

LA TEORÍA DE COLAS APLICADA EN LA MEJORA DEL SERVICIO EN UN DEPÓSITO DE MATERIALES

Agustín Gómez Urrutia, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología Universidad Nacional de Tucumán, agustin_gu@hotmail.com

Nancy Alves, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología Universidad Nacional de Tucumán, nalves@herrera.unt.edu.ar

Susana Chauvet, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología Universidad Nacional de Tucumán, schauvet@herrera.unt.edu.ar

Julieta Migliavacca, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología Universidad Nacional de Tucumán, jmigliavacca1981@gmail.com

Resumen

En el marco de la práctica profesional de un alumno de Ingeniería Industrial, surge este trabajo cuyo objetivo es poner en evidencia como la vinculación de la Universidad permite elevar propuestas de mejora en la atención a los clientes en un depósito de materiales, utilizando la teoría de colas.

Para lograr el objetivo se registraron los tiempos de llegada de los clientes, y los tiempos que tardan el personal en preparar los pedidos, que fueron utilizados para determinar el modelo de teoría de colas a utilizar.

Se formularon tres propuestas de mejora. La primera consiste en incluir un operario más en el depósito, la segunda realizar una nueva distribución de los productos y la tercera integra ambas propuestas.

Se realizaron simulaciones utilizando Matlab y una calculadora de Excel, y se compararon los valores obtenidos. Se concluyó que cualquiera de los dos softwares podía utilizarse, eligiéndose Excel por su simplicidad.

Simulada la teoría para la situación actual y las alternativas propuestas se obtuvo un tiempo de espera total de 38.91, 20.81, 25.57 y 17,59 minutos, respectivamente; de igual manera un tiempo de espera en cola de 22.07, 3,96, 10,24 y 2.26 minutos lo que evidencia que la propuesta 3 presenta los mejores resultados. A partir de estos valores se obtiene una disminución de tiempo de espera total de 54.8% y tiempo de espera en cola de 89.7 % con la tercera de las alternativas, trayendo beneficios para la empresa y los clientes al mejorar su atención.

Palabras clave— *teoría de colas, simulación, atención al cliente.*

1. Introducción

Las filas son un aspecto de la vida cotidiana que encontramos continuamente en diferentes actividades. En el supermercado en las cajas para pagar, en los bancos, en los

centros de pagos de servicios, etc., surgen cuando unos recursos limitados necesitan ser accedidos para dar servicio a un número elevado de clientes. La respuesta es casi siempre simple, en algún momento la capacidad de servicio se ve sobrepasada por la capacidad demandada. Esta limitación se puede eliminar invirtiendo en elementos que aumenten la capacidad, en estos casos las preguntas son ¿debo invertir en maquinaria?, ¿o debo hacerlo en un operario más?, ¿cambiar el modo de operación?

La teoría de colas intenta responder estas preguntas utilizando métodos matemáticos analíticos. Puede ser utilizada para resolver problemas sobre servicio de transporte como, por ejemplo, determinar el número de casillas de peajes necesarias para una autopista. Para resolver problemas de servicio comercial como, por ejemplo, el número de cajas en un supermercado o en un banco. Problemas de servicio interno en la industria y en los negocios, como ser el caso de estudio de este trabajo, de mejorar el servicio brindado a los clientes del depósito de materiales para la construcción.

La teoría de colas es el estudio de la espera en las distintas modalidades. Utiliza los modelos de colas para representar los tipos de sistemas de líneas de espera, sistemas que involucran colas de algún tipo que surgen en la práctica. Las fórmulas de cada modelo indican cuál debe ser el desempeño del sistema correspondiente y señalan la cantidad promedio de espera que ocurrirá en diversas circunstancias. Por lo tanto, estos modelos de líneas de espera son muy útiles para determinar cómo operar un sistema de colas de la manera más eficaz. Proporcionar demasiada capacidad de servicio para operar el sistema implica costos excesivos; pero si no se cuenta con suficiente capacidad de servicio surgen esperas excesivas con todas sus desafortunadas consecuencias. Los modelos permiten encontrar un balance adecuado entre el costo de servicio y la cantidad de espera.

El presente trabajo formaliza una propuesta de solución a una problemática planteada en un centro de distribución de una empresa de la provincia de Tucumán. En la empresa en estudio se detectó una alta insatisfacción del servicio brindado por el depósito de entrega de pedidos por un elevado tiempo de espera, generándose largas colas de espera produciendo irritación en los clientes y entregas de productos equivocados por una preparación errónea por parte de los operarios por querer preparar los pedidos de manera rápida. Esta insatisfacción se ve reflejada en la pérdida de clientes que no vuelven a la empresa a comprar nuevos productos, produciendo una pérdida de una potencial venta.

Como acción de articulación universidad- empresas del medio se desarrolló este estudio fijando como objetivo principal el diseño de propuestas de mejoras en la atención a los clientes, con el fin de hacer más eficientes los servicios brindados y reducir tiempos de atención.

2. Materiales y Métodos

La problemática de la empresa se abordó a partir del estudio del proceso de entrega de productos a través de la teoría de colas.

El proceso básico de colas expuesto en la Figura 1, según considera Taha [1], consiste en que los clientes que requieren un servicio se generan en el tiempo en una fuente de entrada. Luego, entran al sistema y se unen a la cola. En determinado momento se selecciona un miembro de la cola para proporcionarle el servicio mediante alguna regla

conocida como disciplina de la cola. Se lleva a cabo el servicio que el cliente requiere mediante un mecanismo de servicio, y después el cliente sale del sistema de colas.

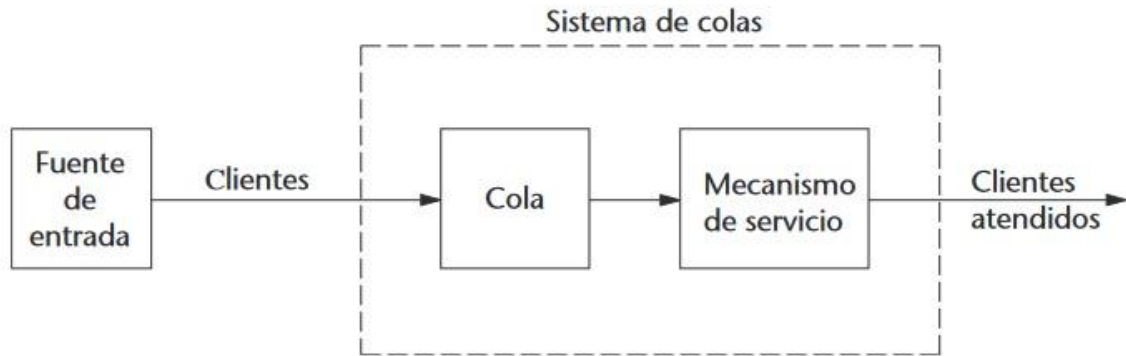


Figura 1. Proceso básico de colas.
Fuente: elaboración propia

Para clasificar los posibles tipos de sistemas de colas, Hillier [2] establece se debe especificar las características que determinan los elementos que lo componen, la más habitual es con la nomenclatura A/B/s/K/H/Z donde:

A es la distribución del tiempo entre llegadas, las más usadas son: M (exponencial), D (determinística), E_k (Erlang con segundo parámetro k), U (uniforme), Γ (gamma) o G (distribución genérica), entre otras.

B es la distribución del tiempo de servicio, se usan las mismas abreviaturas que para A.

s es el número de servidores del sistema, puede ser un número entero positivo ($s = 1, 2, \dots$) o bien $s = \infty$.

K es la capacidad de la cola, también puede ser un número entero positivo o igual que cero, o bien ser infinito si es que no hay límite para la cola. El valor de K puede no escribirse, tomándose como valor por defecto $K = \infty$.

H es el tamaño de la población potencial, puede ser finito o infinito, siendo este último valor el que se toma cuando no se escribe la letra H.

Z es la disciplina de la cola, pueden ser FIFO, LIFO, RSS, PR (disciplina con prioridades) o GD (disciplina general). En caso de no escribir su valor en la notación, por defecto es FIFO.

Así por ejemplo la notación M/M/2/ ∞ / ∞ /FIFO indica que se trata del sistema de una cola con tiempo entre llegadas y tiempo de servicio exponencial, hay 2 servidores, no existe límite para el número de clientes que pueden estar en la cola de espera, la población potencial se supone con infinitos clientes y son atendidos según la disciplina FIFO. Como los 3 últimos valores son precisamente los asignados por defecto, la notación puede abreviarse directamente como M/M/2. En base a lo desarrollado el modelo propuesto a ser utilizado es el M/M/s.

2.1 Análisis del proceso de entrega de productos en el depósito

El proceso de entrega de productos en el depósito se inicia con la llegada de los clientes al depósito y forman una fila para entregar el comprobante de compra a los operarios ubicados en el mostrador que se encargan de cargar los datos del comprobante en el sistema de la empresa y de preguntar al cliente cuales productos va a retirar. Luego, verifican el stock de los productos por sistema, si hay stock imprimen una orden de

preparación de pedido (al que llaman lico), el cual sale automáticamente en la mesa de los encargados de mercadería por medio de una impresora y si no hay stock, preguntan al cliente si desea buscar el producto otro día, si desean cambiar por otros productos con algún vendedor o bien realizar una nota de crédito para luego utilizarla y comprar otros materiales. Los encargados se disponen a entregar los licos a los diferentes operarios en el orden en que se van imprimiendo, es decir con la disciplina FIFO (first in first out). Los operarios preparan los pedidos en función de lo dispuesto en el “lico” y una vez terminado el pedido lo ubican en el sector de entrega de pedidos. Otro operario se encarga de inspeccionar el pedido utilizando la orden preparación de pedido. Una vez inspeccionado el pedido se llama al cliente y se le pide el comprobante de compra y se dispone a darle salida al pedido por medio del sistema y a disponer la documentación correspondiente para que el cliente la firme y de esa manera, el operario encargado de preparar el pedido, carga el pedido al cliente en el vehículo que corresponda y se retira.

Dentro del proceso de entrega de productos, tal como se muestra en la Figura 2, la zona utilizada para la toma de datos para la teoría de colas es desde la tarea de emisión de orden de preparación de pedido por lo que la espera se produce en el mostrador de los encargados de mercadería donde se forma una cola de las órdenes de preparación de pedidos, los cuales son entregados a los operarios en función de la disponibilidad de los mismos. La salida de la orden de preparación de pedido (es decir la impresión del lico) representa la llegada del cliente, debido a que dicho horario es el mismo ya que el tiempo de carga de datos al sistema es despreciable respecto del tiempo total de preparación del pedido.

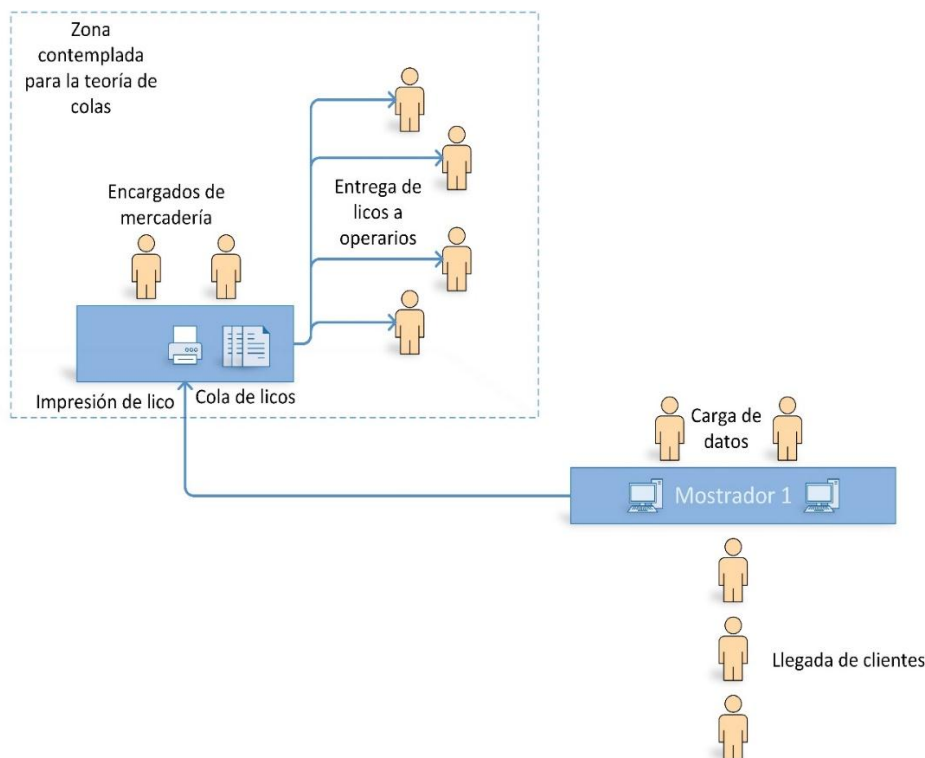


Figura 2. Proceso de llegada del cliente y entrega de licos a operarios para preparación del pedido.

Fuente: elaboración propia

Para la obtención de la distribución de llegada de clientes lo que se hizo fue utilizar los horarios de llegada de los clientes al depósito y determinar cada cuanto tiempo llegaba un nuevo cliente. Con los datos de los tiempos de llegada de los clientes al depósito se elaboró un histograma para poder determinar la distribución de llegada de los mismos y se obtuvo mediante cálculos que la gráfica se asemeja a la gráfica de una distribución exponencial. El mismo procedimiento se siguió para la distribución de los tiempos de servicio y se estableció la tendencia comparándola con la distribución exponencial y el programa automáticamente calculó el valor del coeficiente de determinación R^2 y la ecuación de la distribución.

Se calculan las medias de las distribuciones de llegada de clientes y tiempos de servicio utilizando los tiempos de llegadas de los clientes. Se determinó que las unidades de tiempo más convenientes son los minutos, por lo tanto los parámetros de las distribuciones son $\lambda = 1/4,88 = 0,205$ clientes/minuto y $\mu = 1/16,85 = 0,059$ servicios/minuto. Estos valores representan las tasas de llegadas y tasa de servicio, es decir, cada cuanto tiempo llega un cliente y cada cuanto tiempo se prepara un pedido.

Para los tiempos de servicios se supone que todos los servidores (operarios de preparación de pedidos) trabajan exactamente con la misma mecánica y con el mismo rendimiento, a fines de simplificar los cálculos.

Con los valores obtenidos se utiliza el Matlab y una calculadora de Excel para simular la teoría de colas y los valores que se obtienen de W (tiempo de servicio total), W_m (tiempo de espera en cola) y U (porcentaje de ocupación de los servidores) son muy próximos, presentan una diferencia de aproximadamente de 5 minutos, dicha diferencia se debe a que la calculadora de Excel (como otras calculadoras que se pueden encontrar por internet) elimina la aleatoriedad. Para poder alcanzar esos valores con Matlab se necesitaría realizar un mayor número de simulaciones para eliminar la aleatoriedad, pero esa acción llevaría a esperar mayor tiempo para que se realice la simulación pudiendo llegar en algunos casos a dejar Matlab simulando durante días completos. Como la finalidad de este estudio es la de reducir los tiempos de espera, a pesar de que haya una diferencia entre los valores anteriores, utilizar cualquiera de los software darían resultados semejantes. Por lo que el posterior análisis se realiza con los valores calculados a través de la calculadora de teoría de colas creada en Excel.

De los valores calculados por la calculadora creada en Excel, se obtiene que 4 sea el número de servidores mínimo, es decir el mismo valor de servidores que se encuentran actualmente operando en el depósito. Esto asegura que los servidores no permanecen inactivos la gran parte del tiempo del turno. Por lo tanto, al estar trabajando al máximo de la capacidad del sistema es de esperar que se forme una larga cola de espera de los clientes aumentando el tiempo que los mismos pasan en el sistema, irritación de los clientes debido al elevado tiempo de espera, errores de preparación en los pedidos por parte de los operarios por tratar de armar los mismos en el menor tiempo sin prestar la total atención a la orden de preparación del pedido.

Para poder mejorar las situaciones anteriormente mencionadas, se propone realizar las simulaciones y posteriormente analizarlas con los siguientes cambios, aumentando en uno la cantidad de operarios para preparación de pedidos, aplicar una nueva distribución de los productos en el depósito y, por último, ambas situaciones en simultáneo.

3. Resultados y Discusión

La aplicación de la calculadora Excel para la primera propuesta de mejora en la cual se toma el número de servidores igual a 5, manteniendo el restante de las variables constantes, da una reducción del 20% la ocupación de los servidores en el sistema, es decir, que los servidores pasarán menos tiempo preparando pedidos y teniendo mayor tiempo para poder atender a los demás clientes o estar realizando tareas inherentes a sus puestos de trabajo.

Asimismo, el tiempo total en sistema se reduce de 38,91 minutos a 20,81 minutos, lo que equivale aproximadamente a 46,5%. De las dos partes que componen el tiempo total en sistema, el tiempo de espera de la orden de preparación de pedido en cola es el que aporta la totalidad de la reducción pasando de 22,07 minutos a 3,96 minutos, manteniéndose el tiempo de servicio invariable.

En síntesis, y de acuerdo a los valores antes mencionados, agregar un servidor más permite que el porcentaje de ocupación de los servidores baje. Esto trae como consecuencia que los servidores pasen menos tiempo preparando pedidos, lo que les permite atender con mayor rapidez a los clientes que están en cola esperando. Esto también permite a los trabajadores armar de mejor manera los pedidos de los clientes, evitando equivocaciones y a su vez les da tiempo de acomodar correctamente los productos en sus posiciones en los racks en los momentos en que no se encuentran ocupado

La segunda propuesta consiste en aplicar una nueva distribución de los productos en el depósito teniendo en cuenta la clasificación de productos en A, B, C según su rotación en el depósito, siendo A los productos de mayor rotación, B los intermedios y C los de menor rotación. Se determina que la mejor distribución de los productos en los racks es los de mayor rotación a nivel del suelo (Nivel 1) y segundo nivel, siendo estos dos niveles accesibles para los operarios sin necesidad de recurrir a los autoelevadores o a los elevadores tijera evitando pérdidas de tiempo en buscarlos de sus posiciones y alcanzar los productos de posiciones elevadas. De esta manera se deja que los productos de media y baja rotación sean ubicados en las posiciones elevadas porque son buscados con menor frecuencia por lo que el uso de autoelevadores y elevadores tijera se reduciría al igual que los tiempos de preparación.

La nueva distribución de los productos después de efectuado los movimientos de pallets pertinentes se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1: Nueva distribución en picking

	Productos A	Productos B	Productos C	Productos que no rotaron
Nivel 4	0	66	142	134
Nivel 3	0	48	136	89
Nivel 2	99	141	0	0
Nivel 1	238	0	0	0

Fuente: elaboración propia

Conociendo el total de intercambios a realizar y el tiempo que demora en llevarse a cabo un intercambio, utilizando un operario con un autoelevador se necesitarían 1750 minutos para realizar todo el trabajo, lo cual traducido en horas serían 29 horas en total.

Aplicando esta nueva distribución de los pallets en el depósito, se logra bajar 100 productos A ubicados en los niveles 3 y 4, los cuales representan un 9% del total. Al estar directamente relacionado el tiempo de preparación con la ubicación de los productos, se adopta el mismo porcentaje como disminución del tiempo de preparación, o sea un 9%, de manera que de $t_{\mu} = 0,2809$ horas se obtiene $t_{\mu} = 0,2556$ horas, por lo que pasarían de $\mu = 3,56$ servicios por hora a $\mu = 3,91$ servicios por hora.

Con estos datos se observa que con una reducción del tiempo de preparación del 9%, la ocupación de los servidores disminuye de 0,8635 a 0,7860, lo que corresponde a una reducción del 9%. Es decir, que los servidores pasarán menos tiempo preparando pedidos y teniendo mayor tiempo para poder atender a los demás clientes o estar realizando tareas inherentes a sus puestos de trabajo. Asimismo, el tiempo total en el sistema se reduce de 38,91 min a 25,57 min, lo que equivale aproximadamente a 34,3%. De las dos partes que componen el tiempo total en sistema, el tiempo de espera de la orden de preparación de pedido en cola es el que aporta la mayor parte de la reducción pasando de 22,07 min a 10,24 min y a su vez se produjo una reducción del tiempo de servicio de 16,85 min a 15,34 min.

En síntesis, y de acuerdo a los valores antes mencionados, la reducción del 9% en el tiempo de preparación de pedido trae como consecuencia una disminución de la ocupación de los servidores, pero a menor cuantía que agregando un servidor más. También permite que los servidores pasen menos tiempo ocupados preparando pedidos, ayudándolos a atender con mayor rapidez a los clientes que se encuentran formando la cola de espera. Esto también permite a los trabajadores armar de mejor manera los pedidos de los clientes y les da tiempo de acomodar correctamente los productos en sus posiciones en los racks en los momentos en que no se encuentren armando pedidos.

Para la tercera propuesta de mejora se aumenta en uno la cantidad de operarios para la preparación de pedidos y a su vez se reduce el tiempo de preparación pasando de $t_{\mu} = 0,2809$ horas a $t_{\mu} = 0,2556$ horas, por lo que pasarían de $\mu = 3,56$ servicios por hora a $\mu = 3,91$ servicios por hora.

Con estos datos se observa como con 5 servidores y la reducción del tiempo de preparación del 9% debido a la nueva distribución en el depósito se reduce la ocupación de los servidores pasando de 0,8635 a 0,6288, lo que corresponde a una reducción del 27.2%. Es decir, que los servidores pasarán menos tiempo preparando pedidos y teniendo mayor tiempo para poder atender a los demás clientes o estar realizando tareas inherentes a sus puestos de trabajo.

Asimismo, se observa que el tiempo total en sistema se reduce de 38,91 min a 17,59 min lo que equivale aproximadamente a 54,8%. De las dos partes que componen el tiempo total en sistema, el tiempo de espera del lico en cola es el que aporta la mayor parte de la reducción pasando de 22,07 min a 2,26 min y a su vez se produjo una reducción del tiempo de servicio de 16,85 min a 15,34 min.

En síntesis, y de acuerdo a los valores antes mencionados, se observa como el tiempo total en el sistema disminuye en gran medida, lo que se traduciría en una mejor atención a los clientes, los cuales deben pasar mucho menos tiempo esperando a que su pedido esté listo. El porcentaje de ocupación de los servidores también disminuye lo que significa que los operarios pasan menos tiempo preparando pedidos, lo que les permite atender a los clientes que están en cola y cuando no estén atendiendo clientes tienen

tiempo para poder acomodar los productos que quedaron fuera de posición y realizar las tareas de limpieza de los diferentes pasillos del depósito.

4. Conclusiones y recomendaciones

La realización de este trabajo permitirá a la empresa mejorar notablemente la atención de los clientes referido a la preparación de los pedidos por parte de los trabajadores. En la Tabla 2 se muestra un resumen de los resultados de las tres propuestas con los costos totales, los cuales incluyen los costos necesarios para llevar a cabo cada alternativa y las pérdidas inferidas por compras no concretadas por clientes perdidos debido al elevado tiempo de espera, y los beneficios obtenidos. La primera consiste en incluir un operario más en el depósito, la segunda realizar una nueva distribución de los productos y la tercera integra ambas propuestas.

En la situación actual el tiempo total que los clientes esperan es de 38,91 min, un valor demasiado alto. Simulando las diferentes alternativas se puede observar que los nuevos valores son inferiores. Esta reducción de tiempo si bien es simulada a través de un software, donde los tiempos reales pueden diferir de la realidad, da resultados muy alentadores para aplicar alguna de las alternativas.

Los rendimientos obtenidos son 0,8635, 0,6908, 0,786, 0,6288 respectivamente para la situación actual y las alternativas 1,2 y 3. Lo que se busca es que dichos valores sean lo más cercano a 1 lo cual significa que los servidores pasan la mayor parte del tiempo ocupados preparando pedidos, pero la disminución obtenida por las diferentes alternativas permite a los servidores el tiempo que no pasan preparando pedidos, utilizarlo para realizar otras tareas inherentes a sus puestos de trabajo, como ser acomodar los pallets en sus posiciones, limpieza y poder mantener el depósito en condiciones para dar la mejor y rápida atención a los clientes. Sabiendo que dichas actividades no forman parte del proceso de preparación de pedidos, son necesarias para poder mantener el depósito ordenado y de esa forma evitar pérdidas de tiempo por pallets que obstaculizan el paso de los autoelevadores o están mal ubicados en los racks.

Tabla 2. Resumen de los resultados de las tres alternativas propuestas

	Situación Inicial	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Rendimiento (ρ)	0,8635	0,6908	0,786	0,6288
Tiempo de espera total (W)	38,91 min	20,81 min	25,57 min	17,59 min
Tiempo de espera en cola (Wq)	22,07 min	3,96 min	10,24 min	2,26 min
Tiempo de servicio	16,85 min	16,85 min	15,34 min	15,34 min
Costos totales	\$ 5.938.200	\$ 1.310.955	\$ 1.523.309	\$ 1.003.319
Beneficios	---	\$ 4.627.245	\$ 4.414.891	\$ 4.934.881

Fuente: elaboración propia

Si bien la alternativa 3 da mejores resultados aplicarla llevaría un poco más de tiempo debido a que se debe realizar un ordenamiento de las posiciones de los pallets dentro del depósito. La alternativa 1 tiene un tiempo de espera un poco más elevado que la alternativa 3 pero es de aplicación inmediata, es simplemente incluir un operario más en el depósito.

Como la alternativa 1 es de aplicación inmediata, se recomienda aplicarla en primera instancia y luego realizar el movimiento de los pallets dentro del depósito para llegar a los resultados de la alternativa 3. Dichos resultados además de las evidentes mejoras de tiempos de atención para los clientes, implica un mejor ordenamiento de los productos dentro del depósito y con ello una mejora en el control del stock sin posiciones con productos cruzados y una reducción en los errores en la preparación de los pedidos. Además, se obtiene una reducción del uso de los autoelevadores y con ello una reducción de los costos de mantenimiento.

5. Referencias

- [1] TAHA, H. (2012). *Investigación de operaciones*. Mexico: Pearson. p. 593-647.
- [2] HILLIER, F. & LIEBERMAN, G; (2010). *Introducción a la investigación de operaciones*. Mexico: Mc Graw Hill. p. 708-750.