

TEORÍA DE LINEAS DE ESPERA EN EL SECTOR AVÍCOLA PARA EL DISEÑO DE MUELLES DE DESPACHO.

Javier Alexander Jaime Batanero
Ing. Industrial, Esp. Gerencia de logística Integral
Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia
2013

RESUMEN

El presente artículo consta de la revisión de los modelos contenidos dentro de la teoría de líneas de espera o colas, y su excelente y fácil adaptabilidad ya sea a un campo seleccionado o cualquier otro, mientras el modelo cumpla con ciertos prerequisites, así obteniendo las medidas de desempeño al implementar dicho modelo.

La motivación e importancia de llevar a cabo este modelo fue analizar la objetividad, alcance, y utilización de una teoría completamente estadística la cual pudiera determinar la cantidad optima de muelles de cargue en la operación de una planta avícola de distribución y comercialización donde es esencial considerar el análisis de la demanda y la oferta por su alto nivel de variabilidad y/o incertidumbre en el servicio debido a las altas y bajas del precio del producto, así mismo como cualquier comportamiento que pueda surgir debido a varios factores involucrados en el momento de prestarse el servicio. Finalmente en el artículo se exponen las ventajas de utilizar la teoría de líneas/colas, al igual refleja que en la circunstancia que la empresa decida utilizar esta herramienta, su compañía se alinear a prácticas de mejoramiento continuo, planeación y comunicación mejorando el control que tienen sobre sus procesos, adicional le ayudara a la compañía a generar el deseo de estar a la vanguardia y pensar en implementar en simuladores ligados con esta teoría, la cual les permitirá visualizar diferentes escenarios y no solo tomar las mejores y más adecuadas decisiones, sino que además les ayudara a reducir los tiempos necesarios al tomar cualquier decisión administrativa u operacional.

Palabras Claves: Teoría de líneas de espera, Variabilidad, incertidumbre, servicio, simuladores.

ABSTRACT

This article presents a review of the queuing theory models and their easy and excellent malleability when applying either to a specific field or any other, as long as the model meets with some prerequisites, so that the performance measurements are obtained when implementing such model.

The motivation and influence to carry out this method was to analyze the objectivity, the scope and the usage of a completely statistical theory which could determine the optimum number of loading docks in a marketing and distribution poultry plant, where it is essential to consider the demand and supply analysis because of the high level of variability and uncertainty in the service due to the highs and lows of the product's price as well as any behavior which may arise due to the various factors involved when providing the service.

Finally, in the article, the advantages of using the theory of queuing are exposed, as well as it will reflect that in the circumstance the company decides to use this tool, their company will be aligned to the continuous improvement, planning and communicating practices improving the control they have over their procedures, likewise it will help the company generate the desire to be on the frontline and to think of implementing simulators linked with this theory, which will allow them to visualize different scenarios and take not only the best and most accurate decisions, but it will also help them to reduce the time frame that is needed to take any administrative or operational decisions.

Keywords: Theory of waiting lines, variability, uncertainty, service, simulators.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad la humanidad ha demostrado en diferentes campos un interés e incremento en facilitar la manera en que se realizan las cosas, por eso hoy en día existen tecnologías que permiten agilizar diferentes tareas, actividades o compromisos que a diario se van presentando y de esta manera darles una prioridad u orden para ir accediendo a cada uno de ellos sin que se convierta en un proceso tedioso y complejo.

Según la observación de varios autores que se verán citados más adelante, el fondo de ellos es en esencia la creación de facilitadores basados principalmente en el manejo del tiempo, ya que es una variable que demanda ser muy bien administrada no solamente para tener una calidad de vida si no para ir a un ritmo adecuado en el campo profesional o dicho de otra manera ir a la vanguardia de los negocios, razón por la cual hoy en día se pueden encontrar casos en los que la gran mayoría de multinacionales o hasta las medianas o grandes empresas se están enfocando en hacer grandes inversiones en Tecnología, con el fin de tener en tiempo real acceso a la información de su entorno u operación de su negocio. (Enciso; 2011)

Por otra parte al tener como referencia estas tendencias y la aplicación de tecnologías se encuentran afirmaciones de la aplicación de esta herramienta junto con el adicional de una aplicación por computadora la cual tiene como nombre simulación, la cual ha empezado a tener una importante participación en el campo industrial, logístico entre otros; donde objetivo principal es generar un mayor análisis de cualquier eventualidad que se pueda presentar y adicionalmente minimizar la probabilidad de generar resultados erróneos al llevarlos a la realidad y a su vez en el mejoramiento de desempeño de una operación y la disminución de sus costos. (M. dong.; 2001)

Actualmente a causa de la necesidad de optimizar el tiempo y de no ser permisible el hecho de tener que pasar por largas esperas para obtener algún bien o servicio es que surge el termino de teoría de colas y de qué manera estas pueden ser administradas y optimizadas con el fin de generar un estado amigable con el diario vivir, ya que si se trata de hechos comprobables existen indicios con estudios en los Estados Unidos donde se menciona que un ciudadano promedio pasa cinco años de su vida en distintas líneas de espera y así mismo puede estar expuesto a seis meses esperando el cruce en los semáforos.

O viéndolo desde otro ángulo este fenómeno suele ocurrir cuando la demanda supera la oferta sin importar si es en la prestación de un servicio, o en la entrega de un bien, e incluso se presenta con mayor frecuencia en el campo de las telecomunicaciones un ejemplo clave para describir este escenario es la información que en ocasiones es solicitadas a un servidor por medio de la red pero la respuesta tarda en llegar por la

congestión que se presenta en la misma o porque dicho servicio ya está cerca de su límite en capacidad y esto lo hace presentar tiempo de ejecución muchos más largos. (Abad, R. C.; 2002)

Fuera de los escenarios que ya se trajeron a cuestión cuando se habla de teoría de colas se cuenta con un gran y exquisito mundo de aplicaciones, hechos o relatos, por esa razón al seguir indagando en teorías que permitan introducir al lector en lo que implica la aplicación de esta herramienta hacerla atractiva y fácil de entender, además se hizo el hallazgo mediano la revisión literaria de consejos o insinuaciones por personajes con frases como *“No importa en qué cola se sitúe: La otra siempre avanzará más rápido”* (Primera Ley de Harper) o *“Y si se cambia de cola, aquélla en la que estaba al principio empezará a ir más de prisa”* (Segunda Ley de Harper).

De igual forma a las dos frases anteriores nacieron estudios profundos sobre esta Teoría y la ocurrencia de su aplicación se podrá encontrar con detalle al ir avanzando en el documento, pero adicionalmente se puede anticipar una conclusión y es que el uso del aspecto matemático bajo este marco es sencillo, que solo depende de poseer conceptos básicos de estadística y probabilidad para lograr una valoración de un sistema y plantear su respectiva mejora. (Enciso; 2011). Por tal razón la teoría de colas o de líneas de espera se convierte en una herramienta de gran importancia con un alto valor para los negocios, y el uso de la misma debe estar contemplada con disciplina para lograr un éxito al llevar a cabo su aplicación, además surge como una rama de la investigación de operaciones con el objetivo de analizar y evaluar casos u hechos en los que se demanda la prestación de algún tipo de servicio el cual no puede ser atendido inmediatamente generando así un tiempo de espera y posiblemente una insatisfacción dependiendo del tamaño de tiempo que se permanezca en dicha situación. (Cao; 2002). Ejemplos reales de esa situación son: el peaje de una autopista, los cajeros automáticos, o la atención a clientes en un establecimiento de cualquier tipo “Restaurantes, Café Internet, Tiendas, etc”.

A partir de lo mencionado anteriormente es notable la existencia de multi-variedad de campos de aplicación de esta teoría, y así mismo es claro la participación y el porvenir que tiene la misma en el área de informática, y las telecomunicaciones. Por tal razón es comprensible indagar y plantear la ejecución o aplicación en un escenario logístico donde fácilmente existe una constante y es resguardar un correcto flujo de la información, y de los materiales que se transforman en un producto final mediante la actividad de diferentes procesos contenidos en la cadena de aprovisionamiento en el menor tiempo posible sin afectar la calidad de servicio a prestar.

Luego de este concepto el cuestionamiento que se presenta en la compañía es la falta de trazabilidad y adecuada programación o planeación de las operaciones en que se incurren en la empresa y como día tras día su ejecución se convierte en cómo responder y actuar frente a la llegada de altas demandas de pedidos, lo que genera un efecto bola de nieve afectando la producción del producto, suceso ocurrido por una mala asignación de los recursos generando un retraso en la evacuación del mismo (Arias J;2004).

Por tal razón sabiendo que con la aplicación del adecuado sistema de colas y el estudio de una serie de eventos discretos que pueden ser a nivel de fabricación, comunicación, o de sistemas informáticos (E.T.S. Ingenieros Industriales;), puede llegarse a plantear un modelo o solución que permita mitigar las demoras o riesgos que se presentan en el problema presentado de la compañía o en cualquier incertidumbre que pueda presentarse durante su desarrollo dándonos como resultado el alcance de la prestación de un mejor servicio para lograr niveles de satisfacción más altos a los obtenidos hasta este punto.

JUSTIFICACIÓN DEL TEMA

En el campo logístico se está expuesto a diferentes hechos de incertidumbre, desafortunadamente esto ocurre porque no podemos tener el control total de cada eslabón de la cadena de aprovisionamiento de una compañía o de cualquier otro tipo de escenario, esto ocurre debido a los fenómenos de la naturaleza a los que se está expuesto o simplemente a las tendencias de comportamiento de cada actor involucrado. A causa de esto un gerente Logístico Integral debe tener la capacidad de discernir cualquier evento, tener una visión global sea cual sea el escenario y tener listo un plan de contingencia que te permita minimizar o eliminar los riesgos o daños colaterales que una mala planeación u operación pudiese originar.

Partiendo del anterior hecho yace la importancia de profundizar en la aplicación de la teoría de colas y los diferentes modelos contenidos en la misma, ya que mediante su análisis puede brindar los medios para simular los posibles acontecimientos que para este caso de investigación pueda presentarse mientras se ejerce la operación de la compañía seleccionada, dando como resultado la posibilidad de diseñar una locación que mitigue o absorba gran parte de los posibles sucesos a generarse y que no afecten la operación y así finalmente brindar un excelente servicio y distribución de producto que se traducirá en una correcta alineación con los eslabones o procesos que se encuentran más adelante dentro de la cadena de aprovisionamiento de la compañía.

REVISIÓN DE LA LITERATURA

La teoría de colas es una de esas herramientas que ayudan a dar servicios adecuados con tiempos de respuestas oportunos y esta teoría inicia a través del matemático-ingeniero Agner Kraup Erlang (Dinamarca, 1878 - 1929), quien en 1990 publicó la teoría de probabilidades y las conversaciones telefónicas. Convirtiéndose además en el catalizador para que otros como “E.C. Molina; T.C. Fry. F. Pollaczek; A.N. Kolmogorov y A.Y. Khintchine” se incluyeran y realizaran sus propios aportes logrando así ampliar e ir puliendo el concepto, alcance y/o beneficios de esta teoría.

Teoría de colas

También llamada líneas de espera, que al ser estudiadas o implementadas el resultado esperado es cuantificar aquel fenómeno que en la actualidad se pasa o se vive y es estar expuesto a la generación de una cola. Pero la pregunta es cómo se logra poder llegar a la obtención de estos resultados y como usarlos para mitigar la probabilidad de recaer en una circunstancia como la que se está exponiendo, en respuesta de ello la estrategia o metodología a seguir es la utilización de medidas representativas de eficiencia, como la longitud promedio de la cola el tiempo promedio de espera y la utilización promedio de las instalaciones. (Hamdy A. Taha; 2004)

Por otra parte partiendo de la metodología mencionada anteriormente inicia dependiendo del tipo de modelo de líneas de espera, logrando indicar cuál debe ser el desempeño del sistema, y cual deberá ser la cantidad promedio de espera que se presentara dentro de una cantidad de eventos o circunstancias. Al haber mencionado la esencia de estos modelos se puede expresar que su utilidad radica en la determinación o el conocimiento que adquiere una persona para operar un sistema de colas de manera más efectiva. La importancia de tener la posibilidad de administrar los diferentes actores que intervienen en un sistema de estos yace en que el brindar un alto nivel de servicio para operar un sistema conlleva a incurrir en costos demasiado altos; pero al tiempo viéndolo desde otro ángulo o del otro lado al no contar con suficiente capacidad de servicio la espera puede tornar a excesiva y al mismo tiempo generar desafortunadas consecuencias. En conclusión la implementación del modelo de colas que se seleccione le dará la oportunidad de encontrar un balance adecuado entre el costo de servicio y la cantidad de tiempo de espera. (Hillier . Lieberman; 2002)

Elementos Básicos Del Modelo de Colas

La Teoría de Colas es identificada como el estudio matemático del comportamiento de líneas de espera. La cual se manifiesta en los momentos en que llega un individuo a un

sistema o determinado sitio con la necesidad de que le sea prestado un servicio por algún tercero. Partiendo de este hecho y al traducirlo al lenguaje de un modelo, el individuo es el Cliente quien es el que deberá enfrentarse a la línea de espera y ser atendido a través de una disciplina de colas. Adicionalmente poseen una característica para su identificación y son los intervalos de tiempo que separan la llegada de uno o el otro. El sitio es la locación donde será suministrado algún tipo de servicio, y el tercero es quien prestara el servicio “el servidor” el cual cuenta con una cierta limitante y es la capacidad de atención al cliente ubicado en una línea de espera. Su principal característica es el tipo y tiempo de servicio que podrá prestar y adicionalmente también depende del número de servidores que se encuentren dentro del sistema. (Anderson. Sweeney. Willams.; 2004)

A continuación se muestra una imagen del proceso básico de colas

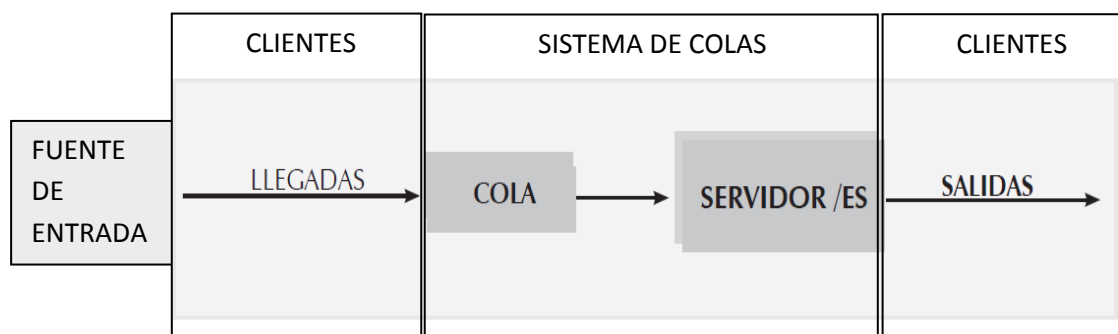


Figura N° 1. Elementos de un sistema de colas

Fuente: Autor 2013

Dentro del recuadro que hace referencia al servidor se debe tener en cuenta un mecanismo o lineamiento para decidir qué usuario va a ser llamado de la cola; esto es lo que se llama disciplina de la cola y los modelos con mayor frecuencia de implementación son los siguientes:

Fifo. Se le da servicio al primero que ha llegado, de forma que la cola está ordenada según el orden de llegada de los usuarios.

Lifo. Se le da servicio al último que ha llegado, de forma que la cola está ordenada en orden inverso al de llegada de los usuarios.

Siro: Se sortea aleatoriamente cuál de los usuarios en espera accederá al servicio.

Rr. Se asigna un corto lapso de tiempo a cada cliente de forma sistemática, lo que traduce en generar un equilibrio en la utilización de los recursos con el fin de atender de forma igualitaria a todos los clientes que entran en el sistema, la restricción de esta disciplina es que su aplicación se enmarca en el campo informático en cualquier otro su aplicabilidad no es la indicada, (Abad, R. C.; 2002).

En caso contrario a cualquiera de los mencionados anteriormente se realiza un escalafón por importancia en cada grupo de características o restricciones dadas por el mismo sistema. Sin mencionar que cada cliente que se encuentra en espera se puede llegar a comportar de diferente forma dependiendo de la situación o momento en el que entra al sistema obteniendo así un papel importante para cada análisis en las diferentes posibles líneas de espera a las que puede estar sometido.

Adicionalmente es importante enmarcar un aspecto importante y es cuando el cliente de un sistema es un ser humano, la razón de tener que valorar esta situación es a la identidad única que cada uno tiene y la posibilidad de cómo se puede llegar a comportar al llegar a la instancia de hacer una cola para obtener un servicio, un ejemplo de ello es que este tipo de cliente puede intercambiar de una fila a otra al observar que una avanza más rápido que la cola en la que él se encuentra. Otro ejemplo se daría con el rechazo total de seguir esperando a recibir el servicio al enfrentarse a una jornada mayor a la que está dispuesto a soportar. (Hamdy A. Taha; 2004).

Al seguir indagando sobre el comportamiento que puede presentar este tipo de cliente que es utilizado con mayor frecuencia en el estudio de un modelo de líneas de espera es el factor subjetivo y la percepción de eficiencia del sistema por parte de los mismos. Es un punto que muchas veces no es evaluado como se debe, y que en realidad tiene un gran peso en la toma de decisiones además de ir de la mano con el factor matemático para obtener la mejor opción de cómo responder ante cualquier eventualidad. Para reforzar este concepto según (Barbosa, R., & Rojas, A. 1995) el factor subjetivo además de traducir que la toma de decisiones depende del olfato que tiene la persona encargada, existe el tiempo subjetivo que va a marrado al cliente y que depende de factores como la personalidad, el entretenimiento durante la espera, el confort que puede alcanzar durante el tiempo al que se está expuesto, la percepción latente del funcionamiento del servicio, entre otras variables que yacen de un ser humano. Sobre el termino traído a mención y compararlo con el tiempo objetivo es adecuado citar el concepto de un exponente con experiencia el cual dice *“el ser humano da por sentada la existencia de un proceso al que llama tiempo, aunque no se percata con facilidad de que los movimientos de las agujas del reloj sobre la pared o coinciden en forma permanente o con una distribución uniforme con su estimado personal del transcurso de tiempo, es decir, de la duración de ese periodo reciente de su vida que acaba de pasar”*(Goddy,W. ,1972,p.553)

Anteriormente en la Figura N° 1 se mencionaba una fuente de entrega o entrada, y la característica principal que la define es el tamaño de clientes que tendrán la necesidad de adquirir un servicio e ingresar al sistema en determinado momento. De dicha fuente existen dos clases o tipos a darse y es finita o infinita por lo cual se dice que es limitada o ilimitada. Además debe indicarse el patrón estadístico por el cual surgen los clientes en el

tiempo, dicho de otra manera es establecer la probabilidad que ocurra un determinado número de eventos durante cierto periodo de tiempo, y esto hace referencia a la distribución de Poisson. Pero Adicionalmente otro punto para mencionar es que dicha distribución de probabilidad de tiempo entre dos ingresos al sistema de manera consecutiva tiene características exponenciales. Adicionalmente al referirnos a los dos tipos de fuente de entrada por un lado la población finita representa a aquellos clientes que usaran el servicio y que en ocasiones formara alguna cola un ejemplo de ello es cuando el tamaño de los clientes es reducido caso para traer a mención el servicio con cinco maquinas, si una maquina se avería y requiere atención el tamaño se reduce en uno de igual manera la probabilidad de la siguiente ocurrencia también se reduce. Por el contrario la población infinita es aquella en la que la cantidad de clientes que llega al sistema es abundante en la mayor parte del tiempo, un ejemplo de esto son las llamadas que llegan a un call center, o la fila de un supermercado o la operación de un aeropuerto. (Chase, Nicholas.; 1.997).

Como anteriormente se ha mencionado conceptos y de que forma se comportan las llegadas y servicios se decide consultar el punto de vista de otro autor, para el este caso se opto por (Moder, J. J., & Phillips, C. R. ; 1962) quien apoya el concepto ya mencionado y adicionalmente explica que las llegadas como los servicios por su estabilidad representan un escenario idóneo donde la manera en que se comportan da lugar a una distribución exponencial y que fuera de ello al aplicar un modelo se puede observar como la sensibilidad a los parámetros que se ingresen al mismo logran generar respuesta dentro un amplio campo de aplicación. Por otra parte también hace mención a modelos de canales fijos y variables en resumen lo que explica es que aunque la llegada sea a una sola línea de espera restringida por un sistema de orden de llegada esta puede crecer y conforme estén funcionando los servidores pueden ser agregados unos mas manteniendo un límite de clientes que llegan al sistema, y que al presentarse el caso contrario, estos pueden ir siendo cancelados. Por tal razón los servidores no pueden contar con infraestructuras fijas. El anterior modelo para casos prácticos es de gran ayuda para la solución de diversos problemas presentados en la sociedad.

Por otra parte para la explicación de los demás rubros del sistema básico de colas se hace referencia a la siguiente fuente (Schroeder.; 1.999):

Una cola La característica principal de una cola se refleja en la cantidad de clientes que pueden llegar a ser parte del sistema al que se quiere acceder, un ejemplo de ello es la cantidad de personas que pueden ingresar un día cualquiera a un centro de servicios, en donde se realiza un conteo de las personas que van ingresando para poder establecer por las variables antes mencionadas hasta qué punto se puede dejar ingresar personas para ser atendidas, este caso sería una cola infinita pero con limitaciones por restricciones que

parten del nivel de servicio ofrecido al cliente. O en caso contrario se presentan colas finitas, donde la cantidad de individuos en el sistema es menor.

Adicionalmente hay un aspecto que no puede dejarse a un lado al estudiar lo que significa y como aplica una cola con respecto a un nivel de servicio y cuál es el esfuerzo frente a los resultados que se aspiran a obtener. Por esta razón el autor mencionado para describir este agente dentro del proceso básico define los siguientes conceptos.

Costos de los Sistemas de Colas. Este punto hace referencia a la profundidad y análisis adecuado que se debe tener en cuenta al diseñar un sistemas, se debe tener bastante cuidado con la extralimitar la cantidad de servidores que atenderán las llegadas de los clientes, no es económicamente viable el soportar una cola vacía, la razón es más que obvia por el simple hecho de que si estas disponiendo de unos recursos, de un esfuerzo, y de una infraestructura para desarrollar un servicio y que este no logre los objetivos propuestos como a su vez se obtenga un sistema de atención subutilizado.

Costo de Espera. En este caso sucede lo contrario a lo descrito en el anterior rubro, este ítem se refiere al riesgo en que se puede incurrir cuando están mal asignados los recursos de un sistema, uno en el cual a causa de la generación de largas ventanas de atención que como efecto de bola de nieve incurren en el aumento del tiempo en que se puede estar en la cola del sistema y por consiguiente reflejarse en la perdida de oportunidad de crear un nivel de servicio o valor para ambas partes, para traducirlo y llevarlo a cabo la forma de hacerlo está dado por:

$$\text{Costo total de espera} = C_w * L$$

Donde C_w = costo de espera por llegada y por unidad de tiempo, y

L = a longitud promedio de la cola.

Sistema de Costo Mínimo. En cuanto a este concepto su aplicabilidad parte de una simple teoría y es crear un sistema equilibrado (ver Figura 2), basado en manejar un ritmo adecuado en la prestación del servicio con el objetivo de no generar excesos en los costos mencionados anteriormente.

La política principal de este costo mínimo es optimizar los recursos y evitar los esfuerzos ya que no es viable poder generar un servicio muy corto incurriendo en la utilización de mayores recursos solo por mantener una muy corta espera en la cola de ingreso al sistema. Ambas variables tienen un comportamiento inversamente proporcional al ejercerse con respecto al costo que generan. A continuación se puede visualizar cual es el comportamiento del costo de un sistema de colas.

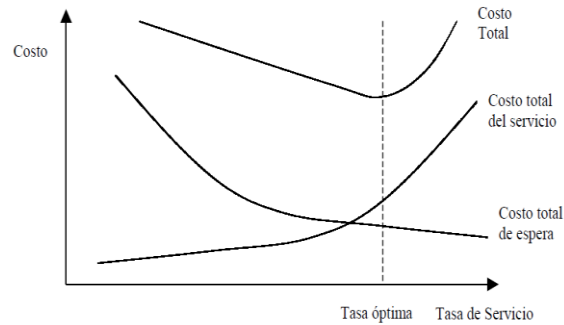


Figura N° 2. Costos del sistema de Colas

Fuente: oaplo@sinectis.com.ar

Estaciones de servicio o mecanismo de servicio. Este ítem hace referencia a los posibles escenarios que se puedan presentar a la hora de ser evaluado un servicio, en el texto consultado debido a la variedad de servidores o cantidad de colas que puede contener un modelo de servicio, se debe aclarar o establecer el aspecto probabilístico que cada uno de los actores en especial del servidor y quizás en algunas oportunidades el que cliente puede estar desarrollando, a continuación se describe los caso más comunes.

Un Servidor - Una Cola. Para su aplicación y análisis solo requiere de fórmulas directas que resuelven conflictos de una distribución normal de patrones de llegada y de un servicio. Ejemplo: Una tienda de abarrotes, Un examen de inglés oral, etc.

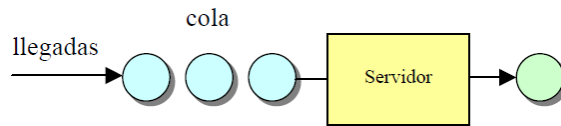


Figura N° 3. Un servidor una Cola

Fuente: oaplo@sinectis.com.ar

Múltiples Servidores (en paralelo) – Varias Colas. El único aspecto resaltable de este modelo es que aunque se presente servidores dispuestos a realizar la misma tarea la velocidad de atención puede tender a ser desigual en las colas. Ya que por la identidad única que cada persona en el caso de que esta sea el cliente cada uno puede llevar un comportamiento distinto y puede hacer que su servicio tiempo dentro del sistema sea más lento o más rápido, además partiendo de este hecho, los clientes que se puedan encontrar en la cola al ver que otros dentro de un servidor diferente avanza con más fluidez estos por instinto empiezan a cambiarse de una fila a otra, y por esta razón se deben tener en cuenta estos factores a la hora de su análisis. por ejemplo: las ventanillas de atención de

la secretaria de movilidad al momento de ir a tramitar el pago de un comparendo, una estación de gasolina, o el paso por un puesto de peajes.

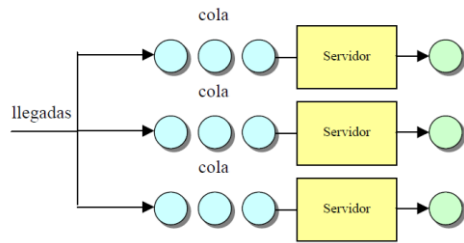


Figura N° 4. Múltiples servidores varias colas
Fuente: oaplo@sinectis.com.ar

Múltiples Servidores (en paralelo) – Una Cola: Es una estructura hecha para asegurar la atención del cliente conforme sea el orden de llegada, es una forma práctica de agilizar el proceso pero al mismo tiempo el éxito de este tipo de modelo radica en el control u orden que se le aplique a la fila, ya que en repetidas ocasiones se puede observar que no son respetadas las asignaciones dadas. Un ejemplo de este tipo de modelo sería la petición de cita médica, ya que en ella existe un dispensador de turnos, y posteriormente te puedes encontrar con diferentes ventanillas dispuestas a atenderte según el dígito que se te haya asignado.

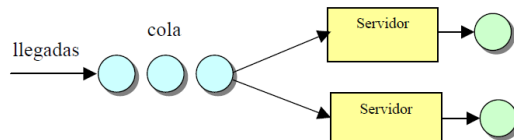


Figura N° 5. Múltiples servidores en paralelo una cola
Fuente: oaplo@sinectis.com.ar

Múltiples Servidores (en serie) – Una Cola. La variable crítica que puede presentar esta estructura es la probabilidad que existe de generarse un cuello de botella, debido que cuando se diseña una un modelo de estos debe estar estructurado de que el flujo del sistema dependa del servidor con menor velocidad de atención ya que de lo contrario se darán elementos en los que se acumularán al frente de cada servicio, dando como resultado ya no una sola cola si no lo que nombra el autor como colas de espera separada. Un ejemplo con el que se puede asimilar este tipo de sistemas se puede observar con mayor facilidad en una empresa de manufactura, donde para la creación de un producto final, los insumos van avanzado en grupo por cada puesto de trabajo, donde en cada uno se le realiza un proceso diferente, y además si estos puestos no están

balanceados si no cuentan con un tiempo de desempeño ideal, tarde o temprano se generara un acumulamiento de piezas en diferentes posiciones.

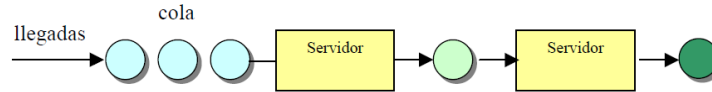


Figura N° 6. Múltiples servidores en serie una cola
Fuente: oaplo@sinectis.com.ar

Múltiples Servidores - Fases Múltiple. En este caso el ejemplo más ilustrativo con el cual se puede explicar este modelo, se presenta cuando se requiere hacer los exámenes médicos y motricidad para sacar el pase de conducción, la razón de ello es que se llega a una locación te asignan un turno por el orden de llegada, pero te van enviando a diferentes puntos de atención intercalándolos hasta evacuarlos de la siguiente manera, tenemos al cliente y 1 y al dos, y en servidores tenemos 4 estaciones, así que mientras el numero 1 va a la estación A el cliente 2 va a la estación B, al terminar cada servicio pasan a las otras dos estaciones de la misma manera hasta pasar por todas ellas.

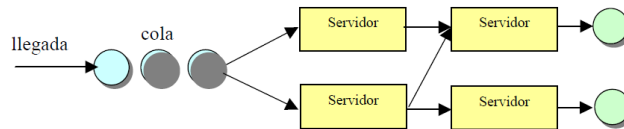


Figura N° 7. Múltiples servidores, fases Múltiples
Fuente: oaplo@sinectis.com.ar

Luego de haber dado un pequeño vistazo de los conceptos y la conformación de los diferentes modelos de colas, en qué casos se utilizan, también es necesario hacer un pequeño paréntesis sobre lo que anteriormente llamábamos la distribución exponencial el cual juega un papel más que valioso fundamental dentro de la teoría de colas. Esta apreciación se da debido a las propiedades estadísticas en que se compone un sistema de colas, en primer lugar la probabilidad de ocurrencia de entrada de un agente al sistema y la probabilidad del tiempo en que tarda dentro del sistema siendo atendido. Partiendo de este punto la distribución exponencial da una representación razonable del proceso de llegadas en una diversidad de situaciones, debido a que no es simétrica debe tener tantos valores por encima de la media como debajo de ella. (Soto, W. A.; 2008, 5) y por dicha razón queda definida como la tasa media de llegadas en un periodo específico y se representa con el siguiente símbolo λ .

Para efectos de este Artículo tras definir la gama de modelos que existe el que se tomara es el modelo Múltiples Servidores en paralelo-una cola o también representado como M/M/S. Una característica adicional que antes no fue mencionada y se trata de que la Fuente puede ser de los dos tipos infinita y finita, pero para este caso existe una mayor inclinación a ser finita, dicho en otras palabras existe un rango o un cupo de clientes en el sistema que podrán ser atendidos sin afectar la calidad del servicio. (EPPEN, G.D., 2000) Adicional a dicha particularidad se presenta que las llegadas al sistema presentan una distribución de probabilidad de Poisson y los tiempos de servicio se distribuyen exponencialmente.

Distribución Poisson: $P(x) = e^{-\lambda} \lambda^x / x!$ para $x = 0, 1, 2, 3, 4, \dots$

Por otra parte para el desarrollo de este modelo se requiere de la definición de ciertos tipos de elementos o formulas, en primer lugar basado en las definiciones encontradas en (Ramos, Teoría de colas;) se aclaran los siguientes símbolos o abreviaturas usadas en las medidas de eficacia de un sistema de colas y son:

Lq: N° esperado de clientes en la cola	Wq: Tiempo esperado de espera en la cola
Ls: N° esperado de clientes en el sistema	Ws: Tiempo esperado de espera en el sistema

Adicionalmente con la ayuda de otra de las fuentes encontradas las formulas base para cualquier sistema de colas y posteriormente para el tipo de modelo a implementar en este documento son las encontradas en (De la Fuente García, D., & Díez, R. P.; 2000) y se visualizan a continuación.

Ecuación del flujo de Little. $L_s = \lambda W_s$ Donde

Ls: N° esperado de personas en el sistema	λ : Tasa Media de llegadas
	Ws: Tiempo de espera Estimado

Factor de utilización. $\rho = \lambda / s\mu$ donde μ es la tasa promedio de servicio. Con lo cual el factor de utilización se define como la fracción promedio de tiempo que el sistema está ocupado. Partiendo de lo anterior se deduce que la probabilidad de encontrar al sistema vacío estaría definido por: $P_0 = 1 - \lambda / s\mu$

Formulas generales para la aplicación de este modelo llamado multicanal el cual se aplicara al caso estudio dentro de la compañía seleccionada.

$$\begin{aligned}
 P_0 &= \frac{1}{\frac{\rho^s}{s!} \left(\frac{s\mu}{s\mu - \lambda} \right) + \sum_{n=0}^{s-1} \frac{\rho^n}{n!}} \\
 L_q &= \frac{\rho^s \lambda \mu}{(s-1)!(s\mu - \lambda)^2} P_0 & L_s &= L_q + \frac{\lambda}{\mu} & W_q &= \frac{L_q}{\lambda} \\
 W_s &= W_q + \frac{1}{\mu} & P_n &= \frac{\rho^n}{n!} P_0, \text{ si } n \leq k \\
 P_n &= \frac{\rho^n}{s! s^{n-s}} P_0, \text{ si } n > k & P_w &= \frac{1}{s!} \rho^s \left(\frac{s\mu}{s\mu - \lambda} \right) P_0
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &\text{Si } s = 2 \\
 L_q &= \frac{\rho^3}{4 - \rho^2} \\
 &\text{Si } s = 3 \\
 L_q &= \frac{\rho^4}{(3 - \rho)(6 - 4\rho + \rho^2)}
 \end{aligned}$$

Figura N° 8. Formulas para el sistema Multicanal o MMS

Fuente: www.auladeeconomia.com

Finalmente antes de pasar a describir como se realizara la aplicación de las anteriores teorías o formulas, es necesario realizar una retroalimentación de lo descrito para tal caso traigo a mención a (Romaní, J.; 1955) quien nos da una visión global y al tiempo nos introduce al lineamiento que se quiere o que se plantea desde un principio en el documento. Dentro del marco teórico se encontró la definición de varios términos y entre ellos se encontró que la palabra cola en general es asignada a personas pero que no es una ley que ha de cumplirse con rigurosidad, que para ser estudiado un comportamiento de este tipo puede ser utilizado hasta artículos que están en la vitrina esperando ser vendidos, que lo único que si debe estar presente sin excepción alguna es el cálculo probabilístico al igual que la implementación de las normas de proceso de llegada, de la disciplina de la línea de espera, como a su vez la del proceso de servicio.

Pero adicionalmente el paso siguiente a la evaluación entendimiento y aplicación de esta teoría sin importar el campo en que se quiera realizar el futuro de esta herramienta se desplazara a la aplicación de software de simulación de modelos matemáticos en los que se puedan ingresar escenarios de tipo determinista y estocástico con mayor grado de cercanía a la realidad (López, M. V., & Mariño, S. I. 2009). Lo que viene a continuación en este documento es la aplicabilidad que se le dio a esta herramienta para determinar la mejora de la operación dentro del área de despachos de la compañía, y a su vez como se ideo y ejecuto dicho plan.

METODOLOGÍA

Para el desarrollo de la investigación se tomo como guía los medios que permitan dar consecución a los objetivos planteados para la implementación de la teoría de líneas, por esa razón se parte del hecho de realizar el levantamiento de información de variables con las que no se cuentan en los formatos de control de proceso, variables que solo en el avance de la operación pueden detallarse, por tal motivo se realiza la programación de turnos nocturnos durante una semana, en dicho tiempo mediante la implementación de un formato se extrae diferentes tiempos y comportamientos durante el desarrollo de la operación y así mismo el destino de esta indagación es convertirse en la fuente primaria para aceptar o rechazar el realizar la aplicación del modelo se crea más conveniente.

Para la definición del modelo idóneo el protocolo a seguir es no solo realizar la toma de datos antes mencionado si no que paralelamente se deberá realizar una observación detallada del entorno del área objetivo de estudio y compararlo con los diferentes escenarios expuestos en la revisión bibliográfica.

Finalmente se diseñara una plantilla en una hoja de cálculo en Excel en donde se puedan ingresar las formulas del modelo seleccionado, con la cual se pueda generar un análisis mas dinámico con solo mover ciertas variables o ítems importantes del modelo permitiendo visualizar las ventajas o mejoras con cada cambio implementado.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Al mencionar los anteriores ejemplos y luego de estudiar cada uno de los modelos existentes, el modelo seleccionado y con mayor intervención dentro de la empresa es el M/M/s el cual es escogido por dos razones, la primera porque es con el que se puede representar la operación en cuestión. Pero adicionalmente al observar varias partes de la compañía se generan casos similares lo que nos implica un mayor campo de acción e implementación de dicha herramienta.

Características del sistema actual

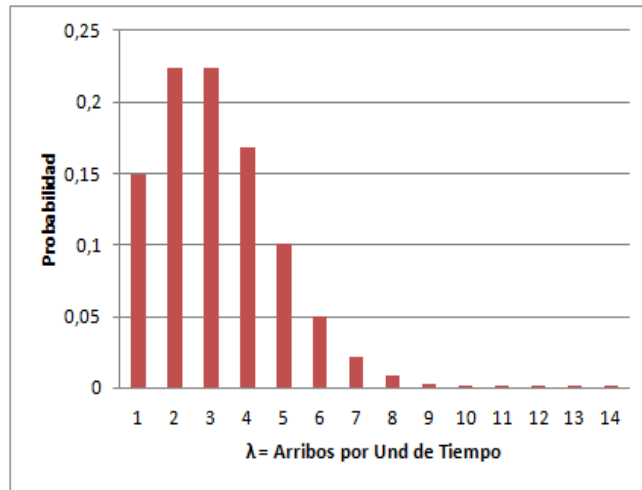
Proceso de llegada. El registro de camiones que asistieron a la fábrica durante el estudio realizado en el transcurso de cinco días, en horario de 11:00 pm a 8: 00 am

$\lambda=3.05$ clientes/hora	$\lambda=3.24$ clientes/hora	$\lambda=2.77$ clientes/hora	$\lambda=3.14$ clientes/hora	$\lambda=2,81$ clientes/hora
---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------

La tasa de llegada de clientes al sistema se obtiene con la media aritmética de las tasa obtenidas mediante la observación o trabajo de campo y es de $\lambda = 3.002$

Distribución de Poisson. Para efectos de continuar con la aplicación del modelo se utiliza esta distribución para observar el comportamiento de nuestro evento durante el tiempo establecido el cual para entender con mayor facilidad se muestra el siguiente grafico.

x	p(x)
1	0,149162458
2	0,223892849
3	0,224042111
4	0,168143604
5	0,10095342
6	0,050510361
7	0,021661729
8	0,008128564
9	0,002711328
10	0,000813941
11	0,000222132
12	5,557E-05
13	1,28324E-05
14	2,75163E-06



Fuente: Autor 2013

De la grafica se puede discernir que el proceso evaluado contiene un elemento en común el cual se describe por una variable aleatoria discreta.

Proceso de Servicio. El registro de camiones que asistieron a la fábrica durante el estudio realizado en el transcurso de cinco días, en horario de 11:00 pm a 8:00 am

$\lambda=1,56$ clientes/hora	$\lambda=1.36$ clientes/hora
$\lambda=1.01$ clientes/hora	$\lambda=1.07$ clientes/hora
	$\lambda=1.09$ clientes/hora

La tasa de servicio es obtenida con la media aritmética de las tasas resultado de la observación o trabajo de campo y es de $\mu = 1.218$

Teoría de líneas de espera ligada a la generación de muelles 21

Cálculos y Resultados. Actual Con dos Servidores.

Cálculos de colas M/M/s

Supone un proceso de Poisson para arribos y servicios

Tasa de llegadas **3,002** por hora 0,05003 por minuto

Tasa de servicio **1,218** por hora 0,0203 por minuto

Número de servidores **2** (máx de 40)

¡LA TASA [Unidad de tiempo

hora

Utilización **123,23%**

P(0), probabilidad que el sistema esté vacío **-0,1041**

Lq, longitud esperada de la cola **-7,2165**

L, número esperado en el sistema **-4,7518**

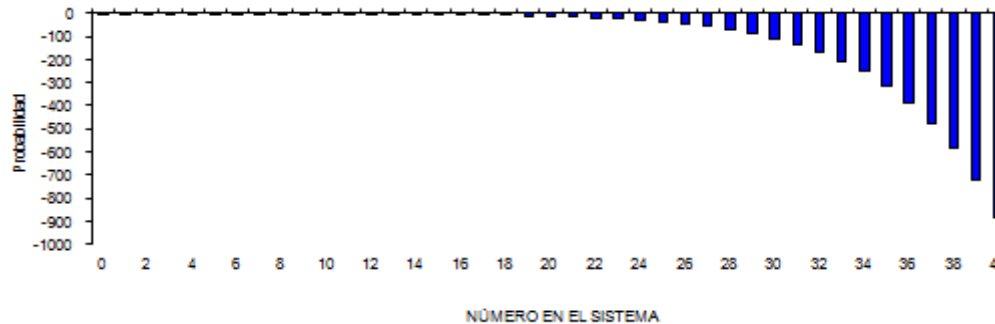
Wq, tiempo esperado en la cola **-2,4039** horas **-144,2347** minutos

W, tiempo total esperado en el sistema **-1,5829** horas **-94,9736** minutos

Probabilidad que un cliente espere **1,3606**

P(0) = -0,1041 1,36061

		P(n)	
0	1	-0,1041	-0,1041
1	2,4647	-0,2565	-0,2565
2	0	-0,3161	0
3	0	-0,3896	0
4	0	-0,4801	0
5	0	-0,5917	0
6	0	-0,7291	0
7	0	-0,8985	0
8	0	-1,1073	0
9	0	-1,3646	0
10	0	-1,6817	0
11	0	-2,0724	0
12	0	-2,5539	0
13	0	-3,1473	0
14	0	-3,8786	0
15	0	-4,7798	0
16	0	-5,8904	0
17	0	-7,259	0
18	0	-8,9456	0
19	0	-11,024	0
20	0	-13,585	0
21		-16,742	0
22		-20,632	0
23		-25,426	0
24		-31,334	0
25		-38,614	0
26		-47,586	0
27		-58,642	0
28		-72,267	0
29		-89,059	0
30		-109,75	0
31		-135,25	0
32		-166,68	0
33		-205,4	0
34		-253,13	0
35		-311,94	0
36		-384,42	0
37		-473,74	0
38		-583,82	0
39		-719,47	0
40		-886,63	0



Análisis. La información que se puede apreciar hace parte del diagnóstico del escenario actual que se dio como resultado de llevar la información que se pudo obtener de la compañía sobre una de sus sedes. Para este evento se puede observar como la tasa de llegada del cliente estudiado supera a la capacidad de respuesta de nuestro sistema de muelles de cargue, que a pesar que se cuenta con dos módulos, estos están siendo sobre utilizando y a consecuencia de ello no solo se genera una línea de espera si no que a su vez se incurre en demoras de entrega o salida que más adelante se traducen en la reducción de nivel de servicio ya que la ventana de tiempo con la que puede contar cada cliente para llegar a su próximo destino se reduce convirtiéndose en una operación ineficiente.

Propuesta con tres Servidores.

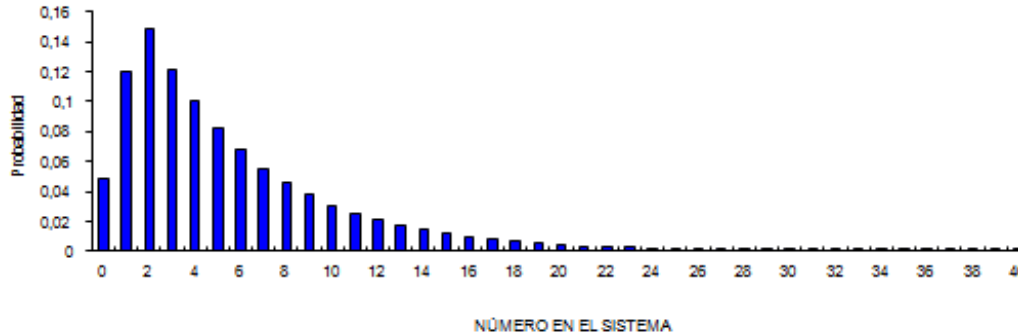
Cálculos de colas M/M/s

Supone un proceso de Poisson para arribos y servicios

Tasa de llegadas	3,002	por hora	0,05003	por minuto
Tasa de servicio	1,218	por hora	0,0203	por minuto
Número de servidores	3	(máx de 40)		
Unidad de tiempo	hora			

Utilización	82,16%		
P(0), probabilidad que el sistema esté vacío	0,0488		
Lq, longitud esperada de la cola	3,1430		
L, número esperado en el sistema	5,6077		
Wq, tiempo esperado en la cola	1,0470	horas	62,8182 minutos
W, tiempo total esperado en el sistema	1,8680	horas	112,0793 minutos
Probabilidad que un cliente espere	0,6826		

P(0) =	0,04881	0,68262	
		P(n)	
0	1	0,04881	0,04881
1	2,4647	0,12031	0,12031
2	3,03736	0,14826	0,14826
3	0	0,1218	0
4	0	0,10007	0
5	0	0,08221	0
6	0	0,06754	0
7	0	0,05549	0
8	0	0,04559	0
9	0	0,03746	0
10	0	0,03077	0
11	0	0,02528	0
12	0	0,02077	0
13	0	0,01706	0
14	0	0,01402	0
15	0	0,01152	0
16	0	0,00946	0
17	0	0,00777	0
18	0	0,00639	0
19	0	0,00525	0
20	0	0,00431	0
21		0,00354	0
22		0,00291	0
23		0,00239	0
24		0,00196	0
25		0,00161	0
26		0,00133	0
27		0,00109	0
28		0,00089	0
29		0,00074	0
30		0,0006	0
31		0,0005	0
32		0,00041	0
33		0,00033	0
34		0,00028	0
35		0,00023	0
36		0,00019	0
37		0,00015	0
38		0,00013	0
39		0,0001	0
40		8,5E-05	0



Análisis. Este informe representa las ventajas de la utilización de dicha teoría, de como con solo ser modificada la cantidad de servidores se logra mejorar la operación de un sistema, que adicionalmente se obtiene los soportes suficientes para lanzar la propuesta de diseño del área de cargue o descargue de la compañía. En este informe se detalla como los tiempos de espera en cola o en el sistema disminuyen y adicionalmente se percibe la generación de un trabajo con mayor precisión, con menos ocurrencia de errores mediante usando 3 servidores con un porcentaje de utilización del 82.16%.

Por otra parte luego de realizar la revisión de diversos modelos y de observar que la gran mayoría de ellos conjeturan en tratar con un número fijo de canales en la realidad la aplicabilidad varía con gran frecuencia ya que se presenta que el número de canales no solo puede ser no fijo si no que al tiempo se transforma en una variable aleatoria tal como lo es el número de elementos en cola (Romaní, J.; 1957)

RECOMENDACIONES

Para la realización de próximas evaluaciones del sistema de colas y la aplicabilidad para este tipo de casos, es recomendable hacer varias revisiones al año ya que no en todos los periodos se manifiesta la misma cantidad de demanda del servicio y paralelamente el tiempo de servicio puede sufrir variaciones que afecten el diseño del sistema propuesto.

Se debe tener muy presente que el hecho de hacer una propuesta de este tipo puede generar resistencia en el caso de no tratarse de la evaluación de la operación para la planeación de un proyecto nuevo, hago mención a ello ya que en algunas oportunidades se puede presentar que se cuenta con el espacio para rediseñar dicha área pero no solo basta con la presentación del modelo y de la utilización que se obtendría, deberá ser evaluado y presentado otro tipo de variables mediante cálculos adicionales que por falta de tiempo no se pudieron lograr y que reforzaría la toma de decisión, para este caso es recomendable incluir un rediseño de los muelles, y revisar el protocolo o flujo de operación.

Por otra parte el tener en cuenta que la aplicación de herramientas que agilicen el proceso repercutirá en la optimización del mismo y por consiguiente el número de servidores podría variar al aplicar nuevamente el modelo.

Finalmente solo resta mencionar que como refuerzo a un ejercicio de este tipo, se debería acudir a una simulación en la cual puedas confirmar como sería el comportamiento por largas jornadas teniendo en cuenta que durante el tiempo de ejecución pueden llegar al sistema otro tipo de factores o fenómenos que impliquen la modificación del diseño propuesto. (García, J. J., Martínez, S. M., & Garcia, J. F.; 2005)

CONCLUSIONES

Con el desarrollo del artículo se logra identificar la oportunidad de mejora que está al alcance de la compañía, que mediante la implementación y uso continuo de esta herramienta el planteamiento de la cantidad de muelles requeridos para efectuar un trabajo estable y eficiente se convierte dinámico, toma esta característica teniendo en cuenta la variabilidad que puede estar presente en el comportamiento tanto de la demanda como en el servicio.

Otro aspecto de gran importancia que debe ser tenido en cuenta es que sin importar el modelo a implementar al proceso en estudio, gracias a su probabilidad aplicada, permite obtener resultados más idóneos gracias a la interrelación que se logra entre la demanda, entre los elementos estocásticos de la misma y en la capacidad y/o calidad del producto (Gallego, J., & Parra Frutos, I.; 1999; 121-142)

El paso más importante para la identificación de un modelo es conocer el proceso y saber del alcance del mismo en la aplicación de la teoría de colas, un ejemplo de ello es el encontrado en (López, C. R.; 1974; 87-100). En el cual se logro obtener varios elementos que optimizaron su proceso como lo fue el número de equipos en recepción de su materia prima y a su vez la dimensión del centro de distribución con abastecimiento de lotes que le permiten generar una operación eficiente.

La etapa de levantamiento de información es quizás una de las más valiosas e indispensable, ya que con los datos que se logran obtener es que se esquematiza o desarrolla cualquier modelo matemático o en este caso un modelo de teoría de colas, En algunas oportunidades el llevar a cabo esta tarea presenta ciertas dificultades por los canales de acceso con que se cuenta para obtenerla, pero de igual forma poder tenerla a la mano es una gran ventaja ya que con ella y con la integración no solo del investigador si no de todo un equipo de trabajo se puede generar un panorama adecuado de la situación actual, no dejar ninguna variable suelta y de esta manera poder plantear un modelo con mayor precisión que permita la generación de una solución o varias soluciones a las diferentes dificultades o contratiempos que a menudo se presentan en una compañía sin importar su razón social.

Para efectos de este caso, la mencionada actividad fue un poco difícil por los horarios en que se generaba la operación ya que eran totalmente opuestos a la jornada en que labora la parte administrativa, pero afortunadamente se conto con un equipo de trabajo que prestó apoyo y soporte en ciertas actividades que permitió para poder lograr obtener el espacio para obtener los datos necesarios para aplicar el modelo.

Actualmente la tendencia de implementación de modelos o herramientas que permitan optimizar los procesos se inclina a la utilización de simuladores, por esta razón traigo a colación a tres referencias o autores consultados como lo son (s. kwan, m. davis, a. greenwood.; 1988), (W.D.

Kelton. 2003), (J. Banks, J. Carlson, B. Nelson y D. Nicol.; 2001) quienes dentro de su investigación plantea la utilización de estas teorías y herramientas para definir la cantidad requerida de trabajadores en una operación de servicio con la demanda del cliente en función de tiempo, como diseñar el escenario dentro de un software, o el paso a paso para obtener resultados satisfactorios. En otras palabras, se adquiere la ruta para poder plasmar y evaluar la tasa de llegadas de los clientes al servicio en diferentes horas o lapsos de tiempo, con el fin de visualizar e identificar en cuáles momentos es posible que se presenten picos de llegada o salida para plantear, administrar y asignar el número de personas adecuadas para atender la demanda dentro del sistema.

De acuerdo a lo mencionado durante todo el desarrollo del documento y en especial a lo que se refiere de la simulación, la conclusión primaria es que esta herramienta hija de la teoría de líneas es el siguiente paso, es quien obtiene el legado para la generación de mejores tomas de decisión y optimización de procesos pero además puede ser expuesta a ser realizado un comparativo, para que al instante de ingresar los rubros principales de cada una de estas por separado y generar sus respectivas respuestas se puede forjar una matriz comparativa o de similitudes que confirmen o no la exactitud de la aplicación del método y modelo aplicado.

BIBLIOGRAFÍA

Ricardo cao abad,(2002), *Introducción a la simulación y a la teoría de colas*, coruña.

HAMDY A. TAHA, 2004, *Investigación de operaciones*, 7ª Edición, Mexico: Pearson Educación.

Liliana Enciso Quispe, 2011, *Teoría de Colas*, 2ª Edición, Ecuador: Universidad Técnica Particular de Loja

Hillier. Lieberman, 2002, *Investigación de operaciones*, 7ª Edición, Mexico: Mc Graw Hill.

ANDERSON David, SWEENEY Dennis, WILLIAMS Thomas., 2004, *Métodos Cuantitativos para los negocios* “, 1ra Edición; Thomson.

Arias j., Gonzalez A., Redondo r., 2004, *Teoría de colas y simulación de eventos discretos*, 3ra. Edición, prentice hall

Chase, Richard – Aquilano, Nicholas., 1.997 , *Dirección y Administración de Producción y de las Operaciones*. 6ª Edición. España: Mc Graw-Hill.

Schroeder, Roger., 1.999, *Administración de Operaciones*. 3ª Edición. España: Mc Graw-Hill.

E.T.S. Ingenieros industriales, , *Introducción a la teoría de colas*, (Septiembre 15 2013),Valladolid en: http://www.isa.cie.uva.es/estudios/doctorado/ga/transpa_sis_even_jgg.pdf

Andres Ramos, *Teoría de colas*; Universidad Pontificia Comillas. Recuperado en septiembre 10 del 2013.en <http://www.iit.upcomillas.es/aramos/simio/transpa/t Qt ar.pdf>

M. dong. , 2001, *Process modeling, performance analyss and configuration. simulation in integrated supply chain desingn. ph.d.thesis*, virginia polytechnic institute and state university.

s. kwan, m. davis, a. greenwood., 1988, *A simulation model for determining variable worker requirements in a service operation with time-dependent customer demand*, Vol 3, queueing systems.

W.D. Kelton. 2003, *Experimental Design for simulation*, Proceedings of the 2003, Winter simulation conference.

J. Banks, J. Carlson, B. Nelson y D. Nicol., 2001, *Discrete Event System simulation*. Prentince hall International series.

- Romaní, J. (1957). Un modelo de la teoría de colas con número variable de canales. *Trabajos de estadística*, 8(3), 175-189.
- Moder, J. J., & Phillips, C. R. (1962). Queuing with fixed and variable channels. *Operations Research*, 10(2), 218-231.
- Deb, R. K. (1976). Optimal control of batch service queues with switching costs. *Advances in Applied Probability*, 177-194.
- Berman, O., & Sapna-Isotupa, K. P. (2005). Optimal control of servers in front and back rooms with correlated work. *IIE Transactions*, 37(2).
- Artalejo, J. R., & Lopez-Herrero, M. J. (2003). On the M/M/m queue with removable servers. *Stochastic Point Processes*.
- Soto, W. A., 2008, *Propuesta de optimización de servicio de despacho, a través de la mejora del sistema de colas de una fábrica de alimentos balanceados para animales*, Guatemala.
- EPPEN, G.D., 2000, *Investigación de Operaciones en la Ciencia Administrativa*, 5ª Edición, México: Prentice-Hall.
- De la Fuente García, D., & Díez, R. P. (2000). *Teoría de líneas de espera: modelos de colas*. Universidad de Oviedo.
- Romaní, J. (1955). La teoría de las colas aplicada a un problema de producción industrial. *Trabajos de Estadística y de Investigación Operativa*, 6(3), 253-261.
- Aranda Gallego, J., & Parra Frutos, I. (1999). Modelos de mercado: una aplicación de la Teoría de Colas. *Estudios de economía aplicada*, (11), 121-142.
- Barbosa, R., & Rojas, A. (1995). Teoría de colas de espera: Modelo integral de aplicación para la toma de decisiones. *revista Ingeniería & Desarrollo. Universidad del Norte*, 1, 73-78.
- Bernal García, J. J., MARTÍNEZ MARÍA DOLORES, S. M., & SÁNCHEZ GARCÍA, J. F. (2005). Aplicación de la simulación con hoja de cálculo a la teoría de colas. *Rect@*.
- Abad, R. C. (2002). *Introducción a la simulación y a la teoría de colas/Introduction to Simulation and Queuing Theory*. Netbiblo.
- López, M. V., & Mariño, S. I. (2009). Simuladores para afianzar conceptos de teoría de colas. In *XV Congreso Argentino de Ciencias de la Computación*.