

TECNOLOGÍA, CIENCIA y ESTUDIOS ORGANIZACIONALES

2018

Volumen 1 Edición 2

Julio - Diciembre


ISSN 2594-1410

itslp.edu.mx/2009/04/09/revista-teceo-2/

Revista digital



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



Tecnología, Ciencia y Estudios Organizacionales, Volumen 1 Edición 2, es una publicación semestral, Julio-Diciembre 2018, publicada y editada por el Tecnológico Nacional de México dependiente de la Secretaría de Educación Pública, a través del Instituto Tecnológico de San Luis Potosí, Arcos de Belén Núm. 79, piso 2, Colonia Centro, Delegación Cuauhtémoc, C.P. 06010, Ciudad de México, Tel. 5536011000 Ext. 65064, d_vinculacion05@tecnm.mx, Editor Responsable Ing. Oscar Armando López González. Reserva de derechos al uso exclusivo No. 04-2018-062213434500-203 ISSN: 2594-1410.

Responsable de la última actualización de este número Lic. Sergio Sierra Segura, Jefe del Departamento de Comunicación y Difusión del Instituto Tecnológico de San Luis Potosí, Avenida Tecnológico S/N, Col. UPA Soledad de Graciano Sánchez, C.P. 78437, San Luis Potosí, México. Teléfono (444) 818 21 36, fecha de término de la última actualización Julio de 2018.

Objetivo de la revista Tiene como objetivo impulsar, comunicar e integrarse como una publicación formal entre la comunidad científica nacional e internacional de tal forma que los integrantes del comité científico responsablemente ofrezca calidad en cada uno de los artículos propuestos.

Las publicaciones de los artículos son sometidas a revisión por un comité de arbitraje y el contenido es responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

Queda prohibida la reproducción parcial o total de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización del Instituto encargado o si lo permite poner las condiciones.

CONSEJO EDITORIAL

1. Ing. Óscar Armando López González
Presidente del Consejo Editorial.
2. Ing. Estela Rivera López
Secretario Académico.
3. Ing. Arturo Acuña Mancilla
Secretario de Relaciones Internas y Externas.
4. Lic. Gabriela del Carmen Mancilla Lona
Secretaria de Finanzas y Comercialización.
5. Ing. Brenda Córdova Nepomuceno
Secretaria Técnica.
6. Lic. Sergio Sierra Segura
Jefe de Información.
7. Mtra. Reynalda González Álvarez
Jefa de Edición y Producción.
8. Ing. Juan Antonio Alvarado Cano
Jefe de Edición Digital.

COMITÉ ACADÉMICO

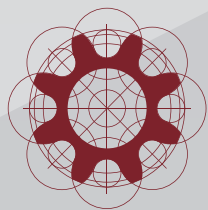
1. Dr. Francisco Javier Segura Mojica
2. Dr. Ramón Díaz de León Zapata
3. Dr. Juan Arturo Mendoza Razo
4. Mtra. Rosa Hilda Félix Jáques
5. Dr. Antonio Zárate Marceleño
6. Dr. Saúl Almazán Cuellar
7. Mtra. Mayra Angélica Barcenás Castro





CONTENIDO

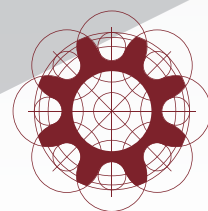
Pag.



Curvas Bézier controladas por algoritmo genético como método para la obtención de geometrías continuas optimizadas.

Mayra Angélica Barcenás Castro.
Ramón Díaz de León Zapata.

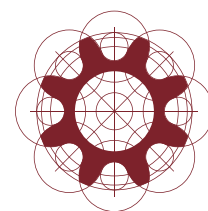
06



Campo magnético amplificado con nanoestructuras de geometría estelar.

Iván Alberto Cruz García.
Ramón Díaz de León Zapata.
Ariel B. de la Rosa Zapata.
Efrén Flores García.
José Vulfrano Gonzalez Fernández.
Francisco Javier González.

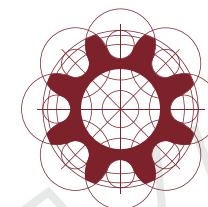
23



Análisis de Fourier: Aplicaciones para el cálculo de parámetros estadísticos.

Rutilo Moreno Monsivais.
María de Jesús Sánchez López.

30



Modelo de eficientización del flujo de productos dentro de un centro de distribución automatizado.

Armando González Sierra.

47





Aniversario



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO



Curvas Bézier controladas por algoritmo genético como método para la obtención de geometrías continuas optimizadas.

Mayra Angélica Bárcenas Castro^{1*}, Ramón Díaz de León-Zapata¹

¹Instituto Tecnológico de San Luis Potosí, Av. Tecnológico s/n, Soledad de Graciano Sánchez, San Luis Potosí, C.P. 78376, México.

*e-mail: mayrabarcenas0422@gmail.com

Resumen

Se presenta un método para modelado geométrico aplicando un algoritmo genético en el que la población (individuos) son los puntos de control de curvas Bézier de primer, segundo o tercer grado. Con la aplicación de este método se obtienen figuras sólidas, continuas y suavizadas y se discuten algunas aplicaciones que van desde la ingeniería de nanomateriales, pasando por el modelado de prótesis hasta macro estructuras mecánicas complejas y ciencias sociales.

Palabras clave: Algoritmo genético, Curva Bézier, Modelado geométrico, Método del elemento finito.

Abstract

A method for geometric modeling is presented by applying a genetic algorithm in which the population (individuals) are the control points of Bézier curves of first and second order. With the application of this method, solid, continuous and smoothed figures are obtained and some applications are discussed, ranging from the engineering of nanomaterials, through the modeling of prostheses to complex mechanical macro structures and science social.

Key Words: Genetic algorithm, Bézier curve, Geometric modeling, Finite element method.

1. Introducción

Los algoritmos genéticos son capaces de encontrar soluciones optimizadas a problemas complejos no analíticos para crear subsecuentes generaciones de individuos que están codificados por sus respectivos genomas y que compiten por su derecho a heredar sus características de acuerdo con ciertos parámetros de su estado de salud [1]. Estas soluciones optimizadas pueden ser analizadas para comprender fenómenos físicos o comportamientos sociales aún no desvelados, así como para el diseño y fabricación de materiales y dispositivos de toda índole.

El comienzo de las investigaciones con relación a los algoritmos evolutivos fue inspirado por la imitación de la naturaleza en donde todos los organismos vivientes habitan en un cierto entorno. Estos organismos poseen un material genético específico que contiene información sobre ellos y les permite transferir algunas de sus características a las nuevas generaciones durante la reproducción, en la que además otro de los organismos transfiere otra parte de sus características. Estas características están codificadas en genes y estos a su vez almacenados en cromosomas, que en conjunto constituyen el material genético denominado genotipo. Durante la transferencia de características, los genes resultan modificados como consecuencia de la cruce de los cromosomas maternos y paternos. La mutación es también un evento que ocurre adicionalmente de vez en cuando como consecuencia de un cambio en la información contenida en alguno de los genes en un cromosoma. Si bien el nuevo individuo que es creado durante la cruce de material genético posee la información de sus padres, la combinación de dos organismos diferentes lo hace también único; este organismo comienza a vivir entonces en un entorno que, si bien no es significativamente diferente al de sus padres, su desarrollo le exige un desenvolvimiento que le permita sobrevivir y ser capaz ahora de poder transferir su genoma para mantener la

especie en el entorno. El individuo que se adapta ineficientemente a su entorno encontrará dificultades para sobrevivir y transferir sus genes a las nuevas generaciones.

Es posible tomar estas ideas y adaptarlas para la solución de problemas de optimización, es decir se puede crear una versión análoga a este proceso por medio de cálculo numérico bajo el supuesto de que el entorno está definido sobre las bases de un problema resuelto y que una población de individuos constituye soluciones potenciales a un problema dado de modo que en el entorno existe ya la solución.

Por la naturaleza de los algoritmos evolutivos que toman a cada miembro del grupo biológico para su tratamiento matemático equivalente en cualquier otra aplicación (no necesariamente biológica) de manera independiente (individuos) [2], los resultados de construcciones geométricas optimizadas aplicando estos métodos, suelen ser discretas, como puede apreciarse en la figura 1.

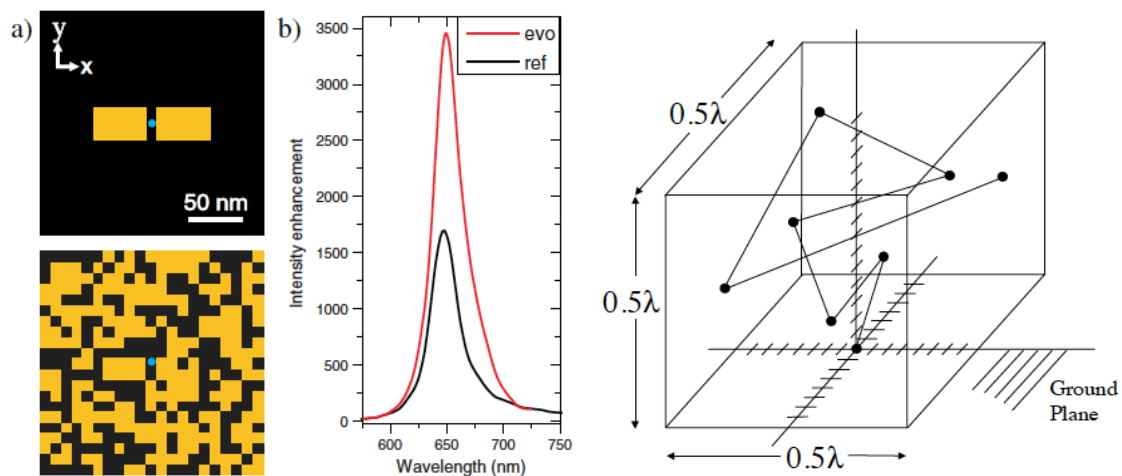


Figura 1. Ejemplos de geometrías óptimas obtenidas con algoritmos genéticos. a) Nanoantena [3]. b) antena para frecuencias satelitales [4].

Si bien la teoría y simulación numérica corroboran el comportamiento óptimo de estas geometrías, su aplicación práctica o su construcción puede resultar compleja: la figura 1a posee dimensiones nanométricas donde las distancias y figuras cuadradas pueden distorsionarse por las limitaciones intrínsecas de la escala. Para el caso de la figura 1b, el ángulo y longitud de cada brazo en tres dimensiones puede complicar innecesariamente su manufactura.

Es en este punto donde las curvas Bézier permiten generar geometrías continuas y de bordes suavizados (a menos que la evolución lleve la geometría a esquinas agudas). Estas curvas están compuestas por una línea recta definida entre dos puntos y que posee además uno o más puntos denominados de control que la deforman al intentar formar una curva en lugar de una recta para unir todos los puntos involucrados (el inicial, el final y los de control). En caso de que la curva Bézier contenga un solo punto de control es también denominada curva Bézier de primer grado, mientras que, si consta de dos puntos de control, es denominada curva Bézier de segundo grado y así sucesivamente según el número de puntos de control. La figura 2 muestra una representación de los elementos que constituyen una curva Bézier y cómo el cambio de coordenadas espaciales los puntos de control la deforman.

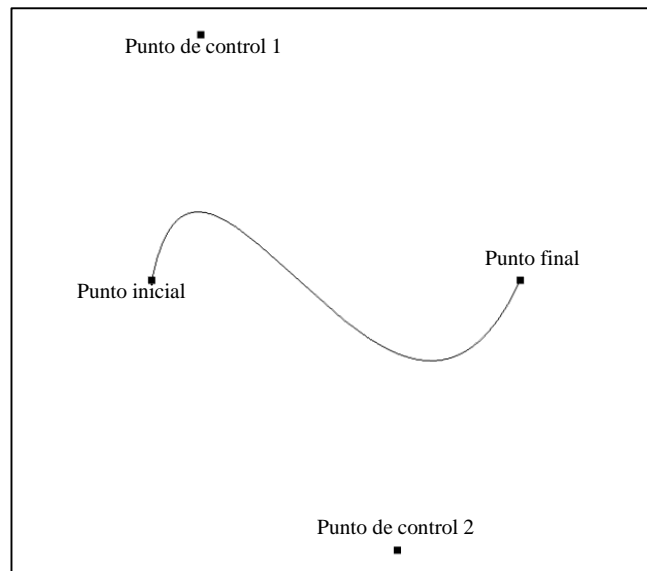


Figura 2. Curva Bézier de segundo grado.

La unión de varias de estas curvas puede formar una geometría inicial abierta o cerrada, con tantas curvas como sea necesario para lograr el efecto de resolución o suavizado (calidad) deseado de la geometría final.

2. Método y caso aplicativo

Un ejemplo en donde se puede aplicar el algoritmo genético es modelando la evolución de una población en un espacio de posibles soluciones aplicando transformaciones a estos procedimientos candidatos, de tal forma que la selección sea una estrategia de optimización [5].

Suponga que tiene una población finita en un espacio delimitado donde se desea obtener el camino óptimo para la llegada eficiente de un mensaje. Inspirados en este enunciado se propone como ejemplo que la población sea una etnia. Las etnias tienen

delimitado su territorio. Conjeture que conoce la distribución del lugar donde residen los individuos que pertenecen a la etnia. En las etnias existe el comisariado que es el jefe principal de toda la etnia y también el primero en recibir un mensaje. Dicho mensaje es muy importante pues su preservación dependerá de las futuras generaciones. Tome en cuenta que existen diferentes medios por los que puede llegar el mensaje, en este caso se desea conocer cuál será el más apropiado.

Una forma de modelar la evolución de una población es mediante mecanismos de crecimiento exponencial. Esto consiste en una reproducción de los agentes de una población mediante copias de sí mismos. Por ejemplo, una persona que cada 20 minutos genera una copia de sí misma, 20 minutos más tarde tendremos dos, en una hora serán cuatro y así sucesivamente por las generaciones. Entonces, el número de personas en la generación $t + 1$ es:

$$n_{t+1} = 2n_t \quad (1)$$

La solución de (1) si $n_0 = 1$ es:

$$n_t = 2^t n_0 = 2^t \quad (2)$$

Modelando la población en términos de tasas el modelo (2) se convierte en una ecuación diferencial ordinaria donde la población $n(t)$ crece de acuerdo con la tasa de reproducción $r = cte$, tenemos

$$\dot{n}(t) = rn(t) \quad (3)$$

Donde la solución es:

$$n(t) = n(0)e^{rt} \quad (4)$$

La escases de recursos se puede incluir como una modificación de la Ley de Malthus haciendo que la tasa de replicación por individuo sea una función decreciente de la población, anulándose estrictamente cuando una población alcanza un nivel máximo sostenible, dando lugar a la ecuación Logística siguiente:

$$\dot{n}(t) = rn(t)\left(1 - \frac{n(t)}{K}\right) \quad (4)$$

Donde K es la capacidad de carga del ambiente donde se desarrolla la población. Dada una condición inicial n_0 la solución de ecuación (4) está dada por:

$$n(t) = \frac{Kn_0e^{rt}}{K + n_0(e^{rt} - 1)} \quad (5)$$

Donde $(\lim_{t \rightarrow \infty} n(t) = K)$ el límite de la población converge hacia la capacidad de carga.

Suponga que tenemos dos tipos de individuos en una población, A y B. Los individuos tipo A se reproducen con una tasa a ; los individuos tipo B se reproducen con una tasa b . La tasa de reproducción se interpreta como la adaptación de cada tipo de individuo a su ambiente. Sea $x(t)$ es el número de individuos tipo A en el tiempo t que hay en la población; $y(t)$ sea el número de individuos tipo B en el tiempo t . Al inicio $t = 0$, el número de individuos tipo A y tipo B son x_0 y y_0 , respectivamente. Las fracciones de la población que son tipo A y tipo B crecen según las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= ax \\ \dot{y} &= by \end{aligned} \quad (6)$$

Cuya solución analítica es:

$$\begin{aligned}x(t) &= x_0 e^{at} \\ y(t) &= y_0 e^{bt}\end{aligned}\tag{7}$$

Por lo tanto, las subpoblaciones de individuos tipo A y tipo B crecen exponencialmente con una tasa a y b , respectivamente. Si a es mayor que b , entonces los individuos tipo A se reproducen más rápido que los individuos tipo B; después de algún tiempo habrá más A's que B's.

Si definimos la relación $\rho(t) = \frac{x(t)}{y(t)}$ tenemos

$$\dot{\rho} = \frac{\dot{x}y - x\dot{y}}{y^2} = (a - b)\rho\tag{8}$$

Con solución para la condición inicial $\rho_0 = \frac{x_0}{y_0}$, está dada por:

$$\rho(t) = \rho_0 e^{(a-b)t}\tag{9}$$

Si $a > b$ entonces ρ la relación entre tipos A y B tiende a infinito. Si $a < b$ entonces ρ tiende a cero. Es decir, si A supera a B, ρ tiende a infinito; por otro lado, si B supera a A, ρ tiende a cero.

Considerando que el tamaño de la población total se mantiene constante; $x(t)$ denota la frecuencia de tipos A; $y(t)$ denota la frecuencia de tipos B en el tiempo. Como solo hay individuos tipo A y B en la población tenemos que $x + y = 1$ (una población fija). Como

antes los tipos A y B se reproducen respectivamente a tasas a y b . Entonces, tenemos las ecuaciones

$$\begin{aligned}\dot{x} &= x(a - \phi) \\ \dot{y} &= y(b - \phi)\end{aligned}\tag{10}$$

Donde el término ϕ asegura que $x + y = 1$. Esto es solo posible si $\phi = ax + by$. Otra forma de considerar a ϕ es como el promedio de adaptación de la población.

Las ecuaciones (10) describen una sola ecuación, porque y puede ser reemplazada por $(1 - x)$; entonces, despejando tenemos:

$$\dot{x} = x(1 - x)(a - b)\tag{11}$$

Esta ecuación diferencial tiene tres posibles comportamientos, $x = 0$ y $x = 1$. Si $x = 1$ entonces en la población tenemos solamente individuos tipo A y nada más puede suceder. Si $x = 0$ entonces en la población tenemos solamente individuos tipo B y nada más puede suceder. Por otro lado, si $a = b$, la población se queda con las fracciones de individuos tipo A y tipo B que tenía como condición inicial ($x(0) \in (0,1)$). Es decir, ambos pueden coexistir. El equilibrio de $x = 0$ es estable si $a < b$. Por el contrario, $x = 1$ es estable si $a > b$. Igualmente, cuando $a = b$, cada punto interior puede ser un equilibrio estable.

Supongamos que, durante su reproducción de los individuos de la población descrita arriba, se presenta un error, este error es que cambian de tipo, estos individuos son “mutantes”. Ahora, si $a > b$, y en un principio todos son individuos tipo A, aunque unos

cuantos mutaran y se volvieran tipo B, a través de las generaciones, los mutantes tipo B desaparecerán pues el equilibrio estable es que todos sean tipo A. Por otro lado, en un principio todos son tipo B, y uno muta a ser tipo A, como $a > b$, al paso de las generaciones, todos serán A, pues como se dijo antes, la situación que todos los individuos sean tipo A es el equilibrio estable [6].

Hasta este punto se ha trabajado con la población, sin embargo, otra variable importante a tratar es el espacio delimitado donde interactúan los individuos de la etnia.

Inspirados en que dicho territorio delimitado de la etnia puede ser las coordenadas de un plano, la idea de definir geoméricamente las formas trazando una recta tiene sentido. Sin embargo, en lugar de unir dos puntos en una recta piense en que se puede unir con una curva, en este sentido surgen los elementos esenciales para trazar una curva de Bézier. Como alternativa es práctico y común usar interpolaciones entre puntos predefinidos que puedan realizarse mediante curvas Bezier. Los puntos de control de esta curva se mueven a su vez siguiendo curvas de Bézier que definen la superficie [7].

De acuerdo a [8] la curva de Bézier de grado n puede ser generalizada de la siguiente forma. Dado los puntos $P_0, P_1, P_2, P_3, \dots \dots P_n$, que son los puntos de control, la ecuación para la curva de Bézier es:

$$f(x) = \frac{e^{-\frac{1}{2}(x)^2}}{\sqrt{2\pi}} \quad (12)$$

Si la curva fuese de orden cinco, es decir ($n = 5$), entonces $w < x$. Esta ecuación puede ser representada de manera recursiva como:

$$p(w < x) = \int_{-\infty}^x f(x) dx = \int_{-\infty}^x \frac{e^{-\frac{1}{2}(x)^2}}{\sqrt{2\pi}} \quad (13)$$

Por otro lado no se debe olvidar que la optimización que se desea realizar es precisamente encontrar los caminos eficientes para que se preserve el mensaje. En este ejemplo suponga que existen varios tipos de canales. Por ejemplo, utilizar el teléfono fijo, email, celular entre otros. Una alternativa para trabajar los datos de los canales es usando la función de densidad de probabilidad que debe tener las siguientes propiedades:

$$f(x) \geq 0 \text{ para toda } x \quad (14)$$

$$\int_0^n f(x) dx = 1 \quad (15)$$

De esta forma a cada canal corresponderá un peso que dependerá de la información que se tenga con respecto de cada variable [9].

Prosiguiendo con el ejemplo de las etnias y utilizando Excel suponga que tiene lo siguiente. Se tiene información de una etnia con un comisariado y cuatro familias en la primera generación, tome en cuenta que su territorio está delimitado como se muestra en la siguiente *Figura 3*.

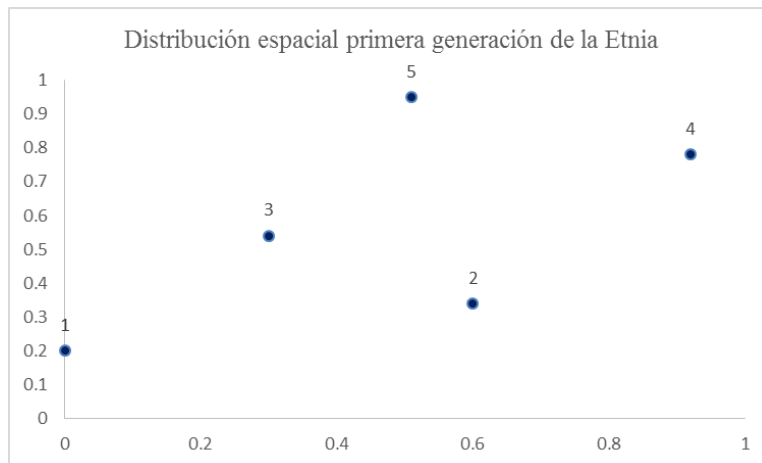


Figura 3. Distribución espacial de la etnia primera generación y la conexión entre pobladores.

Sin embargo, en la segunda generación disminuye a un comisariado y tres familias como se muestra a continuación.

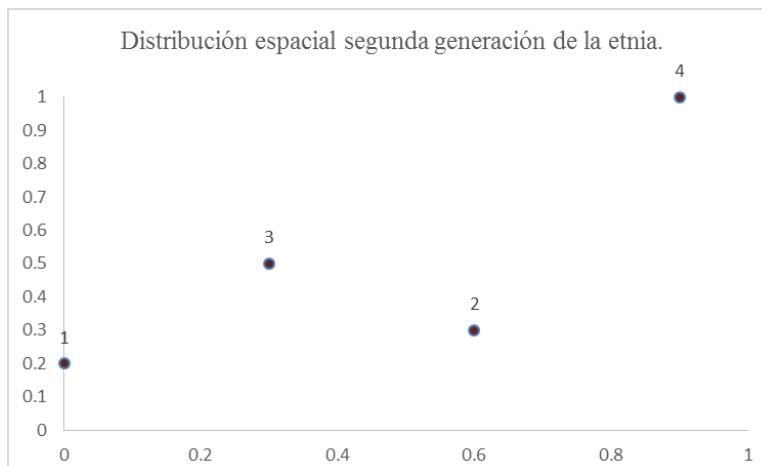


Figura 4. Distribución espacial de la etnia segunda generación y su conexión con los pobladores.

3. Resultados

Utilizando la función de crecimiento exponencial para las siguientes siete generaciones se obtuvo la siguiente tabla:

Tiempo (Generaciones)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Población	5	4	3.2	2.56	2.05	1.64	1.31	1.05	0.84

Tabla 1. Tendencia de crecimiento exponencial a partir de la información de las dos primeras generaciones.

Se puede observar que en la novena generación desaparece la población, sin embargo se logra visualizar en qué generación se debería de tomar estrategias para su preservación.

Ahora bien, se grafica los puntos de las dos generaciones conocidas y el orden del mensaje comenzando por el comisariado que es el nodo 1 y este le manda mensaje al nodo 2 y así sucesivamente. El orden se establece de esta manera porque los primeros tres tienen teléfono fijo, mientras que los dos últimos solo son por medio de persona a persona. Por eso son los últimos en enterarse. La primera generación quedaría de la siguiente manera:

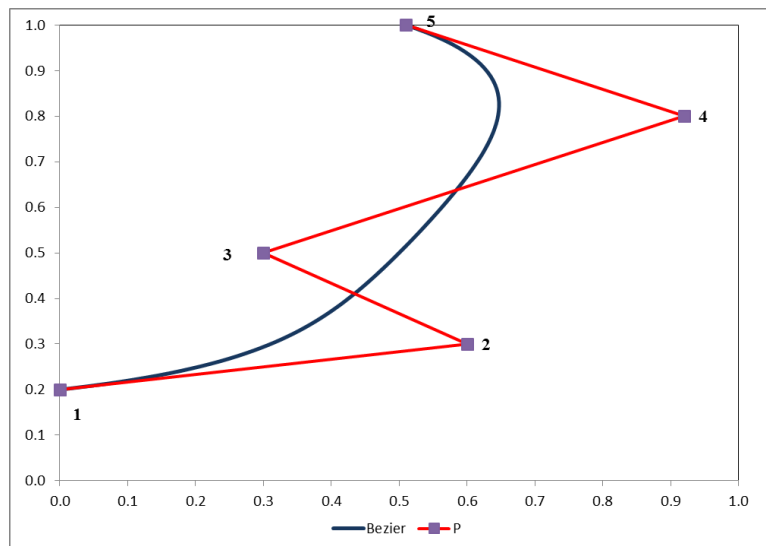


Figura 5. Camino que recorre el mensaje utilizando curvas de Bézier primera generación.

Se puede observar que el mensaje recorre todos los nodos, sin embargo también se nota que entre más alejado este el nodo, la curva se aleja, mientras que más cercano este el nodo la curva se acerca.

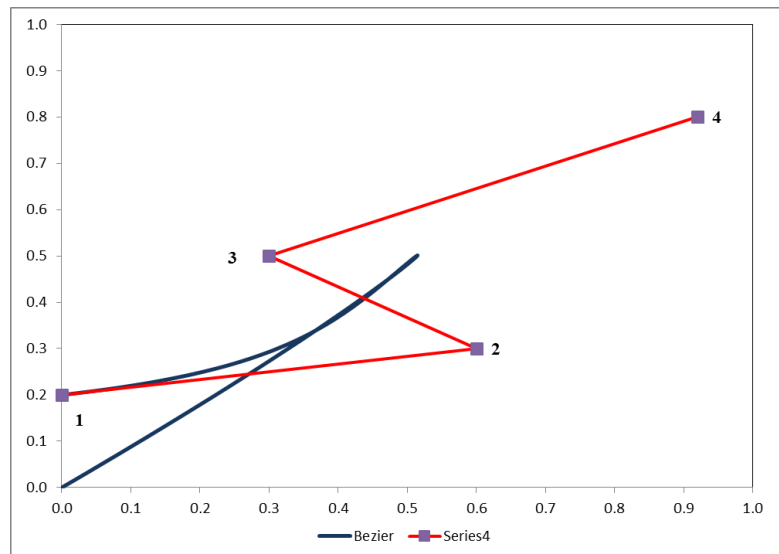


Figura 6. Camino que recorre el mensaje utilizando curvas de Bezier segunda generación.

Se logra observar que en esta segunda generación la curva ha descendido y tiene una tendencia a 0, además tiene el mismo comportamiento que el anterior, entre más alejado este el nodo, más alejada pasa la curva.

Hipotéticamente en la tercera generación solo quedarán tres nodos y se propone quitar el nodo 3 que es canal entre el nodo más lejano y más cercano, tome en cuenta que el nodo más alejado tardará o quizá no se llegue el mensaje por el tipo de canal que posee.

La gráfica entonces se visualiza de la siguiente manera:

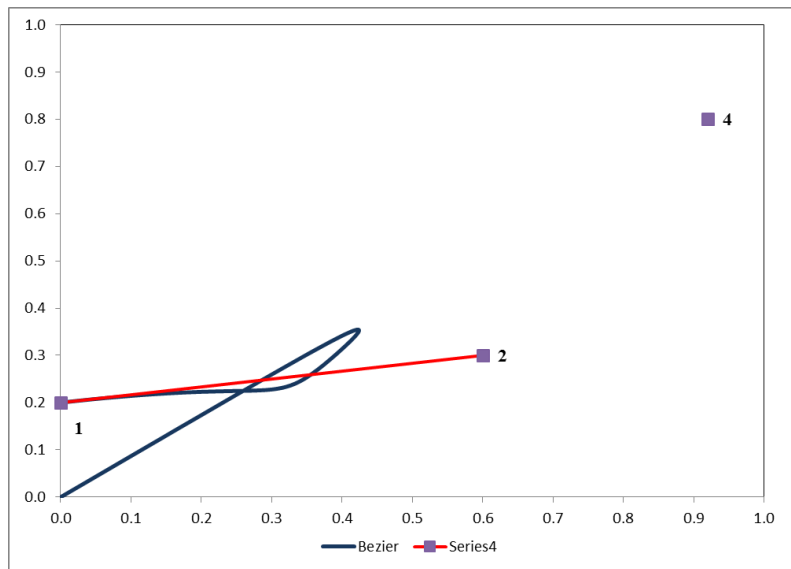


Figura 7. Camino que recorre el mensaje utilizando curvas de Bézier en la tercera generación hipotética.

Por supuesto que se pudo quitar el nodo 4 o el nodo 2, todas las combinaciones posibles. Pero en este ejemplo se puede notar que además que la curva tiende a cero, se forma un nudo.

1. Discusión y Conclusión

Se puede observar que el nodo final al realizar la curva de Bézier no se encuentra, por lo tanto, ésta tiende a cero, en este contexto mientras que para las ciencias duras la curva de Bézier el nodo final es la finalización del trayecto, en las ciencias sociales no forzosamente es la misma interpretación pues dependerá si el sistema es lineal o no lineal.

La trayectoria de la curva en la *Figura 5* realiza su recorrido de manera exitosa, lo que quiere decir que a todos los integrantes les llega el mensaje. En la *Figura 6* por otro lado ocurre una inflexión de tal forma que la curva intenta abarcar por todos los puntos restantes,

sin embargo, esta inflexión se ve más pronunciada entre el nodo 2 y 3, en este sentido se puede interpretar que la curva desde el punto inicial al punto de inflexión garantiza el mensaje, mientras que su regreso generará distorsión o final de este.

En la *Figura 7* la inflexión es menor, inclusive un poco más de la mitad de eficiencia de la llegada del mensaje. La curvatura entre el nodo 1 y 2 por arriba será la probabilidad de distorsión, mientras que la curvatura por debajo será la probabilidad de desaparecer el mensaje.

En este contexto relacionando este comportamiento con la tabla 1, se puede observar que la tendencia es la desaparición de la etnia, por lo tanto, la probabilidad de que preserven el mensaje es casi nulo.

Retomando el hilo conductor se pueden generar estrategias que coadyuven a la toma de decisiones para la preservación y eficiencia del mensaje. Además, en este trabajo no se está tomando en cuenta el comportamiento de las inflexiones, en este caso la intromisión. Estas distorsiones que pueden suceder alrededor de dichos nodos podrían ayudar a preservar o desaparecer el mensaje, inclusive la generación de un nuevo mensaje. Por lo que se propone en futuros trabajos introducir caminatas aleatorias alrededor de los nodos y generar caminos óptimos para la preservación y/o mejora de los mensajes.

Referencias

- [1] M. Mitchell, *An Introduction to Genetic Algorithms*. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology, 1999.
- [2] D. E. Goldberg, *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*. Boston, MA.: Kluwer Academic Publishers, 1989.
- [3] T. Feichtner, O. Selig, M. Kiunke, and B. Hecht, "Evolutionary Optimization of Optical Antennas," *Physical Review Letters*, vol. 109, no. 127701, p. 5, 2012.
- [4] L. S. Derek, "Antenna Design Using Genetic Algorithms," presented at the Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO), New York, NY, 2002.
- [5] Villena Román, J., Crespo-García, R. M., & García-Rueda, J. J. (2011). *Inteligencia en redes de comunicaciones*.
- [6] Nowak M., 2006, "Evolutionary Dynamics", Harvard University Press, Boston.
- [7] Prautzsch, H., Böhm, W., & Paluszny, M. (2005). *Métodos de Bézier y B-splines*. KIT Scientific Publishing, pp. 125.
- [8] Pons-Prats, J., Bugada, G., Zárata, F., & Onate, E. (2012). Optimización robusta en aplicaciones aeronáuticas con la combinación de cálculo estocástico y algoritmos evolutivos. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, 28(1), 18-32.
- [9] Walpole, R. E., Myers, R. H., & Myers, S. L. (1999). *Probabilidad y estadística para ingenieros*. Pearson Educación.

Campo electromagnético amplificado con nanoestructuras de geometría estelar

Ivan Alberto Cruz García¹, Ramón Díaz de León-Zapata^{1*}, Ariel B. de la Rosa Zapata¹,
Efrén Flores García¹, José Vulfrano Gonzalez Fernández², Francisco Javier González³

¹ Tecnológico Nacional de México/I.T. San Luis Potosí, Av. Tecnológico s/n, Soledad de
Graciano Sánchez, San Luis Potosí, México.

² Tecnológico Nacional de México/I.T. La Laguna, Blvd. Revolución y Calzada
Cuauhtémoc s/n, CP 27000, Torreón, Coahuila, México.

³ Coordinación para la Innovación y Aplicación de la Ciencia y la Tecnología
(CIACyT), CIACyT—UASLP, Álvaro Obregón 64, San Luis Potosí, S. L. P., México.

*e-mail: ramon.diazdeleon@tec.itslp.edu.mx

Resumen

Se presenta el estudio de nanoantenas de geometría estelar como elementos plasmónicos amplificadores y direccionales del campo electromagnético. El estudio se llevó a cabo con análisis numérico basado en la técnica del elemento finito. Fueron analizados varios materiales, dimensiones arreglos geométricos y frecuencias para la simulación y el análisis de datos. La geometría estelar fue elegida con base en la propiedad de autoensamblado de los materiales de plata-óxido de zinc (Ag-ZnO). La direccionalidad y la amplificación del campo eléctrico fueron simulados tanto en campo cercano como en campo lejano.

Adicionalmente se discuten algunas aplicaciones de estas nanoestructuras.

Palabras clave: Nanoestructura, Resonancia Plasmónica, Nanoantenas.

Abstract

A study of star shaped nanoantennas as directional and enhancer electric field is presented.

It is based on a numerical simulation technique using the Finite Element Method (FEM).

Multiple materials, sizes, arrangements and frequencies are used for simulation and data analysis. The star shaped geometry is selected based on the natural auto assembled property of Ag-ZnO materials. Directionality and enhancement of electric field are tested in both, near and far field. In addition, some applications for those nanostructures are discussed.

Key Words: Nanostructure, Plasmonic Resonance, Nanoantennas.

1. Método

Aplicando la técnica del elemento finito [1] a la geometría y asumiendo el modelo de Drude-Lorentz [2] para el comportamiento de las ondas electromagnéticas que inciden sobre la estructura, se resuelve por cálculo numérico la ecuación (1).

$$\nabla \times \mu_r^{-1}(\nabla \times \mathbf{E}) - k_0^2(\epsilon_r - \frac{j\sigma}{\omega\epsilon_0})\mathbf{E} = \mathbf{0} \quad (1)$$

Dado que el rango de frecuencias de interés (régimen óptico) abarca el rango infrarrojo y el segmento de los terahertz, así como las dimensiones y características de los brazos de la geometría, el tamaño del elemento finito mínimo necesario para asegurar la calidad de la simulación se ha estimado en 3 nm, y un máximo de 70 nm, dando un mallado total 393,138 elementos.

2. Materiales y técnicas de fabricación

Los nanoalambres de crecimiento autoensamblado de ZnO sobre plata (Ag) pueden ser fabricados con precisión y fácilmente [3]. Algunos estudios realizados sobre estas estructuras se han llevado a cabo como en [3, 4]. Dado que la geometría estelar muestra interacciones interesantes con el campo electromagnético en el régimen óptico, se propone en el presente trabajo, adaptar la geometría autoensamblada para analizarla numéricamente con el fin de corroborar sus propiedades plasmónicas de interés y optimizar su ulterior proceso de fabricación por el método de litografía por haz de electrones [5], método que resulta más conveniente para generar nanoantenas superficiales que es una de las posibles aplicaciones (aunque no limitada a ella) y que será discutida más adelante en este trabajo. Recubriendo la estructura original autoensamblada de Ag-ZnO (fig. 1a) con oro (Au) (fig. 1c) es posible cambiar y ajustar la interacción del campo electromagnético permitiendo manipular a discreción su amplificación y direccionalidad como se demuestra más adelante.

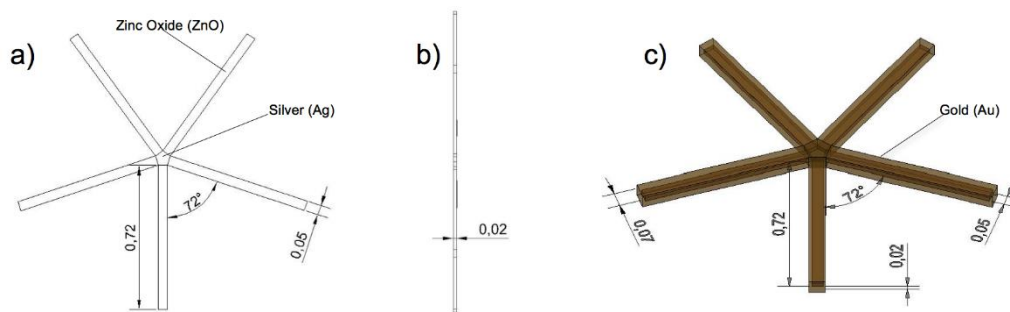


Figura 1. Tres diferentes vistas de la estructura plasmónica propuesta y sus materiales: (a) Vista superior, (b) Vista lateral, y (c) Vista isométrica transparente con recubrimiento de oro (nótese la estructura original en el centro). Las dimensiones están en micras (μm).

3. Resultados

Como se sugiere en [3], esta geometría presenta un comportamiento tipo Yagi-Uda

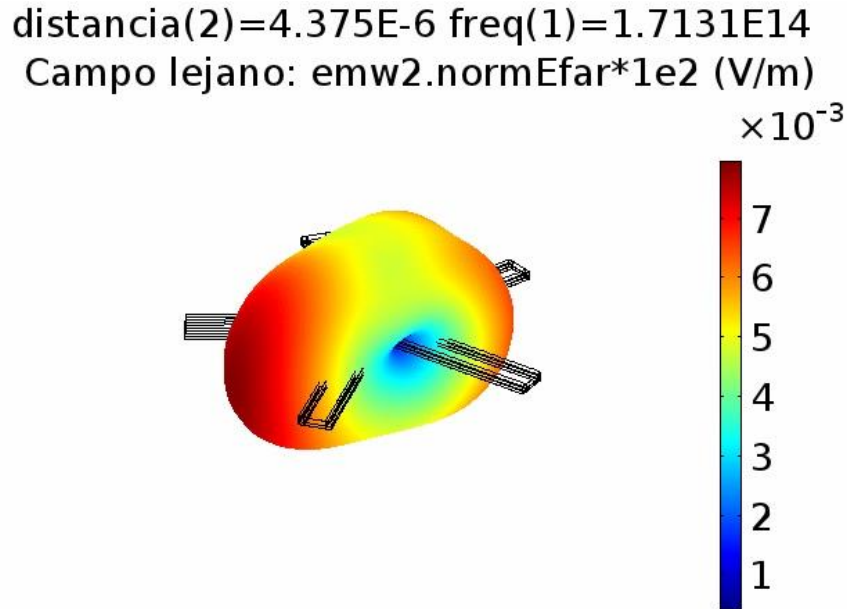


Figura 2. Comportamiento Yagi-Uda de la nanoestructura de geometría estelar en su campo electromagnético lejano.

La figura 3 muestra el campo cercano, donde puede apreciarse que los brazos proporcionan la direccionalidad respectiva. Nótese que los brazos que presentan la menor concentración de campo eléctrico ayudan a impulsar el campo hacia la izquierda. Los dos brazos de la izquierda ayudan a concentrar y direccionar el campo eléctrico.

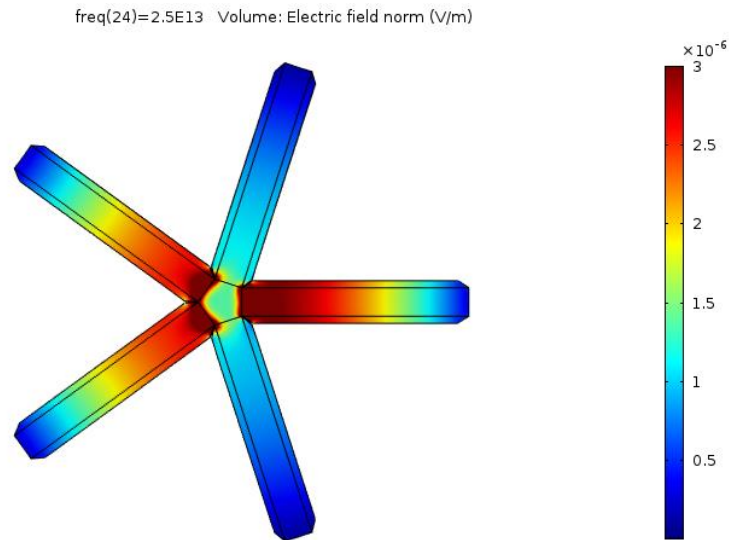


Figura 3. Comportamiento direccional de la nanoestructura de geometría estelar en su campo electromagnético cercano.

La figura 4 muestra el barrido en frecuencias al que fue sometida la estructura. En la gráfica se observa que la máxima resonancia se encuentra en 25 THz.

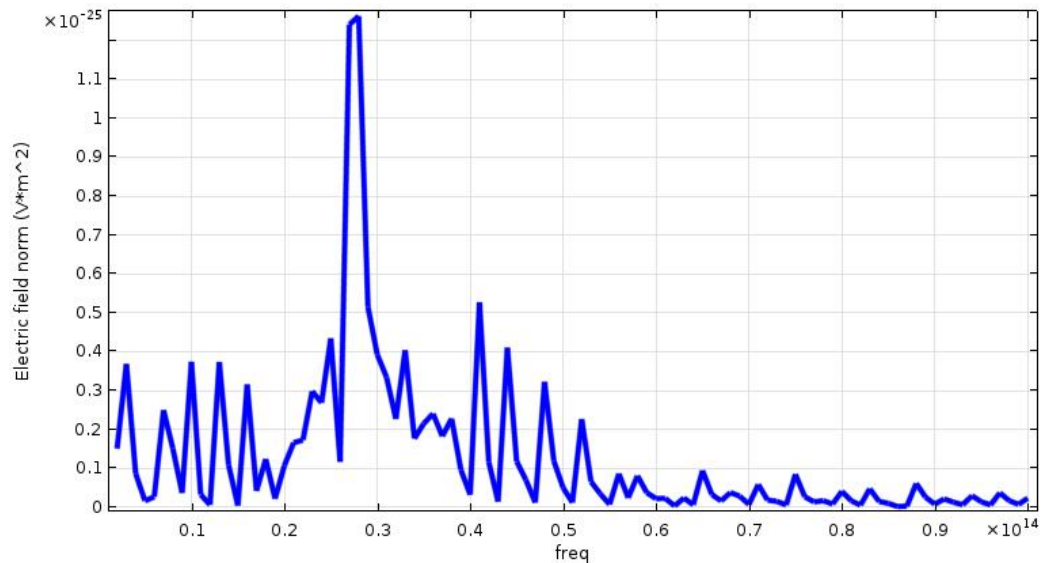


Figura 4 Comportamiento direccional de la nanoestructura de geometría estelar en su campo electromagnético cercano.

4. Discusión

La fabricación de nanoestructuras de geometría estelar con cubierta final de oro, tanto tridimensionales (por autoensamble) como bidimensionales (por litografía) resulta relativamente sencilla y su análisis electromagnético en el rango óptico revela un comportamiento plasmónico (amplificación y direccionalidad) que es posible controlar según el grosor de la capa de oro depositada.

El comportamiento observado encuentra una prometedora aplicación en interruptores ópticos [6] ya que la polarización del campo electromagnético es dirigido hacia un par de brazos en particular y alejándolo de los adyacentes, por lo que es posible permitir o inhibir el flujo de otros campos electromagnéticos que se encuentren en la ruta de al menos dos de estas estructuras ubicadas en contraposición una de la otra. El control del interruptor quedaría definido por la polaridad de incidencia normal sobre la estructura.

Otra aplicación prometedora aprovecharía la combinación de materiales y la distribución pentagonal de los brazos para generar, por efecto Seebeck [7] una diferencia de temperatura que a su vez causaría una diferencia de potencial, provocando una corriente eléctrica útil para alimentar compactos circuitos electrónicos capaces de funcionar con fuentes de calor sin necesidad de baterías convencionales.

La disposición de los brazos (ángulo) y su cantidad (pentágono) no es posible modificarlo en el caso de la estructura autoensamblada, sin embargo, por métodos litográficos es posible reajustar libremente la geometría, por lo que el estudio de nuevas geometrías que se ajusten con mejor precisión a los requerimientos o aplicaciones

propuestas es un trabajo futuro que llevará a cabo el presente grupo de investigación, en particular geometrías estelares de tres brazos.

Referencias

- [1] E. Süli, "Lecture Notes on Finite Element Methods for Partial Differential Equations," ed. United Kingdom: University of Oxford, 2012.
- [2] S.-Y. Ding *et al.*, "Nanostructure-based plasmon-enhanced Raman spectroscopy for surface analysis of materials," *Nature Materials*, vol. 1, no. 16021, 2016.
- [3] J. E. Sanchez *et al.*, "Electric radiation mapping of silver/zinc oxide nanoantennas by using electron holography," *Journal of Applied Physics*, vol. 117, no. 034306, 2015.
- [4] J. E. Sanchez *et al.*, "Resonance properties of Ag-ZnO nanostructures at terahertz frequencies," *Optics Express*, vol. 23, no. 19, 2015.
- [5] C. Vieu, "Electron beam lithography: resolution limits and applications," *Applied surface science*, vol. 164, no. 1-4, pp. 111-117, 2000.
- [6] G. Zhanzhi, L. Liangjun, Z. Linjie, S. Lin, and C. Jianping, "16 x 16 Silicon Optical Switch Based on Dual-Ring-Assisted Mach-Zehnder Interferometers," *Journal of Lightwave Technology*, vol. 36, no. 2, p. 8, 2018.
- [7] E. Briones *et al.*, "Seebeck Nanoantennas for Solar Energy Harvesting," *Applied Physics Letters*, vol. 105, 2014.

Análisis de Fourier: Aplicaciones para el cálculo de parámetros estadísticos

Rutilo Moreno Monsivais^{1*}, María de Jesús Sánchez López¹

¹Tecnológico Nacional de México/IT San Luis Potosí, Av. Tecnológico s/n, Soledad de Graciano Sánchez, San Luis Potosí, C.P. 78376, México.

*e-mail: rutilo.moreno@gmail.com

Resumen

En este trabajo se da una breve introducción a las transformadas, discreta y continúa de Fourier y se muestra cómo es que estas se aplican en el campo de la probabilidad y la estadística para calcular algunos parámetros de distribuciones de variables aleatorias, ya sea que estas sean continuas o discretas.

Palabras clave: Transformada de Fourier, Distribución de Probabilidad, Momentos de una Distribución.

Abstract

In this paper we give a brief introduction to the transformations, discrete and continuous Fourier and shows how they are applied in the field of probability and statistics to calculate some parameters of random variable distributions, whether they are continuous or discrete.

Keywords: Fourier Transform, Probability Distribution, Moments of a Distribution.

4. Introducción

La historia moderna de lo que hoy se conoce como análisis de Fourier se remonta a mediados del siglo XVIII y el problema de la cuerda vibrante, hoy considerado como uno

de los más importantes de dicho siglo. Este fue propuesto por Brook Taylor en 1717 en su obra *Methodus incrementorum directa et inversa* [2] y consiste en plantear las ecuaciones que describen el movimiento de todo punto y para todo tiempo, de una cuerda flexible, fija en sus extremos, la cual se ha “estirado” hasta quedar tensa, y cuya curva se describe por una cierta función y posteriormente se suelta, en donde se asume que el movimiento que tendrán todos y cada uno de los puntos de dicha cuerda estará contenido en un plano.

Este problema atrajo la atención de muchos matemáticos de renombre de dicha época, entre ellos se pueden contar

Jean le Rond d'Alembert, Leonhard Paul Euler, Daniel Bernoulli, y otros pero no fue hasta 1807 que el matemático francés Jean Baptiste Joseph Fourier en su obra *Théorie Analytique de la Chaleur* [1] en la que ataca el problema de la propagación del calor en conductores sólidos bajo algunas ciertas restricciones y establece un método para darle solución inspirado por los trabajos de Daniel Bernoulli en el problema de la cuerda vibrante. Dicho método es hoy conocido como separación de variables, en el que la parte medular del mismo consiste en descomponer cualquier función periódica como una mezcla de funciones senoidales y cosenoidales de diferentes amplitudes y frecuencias.

Desde entonces a la fecha, son innumerables las áreas en las que el análisis de Fourier encuentra aplicaciones de manera natural, entre estas se encuentran: electrónica, teoría de números, medicina, astronomía, economía, mecánica cuántica, entre otras.

En el presente trabajo se presentan algunas aplicaciones de la transformada discreta y continua de Fourier en el campo de la probabilidad y la estadística para la obtención de los momentos de una distribución de probabilidad, los cuales están directamente relacionados con algunos parámetros relevantes de dicha distribución.

En la sección 2 de este trabajo se definen las transformadas de Fourier para el caso de funciones continuas y discretas.

El concepto de distribución de probabilidad, medular para la comprensión de este trabajo se trata en la tercera sección. En la cual también se definen algunos parámetros estadísticos, los momentos de una distribución y la relación existente entre los mismos.

La sección 4 trata de la relación entre la transformada de Fourier y su uso para obtener los momentos de distribuciones de variables aleatorias. Se establece dicha relación de manera general para el caso en que la función de distribución es continua y se tratan de manera general algunos casos que se pueden presentar cuando la variable aleatoria es discreta.

La notación utilizada es estándar y puede ser encontrada en los trabajos [3],[4],[5].

5. Transformadas continuas y discretas de Fourier

Dada una función real o compleja $f(x)$ definida sobre la línea y en donde es integrable en el sentido de Lebesgue, el cual obliga a la función en cuestión a tener ciertas propiedades de regularidad, su transformada de Fourier está definida por:

$$F(u) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x)e^{-2\pi i u x} dx$$

De manera análoga, se define la transformada inversa de Fourier de la función $F(U)$ como:

$$f(x) = \int_{-\infty}^{\infty} F(u)e^{2\pi i u x} du$$

Donde en ambas definiciones, i es la unidad imaginaria.

Esta forma de definir dichas transformadas no es única y dependiendo del área en la que se trabaje se realiza un cambio de variable lineal $u = ax$ para alguna constante a , que cambia la forma mas no la propiedad de que al realizar de manera sucesiva la transformada y la transformada inversa a una cierta función se regresa a ella misma.

Existe también la versión discreta de dichas transformadas cuando no se tiene una función continua $f(x)$ sino una colección de valores de dicha función correspondientes a un conjunto finito de valores igualmente espaciados en el eje x , a continuación se definen dichas transformadas de manera formal.

Dado un conjunto de N valores y_0, y_1, \dots, y_{N-1} reales o complejos, indexados por los primeros N enteros no negativos y que se corresponden con la secuencia creciente de N valores x_0, x_1, \dots, x_{N-1} reales igualmente espaciados entre sí. La transformada discreta de Fourier (TDF) asociada a la secuencia valores y_0, y_1, \dots, y_{N-1} está dada por:

$$Y(k) = \sum_{n=0}^{N-1} y_n W_n^{kn}$$

donde:

$$W_N := e^{-\frac{2\pi i}{N}}$$

La cual cuando es evaluada en los enteros $0, 1, 2, \dots, N-1$ produce los valores y_0, y_1, \dots, y_{N-1} respectivamente.

De manera análoga dada la secuencia Y_0, Y_1, \dots, Y_{N-1} se define la transformada discreta de Fourier inversa (TDFI) asociada a dicha secuencia como la función:

$$Y(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} Y_k W_n^{-kn}$$

De manera análoga al caso continuo, este par de definiciones pueden tener ligeras variaciones dependiendo del área de aplicación, sin embargo la aplicación sucesiva de las transformadas discreta y discreta inversa de Fourier a una secuencia de valores, nos regresa, en este caso, una función periódica cuyo periodo es N , mezcla de funciones senoidales y cosenoidales, la cual, cuando es evaluada en la secuencia de enteros $0, 1, 2, \dots, N-1$ produce los valores y_0, y_1, \dots, y_{N-1} respectivamente.

Dicha función periódica puede usarse para interpolar la función original en otros valores no enteros, donde la validez de dicha interpolación está regida por la naturaleza de la aplicación así como de ciertas propiedades de la secuencia dada.

6. Transformadas continuas y discretas de Fourier

Dada la realización de un experimento, se define una variable aleatoria X como una función que asigna un número real a cada uno de los resultados de dicho experimento. De manera formal se puede escribir:

$$X : A \rightarrow \mathbb{R}$$

Donde A es el conjunto de todos los posibles resultados del experimento realizado.

Dada la realización de un experimento y una variable aleatoria X definida sobre el mismo, la distribución de probabilidad de X es una función $f(x)$ que asigna a cada valor posible x de la variable aleatoria X la probabilidad de que al realizarse el experimento, el resultado sea un evento para el cual la variable aleatoria definida sobre el mismo tome el valor de x , esto en el caso de que la variable aleatoria solo pueda tomar un conjunto finito de valores.

En el caso de que la variable aleatoria pueda tomar un continuo de valores, entonces $f(x)$ asigna a cada valor posible x de la variable aleatoria X la probabilidad de que al realizarse el experimento, el resultado sea un evento para el cual la variable aleatoria definida sobre el mismo este en el intervalo cerrado $[x, x + \Delta x]$.

De manera formal, para el caso discreto se tiene:

$$p(x) = P(X = x)$$

Y para el caso continuo:

$$f(x) = P(x \in [x, x + \Delta x])$$

El valor esperado $E[g]$ de una función $g(x)$ se define por:

$$E[g] := \sum g(x)f(x)$$

En el caso discreto, donde la suma es sobre todos los posibles valores de la variable aleatoria.

Para el caso continuo se tiene:

$$E[g] := \int_{-\infty}^{\infty} f(x)g(x)dx$$

De aquí se pueden definir algunos parámetros relevantes de la distribución de probabilidad que nos hablan del comportamiento de los valores de la variable aleatoria en cuestión, algunos de estos parámetros son: media estadística, desviación estándar, coeficiente de asimetría, coeficiente de curtosis, entre otros. Dichos parámetros están dados, respectivamente por:

$$\mu = E[x]$$

$$\sigma = \sqrt{E[(X - \mu)^2]}$$

$$\gamma = \frac{1}{\sigma^3} E[(X - \mu)^3]$$

$$\beta = \frac{1}{\sigma^4} E[(X - \mu)^4]$$

De aquí es fácil deducir, utilizando propiedades de integrales y sumatorias que

$$\mu = M_1$$

$$\sigma = \sqrt{M_2 - \mu^2}$$

$$\gamma = \frac{1}{\sigma^3} (M_3 - 3\mu M_2 + 2\mu^3)$$

$$\beta = \frac{1}{\sigma^4} (M_4 - 4\mu M_3 + 6\mu^2 M_2 - 3\mu^4)$$

donde:

$$M_j = E[x^j]$$

Se denomina j –ésimo momento de la variable aleatoria X . De aquí se puede deducir la importancia del cálculo de momentos de distribuciones de probabilidad.

4. Distribución y la Transformada de Fourier

Como se mencionó en la segunda sección, dada una función $f(x)$ con las características de regularidad mencionadas, es posible definir su transformada de Fourier, si dicha función corresponde a una distribución de probabilidad continua, entonces dichas condiciones se cumplen y se puede calcular su transformada de Fourier, la cual estaría dada por:

$$F(u) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x)e^{-2\pi i u x} dx$$

A esta expresión se le conoce como función característica de la distribución.

Derivando ambos lados de esta ecuación se obtiene la siguiente expresión para $F'(u)$

$$-2\pi i \int_{-\infty}^{\infty} x f(x) e^{-2\pi i u x} dx$$

La cual al ser evaluada en $u = 0$ produce la expresión

$$F'(0) = -2\pi i \int_{-\infty}^{\infty} x f(x) dx$$

es decir:

$$F'(0) = -2\pi i M_1$$

En palabras, la primera derivada de la función característica evaluada en $u = 0$ es directamente proporcional al primer momento de la distribución.

Derivando de manera sucesiva la función característica se obtiene la siguiente expresión para $F^{(r)}(U)$:

$$(-2\pi i)^r \int_{-\infty}^{\infty} x^r f(x) e^{-2\pi i u x} dx$$

La cual al ser evaluada en $u = 0$ da como resultado la siguiente expresión

$$F^{(r)}(0) = (-2\pi i)^r M_r$$

Es decir, una proporcionalidad directa entre el la r -ésima derivada de la función característica evaluada en $u = 0$ y el r -ésimo momento de la distribución.

En el caso en el que la variable aleatoria es discreta, si los valores de dicha variable son la secuencia $0, 1, 2, \dots, N - 1$ y los valores de la distribución en dichos valores están dados por la secuencia y_0, y_1, \dots, y_{N-1} lo cual es algo común en aplicaciones, donde la variable aleatoria cuenta la cantidad de ocurrencias de cierta condición, entonces, la transformada de Fourier discreta de la secuencia y_0, y_1, \dots, y_{N-1} estaría dada por:

$$Y(k) = \sum_{n=0}^{N-1} y_n e^{\frac{-2\pi i k n}{N}}$$

Al derivar ambos términos de esta ecuación y evaluarla en $k = 0$ de manera análoga al caso continuo se obtiene:

$$Y'(0) = -\frac{2\pi i}{N} M_1$$

Es decir, una proporcionalidad entre la primera derivada de la transformada de Fourier evaluada en cero y el primer momento de la distribución. De manera análoga al caso continuo se puede obtener la proporcionalidad:

$$Y^{(r)}(0) = \left(-\frac{2\pi i}{N}\right)^r M_r$$

La cual permite el cálculo de momentos y por ende, de ciertos parámetros de la distribución,

En caso de que la variable aleatoria no tome los valores $0, 1, 2, \dots, N - 1$ sino una secuencia creciente x_0, x_1, \dots, x_{N-1} , igualmente espaciada de valores se puede aplicar un cambio de variable lineal y definir la transformada de Fourier como:

$$Y(k) = \sum_{n=0}^{N-1} y_n e^{\frac{-2\pi\Delta i k n}{N}}$$

Donde Δ es el espaciamento entre cualesquiera 2 elementos consecutivos de la secuencia creciente antes mencionada.

Multiplicando ambos lados de esta última ecuación por $\Psi(k) = e^{\frac{-2\pi i x_0 k}{N}}$ se obtiene:

$$\Psi(k) Y(k) = \sum_{n=0}^{N-1} y_n e^{\frac{-2\pi(x_0 + \Delta n) i k}{N}}$$

Definiendo $\Theta(k) := \Psi(k) Y(k)$ y derivando ambos miembros, para posteriormente evaluar en $k = 0$ se tiene:

$$\Theta'(0) = -\frac{2\pi i}{N} \sum_{n=0}^{N-1} (x_0 + \Delta n) y_n$$

Es decir:

$$\Theta'(0) = -\frac{2\pi i}{N} M_1$$

De manera análoga, la aplicación sucesiva de la derivación y su posterior evaluación en cero produce la ecuación:

$$\Theta^{(r)}(0) = \left(-\frac{2\pi i}{N}\right)^r M_r$$

Dando así, una vez más, una fórmula para calcular los momentos de dicha distribución discreta.

Existen casos en los que la variable aleatoria no toma una secuencia igualmente espaciada, sin embargo, se pueden hacer adecuaciones del método aquí descrito, por ejemplo, insertando valores intermedios de dicha variable aleatoria para hacerla igualmente espaciada y asociándole un 0 como función de distribución a dichos valores insertados.

De igual manera, con adecuaciones del método y la utilización de límites se pueden tratar distribuciones que toman un conjunto infinito de valores no continuo.

En el caso continuo, el primer paso para el cálculo de momentos por este método consiste en resolver la integral dada por la función característica, la cual, es fácil de calcular de forma analítica para algunas distribuciones de probabilidad comunes.

En el caso discreto se comienza calculando la transformada discreta de Fourier de la distribución dada, la cual se puede pensar como el equivalente a la función característica del caso continuo.

En ambos casos una vez obtenida la función característica, su derivación y evaluación, son procesos estándar, fáciles de implementar en algún software de cálculo algebraico.

Existen muchas otras aplicaciones del análisis de Fourier en lo que se refiere a probabilidad y estadística y que ya no se trataran en este trabajo, pero que el lector fácilmente puede encontrar en la literatura, más aun, la mayoría de los programas comunes para manejo de datos estadísticos ya hacen uso de esta herramienta de manera profunda.

5. Conclusiones

Como se vio en este trabajo, la Transformada de Fourier provee de manera natural, un método matemático sumamente útil en el campo de la probabilidad y la estadística para el cálculo de momentos de distribuciones de variables aleatorias ya sean estas continuas o discretas.

En algunos casos, más que útil, dicho método resulta mejor que el tradicional y su ventaja radica en el hecho que evita el cálculo de múltiples integrales o sumatorias las cuales pueden tornarse complicadas o imposibles de resolver por métodos analíticos y que son necesarias para obtener todos los momentos de la distribución si se obtuviesen a partir de la definición.

6. Referencias

- [1] Jean Baptise J. Fourier, (1822), *Théorie analytique de la chaleur*, Paris Francia, Chez Firmin Didot père et fils
- [2] Taylor, B. (1715). *Methodus incrementorum directa et inversa*. Londini: typis earsnianis.
- [3] Brillinger, D. R. y Krishnaiah P. R., (1983) *Handbook of Statistics 3. Time Series in the Frequency Domain*. Amsterdam: North Holland.
- [4] Hamilton, J. D. (1994) *Time Series Analysis*, Princeton, New Jersey: Princeton University Press.
- [5] Priestley, M.B. (1981), *Spectral Analysis and Time Series*, London, Academic Press.

Modelo de eficientización del flujo de productos dentro de un centro de distribución automotriz.

Armando Javier Gonzalez Sierra^{2*},

¹Estudiante de Maestría en "Manufactura Avanzada" del Centro Público de Investigación Tecnológica, CIATEQ.

*e-mail ajgonza227@gmail.com

Resumen

La ubicación de los productos dentro del almacén afecta directamente el costo total de las actividades de manejo de mercancías. En este sentido es necesario lograr un equilibrio entre los costos de manejo y la utilización del espacio de almacén, el cual su función principal es mantener el producto bajo resguardo evitando daños o pérdidas del mismo. Por ello, al realizar el diseño total del almacén, existe una serie de factores a considerar en cuanto al espacio y estructura del almacenamiento; un almacén no tiene la capacidad de respuesta inmediata para surtir un producto, además los tiempos de estancia del producto en los estantes dependerá de varios factores como estacionalidad, demanda, entre otros. El seguimiento de los productos de la cadena de distribución es fundamental para controlar los costos, incrementar la productividad y aumentar la satisfacción del cliente. En este trabajo se desarrolla una metodología que permita tener una mejor eficiencia en los procesos logísticos de un centro de distribución.

Palabras clave: Cadena de suministro, Tecnología Industrial, Justo a Tiempos, Logística

Abstract

The location of the products within the warehouse directly affects the total cost of the management activities within it. In this sense, it is necessary to achieve a balance between the costs of management and the use of storage space, which its main goal is to keep the product under shelter avoiding the damage and time. Therefore, when making the total design of the warehouse, there are a number of factors to consider regarding storage space and structure; a warehouse does not have the capacity of immediate response to supply a product, in addition to the times of stay of the product in the dependent states of several factors such as seasonality, demand, among others. Monitoring the products of the distribution chain is essential to control costs, increase productivity and increase customer satisfaction. This work presents a methodology that allows to have a better efficiency in the logistic processes of a distribution center.

Key Words: Supply Chain, Industrial Technology, Just in Time, Logistics

7. Introducción

Hace algunos años, se definía que el almacén “no agregaba valor al negocio” y era debido a que el objetivo principal se enfoca en la optimización del espacio y en dotar de medios de manipulación de cargas normalmente a gran altura y con volúmenes de productos y trabajo, es decir baja demanda de los clientes y rotación de inventarios; hoy en día esa definición ha evolucionado a la de Centro de Distribución, un complejo logístico que se ha convertido en el último obstáculo antes del punto de venta o del cliente incluso [1].

En un Centro de Distribución la optimización se enfoca en un eficiente flujo de materiales, utilizando tecnología de administración de operaciones y en la optimización de la mano de obra [2].

Por tal motivo un centro de distribución toma vital importancia en la administración de la cadena de suministros, debido a su diseño (layout) y a la eficiente capacidad de respuesta que se pueda tener para alcanzar a satisfacer las demandas del Cliente.

La mayoría de las empresas consideran ésta área como parte fundamental de su permanencia en el Mercado. En el estado de San Luis Potosí por ser punto estratégico y logístico en la estructura de abastecimiento en México es imprescindible que los centros de distribución tengan estructuras funcionales que permitan poder atender las demandas de los clientes en el menor tiempo posible.

El centro de distribución es un espacio creado para mantener una eficiencia operativa dentro y fuera, está constituido con nuevas herramientas tecnológicas que admiten la administración interna del flujo de producto lo cual incluye todas las áreas (recibo, almacenamiento, surtido, embarque y control de inventarios).

Existen empresas que al carecer de una estructura interna adecuada de manejo de materiales no pueden cumplir con los requerimientos de entrega de los clientes, por citar un ejemplo las empresas automotrices trabajan con un programa JIT (Just in Time) o secuenciales, lo que obliga a aquellas empresas que son abastecedoras de estos proveedores a tener una logística precisa y eficiente para poder cumplir con dichos requerimientos, sino de otra manera se incurren en costos adicionales por multas de entregas fuera de tiempo e inclusive se podría perder el negocio de abastecimiento. De hecho se tienen clientes que

generan sus propias órdenes de recibo las cuales contienen días y horarios específicos para poder recibir el producto solicitado, en caso de que no se cumplan con los mismos el producto es rechazado y re-agendado para entregar en un tiempo posterior, lo cual puede influir en un desabastecimiento para el cliente final y por ende el producto se encarece por no estar disponible para venta.

Se ha detectado que el tipo de producto, transporte y tiempo de entrega tienen que ser considerados como variables no controlables por un centro de distribución, no obstante es preciso conocer sus implicaciones dentro de la cadena de suministro.

8. Método y caso aplicativo

La logística externa puede ofrecer medición de costo y ventajas de eficiencia sin pasar por alto las dificultades inherentes en la implementación adecuada en la práctica de manera consistente [3]. En la siguiente Tabla 2.1 se aprecia en forma global los costos inherentes a una operación de un centro de distribución.

Costos de Operación en Centros de Distribución	
Estadísticas Mundiales	
Mano de Obra	45.70%
Almacenamiento	21.50%
Servicios Públicos	4.40%
Equipos	6.90%
Materiales	8.30%
Otros	13.10%

Tabla 2.1 Costos de Operación en Centros de Distribución

Por otro lado un centro de distribución toma un rol del flujo del inventario en el tiempo, se enfoca en un rápido flujo de materiales y en la optimización de la mano de obra con el fin de reducir el costo asociado con el almacenamiento de altos niveles de inventario y mejorar el servicio para cumplir con las expectativas de los clientes. El centro de distribución es una forma de almacenamiento de productos para una demanda futura, la funcionalidad y contribución de un centro de distribución excede lo que tradicionalmente hace un almacén [5]. En la Tabla 2.2 muestran las diferencias existentes entre las principales características de un almacén y un centro de distribución:

Característica	Almacén	Centro de Distribución
Función Principal	Gestiona el almacenaje y manipulación del inventario	Gestiona el flujo de los materiales
Operador	Espacio e Instalaciones	Mano de obra
Ciclo de Pedido	Meses, semanas	Días, horas
Actividades de Valor Añadido	Puntuales	Forma Parte intrínseca del proceso
Expediciones	Baja demanda del cliente	Demanda de Envíos
Rotación de Inventario	3,6,12 meses	24,48,96,120 meses

Tabla 2.2 Diferencia entre almacén y Centro de Distribución [5].

Las Tecnologías de la Información y Comunicaciones (TICs), se han convertido en un medio para aumentar la eficacia y eficiencia en el manejo de almacenes, por lo cual se deben considerar como una herramienta indispensable para su gestión.

Los procesos que configuran la gestión de almacenes son:

- Recibo, control e inspección
- Almacenamiento

- Surtido de Órdenes
- Embalaje y despacho

En la Tabla 2.3 se puede observar de manera más detallada la diferencia entre cada operación, lo cual nos permite una gestión independiente de cada una de ellas (Gestión de almacenes y tecnologías de la información y comunicación (TIC)) [6].

Recepción, control e inspección	Almacenamiento
<ul style="list-style-type: none"> • Descargar el camión y registrar los productos recibidos. • Inspeccionar cuantitativa y cualitativamente, los productos recibidos para determinar si el producto cumple o no con las condiciones negociadas. • Distribuir los productos para su almacenamiento u otros procesos que lo requieran. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ubicar los productos en las posiciones de almacenamiento. • Dentro de la organización del almacén, se debe considerar la categorización ABC, la cual prioriza las posiciones y productos por nivel de rotación. • Almacenar el producto en el área de reserva o recuperación rápida • Guardar físicamente los productos hasta que sean solicitado por el cliente.
Preparación de pedidos	Embalaje y despacho
<ul style="list-style-type: none"> • Consiste en la preparación y adecuación de las órdenes de pedidos para atender las necesidades de los clientes. • Recuperación de los productos desde su ubicación de almacenamiento para preparar los pedidos de los clientes. • Establecimiento de políticas acerca de diseño y distribución de la zona de preparación de los pedidos, según las características de órdenes y clientes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Checar, empacar y cargar los vehículos en el medio de transporte. • Establecer políticas para ubicar las unidades de carga en camiones en la zona de carga. • Preparar los documentos de despacho, incluyendo las facturas, lista de chequeo, etiqueta con dirección de entrega entre otros.

Tabla 2.3 Principales actividades en cada uno de las operaciones

Para optimizar su mantenimiento y manejo, es necesario definir sistemas de almacenamiento adecuados, los cuales son resultado de la mezcla de equipos y métodos de operación utilizados en un ambiente de almacenaje y recuperación de productos [7].

Como resultado de un incremento de la cantidad de envíos, muchas instalaciones logísticas tales como terminales, centros de distribución o áreas de producción alcanzan el límite de su capacidad de desempeño dentro de la cadena de abastecimiento. Para fortalecer la productividad de las instalaciones métodos científicos pueden ser aplicados para incrementar la capacidad de utilización [8].

En este punto considerar el layout sugiere una apropiada disposición de cada elemento que conforma una instalación logística; el layout debe asegurar el modo más eficiente para manejar los productos que en él se almacenen.

Dentro del layout se tienen que considerar la estrategia para el recibo y salida de productos, así como el arquetipo de almacén tiene que ser el más efectivo de acuerdo a las características de los productos; tiene que considerar el tipo de equipo de transporte interno, rutas, niveles de inventario, rotación de los productos, entre otros.

2.1 Clasificación de los centros de distribución en función de la centralización de sus operaciones y flujo lineal.

Los Centros de Distribución se pueden clasificar en:

- a) Centro de Distribución Centralizado.
- b) Centro de Distribución No Centralizado.

Una administración centralizada de un centro de distribución (HQ-CDC por sus siglas en inglés) es considerada en este estudio para servirle a múltiples subsidiarias con demanda estocástica. El espacio dedicado está reservado para la duración de un periodo de tiempo con la reasignación permitida al principio de cada periodo. Las subsidiarias también permiten cubrir sus necesidades de almacenamiento suplementario de sus espacios reservados con espacios rentados en cualquier momento pero su costo sería elevado [9]. En este tenor las oportunidades de la centralización son:

- Incrementar la rotación.
- Reducir el costo de ordenar.
- Mejor control de calidad y servicio.
- Mayor productividad en las operaciones de surtido, despacho y recibo.
- Disminución en los tiempos de entrega.

Por otro lado cuando se tienen centros de distribución no centralizados se tienen que tomar en cuenta lo siguientes aspectos que podrían traer un bajo nivel de servicio al cliente final:

- Incremento en los costos de transporte.
- Incremento en costos de servicio.
- Incremento a la posibilidad de baja existencia.

Las fluctuaciones del costo y las demandas de los clientes complica a las firmas responder a las condiciones de mercado efectivamente y causa pérdidas de ganancias y de clientes, el proceso de la cadena de abastecimiento, los productos deben de ser entregados a los clientes en el menor tiempo posible y estas entregas tienen que ser procuradas con un mínimo de números de stocks. La distribución para cantidades pequeñas de los productos en un rango amplio de variedad tiene que ser con mayor frecuencia y más rápido [10].

Para que esto se logre se tiene que hacer un análisis del movimiento del producto en aquello que tiene más demanda y tenga una localización preestablecida que se encuentre en la ruta lógica de surtido, de tal manera que el surtido sea expedito y certero; esto conlleva a tener una mejor eficiencia y control sobre los mismos, es claro que es muy dinámico dado que algunos productos se venden de acuerdo a la estacionalidad o a la época, por lo que se tiene que anticipar estas situaciones para que se encuentre listo el producto en la localización correcta antes de que se vaya a surtir, como ejemplo la temporada escolar, las empresas que se dedican a producir los artículos escolares tienen que prever que tienen que estar enviando el producto con dos meses de anticipación, entonces el centro de distribución tiene que asignar localizaciones y zonas específicas para que el flujo de materiales sea idóneo y la eficiencia no se vea afectada.

En este contexto los recorridos lineales aplican cuando existen dos plataformas de recibo, una en la cual se reciben las mercancías y otra, ubicada en el extremo opuesto de la primera, para el despacho de los pedidos.

En la Figura 2.2 se puede observar el flujo lineal que siguen los materiales desde los muelles de recibo hasta los muelles de despacho que se encuentran en zonas totalmente opuestas, en este modelo se separan ambas zona de descarga y carga en forma lineal teniendo entre ellas las áreas de almacenamiento.

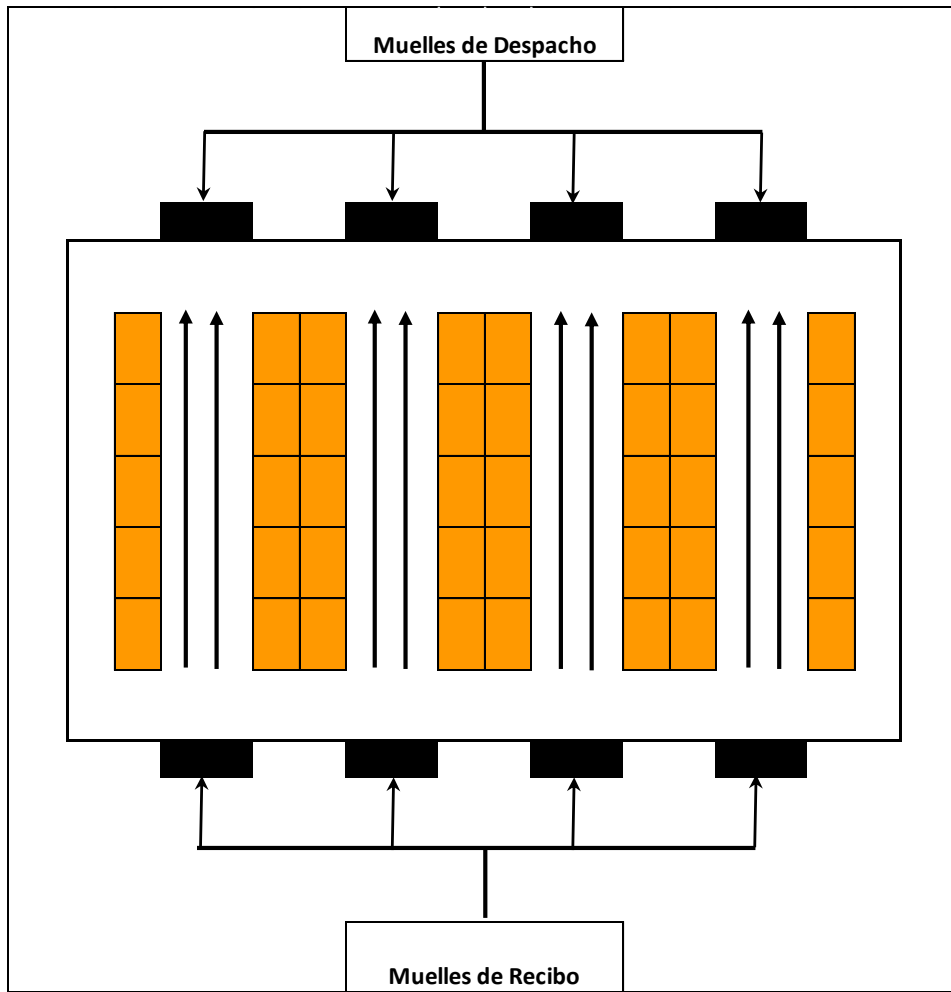


Figura 2.2 Ejemplificación de un modelo de flujo lineal

El recorrido en U debe emplearse cuando los muelles de salida de producto están ubicados de forma continua a los muelles de recibo, por lo que el centro de distribución tiene una sola plataforma de carga y descarga.

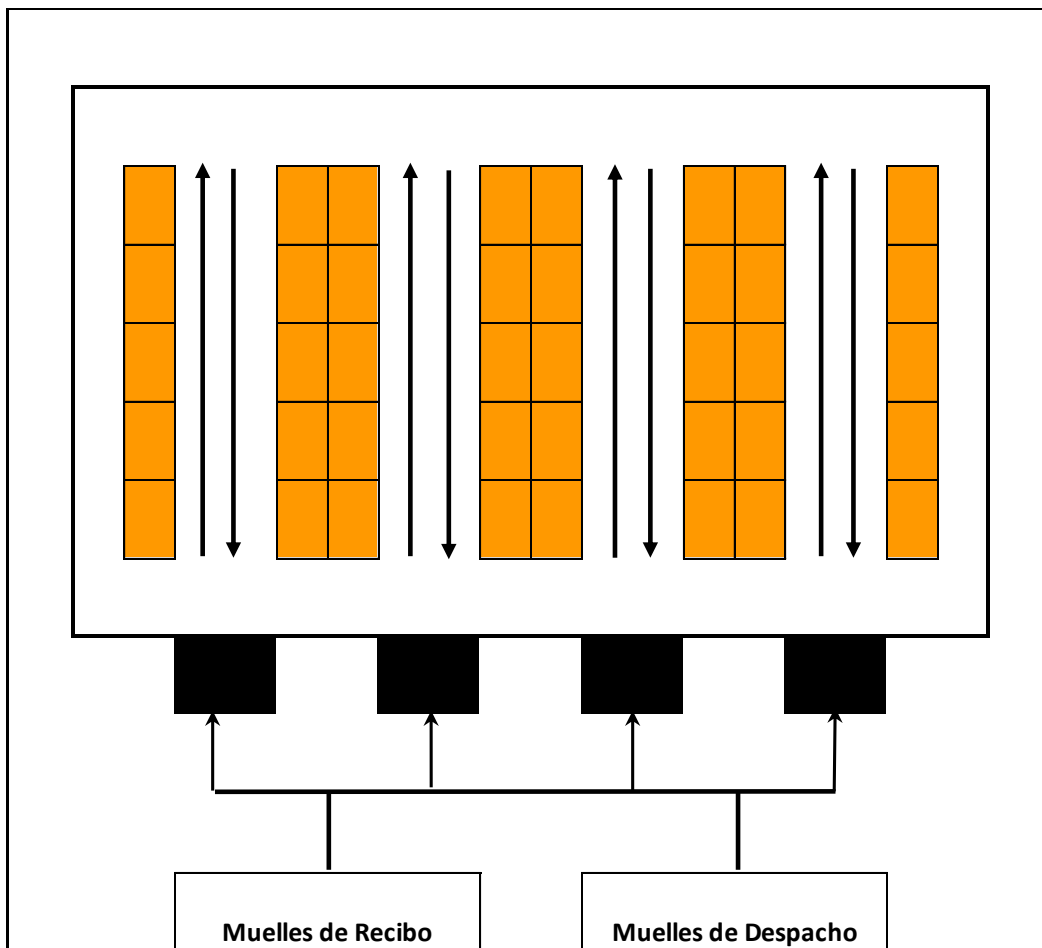


Figura 2.3 Ejemplificación de un modelo de flujo tipo "U"

Basado en los procesos que configuran la gestión de almacenes se procedió a analizar solo tres de ellos, los cuales abarcan el estudio de esta investigación:

1. Recibo y control
2. Almacenamiento
3. Surtido de Órdenes

Se analizaron los procesos arriba citados que interactúan en las operaciones del centro de distribución con operaciones muy manuales y susceptibles al error humano causando un impacto negativo en las operaciones y en la satisfacción de nuestros clientes.

El procedimiento de investigación consistió en examinar las variables que se puedan controlar dentro de cada operación con el fin de poder eficientizar los procesos, por ejemplo la ubicación de las ubicaciones de almacenaje que define la capacidad de almacenamiento, capacidad de carga, algunas localizaciones se añadió el nombre de direcciones primarias y se hizo un cruce con los productos de mayor movimiento, lo que permitió que cuando se hiciera un resurtido de localizaciones, este tipo de ubicaciones siempre tuviera producto.

Para el caso de *Recibo y Control* como su nombre lo indica es aquel que permite ingresar al almacén los productos que pueden estar disponibles para ser comercializados.

La descripción general se enlista a continuación:

- 1.- ¿El producto tiene pedimento de importación y concuerda la descripción del producto con la factura?
- 2.- El producto se acondiciona para ser ingresado al almacén, es decir puede que requiera ser etiquetado para cumplir alguna norma o algún requerimiento interno.
- 3.- Se deja el producto junto con un ticket que contiene descripción y cantidad.
- 4.- El acomodador toma el producto y busca alguna localización disponible para almacenarlo.
- 5.- Una vez que localiza la localización procede a escanear la ubicación del rack y el código de barras de ticket impreso introduciendo la cantidad en forma manual al tracker.

6.- El trakker se tiene que conectar a la computadora para descargar la información dado que tiene cierto límite de almacenamiento.

7.- El producto está disponible para venta.

9. Resultados

El procedimiento que realizan los almacenistas sugiere que recibían el producto y se tiene que cotejar el recibo contra tickets previamente impresos con código de barras de acuerdo al pedimento aduanal en donde la información contenida daba referencia a la cantidad y pedimento y descripción de producto. Una vez que era revisada esta información, el producto se dejaba listo para ser acomodado en un espacio.

Cuando el almacenista tiene que acomodar este producto se le asigna cualquier localización disponible y/o dependiendo de su experiencia el lugar donde podría ponerse o simplemente recordar la existencia de un producto similar para reacomodarlo.

Una vez que se acomoda el producto se escaneaba el código de barras en un dispositivo portátil (trakker) el cual tiene que conectarse a una computadora 2 o 3 veces al día para descargar la información y actualizar los inventarios, con lo cual el producto quedaría disponible para venta; esta actividad tenía consigo tiempos perdidos porque la descarga llevaba alrededor de 3 a 5 minutos.

Esta operación no permitía tener un aprovechamiento de espacio y además dejaba el producto esparcido por el centro de distribución, dado que dependía de la disponibilidad de espacios para almacenar el producto y con los recorridos largos y lentos dentro del centro de distribución generaba ineficiente la operación.

El tiempo invertido en la operación de acomodo traía consigo que el departamento de control de inventarios pudiera tener discrepancias , porque si dentro de sus conteos cíclicos le tocaba revisar este producto y el acomodador realizo una compactación de producto en un espacio donde previamente ya existía producto, entonces la persona que cotejaba la cantidad que el sistema visualizaba tener en este espacio específico no era igual a la que físicamente se revisó previamente, y esto era debido a que el dispositivo portátil (trakker) no había descargado al sistema aún, esto formaba más carga de trabajo dado que el analista tenía que verificar con el área de recibo si tenía información pendiente de descargar y ver si dentro de esta información estaba el producto en cuestión, esto hubiera sido sencillo si solo existiera un acomodador pero no era así y por lo tanto la operación de control de inventario resulta muy lenta e ineficaz.

Inicialmente el centro de distribución tenía una acomodación tal y como se puede apreciar en la Figura 3.1 la cual tenía un orden con respecto al peso y dimensión del producto sin considerar su velocidad de movimiento, en este sentido se intentó almacenar el producto de bajo movimiento en lugares que afectaban la eficiencia de surtido, teniendo que hacer el recorrido completo dentro de los pasillos y a través de todo el centro de distribución para

surtir una sola orden en este contexto el recorrido podía llegar entre 400 y 500 metros lineales sin considerar las veces que el almacenista tenía que elevarse con su montacargas para llegar a aquellas localizaciones que estaban fuera de alcance promedio de una persona; esto se puede apreciar en la Figura 3.2.

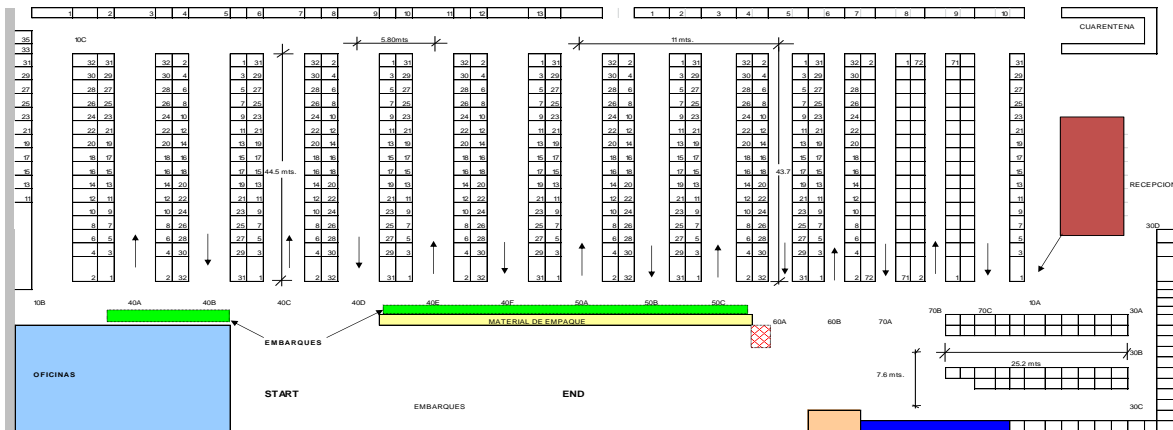


Figura 3.1 Esquema del acomodo de los racks dentro de un centro de distribución

En la Figura 3.2 se puede observar que los niveles A y B son niveles accesibles en donde se pueden acomodar y surtir productos más rápidamente.

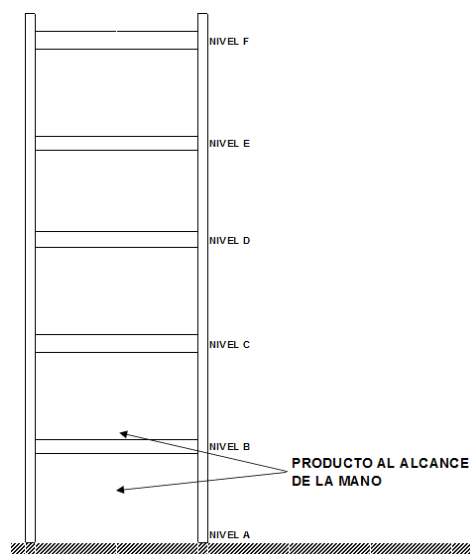


Figura 3.2 Ilustración de un rack normalmente utilizado en el acomodo de producto en un centro de distribución.

3.1 Almacenamiento

Este proceso se refiere a la actividad de mantener el producto bajo resguardo tanto en cantidad específica por producto (control de inventarios) como en la calidad de los empaques, los cuales tienen que estar libres de cualquier daño.

La descripción general sugiere:

- 1.- El almacén tenía localizaciones con código de barras.
- 2.- El acomodador busca alguna localización para acomodar el producto es decir invierte tiempo tratando de localizar una ubicación.
- 3.- El acomodador colocará el producto en cualquier localización provocando que si el producto es de alto movimiento este pudiera quedar almacenado a una altura diferente o en la parte más lejana del área de empaque.

El proceso de almacenamiento dependía en gran medida de la experiencia del personal y de la disponibilidad de espacios, lo que hacía un proceso muy ineficiente porque toda la responsabilidad quedaba en manos de los almacenistas, para que un centro de distribución pueda operar satisfactoriamente tiene que tener por lo menos un 15% de espacio utilizable para poder maniobrar, como se puede observar en la Figura 3.3 a finales del 2013 donde un uso total del 90.45% ocasionaba problemas de recibo y acomodo de materiales, porque el almacenista tenía que invertir tiempo en visualizar en el sistema donde existía producto similar al que iba a recibir para revisar la posibilidad de reacomodar el producto y de esta manera utilizar donde hubiese espacio

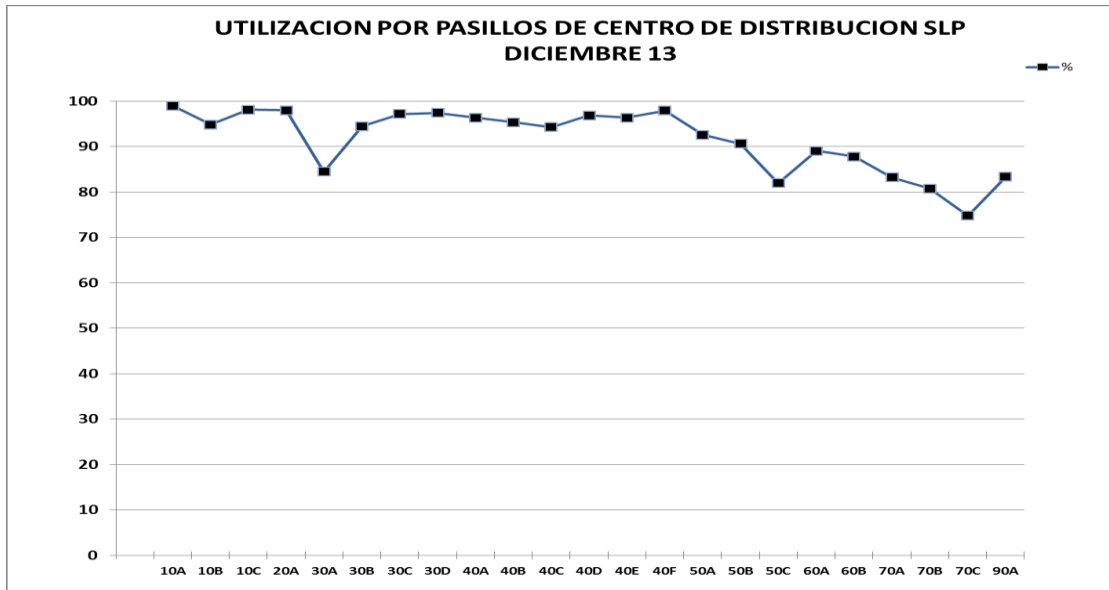


Figura 3.3 Medición de utilización de capacidad por pasillos dentro de un centro de distribución.

En la figura 3.3 se puede observar la utilización por pasillo, lo cual visualiza que la operación no fuera eficiente por la falta de espacio para acomodar producto, esta gráfica se obtiene de restar el número de las ubicaciones vacías del total de las ubicaciones que tiene dicho pasillo y a su vez esta cantidad dividirla entre el total de las ubicaciones de dicho pasillo para obtener el porcentaje:

- Pasillo 40A
- Ubicaciones: 384
- Ubicaciones Vacías: 19
- Utilización por pasillo = $(\text{Ubicaciones Totales} - \text{Ubicaciones Vacías}) / (\text{Total de Ubicaciones del Pasillo})$
- Utilización por pasillo = $(384 - 19) / (384) = 95.05\%$ de utilización del pasillo 40A.

Esto quiere decir que solo se tiene libre el 5% del pasillo para hacer acomodados.

3.2 Surtido de órdenes

- 1.- Se generan tickets de surtido en papel.
- 2.- Se asignan por operador tratando de distribuir la misma carga de trabajo para todo el personal.
- 3.- Los tickets de surtido contienen la siguiente información:
 - a) Número de parte;
 - b) Descripción del producto;
 - c) Localización donde se encuentra ubicado el producto;
 - d) Cantidad a surtir;
 - e) Nombre del cliente.
- 4.- El surtidor elude dichos tickets de acuerdo a su experiencia colocando en primera instancia aquellos tickets que contenían partes pesada y/o voluminosas hasta llegar a partes frágiles y/o de tamaño pequeño, esto con la finalidad de que las piezas pesada se colocarán en la parte baja de los contenedores y dichos contenedores se fueran llenando hasta que en la parte superior solo existieran partes pequeñas y/o frágiles.
- 5.- Una vez que se realiza esta separación de tickets, el surtidor se dirige a recolectar el material, no importando la distancia que se asumiera que recorrer y/o la altura que se tuviera que desplazar para poder tomar el material.
- 6.-Al estar en la ubicación que el ticket hace mención el surtidor toma el producto y lo coloca en el contenedor y así sucesivamente hasta que termina de surtir dicha orden.
- 7.- Al finalizar deja el contendor en el área de empaque.

El proceso de la generación de las órdenes se hace a través de la asignación automática del sistema y realiza la selección del producto a surtir de acuerdo al número de parte y a la localización donde se encuentre ubicado, posteriormente se imprimen los tickets de surtido

en etiquetas de papel, los tickets de surtido se asignan a los empleados para que comenzarán con el proceso de surtido del producto.

Este transcurso era muy lento y poco eficiente dado que la asignación se realiza de acuerdo al método PEPS (primeras entradas – primeras salidas), y no necesariamente las ubicaciones que contenían el producto estaban en una forma ordenada, esto se muestra en la Figura 3.4 que permitiera al personal hacer un barrido ordenado y eficiente del surtido, otra desventaja de llevar a cabo esta actividad fue que el error humano jugaba un papel muy importante, porque si existe fatiga o cansancio en el empleado, esto traer consigo que se pudiera tomar producto de otra localización aún y cuando no fuera el mismo y/o podría tomar cantidad diferente que repercutiría en la calidad del servicio y en una mala satisfacción por parte del cliente final, cabe mencionar que todo mercado es muy sensible a estas fallas, si el cliente no recibe, o recibe incompleta su orden o no recibe el producto que solicitó podrá tener problemas subsecuente, ejemplifiquemos un caso, las plantas armadoras que trabajan a través de JIT , pues bien, ¿qué pasaría si no les llega una parte que será asignada a la próxima corrida de producción y que esta parte es fundamental para que el componente final funcione o quede armado para continuar dentro de la línea de producción? pues resultaría en que la planta tendrá que hacer ajustes o cambiar de modelo a producir, pero aquí no acaban el problema ya que a su vez la planta manufacturera ya tiene convenios de tiempo de entrega y al final del proceso tampoco podrán cumplir el pedido lo que generaría cierta molestia y/o desconfianza del cliente final porque no se cumplió con el plazo requerido, esto fue generado por no surtir o surtir equivocado un producto.



Figura 3.4 Esquemización del flujo de direcciones dentro de un centro de distribución y acomodo de los racks de acuerdo a peso y dimensiones del producto.

3.3 Propuesta para eficientizar el flujo de productos dentro de un centro de distribución.

En la Figura 3.5 se puede apreciar la hoja de control para que todas las asignaciones de los espacios de acuerdo a su volumen se almacenen los productos y así de esta manera evitar que existieran problemas al momento con el personal que estuviera haciendo sus actividades físicamente.

Pas.	loc.	Nivel	Code	Up date	Pas.	loc.	Nivel	Code	Up date	Pas.	loc.	Nivel	Code	Up date	Pas.	loc.	Nivel	Code	Up date	Pas.	loc.	Nivel	Code	Up date
40A	1 A	A		Ok	40B	1 A	A		Ok	40C	1 A	A		Ok	50A	1 A	F		Ok	60A	1 A	F		Ok
40A	1 B	B		Ok	40B	1 B	B		Ok	40C	1 B	B		Ok	50A	1 B	A		Ok	60A	1 B	A		Ok
40A	1 C	C		Ok	40B	1 C	C		Ok	40C	1 C	C		Ok	50A	1 C	B		Ok	60A	1 C	B		Ok
40A	1 D	D		Ok	40B	1 D	D		Ok	40C	1 D	D		Ok	50A	1 D	C		Ok	60A	1 D	C		Ok
40A	1 E	E		Ok	40B	1 E	E		Ok	40C	1 E	E		Ok	50A	1 E	D		Ok	60A	1 E	D		Ok
40A	1 F	F		Ok	40B	1 F	F		Ok	40C	1 F	F		Ok	50A	1 F	E		Ok	60A	1 F	E		Ok
40A	2 A	A		Ok	40B	2 A	A		Ok	40C	2 A	A		Ok	50A	1 G	F		Ok	60A	1 G	F		Ok
40A	2 B	B		Ok	40B	2 B	B		Ok	40C	2 B	B		Ok	50A	1 H	F		Ok	60A	1 H	F		Ok
40A	2 C	C		Ok	40B	2 C	C		Ok	40C	2 C	C		Ok	50A	2 A	F		Ok	60A	1 J	F		Ok
40A	2 D	D		Ok	40B	2 D	D		Ok	40C	2 D	D		Ok	50A	2 B	A		Ok	60A	1 K	F		Ok
40A	2 E	E		Ok	40B	2 E	E		Ok	40C	2 E	E		Ok	50A	2 C	B		Ok	60A	2 A	F		Ok
40A	2 F	F		Ok	40B	2 F	F		Ok	40C	2 F	F		Ok	50A	2 D	C		Ok	60A	2 B	A		Ok
40A	3 A	A		Ok	40B	3 A	A		Ok	40C	3 A	A		Ok	50A	2 E	D		Ok	60A	2 C	B		Ok
40A	3 B	B		Ok	40B	3 B	B		Ok	40C	3 B	B		Ok	50A	2 F	E		Ok	60A	2 D	C		Ok
40A	3 C	C		Ok	40B	3 C	C		Ok	40C	3 C	C		Ok	50A	2 G	F		Ok	60A	2 E	D		Ok
40A	3 D	D		Ok	40B	3 D	D		Ok	40C	3 D	D		Ok	50A	2 H	F		Ok	60A	2 F	E		Ok
40A	3 E	E		Ok	40B	3 E	E		Ok	40C	3 E	E		Ok	50A	3 A	F		Ok	60A	2 G	F		Ok
40A	3 F	F		Ok	40B	3 F	F		Ok	40C	3 F	F		Ok	50A	3 B	A		Ok	60A	2 H	F		Ok
40A	4 A	A		Ok	40B	4 A	A		Ok	40C	4 A	A		Ok	50A	3 C	B		Ok	60A	2 J	F		Ok

Figura 3.5 Hoja de control para la modificación de cada ubicación de acuerdo a su dimensión, nivel y código de movimiento.

Una vez que se actualizaron estas ubicaciones en el sistema del centro de distribución se procedió con su identificación en cada uno de los espacios físicamente.

En el sistema cada una de las localizaciones como se pudo observar anteriormente se procedió a realizar un análisis de la demanda del producto se puede visualizar en la figura 3.6 para determinar cuánto producto y que tipo de producto se tenía que almacenar en dichos espacios, además representa el estudio de demanda por movimiento, esta información es la base para poder desarrollar el proyecto de asignación, compactación y reabastecimiento de producto.

ITEM ID	12 MTH LINES	12 MTH DEMAND	BIN LOCATION	GROSS ONHAND	Lines by month	Pieces by month
ACX1852	349	3250	50A	425	17	155
AL1071	26	84	60B	15	1	4
AL1072	34	134	60A	44	2	6
AL1073	32	120	60A	34	2	6
AS1032	28	87	50B	55	1	4
AS1040	139	635	40F	204	7	30
AS3000	55	216	60A	68	3	10
AS3016	20	42	70B	27	1	2
ATV3K	18	31	70A	13	1	1
A1-1805S149	74	371	50C	144	4	18
A1000S	19	47	40C	9	1	2
A1199P1394	101	1100	60A	243	5	52
A1205A1925	100	545	60A	103	5	26
A1205B1926	146	1067	50C	213	7	51
A1205D1928	31	55	60B	15	1	3
A1205G2425	24	68	60A	0	1	3
A1205K1285	152	3478	40E	938	7	166
A1205L1338	171	333	40E	1015	8	16
A1205N2588	28	75	50C	54	1	4
A1205P1368	122	790	50C	108	6	38
A1205P191	142	851	50C	136	7	41
A1205P2590	22	54	60A	32	1	3

Figura 3.6 Hoja que representa la demanda de movimiento del producto

Con esta información se procedió a segmentar el centro de distribución por secciones, de tal manera que no se tuviera que recorrer todo el almacén, se consideró para interpretar el análisis numérico (campana de Gauss) la cual representa gráficamente la distribución normal de un grupo de datos de la figura 3.6, por lo que la probabilidad de acomodo y surtido de piezas quedó concentrado debajo de esta distribución, lo cual traerá mejor control de inventario porque el producto se estará limitando a un cierto espacio más reducido y controlado; la dispersión de los errores tiende a ser reducida.

Como se puede observar en la Figura 3.7 se muestra una representación gráfica de la composición de la distribución normal dentro de un centro de distribución.

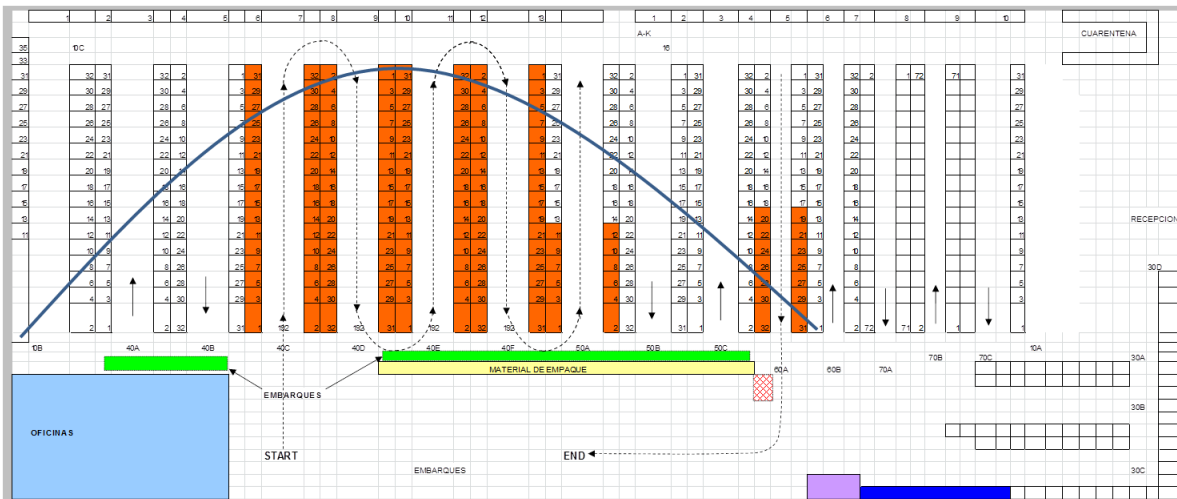


Figura 3.7 representación esquemática de la distribución normal para maximizar la eficiencia de acomodo, surtido y exactitud de inventarios.

Los racks se procedieron a marcar o etiquetar en varios colores como se muestra en la Figura 3.8, con esta ayuda visual el personal puede determinar el tipo de material que ahí estaría almacenado de tal manera que la velocidad del producto fuera fácilmente identificable:

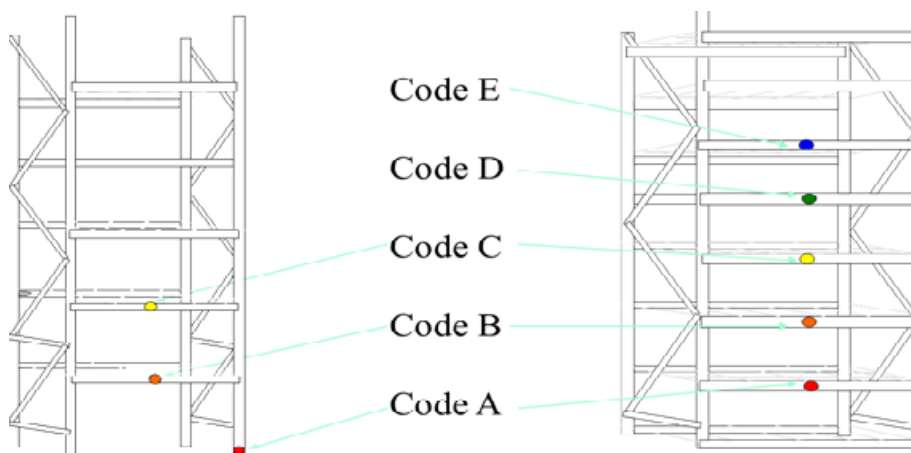


Figura 3.8 Representación esquemática de unos racks con su ayuda visual.

Como se puede apreciar, los códigos están colocados de igual manera, solo que en los pasillos en donde el producto a colocar y surtir es de dimensiones menores, se tiene más localizaciones disponibles. Como se puede observar los códigos A, B y C son los que están al alcance del personal para que puedan ser manipulados con mayor rapidez y facilidad.

Se procedió a realizar los movimientos necesarios de producto en donde se pudieran cruzar los códigos de velocidad de las localizaciones contra los códigos de velocidad del producto Tabla 3.9.

En la tabla 3.9 existen tanto localizaciones como productos que están fuera de su lugar, los cuales se pueden observar en la columna mismatched, después de hacer un programa de movimientos para reducir el índice de error entre la velocidad del producto y la velocidad de la localización.

40 D								
Vel/Loc	A	B	C	D	E	F	Total	Mismatched
A	20	10	2	1			33	1%
B	8	10	6	2	2	1	29	4%
C	6	14	5	3	4	8	40	7%
D	23	12	10	12	4	10	71	13%
E	3	8	6	9	5	8	39	4%
F	0	0	0	0	0	0	0	0%
G	11	11	8	14	15	12	71	8%
N	1						1	0%
Total	72	65	37	41	30	39	284	
Mismatched	5%	7%	5%	8%	7%	7%		

Tabla 3.9 Se observa el cruce de velocidad de producto versus localizaciones y el porcentaje área asignada

En la Tabla 3.10 se puede observar cómo se corrigió este comportamiento del cruce de localizaciones contra el código del producto.

40 D									
Vel/Loc	A	B	C	D	E	F	Total	Mismatched	
A	22	11	0	0	0	0	33	0%	✓
B	14	15	0	0	0	0	29	0%	✓
C	14	26	0	0	0	0	40	0%	✓
D	38	33	0	0	0	0	71	0%	✓
E	0	0	0	16	25	0	41	0%	✓
F	0	0	0	9	9	4	22	0%	✓
G	0	0	0	8	0	39	47	0%	✓
N	0	0	0	0	1	0	1	0%	✓
Total	88	85	0	33	35	43	284		
Mismatched	0%	0%	0%	12%	12%	15%			

Tabla 3.10 Visualización del cruce de velocidad de producto versus localización sin margen de error, lo que indica que el producto está en su ubicación correspondiente.

Por último en la tabla 3.11 se resume las mejoras que se realizaron antes y después de este trabajo.

Indicadores de Mejora			
Operación	Medición antes del proyecto	Medición después del proyecto	Mejora
Utilización de Espacio de Almacenaje	90.4%	80.0%	12%
Exactitud de Inventario (promedio anual)	97.3%	99.99%	3%
Líneas acomodadas	190 Líneas	269 Líneas	42%
Recorrido de surtido	798 metros	354.4 metros	44%
Líneas surtidas por turno	1,578 Líneas	2,367 Líneas	50%
Errores de surtido DPU (Defecto por unidad)	0.0037	0.0022	59%
Líneas surtidas sin error	271	439	62%
Líneas de reabasto a "Home Slots"	134 Líneas	175 Líneas	31%
Tiempo extra	2% del costo de operación	0% del costo de operación	

Tabla 3.11 Indicadores de mejora antes y después de realizar este trabajo.

2. **Discusión y Conclusión**

Este trabajo fue diseñado utilizando los conceptos de Lean Manufacturing como una transformación cultural si se pretende que sea duradera y sostenible; es un conjunto de técnicas centradas en el valor añadido y en las personas.

Con la implementación en las áreas de operación puede obtener mejoras en cada uno de los procesos de los centros de distribución dado que todos y cada uno de ellos están basados en los mismos parámetros de medición; en este sentido la propuesta no viene a contraponerse con ninguna publicación, más bien sumar diferentes formas de analizar los procesos.

La calidad del servicio hacia los clientes se verá incrementada y por ende la competitividad y posición del mercado de la empresa se beneficiará por que el cliente tendrá una confiabilidad total en la calidad del proceso. La rentabilidad y eficiencia permitirá en un futuro cercano la inclusión e implementación de nuevas tecnologías para disminuir la variabilidad del proceso.

La idea entonces es colaborar con índices de medición con el fin de poder incrementar la eficiencia a través de la eliminación de actividades que no agreguen un valor al proceso, por lo tanto se tiene que incluir la mejora continua como parte integral de una nueva cultura de trabajo.

Esta propuesta puede coadyuvar con los requerimientos de las plantas automotrices particularmente instaladas en el estado de San Luis Potosí y que trabajan bajo la metodología JIT, por lo que se podrá tener un mejor nivel de respuesta y satisfacción si se aplica de acuerdo a la metodología propuesta a los procesos internos de cada uno de los centros de distribución.

Referencias

- [1] Gal, D. Cinco claves para una excelente gestión de un centro de distribución. [En línea] 25 de 05 de 2012. [Citado el: 7 de 06 de 2015.] <http://www.esan.edu.pe/conexion/actualidad/2012/05/25/claves-gestion-centro-de-distribucion-logistica/>.
- [2] Sal, B. Diseño y Layout de almacenes y centros de distribución. Colombia: <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/gestión-de-almacenes/diseño-y-layout-de-almacenes-y-centros-de-distribución/>, 2016.
- [3] Nee, B, Meh, M y Cha, (2014), “A Supply Chain and Logistics For The Present Day Business.. s.l. : PROCEDIA. 665-675.
- [4] Far, O y Aka, G (2006).Innovation and Creativity on Logistics besides TRIZ Methodolgy.: Procedia. 724-729.
- [5] Keller, S., & Keller, B. C. (2013). The Definitive Guide to Warehousing: Managing the Storage and Handling of Materials and Products in the Supply Chain. Pearson Education.
- [6] Gom, R y Can, J, (2010). “Gestión de almacenes y tecnologías de la información y comunicación (TIC). COR, A,. Colombia : Estudios Gerenciales, pp. 145-171.
- [7] Correa Espinal, A., Álvarez López, C. E., y Gómez Montoya, R. A. (2010). Sistemas de identificación por radiofrecuencia, código de barras y su relación con la gestión de la cadena de suministro. Estudios Gerenciales, 26(116).
- [8] Burston, J. (2013). Mobile-assisted language learning: A selected annotated bibliography of implementation studies 1994–2012..
- [9] Zhang, T., Huang, G. Q., Luo, H., & Zhong, R. (2014). Storage pricing and allocation in a headquarter-managed centralized distribution center. Procedia CIRP, 25, 33-38.
- [10] Cakmak, E., Gunay, N. S., Aybakan, G., & Tanyas, M. (2012). Determining the size and design of flow type and u-type warehouses. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 58, 1425-1433.

- [11] Hanchuan, P., Ruifang, W., Hao, D., & Feng, Z. (2013). The Research of logistics cost and influencing factors based on cross docking. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 96, 1812-1817. The Research of Logistics Cost and Influencing Factors.
- [12] Xing, M., Wang, Z., Cheng, G., & Zhang, Q. (2011). Study on location adjustment model of store area in distribution center based on shortest picking time. *Procedia Engineering*, 24, 604-609.
- [13] Moeller, K. (2011). Increasing warehouse order picking performance by sequence optimization. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 20, 177-185.
- [14] Rahman, N. A. A., Sharif, S. M., & Esa, M. M. (2013). Lean manufacturing case study with Kanban system implementation. *Procedia Economics and Finance*, 7, 174-180.
- [15] Argueta, C. M., Cardona, O. C. S., Albán, H. M. G., & Moreno, J. P. M. (2015). Análisis del tamaño de empaque en la cadena de valor para minimizar costos logísticos: un caso de estudio en Colombia. *Estudios Gerenciales*, 31(134), 111-121.
- [16] Mei, I, Ara, A y Lit, (2013), “La satisfacción de los clientes con un Sistema de calidad Logístico, *SOCIAL AND BEHAVIORAL SCIENCES*, pp. 330-340.
- [17] Zulfakar, M. H., Anuar, M. M., & Ab Talib, M. S. (2014). Conceptual framework on halal food supply chain integrity enhancement. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 121, 58-67
- [18] Kaynak, R., Koçoğlu, İ., & Akgün, A. E. (2014). The role of reverse logistics in the concept of logistics centers. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 109, 438-442.
- [19] Gobierno del Estado de San Luis Potosi. Secretaria de Desarrollo Económico de San Luis Potosi. [En línea] 15 de May de 2013. [Citado el: 12 de June de 2015.] <http://www.sdeslp.gob.mx/estudios/perfiles/Estado>.
- [20] San Luis Potosí, Secretaría de Comunicaciones y Transportes de Gobierno del Estado de San Luis. Secretaría de Comunicaciones y Transportes de Gobierno del Estado de San Luis Potosí. Secretaria de Desarrollo Económico. [En línea] 15 de May de 2013. [Citado el: 12 de June de 2015.] <http://sdeslp.gob.mx/estudios/perfiles/Estado>.
- [21] Lewandowski, K. (2014). 5 cases in the last 100 meters of delivery of goods. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 151, 183-195.



“CON TECNOLOGÍA Y ESPÍRITU UNA PATRIA FORJARÉ”®