

**Análisis del modelo teoría de colas para la optimización en la industria del servicio. Estudio de caso
parqueadero.**

Autor

CARLOS DANIEL CEQUEDA SILVA

Director

RICHARD ANTONIO MOYA ARGÜELLO

Ingeniería Industrial

**PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS MECÁNICA, MECATRÓNICA E INDUSTRIAL
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA**



**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
PAMPLONA, Octubre 2 de 2022**

Tabla de Contenido

1. Resumen	5
2. Introducción	1
3. Resultados	3
3.1 Análisis del sector de servicios	3
3.2 Generalidades de la teoría de colas	3
3.3 Tipos de sistemas	4
3.4 Llegada del cliente	6
3.5 Capacidad de la Cola.	6
3.6 Disciplina de la Cola.	7
3.7 Tiempos de Servicio.	7
3.8 Numero de Servidores.	7
3.9 Nomenclatura	9
3.10 Modelos en línea de espera.	9
3.11 Costos en los sistemas de colas	12
3.12 Servicio al cliente y su importancia en la optimización	14
3.13 Componentes y herramientas de simulación en líneas de espera.	15
3.13.1 componentes	15
3.13.2 Herramientas	17
3.14 Estudio de caso	18
3.14.1 Recopilación de datos del acceso en la calle 53	21
3.14.2 Análisis del sistema de colas	25
3.14.3 Recopilación de datos del acceso en la carrera 50	31
3.14.4 Análisis del sistema de colas	35
3.14.5 Estado actual del parqueadero	40
4. Conclusiones	42
5. Bibliografía	44

Lista de tablas

Tabla 1 Múltiples colas y múltiples servidores.....	8
Tabla 2 Ingreso de Vehículos Calle 53.....	21
Tabla 3 Tiempos de atención	23
Tabla 4 Tiempos de atención	24
Tabla 5 Datos de la calle 53.....	25
Tabla 6 Resultados $P(0)$ Calle 53.....	26
Tabla 7 Resultados $P(0) / E(w)$ Calle 53	27
Tabla 8 Resultados $P(0) / E(w) / E(v)$ Calle 53	28
Tabla 9 Resultados $P(n)$ Calle 53.....	29
Tabla 10 Ingreso de Vehículos Carrera 50	31
Tabla 11 Tiempos de atención	33
Tabla 12 Tiempos de atención	34
Tabla 13 Datos de la carrera 50	35
Tabla 14 Resultados $P(0)$ Calle 53.....	36
Tabla 15 Resultados $P(0) / E(w)$ Carrera 50	36
Tabla 16 Resultados $P(0) / E(w) / E(v)$ Carrera 50.....	37
Tabla 17 Resultados $P(n)$ Carrera 50	38

Lista de figuras

Ilustración 1Una cola, un servidor	4
Ilustración 2Una cola, múltiples servidores.....	5
Ilustración 3Múltiples colas y múltiples servidores.....	5
Ilustración 4Equilibrio entre costos de espera y de servicio	13
Ilustración 5Componentes de una simulación	16
Ilustración 6Acceso y Salida Zona de Parquaderos	19
Ilustración 7Acceso y Salida Zona de Parquaderos Cra 50	19
Ilustración 8 Diagrama de flujo	20
Ilustración 9 Estado actual del parqueadero	40
Ilustración 10 Estado actual del parqueadero	41
Ilustración 11Estado actual del parqueadero	41

1. Resumen

En la presente monografía “Análisis del modelo teoría de colas para la optimización en la industria del servicio. Caso parqueadero del Centro Comercial Portal del Prado” se lleva a cabo con el objetivo de enseñar los modelos de teoría de colas, las investigaciones de trabajos de posgrado, artículos, monografías y libros que han reflejado este tema, se da a conocer la gran importancia de las líneas de espera en la cotidianidad de nuestras vidas, nos muestra cómo podríamos resolver y aconsejar en las situaciones de espera cualquiera que sea. Las empresas con el paso de los años siempre buscan mejorar sus procesos y sobre todo minimizar sus tiempos, con los modelos matemáticos de la teoría de colas se puede obtener una mejora en sectores de servicio al cliente, pero también en industrias con procesos industriales. También se puede concluir que el enfoque de modelado utilizado es ideal para el estudio del escenario descrito y el modelo utilizado (modelo MMK) explica correctamente el tipo de situación bajo estudio.

Palabras clave: Teoría de colas, atención al cliente, líneas de espera, modelos, procesos.

Abstract

In this monograph “Analysis of the application of queuing theory for optimization in the service sector. Parking case of the Portal del Prado Shopping Center” is carried out with the aim of teaching queuing theory models, postgraduate work research, articles, monographs and books that have reflected this topic, the great importance of waiting lines in our daily lives, shows us how we could solve and advise in waiting situations whatever they may be. Over the years, companies always seek to improve their processes and, above all, minimize their time. With the mathematical models of queuing theory, an improvement can be obtained in customer service sectors, but also in industries with industrial processes. It can also be concluded that the modeling approach used is ideal for the study of the described scenario and the model used (MMK model) correctly explains the type of situation under study.

Keywords: Queuing theory, customer service, waiting lines, models, processes.

2. Introducción

Las colas son un aspecto de nuestra vida cotidiana que siempre va estar presente, cuando vamos al banco, al supermercado, una barbería, al querer hablar con otra persona ya sea por chat o en persona, esperar una cita en una clínica, etc. En general, las personas se ven afectadas al esperar en una cola, esto provoca que los clientes se vayan a otro lugar o desalojen el sitio por molestias, esto pasa en todas partes del mundo. Las colas las encontramos continuamente en nuestras diligencias diarias, esto con el fin de mantener un orden que permita el buen desarrollo de algunas actividades del ser humano.

(Sulbarán, 2018)

Los comienzos de la teoría de colas son los esfuerzos de Agner Kraup Erlang (Dinamarca, 1878-1929) en 1909 para estudiar la congestión del tráfico telefónico con el objetivo de consumir requisitos de servicio inciertos en el sistema telefónico de Copenhague. Esta teoría es ahora una herramienta comercial muy valiosa porque una gran cantidad de problemas se pueden caracterizar como problemas de congestión en las llegadas y salidas. (Hillier FS, 2014)

La teoría de colas es un tema que pertenece a la investigación de operaciones, es la que plantea modelos para el buen manejo de las líneas de espera. Estas líneas de espera con llevan unos inconvenientes que se verán reflejados a corto o largo plazo, por eso se tienen modelos matemáticos para resolver las situaciones de espera. (Norman, 2006)

Existen distintas situaciones donde es adecuado que el delegado de analizar la teoría de colas se logre apoyar en un programa de simulación, para observar de una forma más realista la situación de línea de espera y evidenciar las ventajas que con lleva aplicar los distintos modelos de simulación. (Portilla, Arias Montoya, & Hernandez Henao, 2010).

Se puede concluir que las líneas de espera son estrictamente necesarias para la vida diaria, pero tenemos la posibilidad de poder reducir esos tiempos de espera, entonces debemos analizar matemáticamente cada proceso que se realiza en un servicio de atención al cliente. Así solo podemos lograr que la espera en colas sea más rápida y agradable para los clientes.

3. Resultados

3.1 Análisis del sector de servicios

Como menciona el autor (Villamizar, 2022) de acuerdo a la información de la encuesta mensual de servicios de Bogotá para el mes de enero de 2022, se hizo evidente un incremento anual en las ganancias nominales de cada una de las ocupaciones del sector servicios, con interacción al mismo mes de 2021. Según las estadísticas 12 de 18 actividades el sector de servicios recuperaron casi por completo su ingreso nominal y ocupación en enero de 2019 (pre pandemia).

3.2 Generalidades de la teoría de colas

La teoría de colas es el estudio o análisis de todo lo que pasa en las líneas de espera, es un conjunto de clientes, llegada del cliente y disposición del servicio. Esto puede suceder cuando llega un cliente y solicita un servicio del servidor que tiene una capacidad de atención limitada. En ocasiones estas colas se pueden originar cuando hace falta un servidor y debe esperar su turno. (Bronso, 1993).

Según (De la fuente garcía & Pino Díez, 2001) la teoría de colas además puede hacer un estudio cuantitativo y cualitativo del sistema que identifica las causas que permiten reducir las colas de espera, el objetivo es reducir el costo de espera de un producto o cliente, y número óptimo de servidores.

El autor (Hillier, 2010) en su libro relata que la teoría de colas estudia todos los sistemas de espera, estas formaciones de colas consisten en procesos en línea de ensamble, en personas requiriendo un servicio y demás situaciones. Definitivamente tienes que esperar para obtener algún servicio o proceso que debe ser tratado. Con un conjunto de modelos de teoría de colas se puede identificar el tiempo y el número óptimo de servidores por sistema que permite mejoras en las áreas de atención para mayor calidad de servicio.

3.3 Tipos de sistemas

Los componentes principales de este proceso de cola son: los clientes y los servidores. Reconocer a una persona como cliente, una solicitud de servicio, el servidor es, el sitio, lugar o punto que va a realizar la acción de atención al cliente, puede ser recepcionista, cajera, etc. Aquí se basan a el tipo de sistema que utilizan, en la teoría de colas encontramos 4 tipos de sistemas. (Perez, 2017)

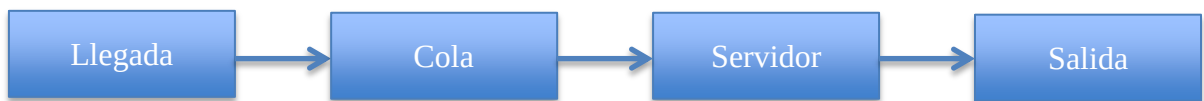


Ilustración 1 Una cola, un servidor

Fuente: Gámez, 2018

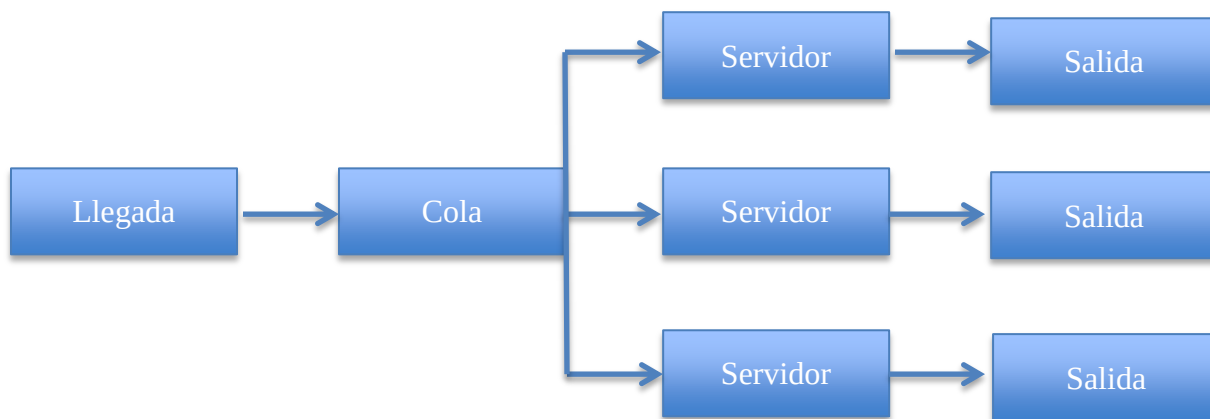


Ilustración 2 Una cola, múltiples servidores

Fuente: Gámez, 2018

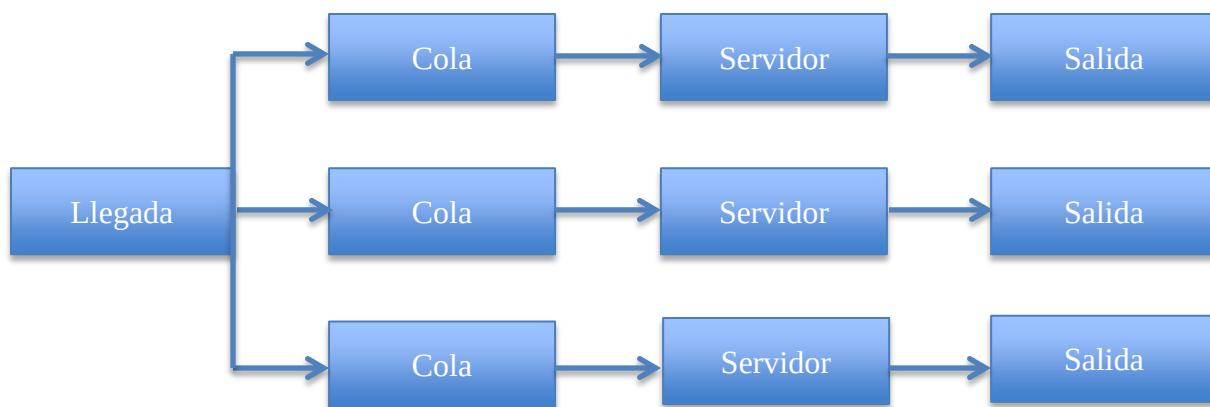


Ilustración 3 Múltiples colas y múltiples servidores

Fuente: Gámez, 2018

Según el autor (Winston, 2005) nos especifica los elementos claves para ser analizados, que son los siguientes:

Análisis del modelo teoría de colas para la optimización en la industria del servicio. Estudio de caso parqueadero

- 1 Llegada del cliente
- 2 Capacidad de la cola.
- 3 Disciplina de la cola.
- 4 Tiempo de servicio.
- 5 Numero de servidores.
6. Etapas del sistema.

3.4 Llegada del cliente

La teoría estima variables como el tiempo transcurrido entre dos funciones consecutivas en el sistema. Es importante estudiar la distribución de probabilidad de estos motivos, el número de clientes que ingresan al sistema y el tiempo de llegada, ya que se puede presentar en lotes o solo uno a la vez. Las llegadas pueden ser de dos tipos, deterministas o probabilísticas. En el determinismo, los tiempos de llegada se conocen con precisión (no son aleatorios), y en la teoría de la probabilidad, el tiempo entre los tiempos de llegada sucesivos es incierto y variable. Esta variable se denomina tasa media de llegada y su parámetro es Lambda " λ ". (Sarabia, 1996)

3.5 Capacidad de la Cola.

Es importante conocer el número máximo de personas que esperan en la cola, ya que el sistema puede mostrar una o más colas, que pueden ser finitas o infinitas, y cuyo comportamiento se rige por reglas consistentes en el orden de atención de los usuarios. También es posible que no haya necesidad de hacer cola, por ejemplo, el servicio de

atención al cliente por teléfono bloqueará y rechazará a los usuarios en líneas ocupadas.

(Sabater, Curso 2015 / 2016)

3.6 Disciplina de la Cola.

De esta forma se elige a qué clientes se quiere atender. Los más comunes son:

La disciplina FIFO (first in first out), también llamada FCFS (first come first served): según la cual se atiende primero al cliente que antes haya llegado.

La disciplina LIFO (last in first out), también conocida como LCFS (last come first served) o pila: que consiste en atender primero al cliente que ha llegado el último.

La RSS (random selection of service), o SIRO (service in random order), que selecciona a los clientes de forma aleatoria. (Ferrer, 2020)

3.7 Tiempos de Servicio.

Los servicios tienen la posibilidad de ser obtenidos por uno o más servidores y este tiempo varía de un cliente a otro. Por consiguiente, se necesita aprender el reparto de posibilidad de esta variable. La era de servicio es dependiente del tiempo promedio de atención y se cataloga como parámetro (μ). (santiago, 2017)

3.8 Numero de Servidores.

El autor (Eppen, Gould, & Schmidt, 1999) nos menciona lo fundamental que es comprender y determinar cuántos servidores se están funcionando para aceptar clientes que ingresan al sistema y mostrar varias configuraciones en el sistema de colas.

Análisis del modelo teoría de colas para la optimización en la industria del servicio. Estudio de caso parqueadero

Según (Izar Landeta J. , 1998) nos relata en su libro que se estudia un conjunto de modelos de líneas de espera simulando sus tiempos de espera en colas, servicios y los tamaños de las colas que forman, deben tener todos los datos necesarios como el número de servidores mencionado anteriormente.

$X_M = \frac{\sum_{i=0}^n X_i \cdot T_i}{\sum_{i=0}^n T_i}$	1	$\rho = \frac{\lambda}{S\mu}$	12
$\rho = \frac{\lambda}{\mu}$	2	$P_0 = \frac{1}{\sum_{n=0}^s \frac{(s\rho)^n}{n!} + \frac{s^s \rho^{s+1}}{s!(1-\rho)}}$	13
$P_0 = 1 - \rho$	3	$P_{so} = \frac{(s\rho)^s}{s!} \frac{1}{1-\rho} P_0$	14
$P_n = P_0 \rho^n$	4	$L_q = \frac{1}{(1-\rho)} P_{so}$	15
$L = \frac{\rho}{1-\rho}$	5	$P_t = \text{Exp}(-\mu t) \left[1 + P_{so} \frac{1 - \text{Exp}[-\mu t(s-1-\rho S)]}{s-1-\rho S} \right]$	16
$L_q = L - \rho = \rho^2 / (1 - \rho)$	6	$L_q = \frac{\lambda^2 \sigma^2 + \rho^2}{2(1-\rho)}$	17
$W = \frac{L}{\lambda}$	7	$L = L_q + \rho$	18
$W_q = \frac{L_q}{\lambda}$	8	$L_q = \frac{\rho^2}{2(1-\rho)}$	19
$W = W_q + \frac{1}{\mu}$	9	$L_s = \lambda \cdot W_s$	20
$P_t = \text{Exp}(-\frac{t}{W})$	10	$L_q = \frac{\lambda^2}{2\mu(\mu - \lambda)}$	21
$P_{qt} = \rho \text{Exp}(-\frac{t}{W})$	11	$L_q = \frac{1+k}{2k} \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)}$	22
		$W_q = \frac{1+k}{2k} \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)}$	23

Tabla 1 Múltiples colas y múltiples servidores

Fuente: Izar Landeta J, 1998

La Tabla 1 muestra las diversas formulaciones necesarias para encontrar los parámetros requeridos y realizar estudios de teoría de líneas, cuya aplicabilidad varía según el tipo de modelo del sistema.

3.9 Nomenclatura

X_M = Numero promedio de clientes en espera

X_i = número individual de clientes en espera

T_i = tiempo que hubo X_i clientes en espera

n = número máximo de clientes en espera

ρ = Probabilidad de que el sistema esté ocupado

λ = Tasa de llegada cliente/unidad tiempo

μ = Tasa de servicio cliente atendido/unidad tiempo

P_0 = Probabilidad de que el sistema este vacío

P_n = Probabilidad de que el sistema esté ocupado por n clientes

L = Número de clientes en sistema incluye los que están en espera o siendo atendidos

L_q = Numero promedio de clientes en la línea de espera

W = Tiempo promedio que un cliente demora en el sistema

W_q = Tiempo promedio de espera de los clientes

P_t = Probabilidad de que un cliente permanezca t unidad de tiempo en el sistema

P_{qt} = Probabilidad de que un cliente permanezca t unidad de tiempo en la línea de espera

s = número de servidores

3.10 Modelos en línea de espera.

El autor (Izar Landeta J. , 1998) relata que los modelos se clasifican por el número de servidores y según ellos el primer modelo será D/D/1. El modelo se observa

Análisis del modelo teoría de colas para la optimización en la industria del servicio. Estudio de caso parqueadero

utilizando un único servidor con conocimiento a priori de tasa de llegada y servicios, que trata de identificar el número de clientes en espera de ser atendidos mediante la ecuación (1). También puedes encontrar un modelo D/D/S diferente al anterior porque tiene más de un número de servidores.

Continuando con el relato anterior del autor Izar dice que el modelo M/M/1 tiene un solo servidor, su tasa de llegada usa distribución de Poisson y tasa de servicio exponencial negativa, y la población estudiada es infinita, esto da las ecuaciones (2), (3), (4), (5), (6), (7), (8), (9), (10) y (11). Además de mencionar el modelo M/M/S, este modelo trata la Ecuación (12 y (16)) como un modelo donde el número de servidores es mayor a 1 y solo la cola de espera es estable cuando $\lambda < S\mu$. (Izar Landeta J. , 1998)

Ahora bien, según los autores Hillier & Lieberman, estos no son los únicos modelos hay variantes disponibles que amplían los modelos anteriores, como el modelo M/D/1, que es un caso especial del modelo M/G/1 donde la varianza $\sigma^2=0$, la ecuación Lq cambia la ecuación (19) y una vez que tengamos este valor podemos calcular (20), (9) y (8). También ofrecen modelos basados en una combinación de diferentes factores en una cola, como el modelo M/D/S donde está bloqueado con muchos servidores, lo que demuestra que su número, llegada exponencial y tiempo de servicio constante debido a el servicio que brindan generalmente se calcula mediante la ecuación (21) Lq , otras ecuaciones de medición del rendimiento (8), (20), (9). El último modelo según los autores tratan con M/E k /s: este modelo presenta $0 < \sigma < 1\mu$, alcanzando distribución de

llegada de Poisson y Erlang, su aplicación de ecuaciones (9), (12), (20) y (22). (Hillier, 2010).

Una notación relacionada pero menos importante es Kendall-Lee, que se utiliza para describir un sistema de colas en el que todas las llegadas se ponen en cola hasta que se libera uno de los K servidores. Después, el primer cliente en la fila ingresa al servicio y así sucesivamente. (Serna, 2011)

Para conceptualizar las propiedades de una cola o fenómenos de cola, la notación de Kendall consta de tres valores alfanuméricos: $a/b/c$

Donde "a" es la distribución del tiempo de llegadas. Las siglas más utilizadas para la distribución son: D (determinista), E_k (Erlang con parámetro variable k), U (distribución uniforme) y M (distribución exponencial), representando esta última la distribución de probabilidad de Poisson o la distribución exponencial. (Naim Caba, 2011)

La letra "b" indica la distribución del tiempo de servicio y la abreviatura de la distribución es la misma que la distribución del tiempo de llegada. La letra "c" es la cantidad de servidores.

Este último modelo a describir es el M/M/K con el cual se realizara el análisis del estudio de caso al sistema de líneas de espera en el estacionamiento del centro comercial.

Es un modelo multicanal que incluye una base infinita de clientes distribuidos por Poisson con múltiples colas utilizando una disciplina de cola FIFO primero en entrar, primero en salir.

- a. Probabilidad de tener cero vehículos en el sistema:

$$P(0) = \frac{1}{\left[\sum_{n=0}^{s-1} \frac{1}{n!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n \right] + \frac{1}{k!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^k \left(\frac{k\mu}{k\mu - \lambda} \right)}$$

- b. Tiempo promedio gastado en la cola:

$$E(w) = \frac{\mu \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^k}{(k-1)!(k\mu - \lambda)^2} P_0$$

- c. Tiempo promedio gastado en el sistema (incluyendo tiempo de cola y servicio):

$$E(v) = E(w) + \frac{1}{\mu}$$

- d. Probabilidad de tener n vehículos en el sistema:

$$P(n) = \frac{1}{n!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n P(0) \quad \text{Para } 0 \leq n < k$$

$$P(n) = \frac{1}{k! k^{n-k}} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n P(0) \quad \text{Para } n \geq k$$

3.11 Costos en los sistemas de colas

La importancia de analizar estos modelos que no solo optimizan el tiempo de actividad, la productividad, la eficiencia, etc. Sino que también permiten reducir los costos asociados con los sistemas que posee. Este modelo de costo de cola tiene como

objetivo lograr un equilibrio entre el costo de esperar y el costo de aumentar la cantidad de servidores. (Narváez-Gómez & Ordoñez Luna, 2018).

El costo total del sistema está dado por:

$$C_{total} = LqC_w + SC_S$$

CS =costos por servidor por llegada por unidad de tiempo.

C_w =costo de esperar por llegada por unidad de tiempo

Lq =número promedio de unidades en cola

S = número de servidores.

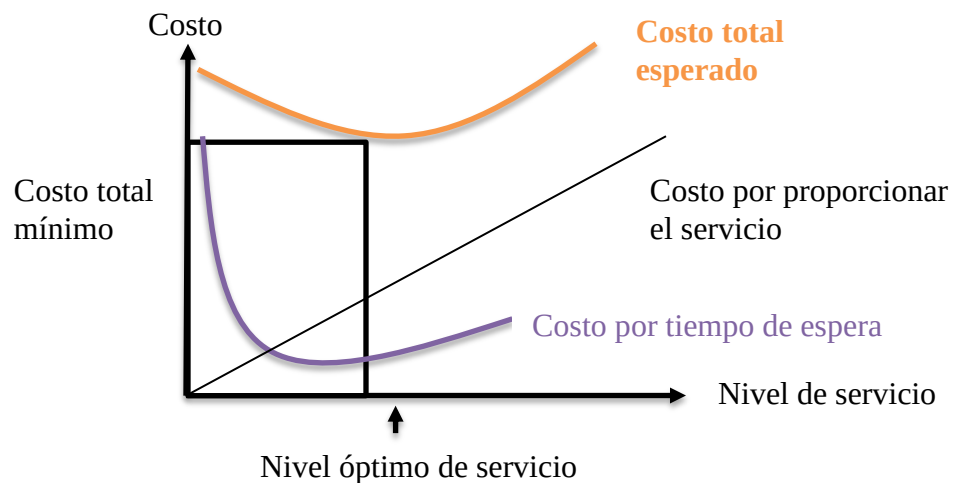


Ilustración 4 Equilibrio entre costos de espera y de servicio

Fuente: Ing. Ayala Torres, 2016

La ilustración 4 muestra que incrementar la proporción de servidores además se incrementa el precio de brindar el servicio, empero disminuye el precio de espera. Se reducen los costos totales y se identifican los cuellos de botella operativos. Todos buscan el mejor nivel de servicio que minimice el costo total. Ahora que eso está fuera del camino, encuentre una manera de mantener bajos sus costos generales.

3.12 Servicio al cliente y su importancia en la optimización

El servicio al cliente es la unión de estrategias en una empresa, creada para satisfacer las necesidades de sus clientes mejor que sus competidores. Siendo imprescindible para el desarrollo de la empresa. (Chamorro Osorio, 2018)

Toda empresa siempre quiere tener un buen desempeño en la prestación de servicios para garantizar la satisfacción del cliente para que pueda ser rentable. Cuando se trata de tranquilizar a los clientes, la calidad del servicio es clave. (Izar Landeta J. &, 2018).

Mejorar el servicio al cliente ha tenido efectos positivos, desde crear una buena impresión de la empresa hasta beneficios financieros. La utilización de las líneas de espera posibilita regir mejor el tiempo, los recursos y el espacio disponible, reducir los precios e incrementar la productividad del comercio. (Morejón Mesa, 2014).

Compartir el significado de la teoría de líneas es de gran ayuda para aquellos que quieren mejorar su negocio. Es una gran herramienta porque es fácil de usar e implementar en cualquier situación, sin importar qué actividad, servicio o producto esté

usando. Con la ayuda de la simulación, puede lograr resultados más optimizados y una mejor visualización del sistema, lo que conduce a mejores decisiones. (Jaimes Batanero, 2014).

Entender cómo se sienten los clientes sobre el servicio prestado y el nivel de satisfacción recibido es una oportunidad para desarrollar un plan de mejora de resultados que muestre al personal de servicio qué cambios e innovaciones son esenciales para lograr la satisfacción general del cliente. (Leudis Orlando Vega de la Cruz, 2017).

3.13 Componentes y herramientas de simulación en líneas de espera.

3.13.1 componentes

El componente "Entidad" se usa para mencionar a cualquier cosa procesada por el sistema (piezas, productos, pedidos, recibos de pago, etc.).

Las "Locaciones" significan una ubicación fija (máquina, área de trabajo, área de espera, cola, ventanilla de pago, etc.) en el sistema donde la empresa realiza procesamiento, almacenamiento u otra actividad o producción.

Las "Llegadas" indican con qué frecuencia y cuántos dispositivos nuevos llegan al sistema para proporcionar datos al sistema y desencadenar su procesamiento.

Un "Recurso" es un operador o máquina utilizada para transportar, realizar una operación específica, mantener o agregar asistencia al procesamiento de un dispositivo.

Una “Red de Rutas” se usa principalmente para crear rutas fijas a lo largo de las cuales los recursos (operadores, máquinas, etc.) viajan a las unidades de transporte u otras estaciones.



Ilustración 5 Componentes de una simulación

Fuente Sergio A. Fernández Henao

Como se muestra en la ilustración 5 y la recopilación de estos componentes, Correa dice que describir un proceso en una simulación nos permite comprender mejor cómo funciona un sistema, identificar sus debilidades, cómo funciona y luego tomar decisiones. Mejorar el servicio. Una simulación se define como una copia o copia del

Análisis del modelo teoría de colas para la optimización en la industria del servicio. Estudio de caso parqueadero

comportamiento de un sistema utilizando un modelo basado en los objetivos del estudio del sistema. (Correa Navarrete, 2018).

Sin embargo, la simulación nos ayuda a comprender cómo funcionará o puede funcionar el sistema, sin ignorar que esto es solo una simulación y no una experiencia real, una descripción detallada de la simulación nos ayudará a comprender mejor el modelo de sistema. Intentar crear un espacio que pueda interpretar la información obtenida de las simulaciones utilizando varios modelos teóricos de colas. (Mielnisuk, 2016).

3.13.2 Herramientas

Microsoft Excel: Excel es un programa que posibilita realizar cálculos matemáticos de diversos estudios y simulaciones, así como otras operaciones realizadas en él, una excelente herramienta para simular estudios de hileras. (Varela Vargas, 2019).

FlexSim: Es un programa de simulación de eventos discretos, con esta herramienta es posible simular el proceso de producción para lograr los mejores resultados, ya que brinda una mejor visualización, análisis y optimización de cualquier proceso, permitiendo decisiones más efectivas sobre mejoras. (Narváez-Gómez J. &, 2018).

Pom-Qm: Es un programa que permite solucionar inconvenientes matemáticos en la averiguación de operaciones para favorecer en la toma de elecciones, lo que es manejado por nuestro módulo de la asignatura primordial "Teoría de colas", que tiene que ver con las colas.

GPSS: Este es un lenguaje de programación que posibilita la simulación general de eventos individuales, brinda información sobre el tiempo total de simulación y nos muestra resultados en colas y servicios. (Chávez López, 2004).

3.14 Estudio de caso

Este caso se desarrolló en el centro comercial Portal del Prado utilizando una formulación en líneas de espera.

Por consiguiente, se describirán los rasgos del centro comercial investigado.

El centro comercial Portal del Prado está ubicado en Barranquilla, la capital de la provincia Atlántica de Colombia. Calle 53, entre Carreras 46 y 50, en una zona muy popular de la ciudad. En la imagen de abajo, podemos ver el centro comercial a diferentes escalas. (Sulbarán, 2018)

El centro comercial tiene 70.000 metros cuadrados, se distribuye en 3 plantas y un entrepiso con más de 150 tiendas y puestos de calzado, ropa, calzado, joyería, servicios, casino y juegos, además de dos tiendas insignia como Royal Pictures. Tiene dos entradas y salidas desde y hacia el estacionamiento, una por Calle 53 con Carrera 46 y otra por la Carrera 50. Estas áreas cuentan con más de 600 estacionamientos autorizados y están separadas de las áreas de manejo de carga y servicio de taxi.

Las siguientes imágenes nos ilustraran los accesos de entrada y salida del parqueadero.



Ilustración 6 Acceso y Salida Zona de Parquaderos

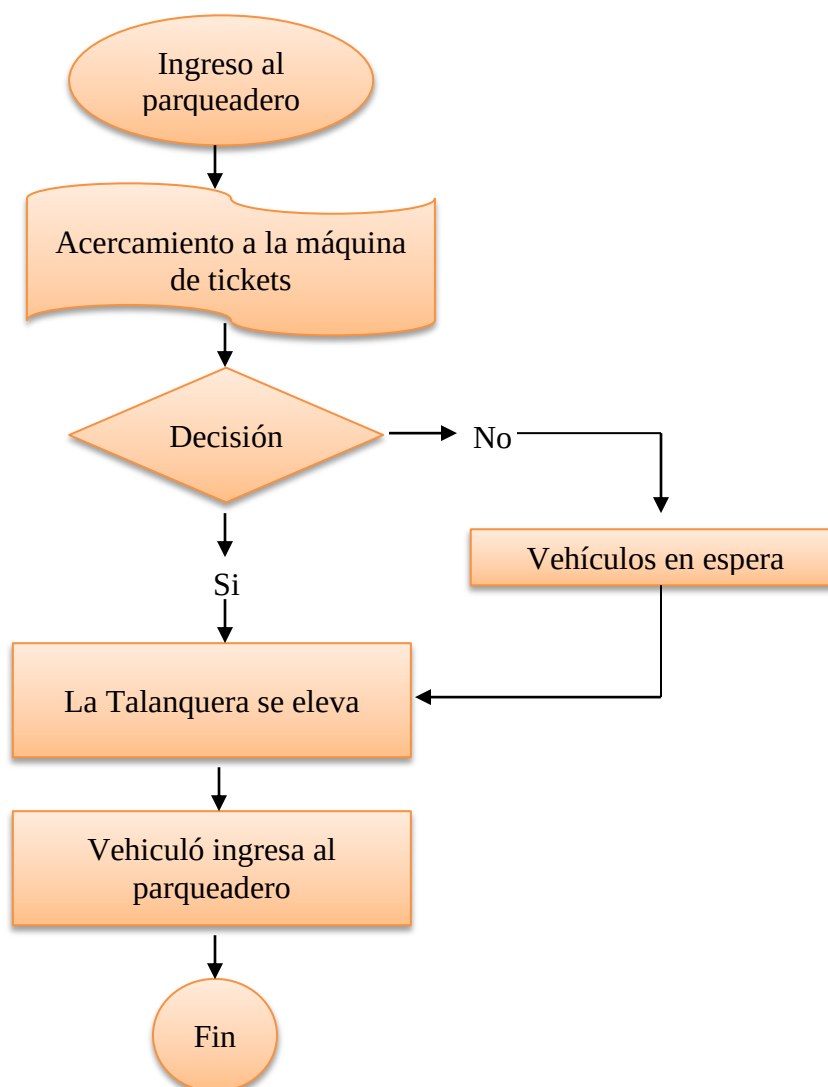


Ilustración 7 Acceso y Salida Zona de Parquaderos Cra 50

Análisis del modelo teoría de colas para la optimización en la industria del servicio. Estudio de caso parqueadero

Si bien los canales fueron creados para laborar con 4 servidores por canal, solo se hallan habilitados 2 servidores por canal para la entrada de vehículos.

El ciclo de proceso para el ingreso de vehículos al parqueadero es muy sencillo y



Fuente: El Autor

Ilustración 8 Diagrama de flujo

Análisis del modelo teoría de colas para la optimización en la industria del servicio. Estudio de caso parqueadero

En la ilustración 8 observamos el diagrama de flujo del proceso de ingreso de los vehículos al estacionamiento.

3.14.1 Recopilación de datos del acceso en la calle 53

Se realizó una toma de datos del ingreso al parqueadero del centro comercial Portaldel Prado en varios días, entre las 05:00 p.m. y las 08:00 pm; arrojando los siguientes datos:

Día: Sábado 11/11/2017						Día: Sábado 18/11/2017					
HORAS	MINUTOS				Total de vehículos	HORAS	MINUTOS				Total de vehículos
	0 - 15	15 - 30	30 - 45	45 - 59			0 - 15	15 - 30	30 - 45	45 - 60	
5:00 PM	39	40	35	40	154	5:00 PM	47	45	44	43	179
6:00 PM	37	44	39	47	167	6:00 PM	54	47	53	47	201
7:00 PM	37	36	34	38	145	7:00 PM	44	40	43	45	172

Día: Domingo 12/11/2017						Día: Domingo 19/11/2017					
HORAS	MINUTOS				Total de vehículos	HORAS	MINUTOS				Total de vehículos
	0 - 15	15 - 30	30 - 45	45 - 60			0 - 15	15 - 30	30 - 45	45 - 60	
5:00 PM	25	27	29	30	111	5:00 PM	24	46	34	34	138
6:00 PM	30	28	23	29	110	6:00 PM	37	43	35	36	151
7:00 PM	18	22	20	23	83	7:00 PM	33	38	40	32	143

Día: Martes 14/11/2017						Día: Martes 21/11/2017					
HORAS	MINUTOS				Total de vehículos	HORAS	MINUTOS				Total de vehículos
	0 - 15	15 - 30	30 - 45	45 - 60			0 - 15	15 - 30	30 - 45	45 - 60	
5:00 PM	39	38	30	35	142	5:00 PM	30	28	32	38	128
6:00 PM	36	40	42	36	154	6:00 PM	33	43	40	37	153
7:00 PM	33	36	30	28	127	7:00 PM	30	38	32	30	130

Tabla 2 Ingreso de Vehículos Calle 53

Fuente: Deisy Ledesma, 2018

En la tabla 2 podemos observar que al resumir la cantidad de vehículos que ingresan al estacionamiento cada día, se encontró que la mayor demanda de estacionamientos en el centro comercial es los sábados, especialmente entre las 6:00p.m y las 7:00p.m. El número total de vehículos que entraron entre las 6:00p.m y las 7:00p.m

del sábado 18 de noviembre fue de 201. La tasa promedio de llegada por unidad de tiempo (λ) en el día de máxima demanda es de 201 vehiculos/hora.

Se tomaron también los tiempos de servicio durante la recolección de datos y fueron los siguientes:

Tiempos de atención

Centro Comercial Portal del Prado
Horario 5 - 8 pm

ACCESO 1 (Calle 53)

DÍA: SÁBADO 11/11/2017				DÍA: DOMINGO 12/11/2017				DÍA: MARTES 14/11/2017			
	5 A 6 PM	6 A 7 PM	7 A 8 PM		5 A 6 PM	6 A 7 PM	7 A 8 PM		5 A 6 PM	6 A 7 PM	7 A 8 PM
1	9,55	11,15	10,56	1	12,40	9,06	9,18	1	9,36	12,10	9,39
2	12,49	12,03	10,90	2	10,50	9,89	12,18	2	10,81	11,75	10,79
3	10,33	11,70	12,93	3	9,01	12,14	11,66	3	11,66	9,60	11,93
4	11,23	10,08	10,75	4	10,73	9,19	10,15	4	9,75	9,07	10,27
5	10,96	9,92	9,12	5	9,78	12,50	9,92	5	12,02	9,02	10,56
6	11,40	10,24	10,06	6	11,56	11,18	11,40	6	11,18	10,43	10,73
7	10,01	9,03	10,99	7	10,62	11,24	11,01	7	12,15	9,62	9,39
8	12,40	9,98	10,04	8	12,97	11,27	9,74	8	12,82	10,73	12,78
9	12,87	10,69	12,97	9	12,87	9,49	10,06	9	12,52	9,07	9,09
10	9,09	11,76	12,05	10	10,12	10,43	9,30	10	10,85	11,72	9,07
11	11,63	10,68	11,67	11	11,59	12,15	12,63	11	9,29	10,32	11,75
12	10,24	11,60	11,56	12	12,12	10,31	11,53	12	11,15	9,47	12,44
13	10,93	9,34	10,61	13	10,47	12,30	10,42	13	12,48	11,21	9,90
14	10,26	12,97	9,76	14	9,25	12,00	12,99	14	9,54	9,27	11,52
15	9,29	10,14	11,23	15	11,95	10,50	9,15	15	9,40	12,84	10,74
16	12,65	10,26	11,08	16	10,77	10,23	9,06	16	12,95	12,76	10,07
17	9,70	12,02	12,53	17	10,73	10,11	12,88	17	12,58	9,70	9,20
18	10,33	11,83	10,85	18	10,80	9,89	12,25	18	9,98	12,39	11,25
19	9,07	12,79	10,38	19	12,74	11,23	10,73	19	11,06	12,97	12,29
20	11,27	9,18	9,20	20	11,66	12,97	10,65	20	11,69	11,67	11,26
21	11,20	11,05	12,35	21	10,82	10,52	10,52	21	12,29	10,59	12,52
22	9,37	10,65	10,16	22	10,94	10,48	12,36	22	12,68	12,58	10,89
23	12,43	9,36	11,59	23	12,33	9,13	12,97	23	10,99	9,09	10,82
24	11,44	10,67	12,02	24	10,00	12,12	10,66	24	9,76	9,83	11,02
25	11,08	9,97	10,58	25	11,78	10,02	10,59	25	9,56	11,43	12,00
26	11,18	9,48	12,43	26	12,68	11,74	9,22	26	10,77	11,02	10,67
27	9,00	11,35	11,17	27	11,75	11,88	11,92	27	11,17	9,63	10,55
28	12,52	10,93	10,28	28	12,45	9,53	12,43	28	12,29	12,08	10,49
29	9,33	11,20	11,90	29	11,47	11,16	12,09	29	11,58	9,19	12,30
30	9,13	12,04	12,51	30	12,71	12,07	12,21	30	12,71	11,49	9,84
31	12,53	10,31	9,06	31	12,28	10,55	9,56	31	12,56	11,85	11,00
32	11,30	11,59	12,98	32	12,88	12,80	12,08	32	11,76	11,68	9,02
33	9,20	11,40	12,23	33	11,61	9,49	12,82	33	9,32	11,01	11,19
34	11,90	12,23	12,01	34	9,75	11,35	12,71	34	9,35	10,15	9,24
35	10,91	12,00	9,86	35	10,44	10,79	10,55	35	11,11	9,76	11,77
36	11,48	11,05	12,95	36	11,05	11,87	9,20	36	11,32	11,17	12,69
37	10,44	10,03	9,91	37	12,66	12,00	11,52	37	10,16	10,10	12,98
38	12,93	10,94	12,82	38	9,53	11,40	9,97	38	10,96	9,76	12,14

Análisis del modelo teoría de colas para la optimización en la industria del servicio. Estudio de caso parqueadero

39	12,54	10,85	11,44	39	12,06	9,35	11,64	39	12,05	9,47	10,64
40	12,97	11,24	11,66	40	12,67	11,98	10,48	40	11,34	12,31	11,42
41	12,29	11,27	12,33	41	9,60	10,47	10,89	41	12,80	12,56	10,81
42	9,87	9,10	9,64	42	12,65	9,45	9,91	42	9,71	11,28	11,66
43	11,47	12,12	9,31	43	11,62	11,16	12,04	43	12,96	10,46	9,42
44	12,51	12,80	11,72	44	11,62	9,62	10,97	44	9,01	12,16	10,96
45	12,54	10,25	9,70	45	12,64	9,77	12,56	45	10,15	9,29	10,94
46	10,84	9,60	10,63	46	9,71	9,84	9,63	46	11,29	9,41	12,54
47	9,59	12,86	10,47	47	9,96	9,74	11,33	47	9,74	10,89	12,36
48	11,48	9,47	9,49	48	11,38	9,55	11,57	48	11,74	12,89	10,67
49	12,72	11,82	12,49	49	12,04	10,72	11,30	49	11,27	10,49	9,81

Tabla 3 Tiempos de atención

Fuente: Deisy Ledesma, 2018

Tiempos de atención

Centro Comercial
Portal del Prado
Horario 5 - 8 pm

ACCESO 1 (Calle 53)

DÍA: SÁBADO 18/11/2017				DÍA: DOMINGO 19/11/2017				DÍA: MARTES 21/11/2017			
5 A 6 PM	6 A 7 PM	7 A 8 PM		5 A 6 PM	6 A 7 PM	7 A 8 PM		5 A 6 PM	6 A 7 PM	7 A 8 PM	
1	10,23	11,33	11,86	1	10,05	11,09	12,41	1	12,21	12,48	12,68
2	10,65	9,81	9,05	2	10,35	10,76	9,47	2	12,66	11,40	11,56
3	10,87	10,65	9,35	3	9,87	9,68	12,73	3	12,58	11,21	9,43
4	11,75	9,65	11,87	4	9,21	11,84	9,37	4	9,70	9,48	9,71
5	11,13	10,73	10,62	5	12,86	12,10	9,09	5	9,26	10,05	10,66
6	12,12	12,98	11,46	6	10,88	12,84	9,61	6	11,84	10,96	11,35
7	11,31	11,14	12,13	7	11,21	12,34	9,94	7	10,56	9,53	10,75
8	11,74	9,41	11,57	8	10,66	12,49	10,77	8	12,26	9,84	12,65
9	10,17	9,02	11,26	9	9,56	12,42	9,34	9	10,77	12,19	12,40
10	9,98	12,10	12,71	10	11,22	12,33	11,29	10	10,08	11,40	11,83
11	9,12	9,50	9,19	11	10,06	9,04	9,37	11	9,51	11,24	12,97
12	9,28	11,01	9,24	12	10,48	10,31	11,65	12	12,35	11,61	11,29
13	9,52	12,38	11,72	13	10,44	9,22	11,01	13	9,85	12,71	9,47
14	10,88	9,21	11,38	14	11,66	10,93	12,62	14	10,43	12,35	9,08
15	10,77	9,57	11,92	15	9,17	9,76	11,18	15	10,68	12,47	11,32
16	12,53	10,15	12,37	16	9,79	11,78	9,11	16	12,67	9,54	12,80
17	12,59	11,87	12,33	17	9,38	10,82	11,22	17	9,08	12,17	12,32
18	11,18	11,48	9,34	18	10,96	10,92	9,85	18	10,22	9,27	12,93
19	12,87	9,99	9,93	19	10,29	11,75	11,61	19	9,58	10,42	11,85
20	11,04	11,19	12,31	20	9,81	11,82	9,29	20	11,70	11,24	11,28
21	10,27	9,12	11,40	21	11,21	9,39	11,06	21	12,57	11,17	9,76
22	12,52	10,87	9,63	22	12,36	9,72	9,15	22	9,66	9,85	11,48
23	12,51	9,45	12,35	23	9,18	11,78	11,60	23	9,87	10,40	9,81
24	12,88	11,65	9,41	24	11,16	12,41	10,26	24	11,64	9,81	10,02
25	12,39	10,47	9,17	25	9,30	10,62	12,30	25	10,38	10,48	9,23
26	10,23	10,80	12,83	26	11,24	11,36	10,41	26	9,40	9,26	11,48
27	9,39	11,22	11,91	27	9,04	10,55	11,48	27	11,40	10,19	12,17
28	12,03	12,88	10,51	28	10,81	9,80	10,09	28	12,54	11,01	9,34
29	9,54	12,44	10,53	29	9,22	11,64	10,70	29	9,15	11,88	12,79
30	12,59	9,10	11,99	30	12,49	10,04	12,53	30	9,74	12,19	11,28
31	9,97	9,66	12,21	31	10,68	12,12	10,92	31	11,53	11,90	11,33
32	12,02	10,39	11,40	32	12,05	9,55	10,97	32	10,97	10,15	10,08

Análisis del modelo teoría de colas para la optimización en la industria del servicio. Estudio de caso parqueadero

33	11,95	10,69	11,84	33	10,70	10,42	12,94	33	10,06	10,55	10,59
34	12,11	12,81	9,82	34	9,37	10,51	9,19	34	11,55	12,95	9,43
35	9,72	11,61	10,06	35	12,01	9,23	9,05	35	12,76	9,60	9,90
36	10,13	10,97	11,51	36	9,96	11,59	11,79	36	9,55	9,50	9,32
37	9,67	10,75	9,28	37	12,85	10,37	9,98	37	9,85	11,29	12,92
38	10,65	10,85	12,11	38	12,05	10,53	9,74	38	10,12	11,02	12,41
39	9,48	10,39	11,79	39	10,80	11,14	9,34	39	9,95	11,92	12,02
40	10,68	9,02	9,01	40	9,54	9,94	10,66	40	12,11	10,85	9,71
41	12,85	9,32	9,26	41	10,07	11,23	12,02	41	9,25	11,53	11,55
42	12,98	9,75	11,86	42	10,40	11,54	9,94	42	10,31	11,44	10,70
43	12,60	11,20	10,44	43	12,39	11,34	12,80	43	12,56	9,50	12,23
44	12,91	10,58	10,30	44	11,95	9,37	12,98	44	10,24	11,51	12,54
45	10,20	9,12	10,51	45	9,49	11,30	10,25	45	10,98	9,42	9,05
46	10,69	9,19	12,11	46	9,98	12,80	12,01	46	12,26	11,99	12,10
47	9,71	10,94	12,02	47	10,34	10,48	9,36	47	10,41	9,43	11,29
48	9,89	9,81	10,09	48	10,66	11,00	11,70	48	12,00	11,33	11,37
49	11,84	10,20	12,71	49	12,28	9,41	9,11	49	9,77	11,11	10,14
50	10,73	11,68	10,93	50	9,90	11,55	10,51	50	10,76	12,25	9,69

Tabla 4 Tiempos de atención

Fuente: Deisy Ledesma, 2018

En las tablas 3 y 4 se mostraron los 50 primeros datos de tiempo, debido al exceso de información en este caso.

Examinando los datos de las tablas anteriormente mencionadas, se encontró que el día de mayor demanda para ingresar al estacionamiento fue el promedio de asistencia del sábado 18 de noviembre de 2017. (Ver tabla 2)

El tiempo promedio de servicio de los carriles de estacionamiento es de 10,80 segundos. La demora promedio en atención por hora es:

$$\frac{1 \text{ hora}}{10,80 \text{ segundos/vehículo}} * \frac{3600 \text{ segundos}}{1 \text{ hora}} = 333 \text{ vehículos/hora}$$

Esto nos permite deducir que la tasa media de servicio (μ) es de 333 vehículos por hora.

3.14.2 Análisis del sistema de colas

Se utilizará la formulación del modelo MMK de líneas de espera, lo que significa que existen K servidores con tiempos de llegada y servicio exponenciales tipo Poisson.

DATOS		
λ	201	Vehículos/hora
μ	333	Vehículos/hora

Tabla 5 Datos de la calle 53

Fuente: Deisy Ledesma, 2018

La Tabla 5 muestra la tasa promedio de llegada (λ) y el precio promedio del servicio por unidad de tiempo de día de demanda pico (μ).

a. Probabilidad de tener cero (0) vehículos en el sistema para K servidores

	$P(0) = \frac{1}{\left[\sum_{n=0}^{s-1} \frac{1}{n!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n \right] + \frac{1}{k!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^k \left(\frac{k\mu}{k\mu - \lambda} \right)}$	
K	$\frac{1}{n!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n$	p(0)
0,0	1,000	
1,0	0,604	39,64%
2,0	0,182	53,63%
3,0	0,037	54,60%

Análisis del modelo teoría de colas para la optimización en la industria del servicio. Estudio de caso parqueadero

4,0	0,006	54,68%
5,0	0,001	54,68%
6,0	0,000	54,68%

Tabla 6 Resultados P(0) Calle 53

Fuente: Deisy Ledesma, 2018

En la tabla 6 se observa que con base en la cantidad de servidores que se ejecutan al momento de la recolección de datos utilizando el acceso de la Calle 53, se analizó que ambos servidores tenían una probabilidad del 53,63 % de tener cero (0) automóviles en el sistema, lo que indica que con dos sistemas operativos de servidor, los usuario lleguen un pocos más de la mitad de las veces lo encontrará vacío y listo para servirle de inmediato. Si el 53,63 % se considera un valor muy alto, con poco más de la mitad del tiempo de inactividad del sistema, el uso de un solo (1) servidor reduce el porcentaje de tiempo de inactividad del sistema al 39,64 %. Además, muestra que si el acceso por Calle 53 utiliza cuatro (4) servidores, el sistema funcionará a un nivel óptimo, ya que el resultado de (0) se mantiene constante a partir de 4 servidores.

b. Tiempo promedio gastado en la cola (w)

$P(0) = \frac{1}{\left[\sum_{n=0}^{s-1} \frac{1}{n!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n \right] + \frac{1}{k!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^k \left(\frac{k\mu}{k\mu - \lambda} \right)}$			$E(w) = \frac{\mu \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^k}{(k-1)! (k\mu - \lambda)^2} P_0$
K	$\frac{1}{n!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n$	p(0)	E(W) (s)
0,0	1,000		
1,0	0,604	39,64%	16,462

2,0	0,182	53,63%	1,083
3,0	0,037	54,60%	0,113
4,0	0,006	54,68%	0,011
5,0	0,001	54,68%	0,001
6,0	0,000	54,68%	0,000

Tabla 7 Resultados $P(0) / E(w)$ Calle 53

Fuente: Deisy Ledesma, 2018

Como se refleja en la tabla 7 es posible ejecutar un solo servidor para reducir el tiempo de inactividad del sistema, pero si el sistema funciona así, los vehículos tendrán que hacer cola durante 16,46 segundos, lo que aumenta la posibilidad de que esto finalmente afecte las vías públicas según la demanda de estacionamiento, por lo que no se recomienda ingresar al estacionamiento del centro comercial en la Calle 53.

Actualmente, utilizando dos (2) servidores, el vehículo promedio tiene que hacer cola durante 1083 segundos, que es un tiempo de espera muy corto. Con cuatro (4) servidores, los tiempos de espera se reducen considerablemente y prácticamente no hay que hacer fila para recibir el servicio.

Es fundamental saber que los resultados obtenidos con el modelo son promedios, por lo que el tiempo de espera puede ser mayor, pero el modelo está buscando el nivel óptimo en el que está operando el sistema. Reducir los largos tiempos de espera.

c. Tiempo promedio gastado en el sistema (incluyendo tiempo de cola y servicio) (v).

	$P(0) = \frac{1}{\left[\sum_{n=0}^{s-1} \frac{1}{n!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n \right] + \frac{1}{k!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^k \left(\frac{k\mu}{k\mu - \lambda} \right)}$		$E(w) = \frac{\mu \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^k}{(k-1)! (k\mu - \lambda)^2} P_0$	$E(v) = E(w) + \frac{1}{\mu}$
K	$\frac{1}{n!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n$	p(0)	E(w) (s)	E(v) (s)
0,0	1,000			
1,0	0,604	39,64%	16,462	27,273
2,0	0,182	53,63%	1,083	11,894
3,0	0,037	54,60%	0,113	10,924
4,0	0,006	54,68%	0,011	10,822
5,0	0,001	54,68%	0,001	10,812
6,0	0,000	54,68%	0,000	10,811

Tabla 8 Resultados P(0) / E(w) / E(v) Calle 53

Fuente: Deisy Ledesma, 2018

En la tabla 8 se puede evidenciar que el sistema nunca debe ejecutarse con un solo servidor debido al tiempo de espera tan largo y las posibles aglomeraciones en las vías en el sistema. Por otro lado, para dos (2) y cuatro (4) servidores, la latencia del sistema se redujo significativamente a menos de la mitad.

Se observa que el sistema de control de acceso del centro comercial Calle 53 Portal del Prado está bien administrado y podría mejorarse. Los resultados siguen siendo los mismos más allá de los cuatro (4) servidores, por lo que la activación de más de

Análisis del modelo teoría de colas para la optimización en la industria del servicio. Estudio de caso parqueadero

cuatro servidores generará cargos por tiempo de inactividad y no mejorará el rendimiento del sistema.

d. Probabilidad de tener vehículos en el sistema

$P(0) = \frac{1}{\left[\sum_{n=0}^{s-1} \frac{1}{n!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n \right] + \frac{1}{k!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^k \left(\frac{k\mu}{k\mu - \lambda} \right)}$							
		1	2	3	4	5	
K	$\frac{1}{n!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n$	p(0)	p(1)	p(2)	p(3)	p(4)	p(5)
0,0	1,000						
1,0	0,604	39,64%	23,93%	14,44%	8,72%	5,26%	3,18%
2,0	0,182	53,63%	32,37%	9,77%	2,95%	0,89%	0,27%
3,0	0,037	54,60%	32,95%	9,95%	2,00%	0,40%	0,08%
4,0	0,006	54,68%	33,00%	9,96%	2,00%	0,30%	0,05%
5,0	0,001	54,68%	33,01%	9,96%	2,00%	0,30%	0,04%
6,0	0,000	54,68%	33,01%	9,96%	2,00%	0,30%	0,04%

Tabla 9 Resultados P(n) Calle 53

Fuente: Deisy Ledesma, 2018

Para P(n) se usan las fórmulas mencionadas en los modelos de líneas de espera y son las siguientes:

$$P(n) = \frac{1}{n!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n P(0) \quad \text{para } 0 \leq n < k \quad P(n) = \frac{1}{k!k^{n-k}} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n P(0) \quad \text{para } n \geq k$$

El resultado P (n) en la Tabla 9 indica que los servidores K pueden tener diferentes escenarios, es decir. para el caso de estudio con acceso a dos servidores usando Calle 53, el sistema tendrá 1 carro el 32.37% del tiempo; 2 autos 9.77%, 2.95% para 3 autos y así continuamente. Estos resultados obtenidos son llamativos porque nos permiten

estimar la probabilidad de que el número de vehículos en el sistema sea mayor o menor que el número de servidores activos y comparar diferentes K.

Otro uso de la tabla anterior es estimar la probabilidad de servicio inmediato en función del número de servidores y la probabilidad de tener que esperar; por ejemplo:

Para K=2 servidores, la probabilidad de que sean atendidos inmediatamente viene dada por:

- Para que el sistema se encuentre vacío, se denomina $p(0)$
- Para que haya un vehículo en el sistema, se denomina $p(1)$

$$53,63\% + 32,37 = 86\%$$

Por consiguiente, la posibilidad de ser atendido rápidamente es de 86% y de tener que aguardar en la fila podría ser de 14%.

Con K=2 servidores, ¿cuál es la probabilidad de que el sistema se cargue por completo si solo hay una (1) ranura en el canal de espera?

$$\text{En esta situación se debe sumar } (0) + (1) + (2) + (3) = 98,73\%$$

Es decir, en el 1,27% de los casos el sistema fallará. Según la guía de nivel de servicio, una tarifa buena supera la capacidad solo un 5% de las veces, lo que significa que el sistema existente en el centro comercial Portal del Prado brinda una tarifa de nivel de servicio muy buena.

3.14.3 Recopilación de datos del acceso en la carrera 50

El mismo aforo se realizó en la Carrera 50 en la misma fecha y hora y se reportó la siguiente información:

Acceso en la carrera 50

Día: Sábado 11/11/2017						Día: Sábado 18/11/2017					
HORAS	MINUTOS				Total de vehículos	HORAS	MINUTOS				Total de vehículos
	0 - 15	15 - 30	30 - 45	45 - 59			0 - 15	15 - 30	30 - 45	45 - 60	
5:00 PM	37	31	30	33	131	5:00 PM	22	29	23	23	96
6:00 PM	32	28	38	37	135	6:00 PM	35	29	34	33	131
7:00 PM	29	21	34	30	114	7:00 PM	21	22	22	23	88

Día: Domingo 12/11/2017						Día: Domingo 19/11/2017					
HORAS	MINUTOS				Total de vehículos	HORAS	MINUTOS				Total de vehículos
	0 - 15	15 - 30	30 - 45	45 - 60			0 - 15	15 - 30	30 - 45	45 - 60	
5:00 PM	23	23	25	25	96	5:00 PM	26	29	40	44	139
6:00 PM	30	30	25	27	112	6:00 PM	36	35	37	37	145
7:00 PM	21	19	18	21	79	7:00 PM	34	30	33	36	133

Día: Martes 14/11/2017						Día: Martes 21/11/2017					
HORAS	MINUTOS				Total de vehículos	HORAS	MINUTOS				Total de vehículos
	0 - 15	15 - 30	30 - 45	45 - 60			0 - 15	15 - 30	30 - 45	45 - 60	
5:00 PM	25	22	25	30	102	5:00 PM	23	20	23	20	6
6:00 PM	32	28	32	31	123	6:00 PM	18	21	20	24	83
7:00 PM	31	28	27	31	117	7:00 PM	23	26	27	30	106

Tabla 10 Ingreso de Vehículos Carrera 50

Fuente: Deisy Ledesma, 2018

Al igual que en el caso anterior, la tabla 10 nos muestra el total de vehículos que ingresaron al estacionamiento determinó que exactamente el domingo 19 de noviembre el centro comercial tuviera la mayor demanda de servicios de estacionamiento, específicamente en 6:00 y 7:00 horas en el interior.

Análisis del modelo teoría de colas para la optimización en la industria del servicio. Estudio de caso parqueadero

La tasa media de llegadas por unidad de tiempo (λ) en este caso es de
145vehículos/hora.

La siguiente tabla nos expone los tiempos de servicio tomados para el acceso
por la Carrera 50:

Tiempos de atención

Centro Comercial
Portal del Prado
Horario 5 - 8 pm

ACCESO 2 (Carrera 50)

DÍA: SÁBADO 11/11/2017				DÍA: DOMINGO 12/11/2017				DÍA: MARTES			
14/11/2017				6 A 7 PM 7 A 8 PM				5 A 6 PM 6			
A 7 PM		7 A 8 PM		5 A 6 PM 6 A 7 PM 7 A 8 PM							
1	12,89	9,35	10,92	1	9,75	10,58	10,57	1	12,08	12,37	10,75
2	11,79	11,85	9,63	2	9,56	12,03	10,4	2	10,17	10,15	10,85
3	9,43	9,64	12,33	3	11,11	12,77	10,49	3	11,1	9,81	9,63
4	10,97	11,64	9,01	4	10,69	10,7	12,76	4	9,18	9,76	12,15
5	9,47	12,33	9,96	5	9,8	12,12	10,83	5	10,92	12,58	10,1
6	10,58	9,93	12,43	6	12,46	11,6	11,53	6	10,52	9,3	10,24
7	10,93	12,57	10	7	12,04	9,41	12,49	7	11,66	9,81	9,69
8	10,88	9,91	12,56	8	10,36	11,31	12,32	8	9,51	10,1	12,36
9	10,6	12,31	10,35	9	12,09	11,08	11,72	9	12,09	12,58	11,41
10	10,44	10,07	9,04	10	11,23	11,44	9,54	10	11,37	9,42	10,42
11	9,47	9,23	9,46	11	10,76	12,09	9,92	11	9,74	11,24	12,23
12	10,87	9,95	9,55	12	11,92	9,84	11,2	12	10,15	9,65	11,47
13	11,59	11,6	11,71	13	12,74	9,89	9,49	13	9,34	11,94	10,45
14	9,52	12,5	12,84	14	9,7	12,97	12,2	14	12,38	10,51	11,7
15	11,14	12	9,26	15	10,2	12,33	9,58	15	10,97	12,88	10
16	11,01	12,35	10,97	16	11,15	12,55	11,06	16	11,49	10,58	9,65
17	11,39	11,48	12,33	17	9,49	10,26	10,19	17	12,34	9,01	10,12
18	9,02	9,15	11,45	18	10,42	9,9	10,31	18	12	9,35	9,9
19	11,13	12,31	10,82	19	10,57	11,64	10,25	19	11,84	12,84	12,21
20	10,11	10,82	12,87	20	11,32	9,58	12,76	20	12,71	10,94	11,72
21	12,49	11,28	11,12	21	9,6	10	11,15	21	12,15	11,49	9,87
22	10,84	9,78	10,2	22	10,4	12,2	11,06	22	9,88	10,01	9,54
23	12,12	9,04	11,26	23	11,41	9,81	11,46	23	10,58	12,78	9,18
24	10,56	10,34	9,8	24	10,97	10,06	10,43	24	12,84	12,89	10,04
25	11,27	9,32	12,94	25	9,88	11,89	11,93	25	10,13	11,1	12,78
26	12,49	9,78	12,16	26	9,31	9,65	9,48	26	9,96	12,25	10,72
27	9,17	12,16	11,62	27	11,61	10,32	12,89	27	10,93	9,7	12,71
28	11,93	9,77	9,02	28	11,68	12,5	10,63	28	9,32	9,65	12,57
29	10,64	9,88	11,75	29	11,91	10,23	12,87	29	9,85	12,45	12,39
30	12,35	9,32	12,4	30	10,91	9,19	10,4	30	10,51	10,52	12,93
31	12,04	10,66	10,72	31	10,02	11,33	11,55	31	10,45	12,5	12,88
32	9,24	11,95	11,47	32	12,41	9,24	12,02	32	11,27	10,02	12,82

*Análisis del modelo teoría de colas para la optimización en la industria del servicio. Estudio de caso
parqueadero*

33	12,86	12,91	10,71	33	11,41	11,89	10,6	33	12,1	12,96	11,55
34	11,62	11,85	9,48	34	9,43	10,48	9,07	34	12,97	11,32	12,3
35	10,27	9,57	12,84	35	9,68	9,74	9,53	35	9,07	11,39	9,06
36	9,22	12,03	12,9	36	10,24	12,16	10,67	36	11,92	9,6	12,16
37	9,69	10,32	10,44	37	11,11	9,28	10,79	37	11,98	10,33	10,2
38	10,07	9,94	12,53	38	13	11,22	10,44	38	12,97	9,93	10,53
39	12,21	11,57	11,45	39	12,65	9,41	12,13	39	12,97	10,83	11,73
40	11,61	10,24	10,55	40	11,75	12,09	10,12	40	11,84	12,44	11,46
41	12,94	11,97	11,68	41	10,32	9,71	9,09	41	10,64	9,17	9,37
42	11,93	9,34	9,44	42	9,24	12,99	12,58	42	11,48	9,64	11,91
43	11,25	10,01	12,84	43	10,92	11,98	9,18	43	10,22	11,01	9,25
44	11,39	10,91	9,88	44	10,2	12,5	12,82	44	10,6	12,21	9,6
45	11,01	10,93	11,09	45	10,48	11,15	12,12	45	9,68	11,26	11,14
46	9,25	11,32	11,11	46	12,16	11,71	9,26	46	10,93	9,35	9,45
47	9,15	11,84	9,89	47	10,85	12,36	11,84	47	10,1	11,49	11,58
48	11,28	12,49	11,03	48	12,97	11,78	11,34	48	9,32	12,78	11,93
49	12,86	12,01	9,11	49	9,33	10,32	9,09	49	10,09	11,13	13
50	10,91	10,05	9,65	50	10,4	10,97	11,86	50	12,76	11,52	10,95

Tabla 11 Tiempos de atención

Fuente: Deisy Ledesma, 2018

Tiempos de atención

Centro Comercial
Portal del Prado
Horario 5 - 8 pm

ACCESO 2 (Carrera 50)

DÍA: SÁBADO 18/11/2017				DÍA: DOMINGO 19/11/2017				DÍA: MARTES 21/11/2017			
	5 A 6 PM	6 A 7 PM	7 A 8 PM		5 A 6 PM	6 A 7 PM	7 A 8 PM		5 A 6 PM	6 A 7 PM	7 A 8 PM
1	10,99	11,02	10,66	1	10,93	12,57	9,86	1	12,07	11,9	12,46
2	9,91	9,48	10,8	2	9,91	9,36	10,32	2	11,11	11,92	10,7
3	12,16	12,48	12,73	3	11,59	10,9	11,31	3	10,54	10,18	12,97
4	11,91	12,34	9,21	4	12,48	12,02	10,23	4	11,56	9,12	9,06
5	9,64	11,32	11,78	5	9,05	11,49	9,03	5	12,35	12,66	9,17
6	11,12	9,16	12,52	6	10,71	9,07	12,16	6	12,14	10,81	9,24
7	11,58	12,3	10,21	7	11,01	11,07	12,52	7	11,77	12,59	10,44
8	10,84	9,22	11,86	8	9,22	12,79	9,51	8	9,88	9,49	11,45
9	9,32	10,46	9,86	9	11,39	10,14	9,34	9	11,13	12,57	11,33
10	11,33	9,01	9,45	10	9,66	10,86	11,1	10	10,15	11,31	12,8
11	10,81	10,19	12,46	11	12,74	9,98	12,2	11	11,32	11,41	11,52
12	11,26	9,49	10,57	12	10,44	10,92	10,59	12	10,94	12,07	12,74
13	12,8	10,74	10,24	13	9,29	9,1	10,95	13	10,8	12,04	12,76
14	12,66	12,92	9,41	14	11,41	9,93	12,98	14	11,97	11,11	9,51
15	9,38	9,08	12,67	15	11,88	10,5	11,24	15	12,66	11,92	9,28
16	10,73	9,27	11,09	16	10,4	9,39	9,17	16	12,96	11,09	11,55
17	9,52	12,93	11,13	17	9,59	11,17	12,48	17	12,03	10,55	11,62
18	10,37	11,47	11,11	18	11,32	12,2	12,85	18	11,4	11,75	9,7
19	11,27	12,51	10,48	19	11,48	10,05	12,07	19	9,48	12,27	9,81
20	12,9	10,47	12,53	20	12,86	12,94	12,29	20	11,53	9,49	11,53
21	11,99	9,04	12,34	21	10,73	12,83	12,71	21	11,52	10,03	11,44
22	12,86	11,32	11,45	22	11,17	12,56	9,11	22	11,03	12,86	10,62
23	10,94	11,05	10,79	23	9,01	12,22	9,06	23	12,38	9,61	10,75
24	11,1	12,35	12,69	24	9,37	11,44	12,69	24	9,08	11,75	11,62
25	10,94	10,06	12,25	25	12,52	9,79	9,74	25	9,88	10,63	12,77
26	12,47	11,36	11,51	26	9,35	9,57	11,16	26	9,54	12,14	12,59
27	11,9	12,74	12,82	27	12,94	11,02	11,27	27	10,34	11,66	9,29
28	11,54	12,3	10,79	28	11,51	10,2	11,24	28	10,23	12,06	11,62

Análisis del modelo teoría de colas para la optimización en la industria del servicio. Estudio de caso parqueadero

29	11,77	12,6	11,51	29	9,78	10,33	9,31	29	9,79	9,47	9,44
30	9,45	9,6	12,9	30	9,24	11,93	11,93	30	12,37	9,51	9,81
31	10,91	11,1	9,97	31	9,6	11,07	9,84	31	9,22	11,4	11,75
32	11,5	9,7	11,78	32	11,7	11,82	12,31	32	9,61	9,42	9,33
33	10,77	11,72	12,32	33	9,77	11,91	11,08	33	11,57	9,29	11,14
34	9,48	11,6	9,09	34	10,57	11,73	10,73	34	12,93	10,21	12,14
35	9,86	10,49	10,8	35	9,26	12,75	12,12	35	10,25	12,11	12,82

36	11,6	11,51	10,06	36	11,9	11,31	9,8	36	11,98	12,5	12,5
37	9,3	9,71	12,07	37	9,38	9,21	12,91	37	10,31	11,78	9,78
38	10,72	12,9	12,09	38	11,94	10,06	12,71	38	10,15	10,73	12,06
39	9,27	11,93	10,17	39	11,8	9,79	12,58	39	11,21	12,23	10,69
40	11,57	11,4	9,31	40	9,73	9,3	10,62	40	9,88	10,57	9,53
41	11,33	9,31	10,02	41	9,4	12,51	12,58	41	9,57	10,91	12,1
42	9,9	9,73	11,79	42	9,18	12,25	9,31	42	12,89	9,28	13
43	10,32	11,86	9,58	43	12,6	10,53	12,68	43	9,33	11,81	12,71
44	10,28	12,37	11,31	44	10,2	10,63	9,55	44	10,85	10,9	12,22
45	9,17	10,53	10,28	45	11,59	11,91	12,52	45	10,9	9,85	10,88
46	12,85	9,25	12,96	46	12,82	11,75	11,33	46	9,76	9,5	10,31
47	11,39	12,82	12,85	47	11,42	10,85	10,94	47	12,3	9,63	9,4
48	10,75	11,04	11,34	48	10,14	12,77	12,86	48	12,17	10,17	10,71
49	12,22	11,61	12,72	49	11,16	9,78	10,28	49	12,47	9,68	10,3
50	11,55	10,84	9,32	50	10,88	12,63	12,93	50	11,03	11,77	10,21

Tabla 12 Tiempos de atención

Fuente: Deisy Ledesma, 2018

Dado a lo extenso de la información únicamente se presentan las primeras 50 tomas de tiempo como se hizo anteriormente.

Estudiando los datos de la tabla 12, se concluyó que el servicio promedio en el día de máxima demanda de acceso al estacionamiento, domingo 19 de noviembre de 2017 (ver Tabla 3).

La capacidad de atención promedio para ingresar a un estacionamiento es de 10.66 segundos. La atención promedio por hora es:

$$\frac{1 \text{ hora}}{11,07 \text{ segundos/vehículos}} * \frac{3600 \text{ segundos}}{1 \text{ hora}} = 325 \text{ vehículos /hora}$$

Es decir que la tasa media de servicio (μ) es de 325 vehículos/hora

3.14.4 Análisis del sistema de colas

De igual forma que en la entrada de la calle 13 para el estudio del sistema para esta entrada se utilizará la formulación del modelo MMK de la teoría de colas, es decir son servidores K con deberes tipo Poisson y tiempos de servicio exponenciales.

DATOS		
λ	145	Vehículos/hora
μ	325	Vehículos/hora

Tabla 13 Datos de la carrera 50

Fuente: Deisy Ledesma, 2018

En la tabla 13 se refleja la tasa promedio de llegada por unidad de tiempo (λ) en el día de máxima demanda y la tasa media de servicio (μ).

a. Probabilidad de tener cero (0) vehículos en el sistema para K servidores

$P(0) = \frac{1}{\left[\sum_{n=0}^{s-1} \frac{1}{n!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n \right] + \frac{1}{k!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^k \left(\frac{k\mu}{k\mu - \lambda} \right)}$		
K	$\frac{1}{n!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n$	p(0)

Análisis del modelo teoría de colas para la optimización en la industria del servicio. Estudio de caso parqueadero

0,0	1,000	
1,0	0,446	55,38%
2,0	0,100	63,52%
3,0	0,015	63,98%
4,0	0,002	64,01%
5,0	0,000	64,01%
6,0	0,000	64,01%

Tabla 14 Resultados P(0) Calle 53

Fuente: Deisy Ledesma, 2018

En la tabla 14 el modelo muestra una probabilidad mayor que el de la entrada por la Calle 53, debido a que la tasa de llegada promedio (λ) es menor.

Con dos servidores, hay un 63,52 % de posibilidades de que el sistema tenga (0) automóviles, o un 36,48 % de posibilidades de que el sistema esté ocupado. Las probabilidades son muy similares después de tres (3) servidores, por lo que lo ideal sería hasta tres (3) servidores.

b. Tiempo promedio de espera en la cola (w)

		$P(0) = \frac{1}{\left[\sum_{n=0}^{s-1} \frac{1}{n!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n \right] + \frac{1}{k!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^k \left(\frac{k\mu}{k\mu - \lambda} \right)}$	
		$E(w) = \frac{\mu \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^k}{(k-1)! (k\mu - \lambda)^2} P_0$	
K	$\frac{1}{n!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n$	p(0)	E(W) (s)
0,0	1,000		
1,0	0,446	55,38%	8,923
2,0	0,100	63,52%	0,580
3,0	0,015	63,98%	0,048
4,0	0,002	64,01%	0,004
5,0	0,000	64,01%	0,000
6,0	0,000	64,01%	0,000

Tabla 15 Resultados P(0) / E(w) Carrera 50

Análisis del modelo teoría de colas para la optimización en la industria del servicio. Estudio de caso parqueadero

Fuente: Deisy Ledesma, 2018

Como se muestra en la Tabla 15, con un servidor ejecutándose para esta entrada, el tiempo de cola promedio es de aproximadamente 9 segundos, mientras que con dos y tres servidores, el tiempo de espera es inferior a un segundo. A partir de cuatro servidores, no hay retraso según el modelo.

c. Tiempo promedio total en el sistema (incluyendo tiempo de cola y servicio) (v)

$P(0) = \frac{1}{\left[\sum_{n=0}^{s-1} \frac{1}{n!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n \right] + \frac{1}{k!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^k \left(\frac{k\mu}{k\mu - \lambda} \right)}$		$E(w) = \frac{\mu \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^k}{(k-1)! (k\mu - \lambda)^2} P_0$		$E(v) = E(w) + \frac{1}{\mu}$
K	$\frac{1}{n!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n$	P(0)	E(W) (s)	E(v) (s)
0,0	1,000			
1,0	0,446	55,38%	8,923	20,000
2,0	0,100	63,52%	0,580	11,657
3,0	0,015	63,98%	0,048	11,125
4,0	0,002	64,01%	0,004	11,081
5,0	0,000	64,01%	0,000	11,077
6,0	0,000	64,01%	0,000	11,077

Tabla 16 Resultados P(0) / E(w) / E(v) Carrera 50

Fuente: Deisy Ledesma, 2018

Como se muestra en la Tabla 16, el sistema no debería ejecutarse con un solo (1) servidor, debido a que se acumularán personas en la cola y harán congestión. También se puede observar que los resultados entre tres y cuatro servidores son muy similares, por lo que se puede decir que un sistema con tres servidores se desempeñará a un nivel óptimo,

por lo que se puede concluir que la carrera 50 puede mejorar su tiempo de servicio. El tiempo máximo se ajusta permitiendo el acceso de estacionamiento a tres (3) servidores.

d. Probabilidad de tener n vehículos en el sistema

$P(0) = \frac{1}{\left[\sum_{n=0}^{k-1} \frac{1}{n!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n \right] + \frac{1}{k!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^k \left(\frac{k\mu}{k\mu - \lambda} \right)}$							
			1	2	3	4	5
κ	$\frac{1}{n!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n$	p(0)	p(1)	p(2)	p(3)	p(4)	p(5)
0,0	1,000						
1,0	0,446	55,38%	24,71%	11,02%	4,92%	2,19%	0,98%
2,0	0,100	63,52%	28,34%	6,32%	1,41%	0,31%	0,07%
3,0	0,015	63,98%	28,54%	6,37%	0,95%	0,14%	0,02%
4,0	0,002	64,01%	28,56%	6,37%	0,95%	0,11%	0,01%
5,0	0,000	64,01%	28,56%	6,37%	0,95%	0,11%	0,01%
6,0	0,000	64,01%	28,56%	6,37%	0,95%	0,11%	0,01%

Tabla 17 Resultados P(n) Carrera 50

Fuente: Deisy Ledesma, 2018

Para P(n) se utilizan las siguientes fórmulas:

$$P(n) = \frac{1}{n!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n P(0) \quad \text{para } 0 \leq n < k \quad P(n) = \frac{1}{k! k^{n-k}} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n P(0) \quad \text{para } n \geq k$$

En la tabla 17 el modelo muestra que para (0), la probabilidad de que el sistema esté vacío aumenta a medida que aumenta K , es decir, el número de servidores. Lo mismo es cierto para (1), pero a partir de (3), la probabilidad de tener 3 o más usuarios en el sistema disminuye a medida que aumenta la cantidad de servidores, lo que muestra el nivel de servicio en diferentes etapas.

La probabilidad de ser inmediatamente atendido para $K = 2$

- Para que el sistema este vacío, se denomina $p(0)$
- Para que haya un vehículo, se denomina $p(1)$

$$63,52\% + 28,34 = 91,86\%$$

Por tanto, la probabilidad de 91,86% es la de ser recibido inmediatamente, y la probabilidad de tener que hacer cola es del 8,14%.

En el escenario de $K = 2$ servidores, si el sistema tiene solo un (1) asiento en el canal de reserva, ¿cuál es la probabilidad de que el sistema alcance su capacidad máxima?

$$\text{En este caso se debe sumar } (0) + (1) + (2) + (3) = 99,60\%$$

Esto significa que la posibilidad de colapsar en el servicio es casi inexistente.

3.14.5 Estado actual del parqueadero

Se realiza un análisis actual del parqueadero donde se evidencia un área igual para la capacidad de parqueo donde solo se ha hecho adecuación de la infraestructura para su embellecimiento.

Para verificar el estado el estado inicialmente analizado y ver las ilustraciones 6 y 7.

Como se evidencia en las ilustraciones 9, 10 y 11, las áreas se mantienen intactas.



Ilustración 9 Estado actual del parqueadero



Ilustración 10 Estado actual del parqueadero



Ilustración 11 Estado actual del parqueadero

4. Conclusiones

Jaimes Batanero en su análisis teórico comprende que el modelo de teoría de colas está estructurado en base a las probabilidades que existen de acuerdo a los datos obtenidos en el estudio. Sin embargo, no necesariamente los resultados que generan sus propuestas tienen algún alto grado de certeza sobre las realidades, es decir, en sí no resuelve el problema, simplemente se utilizan como material de apoyo para la toma de decisiones, prediciendo características sobre la línea de espera, con posibles probabilidades de que se formen y qué tiempo de espera utilizará en promedio, en los casos donde las empresas u organizaciones requieren la obtención de calidad y agilidad en sus servicios ofertados.

En este caso, Deisy relata que se puede analizar el desempeño actual del sistema en comparación con la situación en la que el número de estaciones de servicio está disminuyendo, Si bien ninguno de los accesos al estacionamiento del centro comercial Portal del Prado se encuentra dañado y se observa que para dos servidores la probabilidad de tener cero (0) vehículos en el sistema es del 53,63% para la calle 53 y 63,52% para la carrera 50, un poco más de la mitad de las veces que un usuario llegue al acceso lo encontrará vacío, permitiéndole ser atendido inmediatamente, pero no significa que se encuentran operando a un nivel óptimo, ya que el modelo recomienda el acceso a cuatro (4) servidores por la Calle 53 y tres (3) servidores para acceso de la Carrera 50. La aplicación de esta mejora afectará a la experiencia del usuario asociada al Servicio.

Con el nuevo sistema de mejora el acceso al parqueadero se vera impactado de una manera positiva disminuyendo el tiempo de espera en la cola en casi no tener que esperar para ser atendido, debido a que con dos (2) servidores, como actualmente funcionan, en promedio los vehículos deben esperar en la cola 1,083 segundos en la calle 53 y menos de 1 segundo en la carrera 50, lo cual es un tiempo de espera bastante bajo. Con (3) y (4) servidores el tiempo de espera se ve reducido significativamente a prácticamente no tener que esperar en cola para ser atendido.

Actualmente la estructura del acceso al parqueadero del centro comercial se encuentra en el mismo estado que al momento de la realización del estudio de líneas de espera. Teniendo su misma capacidad al almacenar vehículos en los espacios establecidos desde su construcción apertura, por lo cual no se ven afectados los datos suministrados a la hora de compararlos con la actualidad.

Tomando los datos suministrados por la web para hacer la correcta verificación del estado actual del parqueadero, se puede evidenciar que los accesos al parqueadero del centro comercial siguen funcionando de la misma manera y tiene correlación con los datos obtenidos en el caso de estudio, porque continúa un espacio para alrededor de 600 lugares de parqueo que se encuentran habilitados.

5. Bibliografía

- Bronso, R. (1993). *Investigacion de operaciones*. Ed McGraw-Hill.
- Carson, Y. A. (1997). “*Simulation Optimization: Methods and Applications*”. Winter Simulation.
- Chamorro Osorio, C. &. (2018). *Análisis del desempeño de redes de colas en proceso de servicios bancarios y financieros de Bancolombia en la sucursal Caucaasia*. Tesis de grado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD.
- Chávez López, M. &. (2004). *Minimizar el Tiempo de Reinscripción Mediante un Sistema de Simulación de un Modelo de Líneas de Espera*. Investigación Tecnica.
- Correa Navarrete, F. (2018). *Análisis y propuesta de simulación de sistema de colas en la institución financiera JEP para reducir tiempos de para reducir tiempos de espera*. Tesis de grado, Universidad Técnica de Machala.
- De la fuente garcía, D., & Pino Díez, R. (2001). *Teoria de lineas de espera modelos de cola*. Universidad de Oviedo.
- Eppen, G. D., Gould, F. J., & Schmidt, C. P. (1999). *Investigación de operaciones en ciencia*. Edit. Prentice Hall.
- Ferrer, V. (marzo de 2020). *Vicent Ferrer*. Obtenido de Teoria de colas: <https://vicentferrer.com/teoria-de-colas/>
- Hillier FS, L. G. (2014). *Fundamentos de investigación de operaciones*. 9na ed. Mexico: McGraw-hill Interamericana.
- Hillier, F. y. (2010). *Introducción de operaciones*. Caracas: McGraw-Hill Interamericana.
- Izar Landeta, J. &. (2018). *Análisis y optimización de dos sistemas de líneas de espera de empresas de logística y transporte de los estados de Querétaro y Colima*.
- Izar Landeta, J. (1998). *Fundamentos de investigación de operaciones para administración*. Universidad Autonoma de San Luis Potosí.
- Jaimes Batanero, J. (2014). *Teoría de líneas de espera en el sector avícola para el diseño de muelles de despacho*. Universidad Militar Nueva Granada.
- Leudis Orlando Vega de la Cruz, E. L. (2017). La teoría de colas en la consulta de ortopedia. *Revista Cubana de Ortopedia y Traumatología*, 31(2).
- Mielnisuk, N. O. (2016). Diseño de un entorno colaborativo Una aplicación para apoyar el aprendizaje de técnicas de modelado y simulación de la Teoría de Colas. *Revista Iberoamericana de Informática Educativa*.
- Morejón Mesa, Y. &. (2014). Uso de la Teoría de Colas para la organización del complejo cosecha-transporte del arroz en el Complejo Agroindustrial Arroceros “Los Palacios”. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*.
- Naim Caba, O. C. (2011). *Toma de Decisiones a Través de la Investigación de Operaciones*.

- Narváez-Gómez, J. &. (2018). Análisis y simulación de tiempos de espera aplicando teoría de colas en una terminal de transportes. *Especialización en ingeniería*.
- Narváez-Gómez, J., & Ordoñez Luna, W. &. (2018). Análisis y simulación de tiempos de espera aplicando teoría de colas en una terminal de transportes. *Especialización en Ingeniería*.
- Norman, G. G. (2006). ANÁLISIS DE LÍNEAS DE ESPERA A TRAVÉS DE TEORÍA DE COLAS Y SIMULACIÓN. *Scientia et Technica*.
- Perez, J. I. (Octubre de 2017). *Comunycarse*. Obtenido de <https://www.comunycarse.com/es/teoria-colas-los-modelos-formulas-problemas-resueltos/>
- Portilla, L. M., Arias Montoya, L., & Hernandez Henao, S. A. (Diciembre de 2010). Analisis de leinea de espera a traves de teoria de cola y simulación. (U. T. Pereira, Ed.) *Scientia et Technica*.
- Sabater, J. P. (Curso 2015 / 2016). *Aplicando teoría de colas en dirección de operaciones*. Universidad Politécnica de Valencia. Grupo ROGLE.
- santiago, H. (Diciembre de 2017). *Emprendices*. Obtenido de Teoría de Colas o de Líneas de Espera: <https://www.emprendices.co/teoria-colas-lineas-espera/>
- Sarabia, A. (1996). *La investigación operativa: una herramienta para la adopción de decisiones*. Madrid: Madrid: Ed. Gráf. Ortega.
- Serna, C. (2011). <http://inoperaciones7.blogspot.com/2011/04/notacion-de-kendall-lee-paralos.html>.
- Sulbarán, D. S. (2018). MODELOS DE TEORÍAS DE COLAS PARA EL ANÁLISIS EN LOS TIEMPOS DE ATENCIÓN EN PARQUEADEROS DE CENTROS COMERCIALES. *TRABAJO DE GRADO PRESENTADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE. BARRANQUILLA - ATLÁNTICO*, Colombia.
- Varela Vargas, S. (2019). *Estudio de teoría de colas aplicado a la sala SIP Coomeva EPS, en el periodo comprendido entre enero y marzo del año 2018*.
- Villamizar, I. D. (22 de 03 de 2022). *ODEB Observatorio de desarrollo economico*. Obtenido de <https://observatorio.desarrolloeconomico.gov.co/servicios/sector-servicios-inicia-el-2022-con-incremento-del-personal-ocupado-en-16-actividades#:~:text=Tres%20actividades%20lideran%20el%20incremento,con%2066%20%25%3B%20respecto%20a%20enero>
- Winston, W. (2005). *"Investigación de Operaciones" Cuarta Edición*. Editorial Thomson.