



La teoría de colas aplicada a una Oficina Comercial de Telecomunicaciones

The queuing theory applied to a Commercial Telecommunications Office

Josué Linares-Cos^I

 <https://orcid.org/0000-0001-7505-8918>

José Alberto Vilalta-Alonso^{II}

 <https://orcid.org/0000-0003-0400-2938>

Rosario Garza-Ríos^{II}

 <https://orcid.org/00000-0001-6290-2200>

^I Empresa Empresa de Telecomunicaciones de Cuba S.A. La Habana, Cuba.

E-mail: josue.linares@etecsa.cu

^{II} Universidad Tecnológica de La Habana. La Habana, Cuba.

E-mail: jvilalta@ind.cujae.edu.cu, rosariog@ind.cujae.edu.cu

Recibido: 11 de diciembre del 2019.

Aprobado: 19 de febrero del 2019.

RESUMEN

La evaluación de los servicios constituye una estrategia de mejora continua sustentado en el conocimiento de la satisfacción de los clientes. En tal sentido, este trabajo tiene como objetivo establecer las metas de servicio de la Oficina Comercial 1, fundamentadas en un modelo de colas, contemplando las características de calidad cuantitativas relacionadas con la calidad del servicio. Las técnicas utilizadas para el desarrollo de la investigación fueron la observación, la entrevista y la encuesta, así como métodos estadísticos y experimentales. Los principales resultados obtenidos estuvieron relacionados al impacto que sobre la calidad del servicio generan su disponibilidad y el turno de trabajo, considerándose al tiempo de servicio como variable de mayor correlación con el tiempo medio de estancia de los clientes en el sistema, expresada en el 80% de las ocasiones. Aplicando simulación, se obtuvo una reducción estimada del costo total del servicio, siendo este de \$96006.

Palabras Clave: servicio, Modelo de Cola, Correlación, Simulación.

ABSTRACT

The evaluation of services is a strategy of continuous improvement based on the knowledge of customer satisfaction. In this sense, this work has as objective to establish the service goals of the Commercial Office 1, based on a queue model, contemplating the quantitative quality characteristics related to the quality of the service. The techniques used for the development of the research were observation, interview and survey, as well as statistical and experimental methods. The main results obtained were related to the impact on the quality of the service generated by its availability and the work shift, considering the time of service as a variable of greater correlation with the average time of stay of the clients in the system, expressed in the 80 % of the occasions. Applying simulation, an estimated reduction of the total cost of the service was obtained, this being \$ 96006.

Keywords: service, queue model, correlation, simulation.

I. INTRODUCCIÓN

El diseño e implementación de propuestas de mejoras para procesos comerciales, ha contado con numerosos estudios y materiales que fundamentan la importancia del tema. En éstos se aborda el comportamiento de los servicios comerciales de telecomunicaciones que oferta una empresa con influencia en determinados países, así como los principales indicadores a considerar para la evaluación de los mismos. Se consideran los modelos de teoría de colas y simulación, según las exigencias propias del sistema objeto de análisis.

La calidad del servicio ha adquirido una notable importancia en todos los procesos que comprende determinada empresa, dado que las expectativas de los clientes son cada vez mayores. Dicha proyección ha propiciado que a lo interno la efectividad de la organización se oriente y corresponda con tales expectativas. Conceptualmente la calidad en la gestión del servicio representa un instrumento clave para que las empresas consoliden su posicionamiento en el mercado. Entre los aspectos esenciales se identifica con la satisfacción del cliente, sobre la base del cumplimiento de sus expectativas [1]; otras consideraciones abordan que “constituye un factor determinante en la satisfacción de los clientes, dado que el principio básico de toda organización y en particular de la gestión del servicio debe estar orientado al cumplimiento de las expectativas de los clientes” [2].

Por lo anterior, la Empresa de Telecomunicaciones de Cuba S.A ha proyectado mejoras en función de la implementación y desarrollo de nuevos métodos de trabajo y su convergencia en las oficinas comerciales, con la finalidad de lograr la excelencia del servicio en sus diferentes aristas.

Sobre la base de dicho criterio, la Vicepresidencia Comercial, estableció objetivos relacionados con la evaluación del proceso de colas en sus disímiles oficinas. Se obtuvo como principales problemáticas la generación de lentas y extensas colas, que propiciado el aumento del tiempo de estancia de los clientes en el sistema, la percepción desfavorable de la calidad de los servicios y por consiguiente afectaciones a la imagen corporativa.

Sobre la base de lo expuesto con anterioridad, el objetivo del presente trabajo es establecer las metas de servicio de la Oficina Comercial 1, fundamentadas en un modelo de colas.

Particularmente en la Oficina Comercial 1, se han derivado como resultados de estudios anteriores las deficiencias relacionadas con el nivel de servicio percibido por el cliente, entre las que se encuentra la inadecuada gestión de las colas generadas.

II. MÉTODOS

Para desarrollar la presente investigación, se utilizaron métodos experimentales y no experimentales, además de métodos cuantitativos y analíticos, que posibilitaron estimar y evaluar el estado de las variables que permiten caracterizar el desempeño del servicio.

Entre las técnicas utilizadas se aplicaron herramientas de ingeniería industrial para evaluar la percepción de los clientes sobre el servicio, permitiendo centrar la investigación en aquellos criterios más frecuentes y que reflejan la insatisfacción que sobre el servicio presentan dichos clientes.

La figura 1 muestra los criterios más frecuentes de los clientes que influyen negativamente en su satisfacción, quienes presentan un 80% de inconformidad sobre la calidad del servicio. Por lo anterior, uno de los factores que ha incidido en el nivel de insatisfacción lo constituye el número medio de clientes que históricamente han permanecido en cola, siendo los valores más críticos los registrados en las oficinas 1 y 12, de acuerdo a los valores expuestos en la figura 2 [3].

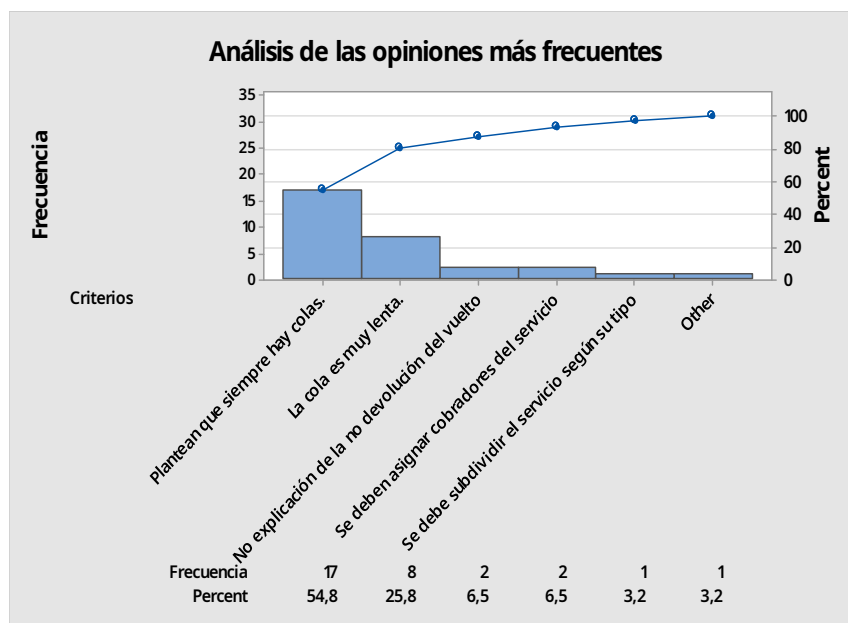


Fig. 2. Valor histórico de del número medio de clientes en cola

Se implementó el análisis de correlación para evaluar el nivel de asociación entre las variables independientes y el tiempo de estancia de los clientes en el sistema objeto de análisis para comprobar cuáles de ellas influyen significativamente en dicho tiempo.

Para fundamentar cuantitativamente los elementos que impactan en la calidad del servicio, la estructura de la presente investigación estuvo conformada por el establecimiento de un modelo de colas. Se tuvo en cuenta: los datos u observaciones realizadas, las condiciones que validan su desarrollo, así como la determinación y la evaluación de los indicadores de desempeño del modelo obtenido.

Se contempló la realización de un análisis estadístico basado en la correlación que sobre el tiempo de estancia en el sistema de los clientes presenta el resto de las variables analizadas.

Fueron determinadas, además, las características de las condiciones del servicio bajo diferentes criterios en cuanto a su funcionamiento, incorporándose pruebas experimentales basadas en la simulación.

III. RESULTADOS

Desde la óptica conceptual es importante significar que la teoría de colas, fundamentada en su gestión e impacto en la calidad del servicio, constituye una importante herramienta que permite determinar los niveles de calidad en los bienes y servicios que se ofertan al cliente, de acuerdo a sus expectativas [4].

La aplicación de la teoría de colas en la medición de la calidad del servicio posibilita evaluar la capacidad de todo sistema u organización para reducir en lo posible la espera de los clientes por el servicio, y a su vez la estancia de éstos en todo el sistema, según la relación establecida con el tiempo de servicio [5].

En el campo de las comunicaciones el proceso básico de colas se ha empleado para evaluar la efectividad de determinado servicio, a partir de las herramientas requeridas para determinar la calidad del mismo. Se ha

expresado de forma particular que “una cola es un sistema con una serie de recursos y una línea de espera, en la que las peticiones de una población de usuarios aguardan a que alguno de los recursos quede disponible para ser atendidos. El tamaño de la cola puede ser limitado o ilimitado [6].

Como fundamento de los resultados obtenidos, se valoró la definición de las distribuciones requeridas para validar un modelo de colas, de acuerdo a las variables evaluadas.

Las características operacionales de los sistemas de servicio se determinan esencialmente por las distribuciones de probabilidad desde los tiempos entre arribos y de los tiempos de servicio [7]. Otros criterios al respecto están relacionados a que los sistemas de colas suelen contener un grado de incertidumbre. En particular los tiempos entre llegadas de clientes y los tiempos de servicios no se conocen con antelación de manera exacta. Para modelar esta incertidumbre, es muy habitual la utilización de la distribución exponencial. Sobre la óptica de un proceso Poisson, dicho proceso es concebido cuando la variable evaluada en un valor puntual equivalente a cero, es igual a cero, es decir, si $x(0)=0$ [8].

Todo modelo bajo el criterio o establecimiento de la Notación de Kendall, posee entradas Poisson y tiempos de servicio exponencial. Es decir, supone que tanto los tiempos entre llegadas como los de servicio son independientes e idénticamente distribuidos según una exponencial, además de un número de servidores igual a S [9].

Con el propósito de que se pueda apreciar gráficamente el comportamiento de las distribuciones asociadas a las variables razón de arribos (λ) y tiempo de servicio ($1/\mu$), se muestra en las figuras 3 y 4 dichas distribuciones.

Condiciones iniciales para el turno 1

Modelo: M/M/4: ∞ ; FIFO ($S > 1$)

Servidores disponibles (S): 4

Razón de arribos: $\lambda = 0,57$ clientes/min

Razón de servicio: $\mu = 0,21$ clientes/min

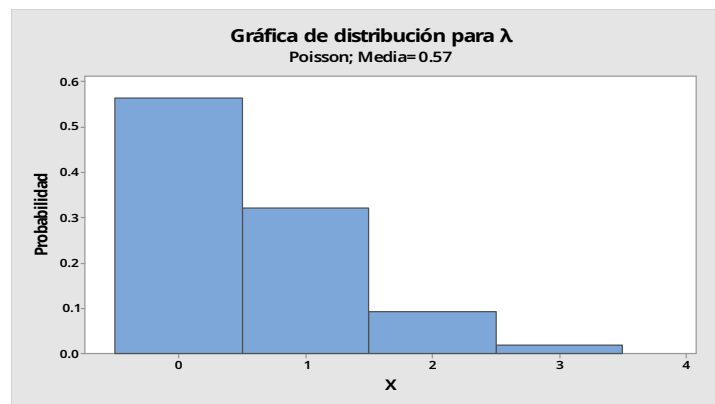


Fig. 3. Distribución de probabilidad para razón de arribos

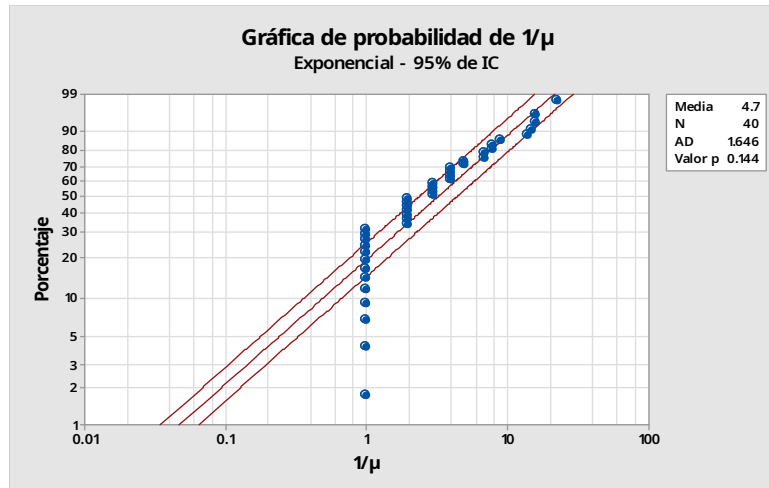


Fig. 4. Distribución de probabilidad para el tiempo de servicio

Es importante destacar que cuando un determinado sistema acaba de iniciarse, su estado se ve afectado por las condiciones iniciales y el tiempo transcurrido. El sistema se encuentra entonces en condición transitoria. Una vez transcurrido cierto tiempo, el estado del sistema se vuelve independiente del estado inicial y del tiempo transcurrido de éste. Por tales condiciones, expresa que cuando se llega a éste punto el sistema se encuentra en estado estable [10].

Para concretar tal justificación, el punto de partida lo representa la siguiente relación:

$$\rho = \lambda / (\mu * S) < 1$$

La exigencia para lograr la estabilidad de un sistema de servicio con capacidad indefinida está representada por la disponibilidad de los servidores y la velocidad del servicio en función del tiempo de ejecución y que todo el fenómeno que se describe en el sistema concurre en la evaluación importante del indicador referido al tiempo de estancia de los clientes en el sistema, que comprende de manera integral los efectos del tiempo de espera en cola, más el tiempo de servicio [9].

Entre otros aspectos de interés y vinculado a la estabilidad del sistema de servicio, todo el funcionamiento del sistema debe concebirse a través del balance entre el tiempo de servicio y su impacto en el tiempo de espera de los clientes en cola y en el sistema completo. [11]

Comprobación de estabilidad:

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu * S} < 1 \quad (1)$$

$$\rho = \frac{0,57}{0,21 * 4} = 0,68 < 1$$

Condiciones iniciales para el turno 2

Modelo: M/M/4: ∞; FIFO (S>1)

Servidores disponibles (S): 4

Razón de arribos: λ=0,63 clientes/min

Razón de servicio: μ=0,17 clientes/min

Las figuras 5y 6 muestran la comprobación de las distribuciones concebidas para el segundo turno.

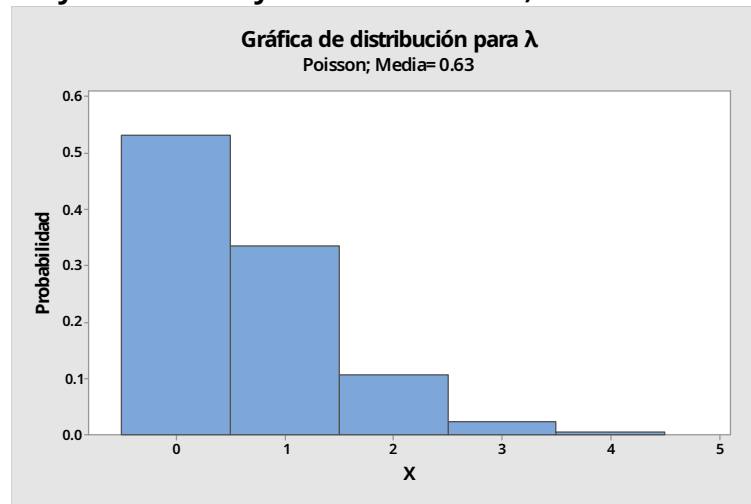


Fig. 5. Distribución de probabilidad para la razón de arribos

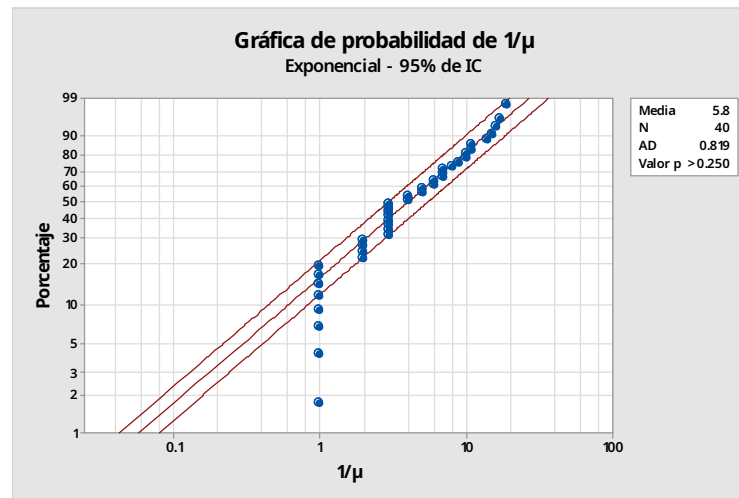


Fig.6. Distribución de probabilidad para el tiempo de servicio

Comprobación de estabilidad:

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu * S} < 1 \quad (2)$$

$$\rho = \frac{0,63}{0,17 * 4} = 0,92 < 1$$

“La aplicación e interpretación de los modelos permiten trazar las estrategias adecuadas para evaluar la calidad del servicio según las expectativas de los clientes. Bajo este principio es de suma importancia analizar la influencia del número de clientes que esperan por un servicio, así como aquellos indicadores que enlazan al servicio con la gestión de las colas” [12].

Con el objetivo de establecer un estado comparativo entre los resultados obtenidos en cada turno analizado, en la tabla 1 se muestran los valores estimados sobre la base de las observaciones realizadas en condiciones reales de funcionamiento del sistema de servicio.

Tabla 1. Condiciones reales e ideales del servicio

LA TEORÍA DE COLAS APLICADA A UNA OFICINA COMERCIAL DE TELECOMUNICACIONES

Parámetro	Unidades de medida	Condiciones Reales :S=4		Condiciones Ideales: S=6		Metas del servicio establecidas
		Turno 1	Turno 2	Turno 1	Turno 2	
$1/\mu$	min/cliente	4,7	5,8	≤ 2	≤ 4	≤ 3
μ	clientes/min	0,21	0,17	0,5	0,25	0,4
ρ	-	0,68	0,92	0,90	0,85	$0,85 \leq \rho < 1$
P_0	-	0,06	0,008	0,07	0,03	$0,04 \leq P_0 \leq 0,07$
P_n	-	0,94	0,992	0,93	0,97	$0,04 \leq P_n \leq 0,07$
W_q	min/cliente	70,5	25,23	≤ 18	≤ 16	≤ 17
W	min/cliente	75,2	31,03	≤ 20	≤ 18	≤ 19
L_q	clientes	40,18	15,77	≤ 10	≤ 10	≤ 10
$P(T > 0)$	-	0,42	0,79	0,07	0,04	$0,04 \leq P(T > 0) \leq 0,07$

Se valoró la incorporación de las especificaciones de funcionamiento del servicio en situaciones ideales, en función de proyectar el comportamiento favorable de los indicadores que evalúan el desempeño del sistema y sobre dicha base mejorar la calidad percibida por el cliente, tal y como se muestra a continuación en la tabla 1.

Análisis de la Correlación entre las variables estudiadas

Establecer un análisis de correlación en la modelación mediante la teoría de colas permite evaluar el grado de asociación entre dos o más variables cuantitativas y de este modo identificar la variable de mayor impacto sobre el efecto que se desee estudiar. Para dicho análisis se utiliza el coeficiente de correlación (r) y se relaciona el valor del coeficiente y el sentido de la correlación. El coeficiente enunciado es un número que indica el grado o intensidad de asociación lineal entre las variables X e Y . Su valor varía entre -1 y +1. La cercanía del valor modular de Si $r = -1$, la asociación es perfecta pero inversa; es decir, a valores altos de una variable le corresponde valores bajos a la otra variable, y viceversa. Si $r = +1$, también la asociación es perfecta pero directa. Si $r = 0$, no existe asociación entre las dos variables" [13].

El coeficiente de correlación constituye una medida de dimensionamiento que determina la relación entre dichas variables sobre la base de la determinación adecuada del tamaño de la muestra para efectuar el estudio es de suma importancia, dado el impacto que crea en las estimaciones que objetivamente se valoren desarrollar" [14].

Con la finalidad de enriquecer el estudio, en función de consolidar el impacto de los indicadores o variables evaluadas sobre el tiempo medio de estancia de los clientes en el sistema, se realizó una investigación basada en el análisis estadístico de correlación. Como punto de partida se concretó el establecimiento de una matriz de correlación, como se muestra en las tablas 2 y 3:

Tabla 2. Matriz de correlación entre las variables del modelo

Turno 1	W	$1/\lambda$	$1/\mu$
$1/\lambda$	-0,264 0,099		
$1/\mu$	0,809 0,000	-0,100 0,538	
W_q	0,584 0,000	-0,311 0,051	-0,005 0,975
Contenido de las celdas		Coeficiente de Correlación	
		Valor P	

Tabla 3. Matriz de las variables del

correlación entre modelo

Turno 2	W	1/λ	1/μ
1/λ	0,030 0,854		
1/μ	0,811 0,000	0,053 0,746	
Wq	0,550 0,000	-0,024 0,884	-0,042 0,795
Contenido de las celdas	Coeficiente de Correlación Valor P		

El valor superior que aparece en cada celda de las tablas 2 y 3 representa el coeficiente de correlación de Pearson y el inferior el valor P, correspondiente a la prueba de significación del coeficiente.

Análisis experimental

Cada uno de los factores que inciden en el comportamiento del tiempo de estancia de los clientes en el sistema y que se han descrito según análisis previo, posibilitaron la realización de un experimento que proporcionará la información necesaria para realizar las correspondientes pruebas. Permite generar los resultados a partir de los cambios que se asumirán en cada una de las variables, y posteriormente poder evaluar el impacto sobre las medidas de desempeño.

Sobre la base de las condiciones generales ideales reflejadas en la tabla 4, se realizó una corrida experimental, que posibilitó evaluar las características del servicio de acuerdo a las metas establecidas. Para tales efectos se consideró el comportamiento ideal del sistema de servicio considerando el 100% de su disponibilidad correspondiente a seis servidores, un tiempo entre arribos de 1,67 minutos por cliente y un tiempo de servicio de 3 minutos.

La simulación se concibió con la realización de 40 réplicas.

Los resultados resumidos se observan en la tabla 4:

Tabla 4. Condiciones ideales del servicio basado en pruebas experimentales

No.	Variable	Resultado
1	Factor de utilización del sistema: ρ	0,96
2	Número medio de servidores ocupados	5,73
3	Tiempo medio de estancia en cola: Wq	4,8717
4	Número medio de clientes en cola: Lq	2,9202

Resultados económicos del sistema de servicio.

El análisis económico de los sistemas de servicio incluye dos elementos:

- El nivel de servicio.
- El tiempo de espera de las unidades que acuden a recibir el servicio.

Los elementos anteriormente referidos permiten evaluar la eficiencia del servicio, teniendo en cuenta las dimensiones del mismo. Desde la perspectiva conceptual, el nivel de servicio depende del número de estaciones de servicio (s) y la eficiencia de dichas estaciones (μ). La determinación del costo por el tiempo de espera no es tan sencilla por el carácter subjetivo que posee, siendo responsabilidad del que debe tomar la decisión [4].

Matemáticamente, la función del costo total del sistema se establece en términos de minimizar su efecto y se determina por la ecuación 3:

$$E(CT) = E(Cs) + E(Ce) \quad (3)$$

Donde:

E (Ct): Valor esperado del costo total.

E (Cs): Valor esperado del costo de servicio.

E (Ce): Valor esperado del costo de espera.

Cs: Costo del servicio.

S: Cantidad de servidores o estaciones de servicio.

Ce: Costo de espera.

L: Número medio de unidades en el sistema.

El $E(Cs)$ es calculado en la ecuación 4 y $E(Ce)$ es calculado en la ecuación 5.

$$E(Cs) = Cs * S \quad (4)$$

$$E(Ce) = Ce * L \quad (5)$$

Como se puede apreciar en la ecuación 3, el valor esperado del costo total depende funcionalmente de los valores esperados del costo de servicio y el costo por concepto de espera. La definición del valor esperado del costo de servicio, según se precia en la ecuación 4, constituye una variable que mide la eficiencia del mismo, sobre la base de conocer el costo general del servicio y la cantidad de servidores que lo ejecutan. Mientras que, la ecuación 5 indica el impacto económico del servicio generado por el evento de espera de los clientes, representando su valor esperado una función del costo unitario de espera y la longitud de línea del servicio, interpretada como el número medio de clientes que permanecen en el sistema.

Desde la perspectiva económica, la eficiencia de un servicio se mide por la relación entre los costos del sistema. La propuesta de configuración del sistema de servicio es establecerlo con múltiples servidores y colas, la formulación del costo total no varía [4].

Con el objetivo de concretar una aproximación de la factibilidad económica del servicio, fueron seleccionadas, según se muestra en tabla 5, aquellas solicitudes más frecuentes durante los días de observación y relacionadas en el nomenclador de los productos comprendidos en el listado de ventas. Dichas consideraciones posibilitaron estimar el costo por el supuesto evento de que un cliente se retire del sistema por concepto de espera.

Tabla 5. Estimación del costo de espera por el servicio

Producto/Servicio	Precio CUP
Teléfono Análogo sencillo KX-TS500B	397.50
Tarjeta para la Navegación de internet temporal (1 hora)	25.00
Tarjetas de recarga propia 5CUP (Peso Cubano)	5
Tarjetas prepagadas Moneda 10CUP	10
Accesorios de la móvil	175.00
Promedio de los precios unitarios	122.5

El resultado obtenido permite evidenciar que el costo medio diario por la espera de un cliente en el sistema se estima de \$122.5/día. De considerarse los 30 días laborables al mes, el valor total es de \$3675/mes.

La definición del costo de servicio se valoró a partir del salario de cada uno de los servidores, siendo de 1095 pesos al mes. No fueron contemplados otros costos, vinculados al consumo de energía, mobiliaria y otros recursos que resultaron difíciles de cuantificar. En la tabla 6 se puede apreciar el valor estimado del costo total.

Tabla 6. Estimación del valor esperado del costo total del servicio
(Condiciones reales)

S	E (Cs)	E(Ce)	E(Ct)
4	\$4380	\$114439.5	\$118819.5

Según condiciones reales:

Para estimar la longitud general de la cola se determinó la media ponderada de dicha variable, considerando igual valor de probabilidad de ocurrencia en cada turno de trabajo. Se aplicó la misma concepción de cálculo para determinar las variables λ y μ ; toda vez que se obtuvieron los correspondientes resultados, se determinó el valor asociado al número medio de clientes en el sistema (L).

Los valores resultantes se observan en la tabla 7.

Tabla 7. Determinación de la media ponderada de las variables requeridas para estimar L

Variable	Resultado
Lq general	27,98 clientes
λ media	0,6 clientes/min
μ media	0,19 clientes/min
L	31,14 clientes

Según las metas del servicio establecidas:

$E(Ct) = \$23107,5/\text{mes}$

Siendo L =4,5 clientes

Las estimaciones del costo total para las condiciones ideales permiten afirmar que el funcionamiento bajo este principio es económicamente más factible que las condiciones actuales.

Propuesta de la cantidad óptima de servidores, desde la dimensión económica

A partir de las metas del servicio que fueron establecidas de acuerdo al comportamiento global e ideal de ambos turnos de trabajo, el valor medio de es $\lambda=0.6$ clientes/min y el valor ideal de $\mu=0,4$ clientes/min. Sobre dichas consideraciones se estimó el valor óptimo de la cantidad de servidores requeridos, desde la dimensión económica. Se puede observar en la tabla 8 el valor estimado del costo total considerando las condiciones óptimas referidas con anterioridad.

Tabla 8. Estimación del valor esperado del costo total del servicio (Según metas del servicio)

S	E (Cs)	E(Ce)	E(Ct)
5	\$5475	\$22843.8	\$28318.8
6	\$6570	\$16243.5	\$22813.5
7	\$7665	\$15361.5	\$23026.5

Con los resultados obtenidos de la simulación (tabla 4) y las metas establecidas para el servicio (tabla 1), se determinó el número medio de clientes en el sistema, cuyo valor resultante es de 4,42 clientes.

Debe señalarse que, al ser el número óptimo de servidores equivalente a seis y la cantidad media de clientes expresada por un valor medio de 4,42, no puede afirmarse que nunca habrá cola, ya que la cantidad real de clientes representa una media. Esto implica que dicho valor puede fluctuar y por consiguiente se aprecie en determinados instantes una variabilidad en el comportamiento del servicio. Un análisis de la probabilidad de que el sistema se encuentre vacío ($P_0=0,07$ y $0,03$ para los turnos 1 y 2 respectivamente) permite arribar a la conclusión de que constituye poco probable evidenciar un sistema sin clientes en cola.

IV. DISCUSIÓN

De acuerdo a la información de la tabla 1 es preciso destacar la importancia de concretar el logro del 100% en la disponibilidad del servicio, con el establecimiento de los 6 servidores. Esto permitiría el alcance de una mayor efectividad en la ejecución de las operaciones comerciales, si se contempla el control y a su vez el cumplimiento de las variables, acorde a los resultados expuestos bajo condiciones ideales. En tal sentido, los valores propicios de μ , Wq , W y Lq , reflejados en la tabla y que responden a las metas del servicio establecidas, fueron definidos a partir del siguiente análisis, en términos de los resultados generados en cada turno de trabajo, tal y como se muestra a continuación.

Turno 1

El resultado relativo al factor de utilización indica que, justificándose que sistema es estable según se aprecia en ecuación 2, en un 68% de las veces los servidores estuvieron ocupados. Se puede apreciar que, del tiempo de trabajo realizado, un 32% restante se generó por interrupciones en el servicio, generadas por diferentes causas, que

Integralmente se puede observar que, para el caso puntual de la razón de arribos, según Figura 3, el comportamiento de dicha variable se rige por una distribución Poisson, teniendo en cuenta que en la medida que crecen los valores enteros de λ , la probabilidad de ocurrencia de los eventos o clientes que fluyen en determinados instantes de tiempos decrece.

Para el caso específico del tiempo de servicio se procedió a comprobar si su comportamiento sigue una distribución exponencial. Para ello se aplicó una prueba de hipótesis basada en el criterio χ^2 y se concluyó que la variable tiempo de servicio sigue una distribución exponencial ($\chi^2 = 0.25$, valor $P = 0.144$)

Probabilidad de que no haya unidades en el sistema:

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{n=0}^{S-1} (\lambda/\mu)^n / n! + \{(\lambda/\mu)^S / S! * 1/(1-\rho)\}} \quad (6)$$

El valor de probabilidad resultante refleja que sólo en el 6% de las ocasiones no habrá clientes en el sistema, lo que implica que en un porcentaje elevado de las veces se evidenciarán clientes solicitando el servicio. Tal condición explica, de igual forma, la esencia de las características del modelo, respondiendo a un caso típico de cola infinita.

Entre otras consideraciones el valor obtenido expresa que es muy poco probable que un determinado cliente que acuda al sistema, se atienda de inmediato.

Probabilidad de que haya n unidades en el sistema:

$$P_n = \frac{(\lambda/\mu)^n * P_0}{n!} \text{ si } 0 \leq n \leq S \quad (7)$$

$$P_n = \frac{(\lambda/\mu)^n * P_0}{n!} \text{ si } n \geq S \quad (8)$$

La determinación y valoración de la probabilidad referida, se definieron asumiendo el criterio de analizar la probabilidad de que al menos se evidencie la presencia de un cliente en el sistema.

El planteamiento, sobre la base de que el tamaño de la cola es indeterminado, se corresponde con la siguiente relación:

$$P_n = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_\infty \quad (9)$$

Si a esta sucesión de eventos posibles se le incorpora la probabilidad de que el sistema está vacío: P_0 , la suma de todos los eventos posibles es en este caso 1:

$$P_0 + P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_\infty = 1 \quad (10)$$

Siendo:

$$P_n = 1 - P_0 \quad (11)$$

El valor obtenido permite interpretar que el servicio se encuentra con una alta concentración de clientes, que se manifiesta en el 94% de las veces.

Tiempo medio de estancia de una unidad en el sistema, de la ecuación 12:

$$W = L/\lambda = W_q + 1/\mu \quad (12)$$

A partir de los resultados que fueron obtenidos, se puede apreciar que el tiempo que media desde la llegada de un cliente a la oficina hasta su salida, es de 75,2 minutos. Dicho resultado permite expresar la correspondencia existente entre la cuantificación de los indicadores de desempeño y el criterio de los clientes sobre la extensión y lentitud de las colas. Elementos que enlazados a la inadecuada organización del trabajo han propiciado que la calidad del servicio no disponga de una efectiva gestión.

Número medio de unidades en la cola:

Conociendo W_q y considerando su relación con L_q , a partir de la ecuación 13:

$$L_q = W_q * \lambda \quad (13)$$

Probabilidad de que una unidad arribe al sistema y tenga que esperar:

Según el valor de P_0 determinado anteriormente y el conjunto de parámetros relacionados como información de entrada, es preciso valorar, desde la perspectiva del cliente, el comportamiento probable de la espera por el servicio cuando arriba al sistema.

$$P(T > 0) = \frac{(\lambda/\mu)^S}{S!(1-\rho)} \quad (14)$$

El resultado obtenido significa que en el 42% de las veces un cliente que arribe al sistema tendrá que esperar.

Turno 2

El resultado obtenido y relacionado al factor de utilización indica que, además de considerarse estable el sistema, en un 92% de las ocasiones el sistema se encontraba funcionando; se aprecia, a diferencia del turno 1, una mayor eficiencia en el aprovechamiento del tiempo de trabajo por parte de los servidores, lo que propició que el servicio fluyera más rápido y se caracterizara por ser más eficiente, según la relación entre la demanda de clientes y la capacidad instalada, en consecuencia con la cantidad de servidores disponibles.

Las distribuciones de la razón de arribos y el tiempo de servicio presentaron el mismo comportamiento que el segundo turno.

Los indicadores de desempeño, tal y como se observa en la tabla 1, en la que se establece un análisis comparativo de los resultados para cada turno, presentaron un mejor comportamiento. De manera particular, los parámetros como el tiempo de espera en cola y el número medio de clientes en dicha cola generaron resultados significativamente por debajo de las condiciones obtenidas en el primer turno.

Se observa que, particularmente la probabilidad de que un cliente acuda al servicio y tenga que esperar en el respectivo turno es superior al valor probable del primer turno. Esto se debe fundamentalmente al considerable valor que refiere el nivel de ocupación del sistema, en términos de su factor de utilización. En tal sentido, es preciso valorar que el resto de los indicadores presentó resultados más adecuados y correspondidos con un mejor nivel de servicio.

Interpretación de la Correlación entre las variables estudiadas

Turno 1

De acuerdo a la información expuesta en la tabla 2 se aprecia que, específicamente el tiempo de servicio, presenta una alta correlación con la variable respuesta, dado que el coeficiente de correlación de Pearson resultó ser 0,809. En el caso del tiempo de espera en cola, se observa la presencia de una moderada relación lineal con el tiempo de estancia en cola de los mismos, siendo el coeficiente de correlación de 0,584.

Particularmente entre el tiempo entre arribos y la variable dependiente no existe relación lineal alguna, resultando el correspondiente coeficiente de -0,264.

De acuerdo a esta valoración, los coeficientes analizados confirman que las dificultades en la efectividad del proceso de gestión de las colas, en términos de mitigar el tiempo de estancia de los clientes en el sistema, han estado marcadas fundamentalmente por el tiempo de servicio realizado por los servidores; además de considerar el tiempo de permanencia de los clientes en cola.

Se probó la significación estadística de la correlación entre el tiempo de servicio y el tiempo de estancia de los clientes en el sistema, para lo que se realizó la correspondiente prueba de hipótesis, obteniéndose un valor $P=0$.

Para el tiempo de espera en cola:

El valor P asociado es 0; esto implica expresar que existen evidencias para afirmar la existencia de correlación entre el tiempo de espera en la cola y el tiempo de estancia en el sistema.

Desde el punto de vista gráfico se procedió a la confección y análisis de dispersión para observar la distribución de los valores y su nivel de correspondencia según la relación lineal entre las variables independientes con la dependiente o efecto. Generalmente se observa que desde esta dimensión se corrobora lo expresado con anterioridad. Se puede apreciar en la siguiente figura 5, mostrada a continuación, que la tendencia lineal está mejor estructurada para los casos típicos del tiempo de servicio ($1/\mu$) y el de estancia en cola (Wq), presentando la relación entre el tiempo de estancia en el sistema y el tiempo de servicio un mejor comportamiento lineal, siendo consecuente con el resultado apreciado en el coeficiente de correlación.

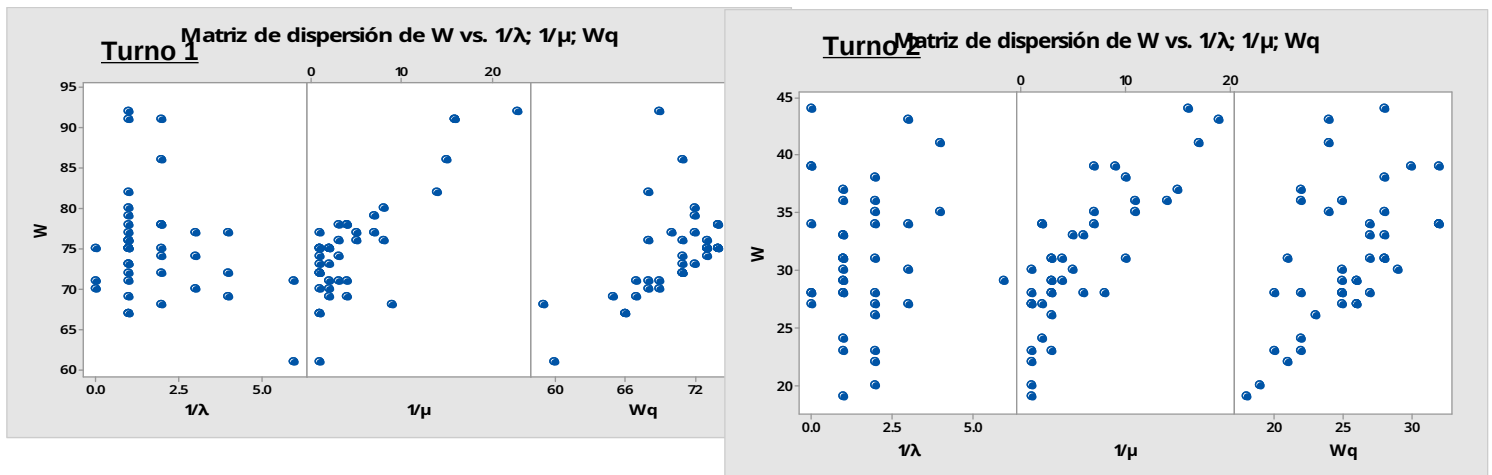


Fig. 5. Gráficas matriciales de dispersión entre W y el resto de las variables

Las condiciones en el turno 2 son similares a lo interpretado en el primer turno. Se aprecia que las variables tiempo de servicio y de permanencia en cola por los clientes, presentan un nivel de asociación con el tiempo de estancia en el sistema, siendo el tiempo de servicio la de mayor impacto en cuanto a la relación lineal resultante.

Se puede observar que el valor relativo al coeficiente de correlación se encuentra en el entorno del resultante en el turno 1, siendo igualmente el tiempo de servicio la variable de mayor correlación con el tiempo de estancia en el sistema de los clientes.

En la correspondencia gráfica del tiempo de servicio con la variable dependiente, se puede apreciar que el comportamiento corrobora el análisis e interpretación derivados de los resultados expuestos en la matriz de correlación, y la prueba de hipótesis establecida.

De igual manera sucede con el tiempo de permanencia en la cola, ilustrándose una correlación con el tiempo de estancia de los clientes en el sistema.

Interpretación del análisis experimental basado en pruebas de simulación

De manera general y según los resultados expuestos en la tabla 4, los valores obtenidos se corresponden con las restricciones establecidas en función de las metas del servicio. Definir e implementar las alternativas de mejora para elevar la calidad en el servicio y bajo este principio cumplir con las expectativas cada vez más crecientes de los clientes, constituye la primicia fundamental.

Se ha confirmado, en función de los resultados simulados, la importancia de garantizar una adecuada eficiencia en el servicio, basada en el aprovechamiento del trabajo y la disponibilidad total de los recursos.

El sistema, bajo las condiciones simuladas, presentó un 96% de aprovechamiento del trabajo; en los resultados obtenidos se observa una disponibilidad del 95% de los servidores, teniendo en cuenta que el valor se encuentra en el entorno de 5,73 servidores.

Las medidas de desempeño fueron efectivas, lográndose una disminución en el tiempo de espera por el servicio, así como en la longitud de la cola.

El tiempo de estancia en el sistema, acorde a las variables simuladas, presentaría el siguiente resultado:

$W = W_q + 1/\mu = 7,8717$ min/cliente.

Valoración económica del sistema de servicio

Teniendo en consideración los valores obtenidos en el análisis económico precedido, se observa que la cantidad óptima de servidores para operar en el servicio según la dimensión económica, es 6. Esto corrobora además los resultados derivados de la simulación del sistema, en los que la cantidad media de servidores ocupados fue 5,73, siendo un valor comprendido entre 5 y 6 servidores.

De forma general, se aprecia que el costo por el concepto de la espera de un cliente disminuye en la medida que la longitud de línea se hace más pequeña, a partir de 5 servidores. Bajo cualquier condición posible y sobre la base de determinadas proyecciones sobre las estimaciones de costo, el valor ideal siempre será 6, dado que a medida que se incrementen las estaciones de servicio aumenta de manera directa el valor esperado del costo total.

El valor estimado del costo total, bajo las alternativas propuestas fue inferior al valor resultante en la situación actual, observándose una disminución de \$95712 para el caso típico de asumir las metas del servicio y de \$96006 de compararse con la optimización de las estaciones de servicio desde la perspectiva económica.

V. CONCLUSIONES

Sobre la base de los aspectos tratados en el contexto del desarrollo de la presente investigación, fueron concretadas las siguientes conclusiones:

1. La disponibilidad del servicio y el turno de trabajo constituyen factores que influyen en la calidad del servicio, evidenciándose en el segundo turno mejores resultados en cuanto a las variables evaluadas.
2. La capacidad del servicio, expresada por la rapidez en la atención, fue superior en el turno 1, siendo de 4,7 min/cliente. El nivel de utilización del sistema en el segundo turno 2 fue superior al resultante en el turno 1, lo que propició evidenciar un mayor porcentaje de aprovechamiento del tiempo de trabajo, en el, 92% de las veces.
3. En términos de las proyecciones del servicio orientadas al cliente, la variable tiempo de estancia de los clientes en el sistema presentó una marcada diferencia en los turnos analizados, siendo de 75,2min/cliente y 25,23 min/cliente, para el primer y segundo turno respectivamente.
4. Desde la óptica del estudio estadístico realizado y basado esencialmente en la correlación entre las variables declaradas, se pudo evidenciar que la variable tiempo de servicio representó la más fuertemente correlacionada con el tiempo medio de estancia en el sistema.
5. La eficiencia económica del sistema de servicio se alcanza mediante la utilización efectiva de 6 servidores, resultando el valor esperado del costo total de \$22813.5/mes.
6. Con las propuestas relacionadas y considerando las condiciones de experimentación simuladas, se obtuvo una reducción estimada del costo total del servicio, siendo de \$96006. 🏠

VI. REFERENCIAS

1. Arellano Díaz HO. La calidad en el servicio como ventaja competitiva Riobamba, Ecuador. Dominio de las

- Ciencias. 2017 (1):72-83. ISSN 2477-8818.
2. N. S.E M. Effect of Service Quality and Quality of Products to Customer Satisfaction as Intervening Variable in PT . Nano Coating. IJBASS. 2018;4(1). ISSN 2469-6501.
3. Colectivo de autores. Estudio de Colas.2015. [Citado: 19 de febrero del 2018]. Disponible en: www.ssoar.info.
4. Schwartz B. The Essential Guide to Queueing Theory. VividCortex. 2015. ISSN 2356-5047. DOI
5. Leachman R. Introduction to Queueing Theory and its Use in Manufacturing.2016. [Citado: 19 de febrero del 2019]. Disponible en: <http://courses.ieor.berkeley.edu/>
6. FarayibiAdesoji O. Investigating the Application of Queue Theory in the Nigerian Banking System. Centre for Allied Research and Economic Development. 2016; (1). ISSN 7361-4016.
7. Hillier S, Lieberman G. Teoría de colas. En Introducción a la Investigación de Operaciones. 9na ed. México: McGraw-Hill/Inter. Americana Editores; 2010. ISBN. 978-607-15-0308-4.
8. AhmadKoka T, Badshah VH, ShahRiyaz A. A Single and MultiSeverQueueingModels: A Study. School of Studies in Mathematics. VikramUniversity, India. International Journal of Mathematics and its Aplications. 2007;5(4):595-603. ISSN 2347-1557.
9. Yáñez-Mingot PS, Hernández Gutiérrez JA. Una introducciónamable a la teoría de colas. Madrid, España: Editorial Universidad Carlos III; 2018. ISBN 978-198-04-4946-1.
10. Gogtay N, Thatte U. Principles of Correlation Analysis. Journal of the Association of Physicians of India La India: JAPI; 2017. ISBN 0004-5772-65
11. García Dunna E, García Reyes H, Cárdenas Barrón L. Simulación y análisis de sistemas con ProModel. 2 ed. México Peaarson; 2013. ISBN 978-607-32-1511-4.
12. Bountali O. Equilibrium joining strategies in batch service queueing systems. European Journal of Operational Research. 2017. ISSN 1142-1151.
13. García Sabater JP. AplicandoTeoría de Colas en Dirección de Operaciones.2016. [Citado: 19 de febrero del 2019]. Disponible en: www.upv.es.
14. Giacomini Sari B, et. al. Sample size for estimation of the Pearson correlation coefficient in sherry tomato test. Ciencia rural. 2017 (1). ISSN 1678-4596.
15. Elem-Ushe O, Insude F, Bassey U. Analisis of Multiple-Queue Multiple-Server Queueing System: A Case Study of Firts Bank Nig. International Journal of Scientific&Engineering Research. 2017;8(1). ISSN 2229-5518.

Los autores declaran que no hay conflictos de intereses de ningún tipo

Contribución de cada autor

Josué Linares-Cos: Redacción del artículo y establecimiento de un modelo de colas, teniendo en cuenta los indicadores de desempeño, además de considerar los métodos estadísticos requeridos para fundamentarlas características de las variables declaradas, así como el nivel de relación entre las mismas. Valoración integral de todas las herramientas utilizadas y su convergencia en el diagnóstico concebido.

José Alberto Vilalta-Alonso: Asesoramiento sobre, la fundamentación estadística de todos los métodos que en este sentido fueron aplicados, además de considerar las recomendaciones sobre la concepción general del trabajo presentado.

Rosario Garza-Ríos: Asesoramiento sobre la aplicación sobre la teoría de colas concebida en el trabajo presentado, sobre la base de análisis y evaluación de las variables declaradas en la etapa de diagnóstico, además de contemplar las recomendaciones sobre el enfoque general de trabajo materializado.