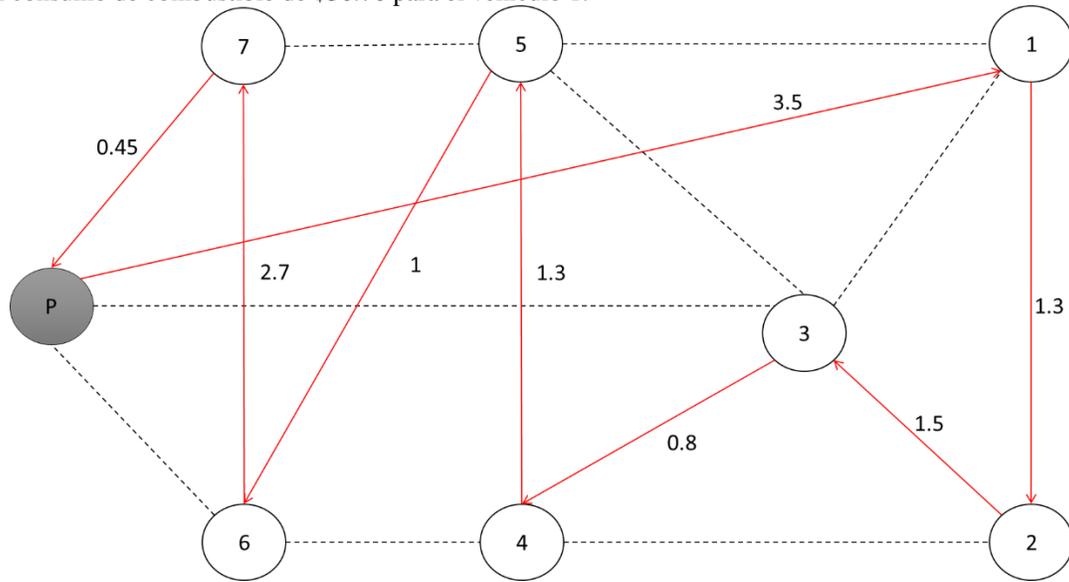


Figura 3 Ruta de comercialización 1

Arco usado en el recorrido → Arco no usado en el recorrido - - - - -

Ruta 2	P	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P	0	1	1.1	0.35	0.35	0.85	0.65	0.75	5.1	9.3
1	1	0	0.75	0.4	0.7	1.3	0.65	1.3	5.6	9.8
2	1.1	0.75	0	0.75	1	0.8	0.8	1.5	5.8	10
3	0.35	0.4	0.75	0	0.4	1	0.35	1	5.2	9.5
4	0.35	0.7	1	0.4	0	0.65	0.3	0.7	5	9.2
5	0.85	1.3	0.8	1	0.65	0	0.65	1.1	5.4	9.6
6	0.65	0.65	0.8	0.35	0.3	0.65	0	1	5.3	9.5
7	0.75	1.3	1.5	1	0.7	1.1	1	0	4.6	9
8	5.1	5.6	5.8	5.2	5	5.4	5.3	4.6	0	4.5
9	9.3	9.8	10	9.5	9.2	9.6	9.5	9	4.5	0

Tabla 9 Matriz de distancias para la ruta 2

Codificación Ruta 2: P) Purificadora, 1) Salinas de Gortari, 2) Soriana Express, 3) Marcelino Méndez, 4) Manuel Almanza, 5) Luis Pasteur, 6) Agustín Melgar 7) Parroquia Juan Pablo, 8) Santa Cruz, 9) La primavera. La ruta de comercialización 2 atiende un total de 9 clientes con una distancia de recorrido de 23.6 kilómetros y un consumo de combustible de \$57.70 para el vehículo 2.

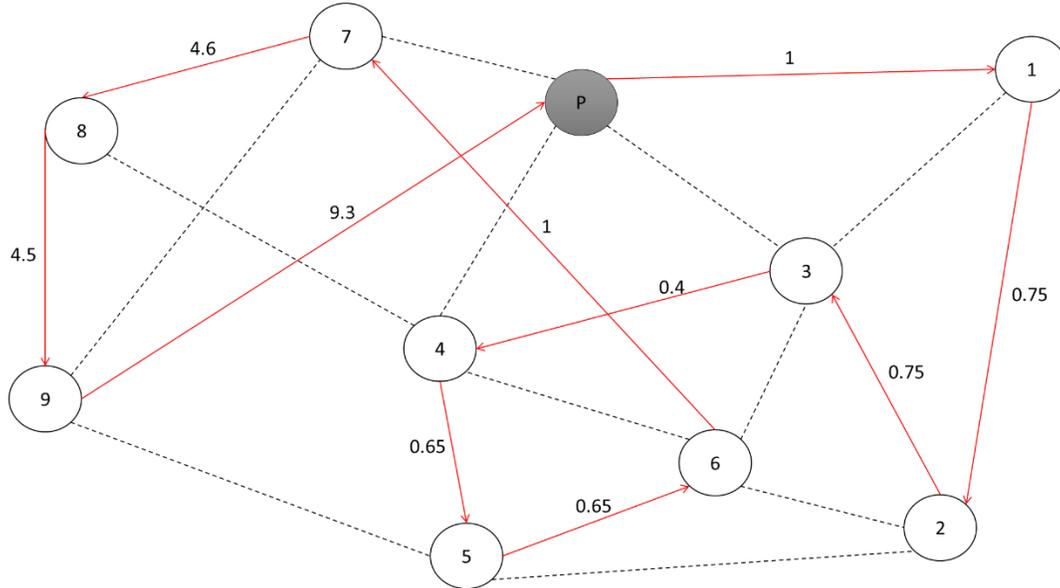


Figura 4 Ruta de comercialización 2

Arco usado en el recorrido → Arco no usado en el recorrido - - - - -

Ruta 3	P	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P	0	1.8	1.8	1.9	1.6	1.9	1.9	1.9	1	1.6
1	1.8	0	0.17	0.85	0.5	0.5	0.45	0.14	2.8	3.4
2	1.8	0.17	0	0.7	0.35	0.7	0.65	0.8	2.6	3.2
3	1.9	0.85	0.7	0	0.4	0.75	0.7	0.65	2.9	3.5
4	1.6	0.5	0.35	0.4	0	0.35	0.3	0.55	2.4	2.9
5	1.9	0.5	0.7	0.75	0.35	0	0.5	0.85	2.4	3
6	1.9	0.45	0.65	0.7	0.3	0.5	0	0.5	2.6	3.2
7	1.9	0.14	0.8	0.65	0.55	0.85	0.5	0	3	3.5
8	1	2.8	2.6	2.9	2.4	2.4	2.6	3	0	0.75
9	1.6	3.4	3.2	3.5	2.9	3	3.2	3.5	0.75	0

Tabla 10 Matriz de distancias para la ruta 3

Codificación Ruta 3: P) Purificadora, 1) Calle Zaragoza, 2) Parque Misantla, 3) José María Morelos, 4) Ferrer Guardia, 5) Melchor Ocampo, 6) Bojalil Gil, 7) Constitución, 8) Fraccionamiento los Libreros, 9) ITSM. La ruta de comercialización 3 atiende un total de 9 clientes con una distancia de recorrido de 9.77 kilómetros y un consumo de combustible de \$23.90 para el vehículo 3.

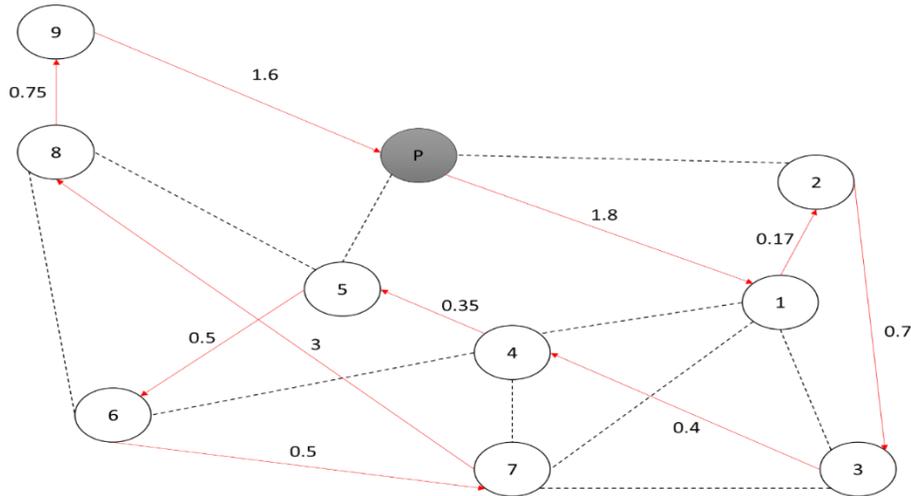


Figura 5 Ruta de comercialización 3

Arco usado en el recorrido → Arco no usado en el recorrido - - - - -

Las Tablas y Figuras anteriores marcan las ubicaciones de las calles y colonias que cada uno de los repartidores debe visitar, así como también, las rutas de comercialización de producto que actualmente tiene la empresa. Partiendo de la información previamente analizada, se procede a optimizar mediante la metodología MTSP, las rutas actuales de comercialización de producto.

3. Resultados

En sí el algoritmo para la resolución del MTSP es fácil de formular, sin embargo, al igual que varios problemas presentes en el campo de la optimización, es sumamente difícil de resolver, mencionan Aristizábal, G. G. (2007) y Barán, A. H. (2017). El MTSP se encuentra dentro de la categoría de los problemas NP-Hard, esto quiere decir que no se pueden encontrar soluciones factibles al modelo en un tiempo polinomial. Para efectos de este trabajo, la complejidad del problema se presenta a medida que se incrementa el número de nodos intermedios (clientes). Para esto tenemos que en la ruta 1 con $n = 7$ clientes, las posibles interacciones para encontrar una solución al modelo serían de $(7-1)! = 720$, y en las rutas 2 y 3 con $n = 9$ tendrían $(9-1)! = 40320$ interacciones cada una. Dicho lo anterior, para la resolución del modelo se utilizó la herramienta Solver de Microsoft Excel la cual permitió, mediante un algoritmo genético, optimizar las rutas a seguir para los 3 vehículos repartidores, minimizando las distancias de recorrido, atendiendo a los clientes deseables. Los resultados del modelo se muestran en el siguiente apartado.

Ruta 1:

La solución óptima para la ruta 1 se calculó en un total de 10.95 kilómetros de recorrido con un nivel de convergencia de 0.001, tasa de mutación de 0.075 y tamaño de población de 100, tomando la secuencia de visitas a clientes que se muestra en la Tabla 4:

Nº	Dirección del cliente	Distancias de recorrido en Km
P	Planta Purificadora	---
6	Calle Zaragoza	1.90
4	Pocito de Nacaquinia	0.90
3	Pocito del Zotuco	0.80
2	Puerto Palchan	1.50
1	Buenos Aires	1.30
5	Calle Naolinco	2.20
7	Calle José Uribe R.	1.90
P	Planta Purificadora	0.45

Tabla 11 Solución óptima ruta de comercialización 1

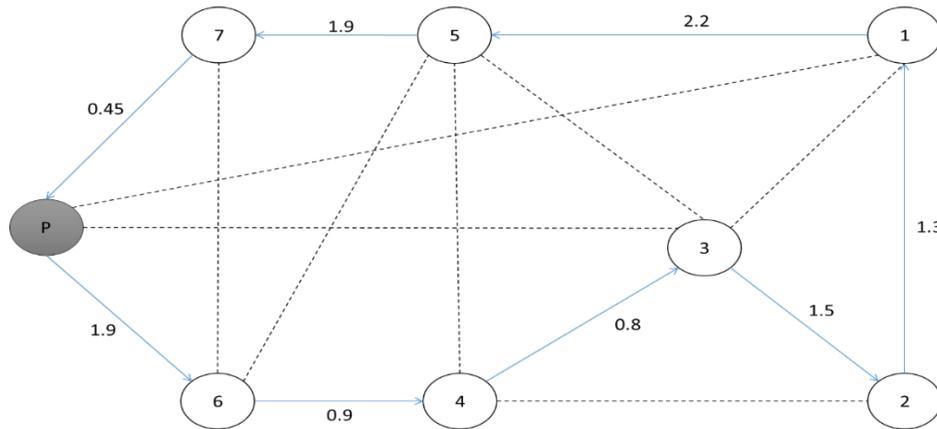


Figura 6 Ruta de comercialización 1 óptima

Arco usado en el recorrido \longrightarrow Arco no usado en el recorrido $\cdots\cdots\cdots$

Ruta 2:

La solución óptima para la ruta 2 se calculó en un total de 22.50 kilómetros de recorrido con un nivel de convergencia de 0.001, tasa de mutación de 0.075 y tamaño de población de 150, tomando la secuencia de visitas a clientes que se muestra en la Tabla 5:

Nº	Dirección del cliente	Distancias de recorrido en Km
P	Planta Purificadora	---
3	Marcelino Méndez	0.35
1	Salinas de Gortari	0.40
2	Soriana Express	0.75
5	Luis Pasteur	0.80
6	Agustín Melgar	0.65
4	Manuel Almanza	0.30
8	Santa Cruz	5.00
9	La Primavera	4.50
7	Parroquia Juan Pablo	9.00
P	Planta Purificadora	0.75

Tabla 12 Solución óptima ruta de comercialización 2

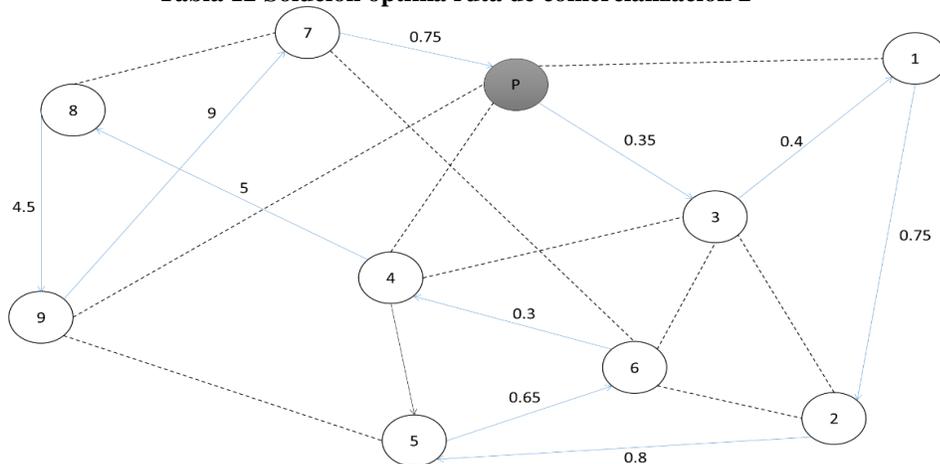


Figura 7 Ruta de comercialización 2 óptima

Arco usado en el recorrido \longrightarrow Arco no usado en el recorrido $\cdots\cdots\cdots$

Ruta 3:

La solución óptima para la ruta 3 se calculó en un total de 8.71 kilómetros de recorrido con un nivel de convergencia de 0.001, tasa de mutación de 0.075 y tamaño de población de 150, tomando la siguiente secuencia de visitas a clientes que se muestra en la Tabla 6:

Nº	Dirección del cliente	Distancias de recorrido en Km
P	Planta Purificadora	---
2	Parque Misantla	1.80
1	Calle Zaragoza	0.17
7	Constitución	0.14
3	José Ma. Morelos	0.65
4	Ferrer Guardia	0.40
6	Bojalil Gil	0.30
5	Melchor Ocampo	0.50
8	Fracc. Los Libreros	2.40
9	ITSM	0.75
P	Planta Purificadora	1.60

Tabla 13 Solución óptima ruta de comercialización 3

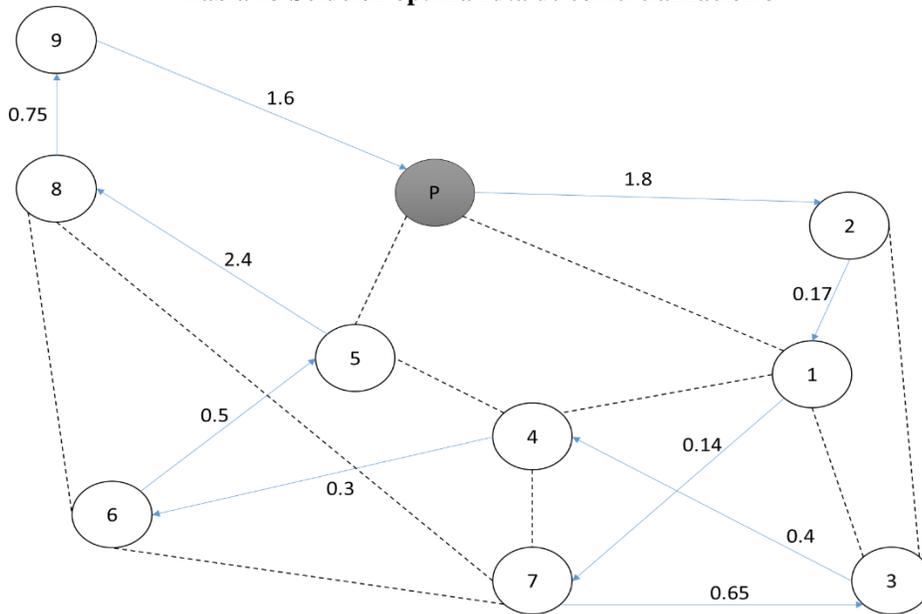


Figura 8 Ruta de comercialización 3 óptima

Arco usado en el recorrido \longrightarrow Arco no usado en el recorrido $\cdots\cdots\cdots$

4. Discusión

La aplicación de la metodología MTSP para el diseño óptimo de una red de comercialización de producto en una planta purificadora demostró su efectividad para apoyar su proceso logístico. Es común encontrar que las empresas purificadoras de la región definen sus rutas de forma empírica, y así permanezcan durante un tiempo hasta que decidan reorganizar sus rutas por la apertura de alguna más. Los resultados obtenidos mediante el algoritmo genético de Solver para la solución del MTSP ofrecen la siguiente información: Para visitar los clientes pertenecientes a la ruta 1, el modelo óptimo de recorrido realiza un tour comenzando por la Purificadora, continuar hacia Calle Zaragoza, Pocito de Nacaquinia, Pocito del Zotuco, Puerto Palchan, Buenos Aires, Calle Naolinco, Calle José Uribe R. y retornar a la Purificadora (codificación: P-6-4-3-2-1-5-7-P), ofreciendo una

minimización de 12.55 a 10.95 kilómetros de recorrido total. El tour óptimo a seguir para la ruta 2, se denota de la siguiente manera: Iniciar en la Purificadora, proseguir hacia Marcelino Méndez, Salinas de Gortari, Soriana Express, Luis Pasteur, Agustín Melgar, Manuel Almanza, Santa Cruz, La Primavera, Parroquia Juan Pablo y retorno a la Purificadora (codificación: P-3-1-2-5-6-4-8-9-7-P), con una minimización de 23.6 a 22.5 kilómetros de recorrido total. Finalmente, el tour asignado por el algoritmo para la ruta 3 se compone de la siguiente estructura: Inicio en la Purificadora, continuar hacia Parque Misantla, Calle Zaragoza, Constitución, José Ma. Morelos, Ferrer Guardia, Bojalil Gil, Melchor Ocampo, Fraccionamiento Los Libreros, ITSM y retornar a la Purificadora (codificación: P-2-1-7-3-4-6-5-8-9-P), con una distancia mínima de 9.77 a 8.71 kilómetros de recorrido total. Considerando que cada vehículo tiene un rendimiento aproximado de 7.5 km por litro de combustible, en la Tabla 7 se muestran las distancias óptimas de recorrido una vez aplicado el MTSP y el consumo de combustible por vehículo:

RUTA 1	Distancias y consumo de combustible diario	Distancias y consumo de combustible diario aplicando el MTSP	Minimización de distancias y combustible en %
Distancia de recorrido	12.55 kilómetros	10.95 kilómetros	1.6 kilómetros (13%)
Consumo de combustible	\$ 30.70	\$ 26.80	\$ 3.9 (13%)
RUTA 2			
Distancia de recorrido	23.60 kilómetros	22.50 kilómetros	1.1 kilómetros (5%)
Consumo de combustible	\$ 57.70	\$ 55.00	\$ 2.7 (5%)
RUTA 3			
Distancia de recorrido	9.77 kilómetros	8.71 kilómetros	1.06 kilómetros (11%)
Consumo de combustible	\$ 23.90	\$ 21.30	\$ 2.6 (11%)

Tabla 14 Distancias óptimas de recorrido y consumo de combustible de los vehículos

5. Conclusiones

Se demostró la efectividad de la aplicación del Problema de Múltiples Agentes Viajeros ofreciendo buenos resultados para el diseño de una red logística de distribución óptima para una empresa purificadora de agua, tomando como referencia un conjunto de clientes distribuidos a lo largo de la ciudad de Misantla, Veracruz y sus alrededores. El ahorro económico y las ventajas competitivas representadas con la aplicación del MTSP consisten en: la minimización de las distancias óptimas globales de recorrido, la reducción del consumo de combustible por vehículo y una mayor cobertura de clientes en un periodo de tiempo más corto. Los resultados obtenidos abren la oportunidad de estudio para modelar escenarios que incluyan diferente tamaño de flota vehicular y la incorporación de 2 vehículos adicionales para la venta del producto.

Agradecimientos

Un especial agradecimiento al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) porque gracias a su apoyo, hoy me encuentro un paso más cerca de culminar con mis estudios de maestría.

6. Referencias

- Aquilano, R. B. (2009). *Administración de las operaciones, producción y cadena de suministro*. México: McGraw Hill.
- Aristizábal, G. G. (2007). *Metaheurísticas aplicadas al ruteo de vehículos*. Un caso de estudio. Parte 2: Algoritmo Genético. *Ingeniería e Investigación*, 149-157.
- Barán, A. H. (2017). *Comparación de un sistema de colonia de hormigas y una estrategia evolutiva para un problema multiobjetivo de ruteo de vehículos con ventanas de tiempo*. San Lorenzo, Paraguay: Universidad Nacional de Asunción.
- Eliana Mirdedy Toro Ocampo, J. F. (2016). *Modelo matemático para resolver el problema de localización y ruteo con restricciones de capacidad considerando flota propia y subcontratada*. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 357-369.
- Julio Fuentes Vidal, M. P. (2014). *Método heurístico para el problema de ruteo de vehículos aplicado a la empresa distribuidora Representaciones Continental*. *Gestión y Sociedad*, 171-186.

- Lieberman, F. S. (2010). *Introducción a la Investigación de Operaciones*. México: McGraw Hill.
- Litvinchev, L. A. (2013). Routing Vehicles in a Special Transportation Network. IFAC.
- Maneiro, N. &. (2003). *Un enfoque evolutivo para problemas de localización en líneas de ensamble con backtracking*. Revista Ingeniería UC, 60-69.
- Mohammad Sedighpour, M. Y. (2011). *An effective genetic algorithm for solving the Multiple Traveling Salesman Problem*. Journal of optimization in Industrial Engineering, 73-79.
- Nicole Diana Araya sanhueza, C. E. (2012). Un modelo de programación lineal entera mixta para el problema de ruteo de vehículos en el transporte escolar. CLAIO.
- Olivera, A. (2004). Heurísticas para problemas de ruteo de vehículos. Montevideo, Uruguay: Universidad de la república.
- Taha, H. A. (2012). *Investigación de Operaciones*. México: Pearson Educación.

Uso de la programación matemática para la formulación de raciones de animales: Revisión bibliográfica

Adriana Arellano Montes Ing.¹, Dr. Gustavo Martínez Castellanos², Ing. Alain Gabriel García Martínez³, Ing. Enrique Torres Chávez⁴

¹ La Ing. Adriana Arellano Montes es alumna del tercer semestre de la Maestría en Ingeniería Industrial por el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz, adrianaarellano209@gmail.com.

²El Dr. Gustavo Martínez Castellanos es docente investigador en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz, presidente de una LGAC de la Maestría en Ingeniería Industrial y tiene diferentes contribuciones a nivel nacional e internacional, gmartinezc@itsm.edu.mx

³ El Ing. Alain Gabriel García Martínez es alumno del tercer semestre de la Maestría en Ingeniería Industrial por el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz, alaingabrielg@gmail.com.

⁴ El Ing. Enrique Torres Chávez es alumno del tercer semestre de la Maestría en Ingeniería Industrial por el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz, enriquetorrs@gmail.com.

Resumen— En este trabajo se presenta un estudio de la perspectiva de los modelos de formulación de raciones para animales basados en programación matemática combinándolos con el uso de diferentes técnicas de modelación de programación. Una de las últimas aproximaciones de la programación lineal, es la combinación o el uso independiente de los algoritmos como herramientas de optimización de este sistema. El esquema de revisión se clasifica en 7 secciones: programación lineal aplicada a la formulación de raciones animales, programación no lineal, programación estocástica, programación multicriterio por objetivos o metas, programación difusa, uso de algoritmos para optimizar la programación lineal y últimas tendencias del uso de algoritmos.

Por tanto, en esta revisión se abordan los últimos avances de 10 años atrás con respecto al mejoramiento de las dietas animales usando modelos matemáticos combinados con la programación lineal haciendo énfasis en los retos a vencer para la optimización de esta aplicación. La presente investigación es de tipo exploratoria y descriptiva se indagaron artículos de bases de datos especializadas, como Researchgate, Elsevier, Academic journals, Redalyc, Scielo, etc. Esta revisión analizó la variabilidad de los nutrientes en cada ingrediente, datos de entrada, factores considerados, los resultados obtenidos y la aplicación de las técnicas.

Palabra(s) clave—*Dieta animal, programación matemática, raciones, técnicas de modelación.*

Abstract – In this paper we present a study of the perspective of the animal formula formulation models based on mathematical programming, combining them with the use of different programming modeling techniques. One of the last approaches of the linear programming is the combination or the independent use of the algorithms as tools of optimization of this system. The revision scheme is classified into 7 sections: linear programming applied to the formulation of animal rations, nonlinear programming, stochastic programming, multicriteria programming by objectives or goals, diffuse programming, use of algorithms to optimize linear programming and latest usage trends of algorithms.

Therefore, this review addresses the latest advances 10 years ago regarding the improvement of animal diets using mathematical models combined with linear programming emphasizing the challenges to overcome for the optimization of this application. The present investigation is of an exploratory and descriptive type. We searched articles from specialized databases, such as Researchgate, Elsevier, Academic journals, Redalyc, Scielo, etc. This review analyzed the variability of nutrients in each ingredient, input data, factors considered, the results obtained and the application of the techniques.

Key words - *Animal diet, mathematical programming, rations, modeling techniques.*

1. Introducción

La programación matemática se ha empleado en diversos campos como apoyo a la toma de decisiones y una de las aplicaciones donde se ha utilizado considerablemente es en la formulación de raciones animales (Malhotra, 2008).

Las mezclas que se formulan para las raciones son generadas mediante un conjunto de ingredientes que contienen cierta proporción de nutrientes que se necesitan en las dietas animales, los costos que surgen al utilizar cada ingrediente y dependiendo del tipo de animal se establecen las necesidades nutrimentales por último se le añaden variantes que mejoren las raciones de manera significativa. Por lo que el objetivo de la formulación de las dietas es proporcionar a los animales el conjunto de ingredientes que mejor cumpla sus requerimientos nutrimentales (P.R, 2000).

La programación lineal se utilizaba en el inicio de la formulación de raciones animales y combinaba los ingredientes según su aporte nutrimental con el fin de obtener una mezcla al menor costo (Taha, 2004). Modelos de formulación de dieta animal se han desarrollado para fines comerciales, así como para el desarrollo de animal, utilizando diversas formas de programación matemática durante muchas décadas. Para lograr el objetivo de una dieta óptima y equilibrada para maximizar el rendimiento de la leche o la ganancia de peso de los animales, se han utilizado varios enfoques de programación matemática por más de 100 años (Rahman RA, 2010).

La alimentación es uno de los factores importantes en el desarrollo de los animales. El desarrollo adecuado de los animales depende directamente de la calidad de los piensos suministrados. Antes del desarrollo de las técnicas de programación matemática, los piensos se realizaban sobre la base del juicio basado en la experiencia, pero esto no se puede utilizar para alimentar a los animales con resultados congruentes. Los pequeños productores tienen recursos limitados disponibles para alimentar a los animales además de que las granjas están establecidas en distintas zonas geográficas en las cuales se involucran una serie de factores que en conjunto generan variabilidad de información por estas razones no es posible calcular y seleccionar la mezcla de piensos de acuerdo con los requerimientos específicos de cada tipo de animal. Debido a que la calidad de los alimentos afecta el metabolismo de los tejidos corporales y las funciones fisiológicas de crecimiento y producción. Para optimizar la relación costo beneficio de la calidad del pienso se han utilizado algunos métodos convencionales, tales como: método de ensayo y error, método de ecuación simultánea, método cuadrado y método de matriz de dos por dos y técnicas de formulación fija para la formulación de alimentos para animales (Khanna, 2014). Una de las desventajas de estas técnicas es que presentan rigidez de cantidad fija y no incluyen la minimización de los costos de ración lo que podría generar formulaciones incosteables para los pequeños productores.

Los nutricionistas afirman que los animales absorben la formulación de la manera más eficiente cuando los nutrientes suministrados en las raciones diarias son los mismos que sus necesidades diarias. Esta ración se denomina ración equilibrada. Se deben tener en cuenta varios factores mientras se preparan raciones balanceadas. La necesidad de optimizar la utilización eficiente de los recursos alimenticios disponibles localmente y de considerar diversos factores ha llevado a la construcción y análisis de modelos de programación matemática. El objetivo de los modelos matemáticos es proporcionar una mezcla equilibrada de piensos que suministre todos los nutrientes esenciales en cantidad adecuada a un costo mínimo que no puede lograrse mediante métodos convencionales o basados en el juicio. Una vez obtenida una solución derivada de técnicas de programación matemática, se puede probar, implementar y controlar adicionalmente. Los modelos de optimización no proporcionan resultados que satisfagan el 100% de los requerimientos nutricionales de los animales, pero conducen a mejores resultados en términos de producción.

Utilizando técnicas de programación matemática, la mezcla equilibrada de piensos se puede formular a un costo mínimo y se pueden lograr muchos más objetivos. Para obtener el rendimiento máximo de la ganancia de peso animal y máxima a un costo óptimo, los modelos de formulación de mezcla de pienso han sido desarrollados usando técnicas de programación matemática durante más de un siglo.

Esta revisión se enfoca en varios aspectos del modelo de formulación de la dieta tales como la síntesis del consumo de alimento, la variabilidad del ingrediente nutriente, los datos de entrada, los factores analizados, los resultados obtenidos con el empleo de la formulación generada y la aplicación de la programación matemática, de acuerdo con el objetivo del estudio.

El objetivo de esta revisión es proporcionar una base de datos para los modelos de formulación de mezclas de piensos. La discusión se basa en las técnicas de programación matemática que se han utilizado en

los últimos años. Este artículo analiza los modelos de mezcla de alimentación animal inicialmente basados en la técnica PL y luego se avanza a diferentes técnicas de programación como no lineal (PNL), programación estocástica (PE), programación multicriterio, por objetivo o metas, programación difusa y algoritmos.

2. Desarrollo

La presente investigación es de tipo exploratoria y descriptiva, en la que se revisan de los últimos diez años, modelos de programación matemática para la formulación de raciones animales. La búsqueda de información se realizó en revistas de divulgación o de investigación científica, sitios Web, libros, memorias de conferencias y demás información necesaria para iniciar la búsqueda. La información se ordenó en base a la herramienta de programación utilizada, el año de publicación y la relevancia del estudio. Por último, se analizaron las ideas principales de los documentos, la herramienta empleada, datos analizados, campo de estudio y resultados obtenidos.

2.1 Programación lineal aplicada a la formulación de raciones animales

La técnica de programación lineal (PL) es un enfoque científico del problema de la mezcla de piensos, que se ha introducido para obtener la formulación de raciones que puedan proporcionar la nutrición adecuada a los animales. Para la formulación de mezcla de piensos para rumiantes, PL ha sido ampliamente utilizada como herramienta.

Teniendo en cuenta que el costo de la alimentación es un factor importante en el costo total de producción, es imperativo que quienes se dedican a la capacitación de nutricionistas y productores de animales proporcionen a los aprendices conocimientos y habilidades adecuados para tomar decisiones. Uno de los aspectos a considerar en la formulación de la dieta animal es la interpretación de los datos de salida que arroje el programa de modelación. En este trabajo se muestra cómo formular una dieta de menor costo en la programación lineal. Se discute la salida de la computadora y se hace especial hincapié en la importancia de la interpretación apropiada del informe de sensibilidad basándose en el formato de salida de Microsoft Excel® Solver (M. Nabasirye, 2011).

El modelo del National Research Council (NRC 2000) en uno de sus apartados establece los requerimientos nutricionales del ganado de carne los cuales se definen mediante ecuaciones (Council, 2000), siendo algunas de ellas no lineales o no aditivas lo cual dificulta su incorporación a modelos de programación lineal para formular raciones al mínimo costo. En este trabajo se describió un modelo de programación lineal entero mixto para formular dietas de mínimo costo que incorpora las recomendaciones del Modelo Nivel Uno del NRC (2000). La falta de aditividad o linealidad de algunas funciones fueron superadas empleando restricciones alternativas modeladas con variables binarias. El modelo considera factores ambientales que modifican los requerimientos de los animales y los efectos de la dieta que afectan la eficiencia de síntesis de proteína microbiana a nivel rumial y el consumo potencial voluntario de alimentos. Se consideran los requerimientos de energía, proteína metabolizable, calcio, fósforo y fibra efectiva. Se acota el consumo de pastura al consumo voluntario de la misma y el consumo de suplemento al máximo nivel de suplementación permitido (Soto, 2011). Otro modelo aplicado a bovinos de carne es el que presenta (Oishi, 2011) en el cual se aplicó un método simplificado de optimización de raciones para evaluar la utilización de subproductos de alimentos en diversas situaciones. El método se amplió para reducir los costos de alimentación (es decir, factores económicos) y las excreciones de nitrógeno y fósforo (es decir, factores ambientales) introduciendo coeficientes de penalización de contenido de nitrógeno y fósforo en cada ingrediente de la dieta en la función objetivo en la programación lineal tradicional. Se utilizaron seis subproductos alimentarios regionales, cinco concentrados comerciales y dos forrajes como ingredientes de la ración mixta total fermentada. Los resultados mostraron que, aunque los precios de reemplazo no fueron muy afectados por los niveles de penalización, se asociaron con los cambios en la tasa de sustitución de subproductos alimenticios para concentrados y el precio de los concentrados. Los precios de sustitución se situaron en torno a 16 (yen / kg, según la alimentación) con respecto al nivel actual de precios de los concentrados, cuando los subproductos alimenticios se sustituyeron por la mitad de los concentrados. También se han modelado planes de dietas alimenticias para bovinos de leche como el que se presenta en (S. N. Goswami, 2013) en donde se aplicó la técnica de programación lineal para formular el plan de racionamiento de menor costo para la alimentación diaria de las vacas lecheras cruzadas y locales por separado. El plan de raciones de menor costo formulado para la alimentación diaria de vacas lecheras de cría cruzada produciendo 5 a 10 L de leche por día incluyó 3,50 kg de paja de arroz, 10,60 kg de Napier 1,35

kg de torta de soya, 2,08 kg de salvado de trigo y 0,06 kg de mezcla mineral, disminuyó 19% en comparación con el plan de alimentación de rutina seguido por los agricultores. Del mismo modo, el plan de raciones diarias de menor costo formulado para las vacas lactantes locales que producen 3 L de leche por día incluye 3,06 kg de paja de arroz, 7,60 kg de pasto Napier, 0,86 kg de soja, 1,20 kg de salvado de trigo y 0,05 kg de mezcla mineral, se redujo en un 22% en comparación con el plan de racionamiento existente seguido por los agricultores.

El desarrollo de modelos de formulación de raciones se ha aplicado también a la industria avícola ejemplo de ello es el que se analiza en (Waldroup, 2010). Los resultados del análisis de la solución modelo y de la optimización post-optimalidad se compararon con la práctica existente de la granja en estudio. Se identificaron trece (13) variables de decisión y catorce (14) restricciones. La solución óptima del modelo de programación lineal da una reducción del 9% en los costos de formulación de alimento comparado con el método existente en la granja. El análisis posterior a la optimización también proporcionó información útil sobre el impacto de los cambios en los costos de los insumos para piensos (Johnson, 2012). El análisis de sensibilidad es una parte de las soluciones de programación matemática y se utiliza en la toma de decisiones nutricionales y económicas para un determinado problema de formulación de alimento. En el modelo de (W. B. Roush, 2009) estableció un problema de alimentación de hoja de cálculo con 11 ingredientes y 11 restricciones. Las soluciones PL y PE se determinaron utilizando el algoritmo del Solver de Excel. Los términos precio sombra y costo reducido son términos de programas lineales familiares (PL) para alimentar a los formuladores. Debido a la naturaleza no lineal de la programación estocástica (PE), se utilizaron diferentes métodos y terminología para definir precios sombra y costos reducidos. El multiplicador de Lagrange se empleó en lugar del precio sombra para describir el valor marginal de los nutrientes. Se utilizó un gradiente reducido en lugar de un coste reducido para describir el precio al que se incluirían los ingredientes no utilizados en la formulación en la solución. Los resultados del problema de probabilidad del 69% mostraron una diferencia en las raciones formuladas. El costo reducido de PL fue de \$ 34.25 y el costo reducido de PE fue \$ 34.52. En el siguiente estudio se formularon dietas a base de harina de maíz y soya (C-SBM) o con harina de trigo y semilla de algodón (+ W-CM) como fuentes alternativas de energía y proteínas. Con precios reales o simulados, el contenido de energía económica en la mayoría de los casos se redujo por estrés térmico en comparación con los de temperatura normal. Para los precios reales, las reducciones de energía desde la temperatura normal hasta el estrés térmico fueron de 3.254 a 3.015 kcal / g para dietas basadas en C-SBM o de 3.2 a 2.961 kcal / g para dietas basadas en + W-CM. Estas reducciones de la energía económica fueron alrededor del 7% de los precios reales, hasta el 10% de los precios simulados del maíz y hasta el 9% de los precios simulados de la SBM. La inclusión de + W-CM redujo el contenido energético económico y aumentó la rentabilidad en comparación con aquellos basados en dietas C-SBM. Estos datos indican que las dietas de pollos de engorde alimentadas durante el estrés por calor deben formularse con un contenido energético económico reducido debido a la disminución de la tasa de ganancia o de la ingesta de alimento por caloría en comparación con los de temperatura normal. En años recientes han surgido modelos en los que se comparan modelos al mínimo costo contra la máxima rentabilidad tal y como se muestra en el estudio de (Dadalt JCI B. F., 2015) en el cual se contrastan estos conceptos en una ración para pollos de engorda desde el día uno hasta el 42. Los experimentos se realizaron simultáneamente en una granja avícola experimental. Se utilizaron dos densidades de viviendas: alta densidad (AD), con 14 aves / m² y baja densidad (BD), con 10 aves / m². Se evaluaron 4 tratamientos: formulación de alimentación lineal y BD (LF10); formulación no lineal y BD (NF10); formulación lineal y AD (LF14); y formulación no lineal y AD (NF14). Se aplicó un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos de ocho repeticiones cada uno. Se evaluó el rendimiento y el costo por kg de aves de corral. Ambos sistemas de formulación promovieron un desempeño similar en el pollo de engorde. Sin embargo, el alimento de alta densidad usando formulación lineal redujo el peso corporal en machos de 42 d de edad, pero no cuando se usó la formulación no lineal. El tratamiento con NF10 produjo la peor relación de conversión alimenticia ($p < 0,05$) y el menor costo / kg de parrilla ($p < 0,05$) para ambos sexos. Con lo cual se demuestra que el programa nutricional que produce el mejor rendimiento no siempre es el más económico y para corroborarlo está el análisis que hizo (Heydari, 2014) en el que proporciona un nuevo método de formulación de piensos que considere la máxima ganancia en lugar de minimizar el costo de la ración. Se utilizaron 308 pollos de engorde los cuales se dividieron en cinco tratamientos con cuatro repeticiones y 15 pollos en cada repetición. El experimento se llevó a cabo durante los períodos de inicio, crecimiento y finalización. Los tratamientos dietéticos experimentales en cada período incluyeron programación lineal y dietas aleatorias no lineales. Los

datos experimentales se sometieron a análisis de varianza basado en un diseño completamente al azar y los medios se compararon mediante la prueba de rango múltiple de Duncan. Los resultados mostraron que las raciones formuladas con un programa aleatorio no lineal tuvieron un efecto significativo sobre la ingesta de alimento y la relación de conversión alimenticia. Además, se redujo la grasa abdominal y aumento el peso del pecho significativamente.

Otra área de aplicación de los modelos de programación lineal para la dieta animal es en la acuicultura tal y como se reporta en (Talukdar, 2014) donde los piscicultores del distrito de Kamrup de Assam usaban el método tradicional para alimentar a los peces, pero debido a que los alimentos se formulan bajo especificaciones complejas de nutrientes y allí las especificaciones son necesarias para el crecimiento de los peces y la mejora de la productividad animal. Este trabajo demostró cómo la aplicación de un enfoque de programación lineal a la formulación del alimento conducirá a una mayor productividad en este sector, en oposición al uso de métodos relativamente ineficientes como el método de ensayo y error.

2.1.1 Programación no lineal

Para superar el inconveniente de la aproximación lineal de la función objetivo para la formulación de la dieta, se propusieron modelos matemáticos basados en la técnica de programación no lineal. (Saxena, 2011) Realizo un modelo para medir el rendimiento animal en términos de producción de leche y ganancia de peso. Compara el resultado del programa propuesto con el del modelo de programación lineal. El resultado del modelo propuesto da mejores resultados utilizando la programación no lineal. Por lo tanto, el estudio es un intento de desarrollar un modelo de programación no lineal para la planificación óptima y el mejor uso de los ingredientes nutrientes. (Pratiksha Saxena V. P., 2012) Propuso una técnica para la formulación de la dieta animal utilizando la programación no lineal y el lenguaje C. El objetivo de esta técnica fue maximizar el aumento de peso de los animales. La mayoría de las técnicas existentes utilizan la aproximación lineal de la función objetivo. Esta técnica utilizó la programación no lineal, que supera este inconveniente. El programa de lenguaje C explora el área de programación en el campo de la formulación de la dieta animal. El resultado de esta técnica se aplicó a los datos de la muestra y proporcionó un conjunto optimizado de ingredientes nutrientes a los animales que cumplen mejor los requisitos de nutrientes que la técnica de programación lineal.

2.1.2 Programación estocástica

La incertidumbre está presente en casi todos los sistemas, pero tradicionalmente no es posible incluir en forma explícita esta por la complejidad resultante en muchos de los problemas a resolver. La incertidumbre puede deberse a carencia de datos fiables, errores de medida o tratarse de parámetros que representan información sobre el futuro. La programación estocástica admite que no se conocen sus valores, pero se tiene sus distribuciones de probabilidad o se supone que éstas son discretas con un número finito de estados posibles (Martín Quinteros, 2006). El modelo de programación estocástica de (Udo IU, 2011) capta la variabilidad de nutrientes en la formulación de alimentos de menor costo para el bagre africano. El objetivo era minimizar el riesgo de no satisfacer las necesidades de nutrientes a través de la formulación y la sobreformulación, lo que resultaría en un alto costo. Se formularon cinco dietas isonitrogenadas, isocalóricas y aislípídicas. La dieta de control se formuló utilizando la técnica de programación lineal al 50% de probabilidad, mientras que las dietas de ensayo se formularon mediante técnicas de programación estocástica a niveles de probabilidad de 50, 60, 70, 80 y 85%. Las raciones formuladas se ensayaron en alevines (20,15-20,50 g) dos veces al día durante 6 días a la semana en grupos triplicados de experimentos durante 150 días en estanques de tierra para el rendimiento de crecimiento y la utilización de alimento. El resultado indicó una calidad de fórmula mejorada a medida que la formulación progresó de un nivel de probabilidad del 60 al 85%, con lo que se cuidó el problema de la variabilidad de nutrientes. El rendimiento de crecimiento y los parámetros de utilización de pienso fueron significativamente mejores ($p < 0,05$; 0,01 y 0,001) en las dietas de ensayo. La programación estocástica es un enfoque mejor en comparación con la programación lineal, especialmente en la solución de la variabilidad de los nutrientes, que es la desventaja de programación lineal. El uso de software para la formulación de raciones es parte fundamental en la modelación, en el estudio de (Afolayan, 2008) se describen los requisitos de diseño del software de formulación de piensos para las industrias avícolas en Nigeria. Se mencionan los factores como la aceptabilidad de la alimentación por las aves, la palatabilidad, la digestibilidad y el costo de la producción de piensos y la presencia de factores antinutricionales que pueden atar los nutrientes contenidos en los piensos fueron incorporados ya que los usuarios no van a ser expertos. Se recomienda el uso del método estocástico en

la formulación de alimentos, ya que se debe esperar una gran variabilidad de los ingredientes, el trabajo de (Morales, 2012) construyó un modelo matemático con datos imprecisos en sus componentes. Este modelo es el soporte del sistema informático ForCan, versión ampliada del sistema Piensos, empleado en la República de Cuba en la industria productora de alimento balanceado para animales. Como resultado de la aplicación del modelo se lograron fórmulas a más bajo costo y en cumplimiento de las especificaciones nutricionales establecidas para diferentes animales que con los denominados modelos de programación estocástica del problema de la dieta desarrollados por investigadores norteamericanos a partir de la década del 80 del siglo pasado. Además, se logró establecer que el empleo de modelos con imprecisión general en sus componentes para el cálculo de la fórmula proporciona un menor consumo de soya que cuando se utilizan modelos con datos precisos en sus componentes en la mayoría de los casos.

2.1.3 Programación multicriterio por objetivos o metas

Una de las desventajas de la programación lineal es que se tiene un solo objetivo sobre el cual se desarrolla el modelo de programación sin en cambio en la alimentación animal se ven involucrados un gran número de variables y factores que afectan el rendimiento animal, es por ello que se origina la programación por metas u objetivos también conocida como multicriterio en la cual es similar a la programación lineal, sólo que ahora además de las restricciones estructurales, se pueden tener varios objetivos simultáneos, los cuales se desean alcanzar. (Kavčič J. Ž., 2009) Presentó un ejemplo de una herramienta de este tipo, basada en el enfoque de tres pasos. En la primera etapa, se utiliza un programa lineal común para formular la ración de menor costo. En el segundo paso, se utiliza un sub-modelo basado en programación de objetivos ponderados y apoyado por un sistema de penalizaciones, para formular una ración nutricionalmente equilibrada y económicamente aceptable que también cumpla las condiciones exigidas por la agricultura ecológica. En el último paso se busca el contenido energético más "eficiente" de la ración. Los resultados obtenidos confirman los beneficios del enfoque aplicado. (Kavčič J. Ž., 2008) Construyó una herramienta de hoja de cálculo a partir de dos módulos vinculados basados en la plataforma MS Excel, fusionando diferentes técnicas de programación matemática determinística. El primer módulo utiliza un programa lineal para la formulación de raciones de menor costo, con el fin de obtener una estimación aproximada de la magnitud de los costos que se podrían esperar. El valor resultante se considera como valor objetivo de la meta de costo en el segundo módulo. Se basó en la programación de objetivos ponderados con función de penalización. Los resultados obtenidos confirman los beneficios del enfoque aplicado. Permite la formulación de raciones de menor costo que no asumen demasiado riesgo de empeorar el valor nutritivo de la ración y el equilibrio entre nutrientes. Esto es especialmente importante cuando la mejora de la eficiencia económica y nutritiva es el objetivo primordial y común de la herramienta de optimización. El siguiente modelo fue desarrollado para la optimización de raciones de alimentación para caballos deportivos activos / entrenados. El modelo está estructurado en dos sub-modelos diferentes, el primero de los cuales se basa en la técnica de programación lineal (PL) y el segundo en la programación de objetivos ponderados. El modelo fue probado bajo dos escenarios diferentes de programación de objetivos ponderados para formular dos raciones de alimentación diferentes. Los resultados muestran que las raciones de pienso calculadas con la técnica de objetivos ponderados modificada son más equilibradas (para satisfacer todas las necesidades nutricionales de los animales) y que los costos de las raciones son menores comparados con PL. La ración fue aproximadamente 10% más barata y no hubo excedentes de ningún nutriente (Prišenk Jernej, 2013). Otra aportación a la programación por objetivos fue la de (Olalere Olusegun Abayomi A. O., 2016) donde se refirió a cómo una formulación de alimentos multicriterio afecta la productividad del negocio de molienda de piensos utilizando la programación matemática como herramientas para una producción óptima. El procedimiento de solución empleado en este estudio es un método de optimización multiobjetivo iterativo aplicado a un caso de estudio de la industria lechera de Nigeria. Aquí la optimización de la energía metabolizable y el coste de la ración se resuelve iterativamente usando un método de optimización multi-objetivo interactivo no diferenciable basado en bultos que luego resultará en diferentes formulaciones óptimas alternativas. Estas alternativas fueron evaluadas utilizando las técnicas de productividad multifactorial para determinar las interacciones entre cada una de las soluciones óptimas. El desarrollo de la formulación del alimento es esencialmente un problema de optimización que implica seleccionar la mejor alternativa, partiendo de un conjunto especificado de posibilidades. (Olalere Olusegun Abayomi A. O., 2016) desarrollo un sistema de soporte de decisiones genéricas para optimizar la producción de piensos avícolas mediante la aplicación de un enfoque multiobjetivo proximal, teniendo en cuenta la optimización energética, limitando la variación de

aminoácidos y proporcionando un menor costo de producción. Ésta técnica proporcionó una amplia gama de opciones alternativas para que el tomador de decisiones pueda formular un pienso eficaz y óptimo que minimice los costos, logre una ración más equilibrada, limite la variación de metionina para el crecimiento y optimice la energía metabolizada basada en la alimentación en su disposición. El algoritmo de este método se basa en la clasificación de funciones objetivo. Con esta técnica se generaron 5 alternativas de solución y es aquí donde el decisor determinará según su preferencia la mejor opción. (Kavcic, 2008) determino que el costo variable del forraje total del engorde de toros en Eslovenia oscila entre el 40% y el 70%.es por ello que para apoyar a los productores de carne, presentó una herramienta amigable para el usuario desarrollada en el marco de Excel que utiliza técnicas de programación matemática determinística. El documento ilustra la suplementación del programa lineal por programación de metas ponderadas, resultando en una formulación más eficiente de la ración de carne. El usuario puede decidir minimizar los costos de forraje, lograr una ración más equilibrada o equilibrar ambos, siempre basados en piensos a su disposición. De esta forma, la herramienta desarrollada es aplicable para la toma de decisiones prácticas en las granjas de ganado vacuno, permitiendo una producción rentable y equilibrada de nutrientes. El modelo de programación de objetivos demuestra ser un procedimiento útil para determinar la mezcla óptima de alimento para el ganado. De una manera relativamente simple, se permite al decisor introducir en el modelo una serie de requisitos adicionales que se pueden reformular fácilmente en una forma matemática que conduce con relativa facilidad a nuevos resultados de salida. El artículo muestra cómo un problema multi-criterio estándar se transforma en un modelo de programación de objetivos en forma de programación de metas ponderada y lexicográfica, dejando abierta la cuestión del peso adecuado de elementos únicos en la función meta y las variables de desviación. El modelo desarrollado puede utilizarse con éxito en la resolución de problemas similares en la práctica que dependen de varios criterios, p. mezcla de alimento para otro tipo de ganado de un plan de dieta para un grupo más grande de personas (hospitales, comedores, etc. (Peric, 2010).

2.1.4 Programación difusa

En aplicaciones prácticas es difícil tener un conocimiento perfecto de alguna o toda la parte de datos en el problema de la dieta, por lo que es usual aproximar esos valores, datos y / o modelos de diferentes maneras. Los sistemas difusos basados en la metodología son una herramienta apropiada para tratar este tipo de falta de precisión o incertidumbre (Jose M. Cadenasa, 2002). En particular, la programación lineal difusa puede mostrar su aplicación en el marco de sistemas de toma de decisiones, porque es útil para modelar de forma precisa la vaguedad inherente en los datos que el usuario a menudo tiene disponibles. Además, puede ayudar a encontrar buenas soluciones para problemas en los que encontrar una solución óptima no es fácil. El objetivo de este trabajo fue utilizar el modelo lineal difuso en la formulación de la ración de vacas lecheras en lactancia temprana y comparar con modelos de programación lineal. Utilizando el modelo difuso en comparación con los modelos de programación lineal, el costo de alimentación se redujo alrededor de 8%. El resultado garantiza la formulación de la ración utilizando los modelos borrosos se pueden utilizar para reducir el costo de alimentación y obtener diferentes raciones que pueden satisfacer los requerimientos de nutrientes de la vaca lechera en diferentes situaciones. Además, debido a los resultados en un ejemplo ilustrativo, se concluye que el procedimiento descrito en este documento trata adecuadamente la formulación de la ración y, por lo tanto, permite una implementación práctica de la evaluación difusa de los sistemas de producción agrícola (D. Darvishi SalooKolayi, 2011). El trabajo de (Morales, 2012) expone modelos del problema de la dieta en producciones industriales de alimento animal con datos precisos e imprecisos en sus componentes, obteniéndose ventajas económicas significativas resultantes cuando se toma en consideración esta modificación en todos o algunos componentes del modelo matemático de PL. Se analizaron un grupo significativo de fórmulas correspondientes a un amplio surtido de productos elaborados en fábricas cubanas resultando, en todos los casos, el logro de los nutrientes especificados para cada especie a más bajo costo de producción por concepto de empleo de ingredientes en fórmula. La imprecisión se introduce a partir de posibles rangos de variación de pérdidas en los ingredientes en el proceso de manufactura o por el posible rango de variación en nutrientes de los ingredientes componentes de la mezcla. (Omidiora, 2013) revisó los métodos de formulación de alimentos para animales, los métodos convencionales y el método del sistema inteligente. El método del sistema inteligente neuro-difuso incorpora el conocimiento de la experiencia del molinero en la formulación de alimento. Una limitación que se encontró es que el número de contenidos de nutrientes alimenticios dirigidos determina el número de ingredientes de pienso a emplear en la formulación animal. El sistema neuro-difuso se

experimentó con un conjunto de datos y validado usando elementos de aminoácidos de pienso de pollos. Se puede emplear un sistema inteligente para aumentar la productividad en el campo de la formulación de piensos para animales. Para el tratamiento de múltiples objetivos de toma de decisiones, problemas con objetivos difusos y de importancia diferente, varios tipos de programación de objetivos difusos (POD) se han desarrollado en las últimas tres décadas. Entre ellos, los métodos más utilizados son: (1) POD ponderados, donde la importancia de los objetivos está representada por cantidad de peso (2) prioridad preferente (también conocido como "Lexicográfico") POD, donde se establecen los niveles de prioridad de los objetivos por adelantado, y los compromisos entre objetivos colocados en diferentes niveles de prioridad se aplican estrictamente. Este artículo presenta un método satisfecho basado en el modelo POD, que sostiene que un objetivo más importante tiene que ser alcanzado tanto como sea posible. El requisito de prioridad preventiva relajado en el modelo propuesto proporciona un soporte de decisión más eficiente, flexible y factible en comparación con los modelos ponderado y lexicográfico. Además, el equilibrio entre la optimización y el requisito de importancia puede realizarse mediante el parámetro de regulación en el método presentado [126].

De acuerdo con (Darvishi, 2016) observo que el proceso de producción de leche, el mayor costo se refiere a la alimentación animal. Según los informes proporcionados por los expertos, alrededor del 70% de los costos de ganado lechero incluyen los costos de alimentación. Con el fin de minimizar el precio total de la alimentación del ganado, de acuerdo con los límites de las fuentes de alimentación en cada región o estación, así como los costos de transporte y mantenimiento, se ha convertido en un tema esencial. Debido a la incertidumbre y la falta de precisión en la ración alimentaria óptima realizada con los métodos existentes basados en la programación lineal, es necesario utilizar métodos apropiados para cumplir este propósito. Por lo tanto, en este estudio la formulación de dietas de nutrientes completamente mezclados de vacas lecheras se hizo usando una programación lineal difusa en la lactancia temprana. La aplicación del método de optimización difusa y el precio flotante hacen posible formular y cambiar las dietas completamente mezcladas con márgenes de seguridad adecuados. Por lo tanto, se recomienda la aplicación de métodos difusos en las raciones de alimentación de ganado lechero para optimizar las dietas. Obviamente, sería útil diseñar software adecuado, que proporciona la posibilidad de utilizar precios flotantes para establecer raciones de alimentación mediante el uso del método de optimización difusa. En años recientes se ha estudiado el método de lógica difusa junto con la ontología (Saraswathi Sivamani, 2016) lo utilizó para hacer un planificador de la dieta mediante la determinación de los requerimientos nutricionales de cada vaca en el entorno de la granja. El sistema propuesto se centró principalmente en la dieta del ganado con respecto a la edad, peso, salud y fase de embarazo de la vaca, para modelar un plan de dieta adecuado para el ganado. El modelo de ontología ganadera recibió la información del contexto y la asignación diaria de alimentos, donde las entidades están predefinidas con clara relación. Con la información obtenida como edad, peso, salud y fase de embarazo del ganado, se aplicó la lógica difusa para obtener la necesidad nutricional en el ganado. Después de adquirir el porcentaje de nutrición, se determinó la cantidad de alimento requerido para el ganado. La asignación diaria de alimentos se hizo, con la cantidad de alimento disponible en el inventario, que se utiliza más adelante para determinar la cantidad de alimento, después de calcular el requisito de la nutrición.

2.2 Uso de algoritmos para optimizar la programación lineal aplicada a la formulación de raciones animales

En la formulación de la dieta animal se han utilizado varias herramientas para encontrar la mejor mezcla como programación lineal, no lineal, estocástica, multicriterio, por objetivos o metas, difusa en las cuales se ha encontrado que tienen dificultades para encontrar soluciones óptimas debido a la variabilidad que existe en los factores a considerar en la programación. En los últimos años, los algoritmos tienen amplia aplicación en diversos campos de la ciencia y la tecnología, tales como la bioinformática, la ingeniería, la fabricación, la economía, las matemáticas, la química, la física y etc. Las ventajas que tienen los algoritmos sobre las técnicas de programación no lineal es que estos pueden encontrar mínimos globales en lugar de los mínimos locales, los algoritmos no necesitan cálculo derivado de la función que puede no estar fácilmente disponible o muy difícil de calcular. Los algoritmos pueden llegar a las soluciones rápidamente y ser aplicado sobre los complejos problemas de optimización con facilidad y claridad. (Çunkaş, 2010). Considerando estas ventajas que ofrece el uso de los algoritmos en otras áreas de aplicación y observando los resultados que se han dado, es que autores optan por resolver el problema de la dieta animal mediante algún algoritmo.

De acuerdo con (M. Akif Sahman, 2009) desarrollaron un modelo para la optimización de costos de los alimentos mediante algoritmos genéticos, considerando el estilo y tipo de crecimiento, edad, necesidades nutricionales y costos de piensos para aves y diferentes tipos de animales. El método propuesto se compara con el enfoque de programación lineal para medir su desempeño. Los resultados obtenidos muestran que los algoritmos genéticos podrían ser aplicables a la optimización de costes de las mezclas de piensos. Además, se desarrolla un programa de software utilizando el entorno Delphi, que proporciona un marco flexible, extensible y fácil de usar para ajustar los parámetros relevantes heurísticos y mejorar la calidad de la solución. (Radha Gupta, 2013) reportaron la efectividad del algoritmo genético para la optimización de la ración de vacas lecheras indias con 10 litros de rendimiento diario de leche, considerando la formulación de la programación de metas ponderadas no lineales. El algoritmo se prueba en tres niveles de pesos para vacas lecheras y los resultados obtenidos son más aceptables que los resultados obtenidos por técnicas anteriores utilizadas por diferentes investigadores. Todos los objetivos se logran con desviaciones mínimas. Además, el algoritmo propuesto ofrece muchos posibles conjuntos de soluciones para reducir el costo de la dieta sin perder la calidad de la ración. Los resultados obtenidos utilizando el algoritmo genético se encuentra a ser mejor en comparación con la técnica de búsqueda aleatoria para la optimización global. Partiendo de que el componente de alimento en la industria acuícola incurre en el costo operacional más costoso. (Rosshairy Abd. Rahman, 2015) estudiaron como resolver el problema de la formulación de la dieta animal con la restricción de la proporción mediante el enfoque del algoritmo evolutivo. Se tomaron en cuenta datos reales con 14 ingredientes y 18 nutrientes. El resultado muestra que el algoritmo evolutivo proporciona una solución factible en todas las ejecuciones. El modelo de algoritmo evolutivo propuesto es capaz de obtener una solución factible para la formulación de la dieta del camarón. El resultado obtenido de la experimentación muestra que el rendimiento del modelo puede adoptar cambios en el peso total del ingrediente. Por lo tanto, el modelo propuesto es aplicable para la formulación de la dieta del camarón. (Pratiksha Saxena N. K., 2016) presentaron algoritmos para el desarrollo de herramientas de simulación para formular y calcular la dieta en diferentes etapas del ganado. Se propusieron algoritmos para modelos bi-criterios. Los objetivos adoptados son la minimización del costo y la maximización de la vida útil de la mezcla de piensos. Otros objetivos alcanzados por estos algoritmos son la inclusión de la variabilidad de nutrientes en la mezcla de piensos y la minimización de las desviaciones. Para el desarrollo de los algoritmos, se utiliza la combinación de tres técnicas de programación matemática: lineal, estocástica y de objetivos. La interfaz computacional y tecnológica se incluye en el campo de la formulación de la dieta animal mediante el desarrollo de los algoritmos, lo que proporciona resultados mejores y más rápidos. Veinte modelos matemáticos fueron resueltos por los algoritmos propuestos y los resultados obtenidos mostraron superioridad del algoritmo 2 en términos de variabilidad de nutrientes mientras que el algoritmo 1 proporciona mejores resultados en términos de menor costo y más vida útil. El algoritmo 3 está llevando a cabo los dos objetivos en paralelo y proporciona la mezcla de alimentación óptima con desviaciones mínimas de los valores objetivo del costo y la vida útil. Otro algoritmo que se aplicó por primera vez a la formulación de la dieta animal fue el reportado por (Godfrey Chagwiza, 2016) donde un problema de ración animal se presentó como un problema de programación entero mixto. Se realizó un intento de encontrar las cantidades óptimas de inclusión de Moringa oleifera en la ración de pienso de aves de corral y se resolvió utilizando el algoritmo Bat y el solucionador de Cplex. El estudio utilizó hallazgos de investigación previa para investigar los efectos de la inclusión de Moringa oleifera en la ración de pienso para aves de corral. Los resultados muestran que es probable que el agricultor gane \$ 0.89 dólar más si la Moringa oleifera se incluyera en la ración de piensos. Los resultados también muestran la superioridad del algoritmo Bat en términos de tiempo de ejecución y número de iteraciones requeridas para encontrar la solución óptima en comparación con los resultados obtenidos por el solver de Cplex. Los resultados revelaron que existe un beneficio económico significativo de la inclusión de Moringa oleifera en la ración de pienso para aves de corral.

2.3 Últimas tendencias del uso de algoritmos para la optimización de programación lineal

En años recientes se han reportado de manera limitada trabajos utilizando algoritmos de optimización combinados con alguna otra herramienta que mejore las inconvenientes que el algoritmo clásico genere. (Ravinder Singh Kuntal, 2016) presentan un estudio comparativo para formular la ración equilibrada de vacas lecheras que se encontraban en el tercer trimestre de embarazo las cuales necesitaban nutrientes para el mantenimiento del cuerpo, producción de leche y para el crecimiento del feto todo esto representaba un gran desafío para los productores de leche de Kartaka, India. Se planifico el estudio para encontrar la técnica

adecuada para la situación en la que se encuentran los productores. La metodología consistió en la entrada de datos (peso del animal y producción), requisitos establecidos en base seca (mantenimiento y producción), recursos establecidos para la ración y las técnicas para la formulación de la ración al menor costo (programación lineal simple, método de gradiente reducido generalizado no lineal, algoritmo evolutivo y algoritmo genético codificado real). Los resultados que se obtuvieron fueron que el algoritmo genético codificado real se puede utilizar para la formulación de raciones para encontrar materias de alimentación de menor costo en el ganado lechero. (Vivi Nur Wijayaningrum, 2017) reportan el estudio de la formulación de la dieta animal de aves de corral partiendo de que en Indonesia la alimentación animal se estima que es del 70% al 75% del costo total de la producción. Se utilizó el algoritmo genético adaptativo híbrido para resolver el problema de la formulación del alimento pero debido a que en el algoritmo tiene la cualidad de que en ocasiones converge hacia los óptimos locales lo cual se puede evitar mediante la aplicación de algoritmos de búsqueda local es por ello que se decidió emplear el recocido simulado para ajustar dinámicamente los parámetros de control para obtener la mejor solución. Los resultados que se obtuvieron de los parámetros contenidos en el algoritmo y el recocido simulado para obtener soluciones óptimas fueron: tamaño de la población 400, número de generación 300, tasa de cruce 0.6, tasa de mutación 0.4, número de iteración en el recocido simulado 10 y la tasa de disminución de temperatura 0.75. Con el empleo de estos parámetros óptimos el algoritmo genético híbrido adaptativo en conjunto con el recocido simulado demostraron proporcionar mejores resultados que utilizando el algoritmo genético clásico y con menor tiempo computacional adicional.

3. Discusión

Los modelos para la formulación de raciones animales son herramientas de la programación matemática que buscan minimizar los costos o maximizar la rentabilidad, de manera que se obtenga una ración equilibrada de acuerdo con los requerimientos nutrimentales de los animales, pero obteniendo un margen de utilidad redituable para el productor. En la literatura se han reportado un gran número de modelos de programación para resolver el problema de la dieta aplicados al sector bovino, porcino, acuícola, avícola, equino por mencionar los de mayor impacto en la industria. Los modelos de programación lineal son de los que se tiene mayor estudio por su facilidad de adaptación a diversos entornos, sin embargo, en la actualidad han surgido nuevos modelos empleando algoritmos genéticos, evolutivos, adaptativos, híbridos, heurísticos y metaheurísticos los cuales son capaces de optimizar los resultados en aquellos casos donde existe un nivel alto de complejidad y se necesitan obtener resultados en un tiempo razonable. Los algoritmos pueden ser una herramienta práctica para la optimización de los costos de alimentación animal y podría fusionarse la programación lineal con algún algoritmo inspirado en la naturaleza para obtener mayores beneficios en la dieta animal. Dentro de las nuevas tendencias del uso de algoritmos se analizó como la unión del algoritmo genético adaptativo híbrido y el recocido simulado generaron los parámetros óptimos para obtenerla mejor solución. Los buenos resultados que se alcanzaron en los modelos aplicativos resaltan que se mejoran los costos y la rentabilidad de las granjas cuando se utilizan mezclas creadas por medio de la programación matemática.

En la revisión que se realizó se encontró el área de oportunidad para que en México se utilicen modelos de programación matemática para formular raciones animales debido a que en los últimos años no se encontraron trabajos en este campo de aplicación.

4. Conclusiones

En esta revisión se recopiló información de modelos matemáticos para formular raciones alimenticias para animales los cuales utilizan la programación lineal, no lineal, estocástica, multicriterio, por objetivos o metas, difusa y algoritmos inspirados en la naturaleza cabe destacar que en algunos casos se maneja la fusión de varias herramientas. La programación matemática ha ganado terreno en la formulación de piensos donde anteriormente se realizaba de manera tradicional apoyada de la experiencia, el juicio del productor y de métodos poco fiables para la producción animal. La utilización de los modelos para generar la mejor ración equilibrada es un problema complejo que debe adaptarse a los diferentes escenarios (edad, raza, días de lactancia, peso, alimentación) en los que se encuentren los animales en estudio, así como también se debe de tomar en cuenta el objetivo de la granja junto con sus alcances de minimizar costos, maximizar productividad o rentabilidad y limitaciones de los recursos, uso de alimentos de esta manera se podrá obtener una formulación que esté acorde con las necesidades y exigencias de los animales.

5. Agradecimiento

Se agradece enormemente al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología la Beca otorgada para realizar la Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Veracruz.

6. Referencias

- A. Hamel, I. B. (2009). *Simulation of vegetal raw materials utilization in poultry production chains: a multi-agent modelling approach*. *Animal science*, 7. Obtenido de <http://www.cabi.org/animalscience/uploads/file/animalscience/>
- Afolayan, M. O. (2008). *Nigeria oriented poultry feed formulation software requirements*. *Journal of applied sciences research*, 7.
- B., A.-D. (2009). *Least-cost broiler ration formulation using linear programming technique*. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 5.
- Chandra, P. S. (2011). *Animal diet formulation models: a review (1950–2010)*. *CAB Reviews: perspectives in agriculture, veterinary science, nutrition and natural resources*, 10.
- Council, N. R. (2000). *Nutrient requirements of beef cattle*. Estados Unidos de América.
- Çunkaş, M. (2010). *Intelligent design of induction motors by multiobjective fuzzy*. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 10.
- D. Darvishi Salookolayi, A. T. (2011). *Application of fuzzy optimization in diet formulation*. *The journal of mathematics and computer science*, 11.
- Dadalt JCI, B. F. (2015). *Comparison between linear and nonlinear systems of feed formulation for broilers*. *Brazilian journal of poultry science*, 8.
- Darvishi, S. H. (2016). *Animal diet formulation with floating price*. *Iranian journal of optimization*, 10.
- FV, W. (1951). *The minimum cost dairy feed*. *Journal of Farm Economics*, 11.
- Godfrey Chagwiza, C. C. (2016). *A mixed integer programming poultry feed ration optimisation problem using the bat algorithm*. *Advances in agriculture*, 7.
- Heydari, S. G. (2014). *Effect of linear and random non-linear Programming feed formulating on performance of broilers*. *Journal of Novel Applied Sciences*, 4.
- Hung-Wen, C. (2013). *A satisfying method for fuzzy goal programming problems with different importance and priorities*. *Quality and quantity*, 8.
- Janzekovic, M. C. (2014). *Mathematical model for balancing feed rations in dairy cows*. *Daaam international scientific book*, 10.
- Johnson, V. O. (2012). *Feed formulation problem in Nigerian poultry farms: a mathematical programming approach*. *American journal of scientific and industrial research*, 7.
- Jose M. Cadenasa, D. A. (2002). *Application of fuzzy optimization to diet problems in Argentinean farms*. *European journal of operational research*, 10.
- Kavcic, J. Z. (2008). *Optimization of bulls fattening ration applying mathematical deterministic programming approach*. *Bulgarian journal of agricultural science*, 11.
- Kavčič, J. Ž. (2008). *Spreadsheet tool for least-cost and nutrition balanced beef ration formulation*. *Acta agriculturae Slovenica, suplement*, 8.
- Kavčič, J. Ž. (2009). *Multi-goal pig ration formulation; mathematical optimization approach*. *Agronomy Research*, 8.
- Khanna, P. S. (2014). *Animal feed formulation: Mathematical programming techniques*. *CAB Reviews*, 12.
- Leonardo Siqueira Glória, M. L. (2016). *Simulation of diets for dairy goats and growing doelings using nonlinear optimization procedures*. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 14.
- M. Afrouziyeh, M. S. (2011). *Use of nonlinear programming to determine the economically optimal energy density in laying hens diet during phase 2*. *Poultry Science Association*, 7.
- M. Akif Sahman, M. Ç. (2009). *Cost optimization of feed mixes by genetic algorithms*. *Advances in engineering software*, 11.
- M. Nabasirye, J. M. (2011). *Optimization of input in animal production: A linear programming approach to the ration formulation problem*. *International Research Journal of Agricultural Science and Soil Science*, 6.
- Malhotra, L. J. (2008). *Administración de operaciones*. México: Pearson educación.
- Martín Quinteros, A. A. (2006). *Una aplicación de programación estocástica en un problema de gestión forestal*. *Revista ingeniería de sistemas*, 30.

- Matthieu Maillot, E. L. (2008). *Nutrient profiling can help identify foods of good nutritional quality for their price: a validation study with linear programming*. The journal of nutrition, 7.
- Mejía, E. M. (2013). *Aplicación de programación por objetivos para la priorización de proyectos de inversión en infraestructura eléctrica*. Scientia et technica, 7.
- Morales, D. M. (2012). *Formulación de alimento balanceado para animales con de modelos estocásticos e imprecisos*. Avances en Ciencias e Ingeniería, 12.
- Morales, D. M. (2012). *Modelos de programación lineal fuzzy en la formulación de alimentos para animales*. Avances en ciencias e ingeniería, 15.
- Oishi, K. K. (2011). *Application of the modified feed formulation to optimize economic and environmental criteria in beef cattle fattening systems with food by-products*. Animal feed science and technology, 12.
- Olalere Olusegun Abayomi, A. O. (2016). *A multi-criteria productivity analysis for animal feed formulation problem: A case study of nigerian feed mill industry*. International journal of innovative research in science, engineering and technology, 17.
- Omidiora, E. O. (2013). *Review of live stock feed formulation techniques*. Revista de biología, agricultura y salud, 9.
- P.R, T. (2000). *Least-cost ration formulations for Holstein dairy heifers by using linear and stochastic programming*. J Dairy Sci, 9.
- Peric, Z. B. (2010). *Optimization of livestock feed blend by use of goal programming*. Int. J. Production Economics, 6.
- Pratiksha Saxena, N. K. (2016). *Modeling for development of simulation tool: Cattle diet formulation*. International journal of advanced and applied sciences, 9.
- Pratiksha Saxena, V. P. (2012). *Programming technique for animal diet formulation: A non-linear approach*. International journal of food science and nutrition engineering, 4.
- Prišenk Jernej, P. K. (2013). *Mathematical method for formulating animal feed rations*. University of agricultural sciences and veterinary medicine Iasi, 5.
- Quispe, J. A. (2016). *Desarrollo de un sistema de soporte de decisiones para una empresa de transporte*. Una aplicación del revenue management y de la programación no lineal. Interfases, 36.
- Radha Gupta, R. S. (2013). *Heuristic approach to goal programming problem for animal ration formulation*. International journal of engineering and innovative technology, 9.
- Rahman RA, A. C.-L. (2010). *Investigating feed mix problem approaches: an overview and potential solution*. World Academy of Science, Engineering and Technology, 10.
- Ravinder Singh Kuntal, R. G. (2016). *Application of Real Coded Genetic Algorithm (RGA) to Find Least Cost Feedstuffs for Dairy Cattle During Pregnancy*. Asian Journal of Animal and Veterinary Advances, 15.
- Rosshairy Abd. Rahman, R. R.-M. (2015). *Evolutionary algorithm approach for solving animal diet formulation*. Proceedings of the 5th international conference on computing and informatics, (pág. 6). Istanbul, Turkey.
- Roush WB, C. T. (1996). *Computer formulation observations and caveats*. Applied Poultry Science, 9.
- S. Ghosh, J. G. (2012). *Current concepts of feed formulation for livestock*. Animal nutrition and feed technology, 19.
- S. N. Goswami, A. C. (2013). *Least cost diet plan of cows for small dairy farmers of Central India*. African Journal of Agricultural, 7.
- Saraswathi Sivamani, H.-g. K. (2016). *Modeling a diet planner for livestock using fuzzy logic approach and ontology model*. Advanced science and technology letters, 4.
- Saxena, P. (2011). *Comparison of Linear and Nonlinear Programming Techniques for Animal Diet*. Applied Mathematics, 3.
- Soto, C. y. (2011). *Modelo de formulación de raciones al mínimo costo para ganado de carne basado en el sistema nrc 2000*. Arch. Zootec, 12.
- Taha, H. A. (2004). *Investigación de operaciones*, 7a. edición. México: Pearson educación.
- Talukdar, T. N. (2014). *Linear programming technique in fish feed formulation*. International journal of engineering trends and technology (IJETT), 4.
- Udo IU, N. C. (2011). *Use of stochastic srogramming in least-cost feed formulation for african catfish (clarias gariepinus) in semi-intensive culture system in Nigeria*. Journal of fisheries and aquatic science, 8.

- Vishal Patil, R. G. (2015). *Comparative study on feed formulation software- a short review*. International journal of research granthaalayah, 11.
- Vivi Nur Wijayaningrum, W. F. (2017). *Optimization of poultry feed composition using hybrid adaptive genetic algorithm and simulated annealing*. Journal of telecommunication, electronic and computer engineering, 5.
- W. B. Roush, J. P. (2009). *Microsoft Excel sensitivity analysis for linear and stochastic program feed formulation*. Poultry science association, 5.
- Waldroup, S. C. (2010). *Maximum profit feed formulation 3*. Interaction between energy content and temperature1. International journal of poultry science, 8.
- Yang, X.-S. (2010). *A new metaheuristic Bbt-inspired algorithm*. En P. D. González J.R., Nature inspired cooperative strategies for optimization (NICSO 2010) (pág. 10). Granada, España.