Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

PROPUESTA DE PLANEACIÓN DEL RECURSO HUMANO DE ACUERDO A LA DEMANDA DE SERVICIO, APLICANDO TEORÍA DE COLAS PARA EL DEPARTAMENTO DE EXCEPTIONS DE LA CUENTA TXU ENERGY BACK OFFICE DE LA EMPRESA TRANSACTEL

Larissa Estrellita Cifuentes Zea
Asesorado por el Ing. Fernando José Álvarez Paz

Guatemala, noviembre de 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROPUESTA DE PLANEACIÓN DEL RECURSO HUMANO DE ACUERDO A LA DEMANDA DE SERVICIO, APLICANDO TEORÍA DE COLAS PARA EL DEPARTAMENTO DE *EXCEPTIONS* DE LA CUENTA *TXU ENERGY BACK OFFICE* DE LA EMPRESA TRANSACTEL

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

LARISSA ESTRELLITA CIFUENTES ZEA
ASESORADO POR EL ING. FERNANDO JOSÉ ÁLVAREZ PAZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO INDUSTRIAL

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADORA	Inga. Miriam Patricia Rubio Contreras de Akú
EXAMINADOR	Ing. Juan José Peralta Dardón
EXAMINADORA	Inga. Mayra Saadeth Arreaza Martínez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

PROPUESTA DE PLANEACIÓN DEL RECURSO HUMANO DE ACUERDO A LA DEMANDA DE SERVICIO, APLICANDO TEORÍA DE COLAS PARA EL DEPARTAMENTO DE *EXCEPTIONS* DE LA CUENTA *TXU ENERGY BACK OFFICE* DE LA EMPRESA TRANSACTEL

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha febrero de 2010.

Larissa Estrellita Cifuentes Zea

Guatemala, 27 de abril de 2011

Ingeniero:
Cesar Ernesto Urquizu Rodas
Director de Escuela de Mecánica Industrial
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente

Respetable señor director:

Por medio de la presente informo a usted, que he procedido a revisar el trabajo de graduación elaborado por la estudiante **LARISSA ESTRELLITA CIFUENTES ZEA**, con carné 200516066 de la carrera de Ingeniería Industrial cuyo titulo es: "**PROPUESTA DE PLANEACIÓN DEL RECURSO HUMANO DE ACUERDO A LA DEMANDA DE SERVICIO, APLICANDO TEORÍA DE COLAS PARA EL DEPARTAMENTO DE *EXCEPTIONS* DE LA CUENTA *TXU ENERGY BACK OFFICE* DE LA EMPRESA TRANSACTEL".**

Considero que el trabajo presentado por la estudiante Cifuentes Zea, ha sido desarrollado cumpliendo con los requisitos reglamentarios y siguiendo las recomendaciones de la asesoría, por lo que doy mi aprobación y solicito el tramite correspondiente.

Sin otro particular me es grato suscribirme de usted muy respetuosamente.

Ing. Fernando José Alvarez Paz
Asesor
Colegiado No. 2543

Fernando José Alvarez Paz
INGENIERO INDUSTRIAL
COL. 2543

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

REF.REV.EMI.118.011

Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **PROPUESTA DE PLANEACIÓN DEL RECURSO HUMANO DE ACUERDO A LA DEMANDA DE SERVICIO, APLICANDO TEORÍA DE COLAS PARA EL DEPARTAMENTO DE EXCEPTIONS DE LA CUENTA TXU ENERGY BACK OFFICE DE LA EMPRESA TRANSACTEL,** presentado por la estudiante universitaria **Larissa Estrellita Cifuentes Zea,** apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Víctor Hugo García Roque
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, julio de 2011.

/mgp

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERIA

REF.DIR.EMI.184.011

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **PROPUESTA DE PLANEACIÓN DEL RECURSO HUMANO DE ACUERDO A LA DEMANDA DE SERVICIO, APLICANDO TEORÍA DE COLAS PARA EL DEPARTAMENTO DE EXCEPTIONS DE LA CUENTA TXU ENERGY BACK OFFICE DE LA EMPRESA TRANSACTEL**, presentado por la estudiante universitaria **Larissa Estrellita Cifuentes Zea**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Ing. César Ernesto Urquizú Rodas
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DIRECCION
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial
FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, noviembre de 2011.

/mgp

Universidad de San Carlos
de Guatemala

Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 463.2011

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al trabajo de graduación titulado: **PROPUESTA DE PLANEACIÓN DEL RECURSO HUMANO DE ACUERDO A LA DEMANDA DE SERVICIO, APLICANDO TEORÍA DE COLAS PARA EL DEPARTAMENTO DE *EXCEPTIONS* DE LA CUENTA *TXU ENERGY BACK OFFICE* DE LA EMPRESA TRANSACTEL,** presentado por la estudiante universitaria **Larissa Estrellita Cifuentes Zea,** autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 8 de noviembre de 2011.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
DECANO
FACULTAD DE INGENIERIA

/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por bendecir siempre mí camino, a pesar de todos mis errores.
Mi señora madre	Blanca Zea, con todo mi amor.
Mi señor padre	Lic. Oscar Cifuentes, con todo mi amor.
Mis hermanas	Con mucho cariño para Alejandrina y Dennisse.
Mis sobrinas	Con todo mi cariño para Natalia y Victoria.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por permitirme llegar a este momento tan importante de mi vida.
Mi señora madre	Blanca Zea, con todo mi amor, por toda su paciencia, amor, confianza, esfuerzos y apoyo incondicional.
Mi señor padre	Lic. Oscar Cifuentes, con todo mi amor, por todo su esfuerzo para que yo un día alcanzara este momento.
Mis hermanas	Alejandrina y Dennisse, por su ejemplo, paciencia, apoyo y amor.
Ing. Julio Jiménez	Por su apoyo en todo momento, a lo largo de tantos años.
Mis sobrinas	Natalia y Victoria, por hacer mi vida tan feliz.
Familia Jiménez López	Por apoyarme desinteresadamente en mi formación profesional.

Mis profesores	A todos aquellos excelentes profesores, por compartir sus sabios conocimientos, muy en especial al Ing. Fernando José Álvarez Paz.
La Universidad de San Carlos de Guatemala	Por permitirme egresar de tan prestigioso plantel de estudios.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

TABLAS

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
$\approx$	Aproximadamente igual a
Σ	Distribución estándar poblacional, Sigma
X^2	Estadístico de prueba, Chi-cuadrada
P	Factor de utilización, Ro
!	Factorial
∞	Infinito
$\geq$	Mayor o igual que
$\leq$	Menor o igual que
Λ	Tasa de llegadas, Lamda
μ	Tasa de servicio, Mu

GLOSARIO

Agente de servicio	Es el encargado de interactuar con los clientes para proveerlos de la información que ellos piden por medio de preguntas que ellos hacen acerca de los productos y servicios; así como de dar una respuesta oportuna y satisfactoria a las quejas de los clientes.
Capacidad de servicio	Se refiere a la cantidad y calidad de servicio que requieren los clientes.
Cola	Es una línea de espera.
Distribución de probabilidad	Una distribución de probabilidad indica toda la gama de valores que pueden representarse como resultado de un experimento. Es similar a una distribución de frecuencias relativas. Sin embargo, en vez de describir el pasado, describe la probabilidad que un evento se realice en el futuro; constituye una herramienta fundamental para la prospectiva, puesto que se puede diseñar un escenario de acontecimientos futuros considerando las tendencias actuales de diversos fenómenos naturales.

Hojas de control	Son hojas de recopilación, cuya función principal es hacer fácil la recopilación de datos para que puedan ser usados y analizados fácilmente.
Llegadas	Son las unidades que entran en el sistema para recibir el servicio.
Modelo Matemático	Sirve para encontrar el comportamiento de estado estable, como la longitud promedio de la línea y el tiempo de espera promedio para un sistema dado. Esta información, junto con los costos pertinentes, se usa, entonces, para determinar la capacidad de servicio apropiada.
Probabilidad	Mide la frecuencia con la que se obtiene un resultado (o conjunto de resultados) al llevar a cabo un experimento aleatorio, del que se conocen todos los resultados posibles, bajo condiciones suficientemente estables.
Sistema de colas	Es el que se divide en dos componentes, la cola y la instalación de servicio.
Teoría de colas	Es una colección de modelos matemáticos que describen sistemas de líneas de espera particulares o sistemas de colas

RESUMEN

Exceptions es un departamento que presta servicios de atención a las cuentas de los clientes de la compañía eléctrica *TXU Energy*. Dicha compañía eléctrica es una cuenta manejada por la empresa Transactel. Los servidores se dedican a resolver problemas que permitan a los clientes de *TXU Energy* recibir una factura puntual y correcta de acuerdo con su consumo eléctrico.

Dicho departamento se divide en dos instalaciones de servicio independientes entre sí, cada una con diferentes sistemas de colas; es decir con diferentes líneas de espera, tasas de llegada de clientes, y tasas de servicio.

La Junta Directiva formada por miembros de *TXU Energy* y Transactel, busca reducir costos totales del sistema del departamento y ha determinado que el área a evaluar es la planificación de personal. Utilizando herramientas de diagnóstico mediante un análisis situacional y un diagrama de Ishikawa se ha identificado que el principal problema en la planificación de personal es decidir el nivel de servicio de acuerdo con la experiencia y no basado en herramientas técnicas.

El trabajo en estudio busca cómo mejorar la toma de decisiones sobre el nivel de servicio en *Exceptions*, utilizando como herramienta la *Teoría de colas*. Con ésta se logra mejorar el desempeño del sistema y reducir sus costos. Para ello fue necesario observar el sistema durante un mes y definir el modelo matemático que permite obtener las soluciones de estado estable.

Al comparar la situación actual, con las soluciones obtenidas después de evaluar el modelo de colas determinado en ambas instalaciones de servicio, se comprueba el logro del cumplimiento con los objetivos de la compañía. Se reducen costos y se aumenta el desempeño del sistema, sin tener que recurrir al quebranto de políticas de la empresa, dando bajas de personal para lograrlo.

Para asegurar el seguimiento de la propuesta, se presentan hojas de control que permitirán supervisar las actividades diarias del departamento y detectar rápidamente algún desvió de los objetivos.

OBJETIVOS

General

Diseñar la cantidad de recurso humano necesaria respecto de la demanda de servicio, utilizando teoría de colas para la cuenta *TXU Energy* de la empresa Transactel.

Específicos

1. Reunir los antecedentes generales necesarios para realizar adecuadamente el estudio.

2. Evaluar la situación actual de la planeación de recurso humano para el departamento de *Exceptions* de la cuenta *TXU Energy*.

3. Definir el problema y formular un modelo matemático que se ajuste a la realidad.

4. Seleccionar el nivel de personal adecuado, aplicando teoría de colas para el departamento de *Exceptions* de la cuenta *TXU Energy*.

5. Evaluar el desempeño del sistema de colas propuesto, mediante diferentes indicadores.

6. Diseñar hojas de control que permitan supervisar costos y tiempos, tanto de servicio como de espera.

INTRODUCCIÓN

La toma de decisiones es fundamental para cualquier actividad humana. En este sentido, todos son tomadores de decisiones. El presente trabajo de toma de decisiones se desarrolla según el enfoque propuesto por Frederick S. Hillier, que incluye las siguientes fases: formulación, solución, prueba, preparación para la aplicación del modelo y puesta en marcha.

El departamento de atención al cliente para la cuenta TXU Energy back office del *call center* Transactel, se dedica a la solución de problemas, generados en las facturas de los consumidores de energía eléctrica del Estado de Texas de los Estados Unidos.

En este departamento se presenta constantemente el fenómeno de la espera, materializado en largas colas de "facturas" que acuden al centro para resolver problemas de suministro de energía eléctrica. Cosa muy interesante es reducir en lo posible el tiempo de espera de estos usuarios, ya que se toma en cuenta como tiempo dedicado teóricamente a sus actividades productivas.

El número de agentes de servicio que se dediquen a resolver las demandas de los usuarios ejercen marcada influencia sobre el tiempo de espera. Si hay demasiados, no habrá filas de usuarios pero por otra parte, es una inversión mayor e inútil instalar y pagar el mantenimiento de agentes de servicio que estén ociosos.

Todo esto conduce a un problema económico. ¿Cuántos agentes de servicio, serán necesarios para atender los reclamos de forma que ni los usuarios que reclaman ni los agentes de servicio tengan demasiado tiempo improductivo? ¿Cuál es el costo mínimo de atender los reclamos por facturación?

El presente trabajo inicia con la recopilación de antecedentes generales de la *teoría de colas* y del departamento de *Exceptions*, los que servirán como base para el presente caso en estudio. Luego, continúa la observación del sistema con el fin de formular un modelo matemático que represente la situación real. Seguidamente, se obtienen soluciones a partir del modelo matemático definido y se decide tanto la tasa de servicio como la cantidad de personal necesaria; la decisión se fundamenta en las soluciones obtenidas y en las necesidades de la empresa.

Posteriormente, se evalúan los resultados obtenidos de la propuesta respecto de la situación actual con el fin de identificar, qué opción ofrece un mejor desempeño. Finalmente, se diseñan hojas de control con el objetivo de asegurar la etapa de seguimiento.

1. ANTECEDENTES GENERALES

A continuación se presentarán los principios básicos de planeación de recurso humano, teoría de colas y análisis de costos. Luego se expondrán antecedentes generales de la empresa Transactel, descripción del servicio que presta, escala de sueldos y proceso de planeación de recurso humano actual; los que servirán de base para el análisis del caso de estudio.

1.1. Planeación del personal

La planeación de personal, del recurso humano o del empleo, es el proceso de proyectar cómo se ocuparán los puestos de una organización.

En el proceso, se analiza si es necesario abrir vacantes futuras o si deben eliminarse algunas. Luego, es fundamental decidir si dichos puestos proyectados deben ocuparse con empleados internos o con personal del exterior.

La planeación, se basa en supuestos acerca del futuro, llamados pronósticos. Si se desea conocer la cantidad de empleo, es necesario realizar un pronóstico para las necesidades de personal.

1.1.1. Cómo pronosticar las necesidades de personal

Al pronosticar las necesidades de personal es necesario considerar diferentes aspectos. Básicamente la planeación de personal consiste en determinar la demanda esperada de servicio o de producto.

En otras palabras, para pronosticar las necesidades de personal, debe estimarse el volumen de ventas o de clientes esperados, según sea el caso.

1.2. Teoría de colas

La teoría de colas es un conjunto de modelos matemáticos que estudian el comportamiento de líneas de espera. Las líneas de espera, se forman al momento en que, un cliente no ha sido posible atenderlo inmediatamente y decide esperar, formando cola en la línea de espera.

El objetivo de la teoría de colas, es encontrar un estado estable del sistema, con el fin de determinar la capacidad adecuada de servicio. El servicio apropiado, no necesariamente es el más rápido ya que, genera costos muy elevados, para determinarlo, se debe encontrar un balance entre estos.

Existe variedad de modelos de colas, para identificarlos se utiliza la Nomenclatura de Kendall *A/B/c*

- *A*: distribución de tiempos entre llegadas
- *B:* distribución de tiempos de servicio
  - ✓ *M:* distribución exponencial
  - ✓ *D:* distribución degenerada
  - ✓ E_k: distribución Erlang
- *c:* número de servidores

1.2.1. Estructura básica de los modelos de colas

Generalmente los sistemas de colas pueden presentarse de diferentes maneras; con una línea y un servidor, con una línea y múltiples servidores, varias líneas y múltiples servidores o con una línea y servidores secuenciales.

Todos los sistemas de colas se reducen a una estructura básica de modelos de colas, que son:

- Fuente de entrada o población potencial: se refiere al conjunto de individuos, los cuales pueden ser seres vivos o individuos ficticios, que llegan al sistema de cola a solicitar un servicio. La población puede ser finita o infinita, aunque realmente la infinitud se utiliza para simplificar la resolución de casos donde la población finita suele ser muy grande.

- Cliente: es cualquier individuo de la población potencial que solicita servicio. Es necesario fijar una distribución de probabilidad según la cual la fuente de entrada genera clientes. Para fijar dicha distribución de probabilidad, también llamada distribución de los tiempos entre llegadas, se toma como referencia el tiempo que toma en llegar un segundo cliente consecutivo.

- Capacidad de la cola: es la máxima cantidad de clientes que pueden estar haciendo cola, es decir antes de comenzar a ser atendidos.

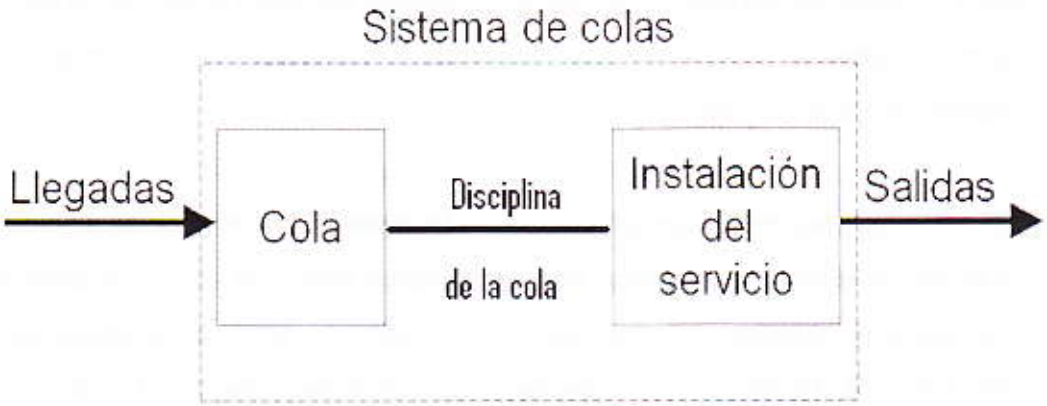
- Disciplina de la cola: es la forma o criterio en que los clientes son seleccionados para ser servidos. Como primeros en llegar, son los primeros en salir; últimos en llegar, son los primeros en salir; o aleatoriamente.

- Mecanismo de servicio: se refiere al procedimiento por el cual se da servicio a los clientes. Incluye el número de servidores y la distribución de probabilidad del tiempo que le toma a cada servidor dar el servicio.

- La cola: es el conjunto de clientes que esperan a ser atendidos, quienes han solicitado el servicio, pero que aún no han pasado al mecanismo de servicio.

- El sistema de la cola: es el conjunto de la cola más el mecanismo de servicio y la disciplina de la cola, como se muestra en la figura 1.

Figura 1. **Sistema de colas**



Fuente: LEANDRO Gabriel. Líneas de espera, p. 10.

1.2.2. Proceso de construcción de modelos

La teoría de colas es una técnica analítica moderna que ha tenido gran auge en la investigación de operaciones (IO).

La investigación de operaciones es una herramienta científica en la toma de decisiones, que busca la optimización en la operación de un sistema que por lo regular requiere la asignación de recursos escasos.

El enfoque científico en la toma de decisiones requiere el uso de uno o más modelos matemáticos. Estos son representaciones matemáticas de la situación real de un sistema, que pueden utilizarse para tomar decisiones importantes. Expresados en términos de símbolos y expresiones matemáticas.

Los modelos matemáticos utilizados por la teoría de colas se dividen en sistemas de un servidor y de varios servidores.

- Modelos de un servidor

  - ✓ $M/M/1$: un servidor con llegadas de Poisson y tiempos de servicio exponenciales.

  - ✓ $M/G/1$: un servidor con tiempos entre llegadas exponenciales y una distribución general de tiempos de servicio.

  - ✓ $M/D/1$: un servidor con tiempos entre llegadas exponenciales y una distribución degenerada de tiempos de servicio.

  - ✓ $M/E_k/1$: un servidor con tiempos entre llegadas exponenciales y una distribución Erlang de tiempos de servicio.

- Modelos de varios servidores

  - ✓ *M/M/*s: *s* servidores con llegadas de Poisson y tiempos de servicio exponenciales.

  - ✓ *M/D/*s: *s* servidores con tiempos entre llegadas exponenciales y una distribución degenerada de tiempos de servicio.

  - ✓ $M/E_k/$s: *s* servidores con tiempos entre llegadas exponenciales y una distribución Erlang de tiempos de servicio.

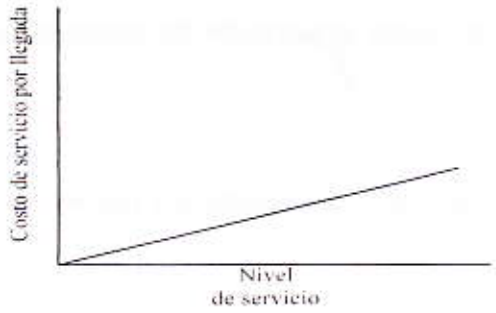
Para resolver los problemas de una empresa, utilizando la investigación de operaciones, es necesario cumplir previamente con siete pasos para la construcción del modelo.

- Definición del problema y recolección de datos: es la primera actividad que requiere el estudio del sistema. Consiste en el desarrollo de un resumen bien definido del problema que será analizado. En dicha definición se incluyen los objetivos especificos de la empresa y las partes de esta que se deben estudiar antes de resolver el problema.

- Observar el sistema: es la parte donde el investigador de operaciones reúne información para estimar el valor de parámetros que afectan el problema de la empresa.

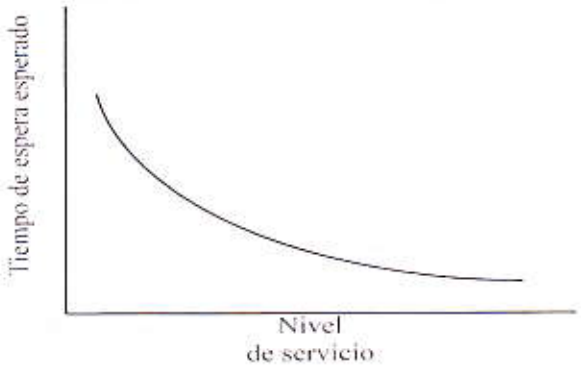
- Formular un modelo matemático del problema: definido el problema, la siguiente etapa consiste en reformularlo de manera conveniente para su análisis. Usualmente, esto se logra mediante la construcción de un modelo matemático que represente la esencia del problema.

Figura 2. **Costo de servicio como función del nivel de servicio**



Fuente: HILLIER Frederick y LIEBERMAN Gerald. Investigación de operaciones, p. 910.

Figura 3. **Tiempo de espera esperado en función del nivel de servicio**



Fuente: HILLIER Frederick y LIEBERMAN Gerald. Investigación de operaciones, p. 910.

1.3. Análisis de costos

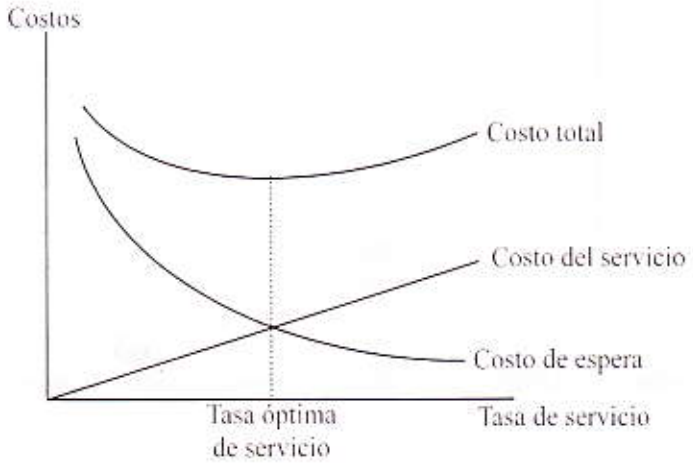
El objetivo de este análisis es determinar el nivel de servicio que minimice el costo esperado de servicio y el costo esperado de la espera por ese servicio. Los costos que deben analizarse en un sistema de colas son el costo de espera y el costo de servicio.

- Costo de espera: es el costo que tiene para el cliente esperar, se calcula como el costo de oportunidad del tiempo perdido. Un sistema con un bajo costo de espera es una fuente importante de competitividad. Se denota con *CW*.

- Costo de servicio: es el costo de operación por el servicio brindado y se denota con *CS*.

- Costo total: es la suma del costo de espera y el costo de servicio. Se denota con CT. El objetivo es minimizar su representación matemática (ver figura 4).

Figura 4. **Análisis económico de líneas de espera**



Fuente: LEANDRO Gabriel. Lineas de espera, p. 69.

1.4. Antecedentes generales de Transactel

Como base para la elaboración de este estudio, se presenta a continuación la descripción del servicio que presta Transactel a la cuenta *TXU Energy back office*, la escala de sueldos que se maneja y una descripción general del proceso de planificación de personal utilizado actualmente.

1.4.1. Descripción del servicio que presta Transactel a la cuenta *TXU Energy Back Office*

Transactel es un *call center* reconocido a nivel internacional, que presta servicio de atención al cliente como *outsourcing* a diferentes empresas internacionales y nacionales. Entre dichas empresas, se encuentra la cuenta de *TXU Energy*.

TXU Energy, es una empresa dedicada al cobro del servicio de energía eléctrica prestado por diferentes distribuidores, en el estado de Texas de los Estados Unidos.

Transactel trabaja para *TXU Energy* diferentes proyectos. Uno de los diferentes proyectos es *Back Office*, que a su vez, se divide en dos departamentos, *Exceptions* y *Credit and Collections*.

1.4.1.1. Departamento de *Exceptions*

En general la función del departamento de *Exceptions*, es ingresar o corregir los consumos periódicos de clientes residenciales y de negocios; crear la factura correcta posteriormente; y velar porque el contador o medidor del cliente se encuentre instalado y en las condiciones adecuadas.

Las cuentas de los clientes de *TXU Energy*, que necesitan ser atendidas, son identificadas con un número correlativo de *caso* en la plataforma o sistema utilizado.

El departamento de *Exceptions* se compone de dos importantes áreas de trabajo o instalaciones de servicio. El área es llamada según la función a la que se dedique; estas son el área de *BPEMS*, *Transactions Management* (*TM*).

BPEMS, se dedica a ingresar lecturas periódicas que por algún error del sistema no se ingresaran en la instalación del consumidor. También se encargan de instalar y desinstalar virtualmente en el sistema, un contador para la instalación del cliente, así como crear y modificar la información del contador. Los agentes de servicio que pertenecen a *BPEMS* trabajan los casos que se identifican con el código 0030.

TXU Energy vela porque sus clientes reciban su factura en el periodo correcto y que además se le cobre el consumo correcto; de esto se encarga el grupo de *TM*. Los casos trabajados por *TM* se identifican con el código OO01.

1.4.1.2. Departamento de *Collections*

Credit and Collections es el departamento que trabaja los créditos y cobros de los clientes de *TXU Energy*. Cualquier problema que surja de un crédito o cobro con un cliente, se crea un *issue referral* (*IR's*). Los agentes de este departamento deben resolver los *IR's* basándose en las políticas de la empresa.

Entre los diferentes escenarios de IR´s que se resuelven diariamente, se pueden mencionar: la abolición de depósitos de seguridad, arreglos de pago, extensiones en la fecha de vencimiento de pago, reintegro de crédito disponible, investigación de cuentas fraudulentas, transferencia de deudas, entre otros.

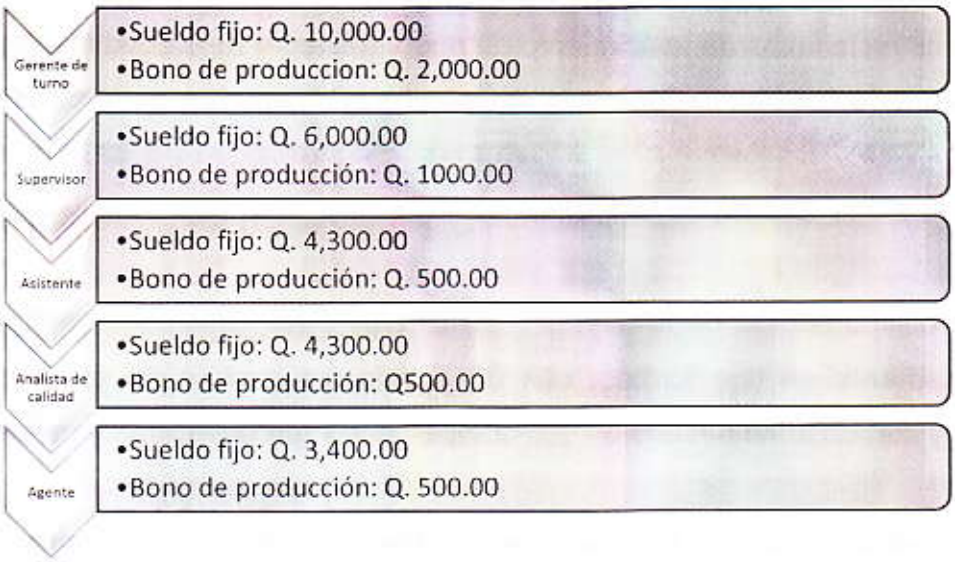
1.4.2. Escala de sueldos

Los colaboradores de la cuenta *TXU Energy Back Office* son retribuidos económicamente en dos formas, con un sueldo fijo basado en el valor del mercado y con un bono basado en sus competencias (productividad y calidad).

Los puestos que están relacionados directamente con el servicio que ofrece la cuenta son: los agentes de servicio al cliente, asistentes, analistas de calidad, supervisores y gerente de turno.

A continuación en la figura 5, se muestra el escalafón salarial con base en los puestos mencionados.

Figura 5. **Escala de sueldos de *TXU Energy Back Office***



Fuente: elaboración propia.

1.4.3. Descripción general del proceso de planificación de recurso humano en Transactel

La cuenta de *TXU Energy Back Office* tiene un año de antigüedad en Transactel; el estudio de las necesidades de empleo durante ese período, se ha hecho con el propósito de pronosticar las necesidades futuras de personal.

Para planificar las necesidades de personal, Transactel utiliza la demanda de servicio obtenida con base en pronósticos de experiencia. Estos pronósticos los dicta el consejo administrativo de la empresa, con base en las necesidades cambiantes de *TXU Energy*. Posteriormente, toma en cuenta lo siguiente:

- Rotación de personal (despidos o renuncias).

- Habilidades, conocimientos y capacidades de sus empleados en relación con las necesidades cambiantes de la organización.

- Los recursos financieros disponibles.

- Calidad de servicio esperada para entrar en nuevos mercados.

2. EVALUACIÓN DE LA PLANIFICACIÓN DE RECURSO HUMANO Y OBSERVACIÓN DEL SISTEMA DE SERVICIO

En este capítulo, se establecerá un diagnóstico al proceso de planificación de recurso humano en el departamento de *Exceptions*; mediante un análisis situacional y un diagrama de Ishikawa. Se llevará a cabo la observación del sistema que permite determinar el modelo matemático que representa la situación real del sistema de colas, luego se definirán tiempos promedio de servicio, tasa de llegada de casos y número de servidores. Por último se describirán las estaciones de servicio mediante una distribución de planta.

2.1. Diagnóstico de la planeación de recurso humano por medio de un análisis situacional

A continuación se resumen los principales problemas y oportunidades de la planeación de recurso humano actual del departamento de *Exceptions* de *TXU Energy*, basado en un análisis situacional interno y externo. La idea es identificar oportunidades que puedan ser aprovechadas y detectar problemas que deban solucionarse para mejorar la planeación de personal.

2.1.1. Identificación de fortalezas

- Existencia de calidad en el recurso humano disponible.
- Baja rotación de personal.
- Existe calidad en el servicio prestado.

- Existencia de recurso financiero disponible para apoyar acciones de mejora a favor de la planificación de personal.

- Interés de la junta directiva en utilizar técnicas más avanzadas para pronosticar el requerimiento de personal.

2.1.2. Identificación de oportunidades

- Ventaja al reclutar personal ya que a diferencia de la competencia, Transactel ofrece capacitaciones iniciales para nivelar el idioma inglés.

- Formalizar nuevos negocios al contar con suficiente capacidad de servicio sin costos excesivos.

2.1.3. Identificación de debilidades

- A pesar de ser una gran organización, no pronostican su recurso humano con ayuda de técnicas más avanzadas basadas en cálculos matemáticos.

- Se basan en una meta numérica ineficiente de producción.

- Falta de capacitaciones periódicas y adecuadas al personal.

2.1.4. Identificación de amenazas

- Competencia en la calidad y costo del servicio.
- La competencia ofrece más oportunidades de crecimiento a sus colaboradores.

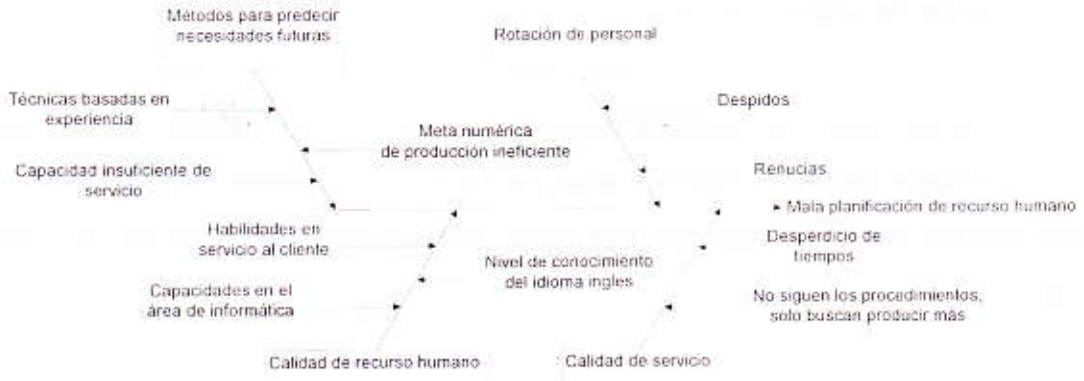
2.2. Diagnóstico de la planeación de recurso humano por medio de un diagrama de Ishikawa

Continuamente se critica la planificación de recurso humano en el departamento de *Exceptions*, ya que ha presentado problemas en la producción de la cuenta. Recientemente, se ha generado un constante aumento en el ingreso de casos, provocando tensión en la producción del departamento y en la cuenta.

2.2.1. Diagrama

Para continuar con la búsqueda de la solución a este problema, se aplicará un diagrama de Ishikawa (DI), con el objetivo de señalar las posibles causas, ver figura 6.

Figura 6. **Diagrama de Ishikawa para la planificación de recurso humano**



Fuente: elaboración propia.

2.2.2. Interpretación

Puede observarse que la principal causa de la mala planificación del recurso humano son los métodos para predecir las necesidades futuras. Esto incluye básicamente las técnicas para predecir el requerimiento y la eficiencia de personal.

- Métodos para predecir necesidades futuras: no se basan en estudios o técnicas para pronosticar las necesidades de empleo. No identifican la variación en la demanda de servicio, provocando una capacidad insuficiente de servicio. Se rigen por una meta numérica de producción ineficiente.

- Rotación de personal: despidos por falta a las normas de desempeño, renuncias por insatisfacción al trabajo y falta de oportunidades de crecimiento.

- Calidad de recurso humano: todos los agentes cuentan con habilidades en servicio al cliente, capacidades en el área de informática y nivel de conocimiento del idioma inglés.

- Calidad de servicio: los agentes desperdician tiempo de trabajo; no siguen los procedimientos, solo buscan alcanzar la meta numérica de producción; mala asistencia a los agentes por parte de supervisores y asistentes de producción.

2.3. Observación del sistema

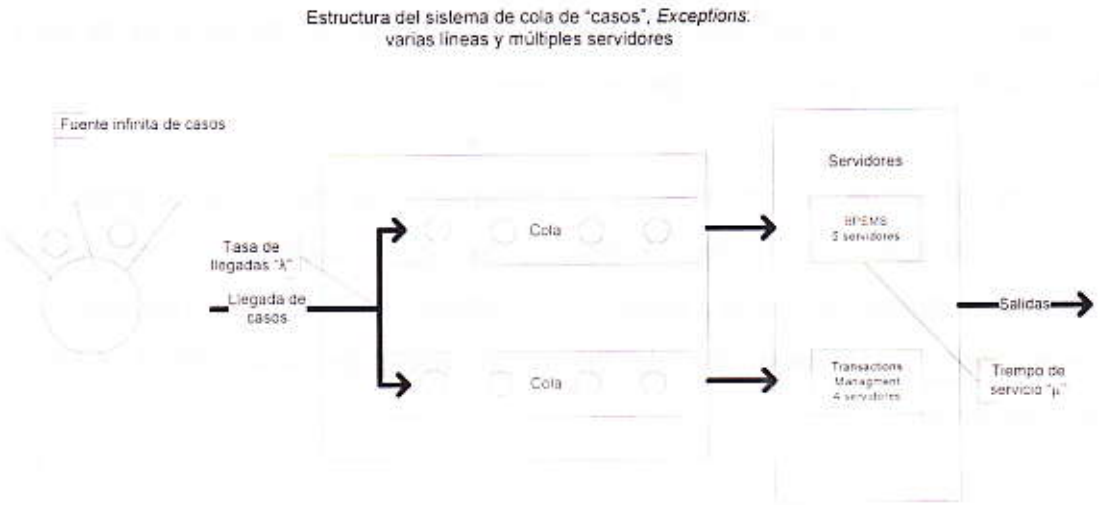
Con el fin de representar las líneas de espera del área de *Exceptions* en un modelo de colas, se observó cuidadosamente, el tiempo de servicio, la tasa de llegada de casos y el número de servidores del sistema.

Antes de iniciar con el análisis de cada una de las observaciones, es necesario describir el proceso de servicio actual: *Exceptions*, como ya se mencionó, dispone de dos áreas de trabajo, *BPEMS y Transactions Management*. Cada área, trabaja diferentes tipos de casos 0030, OO01, respectivamente.

Todos los casos de *Exceptions*, se encuentran almacenados en lo que se conoce como el *bucket*, el agente de servicio toma de él, un caso con el código de identificación que le corresponda trabajar. Los casos en el *bucket* se encuentran almacenados temporalmente, esperando ser atendidos y formando cola en el sistema.

Los casos pueden crearse de dos maneras: el cliente llama a servicio al cliente y reporta una anomalía, o bien el sistema al auditar durante todo el día las cuentas, identifica anomalías y crea el caso para que se revise y sea resuelto. La labor del agente es tomar un caso nuevo del *bucket*, cambiar su estado de nuevo en proceso, revisarlo, diagnosticar el problema en la cuenta del cliente, resolver adecuadamente el caso y completarlo.

Figura 7. **Estructura del sistema de cola de casos en *Exceptions*: varias líneas y múltiples servidores**



Fuente: elaboración propia.

La disciplina de servicio que deben seguir los agentes es: primero en llegar, primero en salir. El número total de agentes prestando servicio es 9, distribuidos en 5 para *BPEMS* y 4 para *Transactions* Management. En la figura 7, se resume la estructura del sistema de cola de casos en *Exceptions*, del cual aún se desconoce la tasa de llegadas λ y los tiempos de servicio μ.

2.3.1. Tiempo de servicio

Los agentes varían en el tiempo de resolución de un caso a otro, dependiendo de su dificultad.

Para definir la distribución de los tiempos de servicio, se eligió aleatoriamente a un agente de servicio en particular y se observó el tiempo de servicio de los casos que el agente trabajó por hora, durante veinte días. El conjunto de los tiempos obtenidos consta hipotéticamente de todas las observaciones concebibles.

Los tiempos se observaron en minutos por caso (ver apéndice 1 y 2), pero, para efectos de cálculos, se realizó la conversión de los tiempos de servicio observados a horas por caso y se agruparon por intervalos; tanto para tener un manejo más práctico de ellos así como también para deducir las distribuciones de frecuencia, o simplemente, las distribuciones de tiempos de servicio.

En la tabla I, puede observarse que mientras los tiempos de servicio sean más altos, la frecuencia con que estos se presentan se vuelve cada vez menor. Es decir de los 831 tiempos de servicio observados, 461 pertenecen al intervalo que va de 0.1 a 0.205 hrs/caso; y solo 5 servicios, pertenecen al intervalo que va de 0.415 a 0.52 hrs/caso.

Tabla I. **Distribución del tiempo de servicio en la instalación BPEMS**

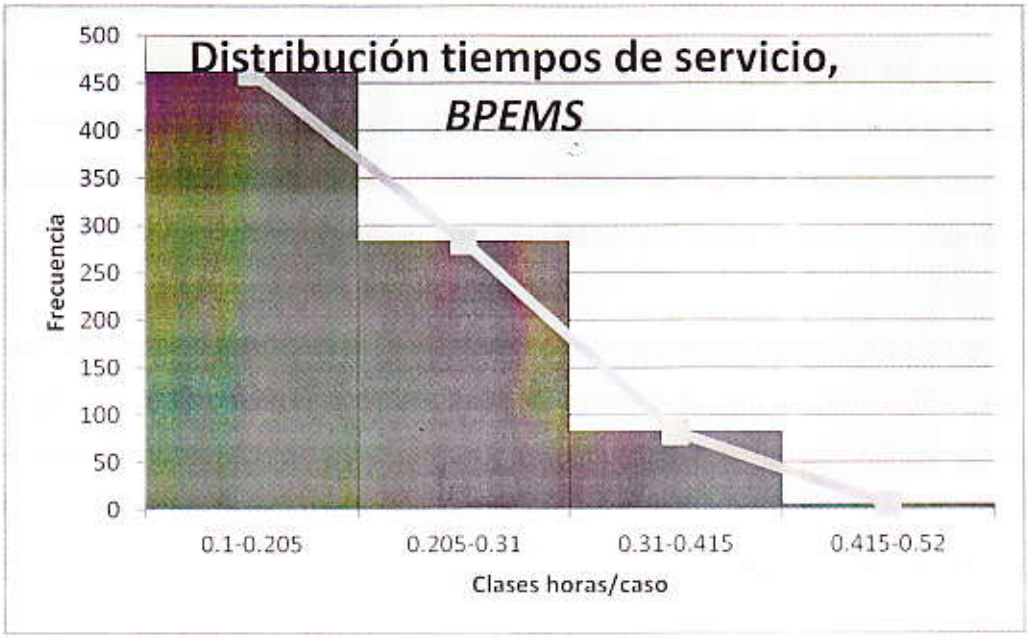
Instalación de servicio, *BPEMS*

hrs/caso	Frecuencia
0.1-0.205	461
0.205-0.31	283
0.31-0.415	82
0.415-0.52	5
Total general	**831**

Fuente: elaboración propia.

Para observar claramente cómo se distribuyen los tiempos de servicio, es conveniente realizar un histograma y/o polígono, que permita deducir conclusiones del comportamiento que presenta esta agrupación de tiempos de servicio, ver figura 8.

Figura 8. **Distribución del tiempo de servicio en la instalación *BPEMS***



Fuente: elaboración propia.

A partir de la figura 8, se observa que la distribución de los tiempos de servicios, representa un comportamiento exponencial. De esta manera, es posible concluir que la instalación de servicio llamada *BPEMS*, tiene una distribución exponencial en tiempos de servicio.

Después de conocer la distribución de los tiempos de servicio de *BPEMS*, es necesario determinar la medida más popular de los tiempos, es decir la tendencia central conocida como la media aritmética o media, esta se utilizará para establecer la tasa de servicio. Como ya se mencionó que los datos contienen hipotéticamente todas las observaciones concebibles, la fórmula para calcular la media será la misma que la media de la población.

- Media de la población

$$\mu = \frac{\sum x}{N} = \frac{180.05}{831} = 0.2167\ horas/caso$$

Para definir la dispersión que tienen los tiempos de servicio respecto de su media, se debe encontrar la desviación estándar. Como es la desviación estándar de la población, se tiene que:

- Desviación estándar

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x-\mu)^2}{N}} = 0.0662\ horas/caso$$

Ahora se estudiará el comportamiento de los tiempos de servicio para el área de *Transactions Management* (*TM*).

Los datos de la tabla II tienen un comportamiento diferente a una curva exponencial como se observó para el área de *BPEMS*; de hecho, los tiempos de servicios de *TM* no se ajustan a una determinada distribución.

Tabla II. **Distribución del tiempo de servicio en la instalación *Transactions Management* (*TM*)**

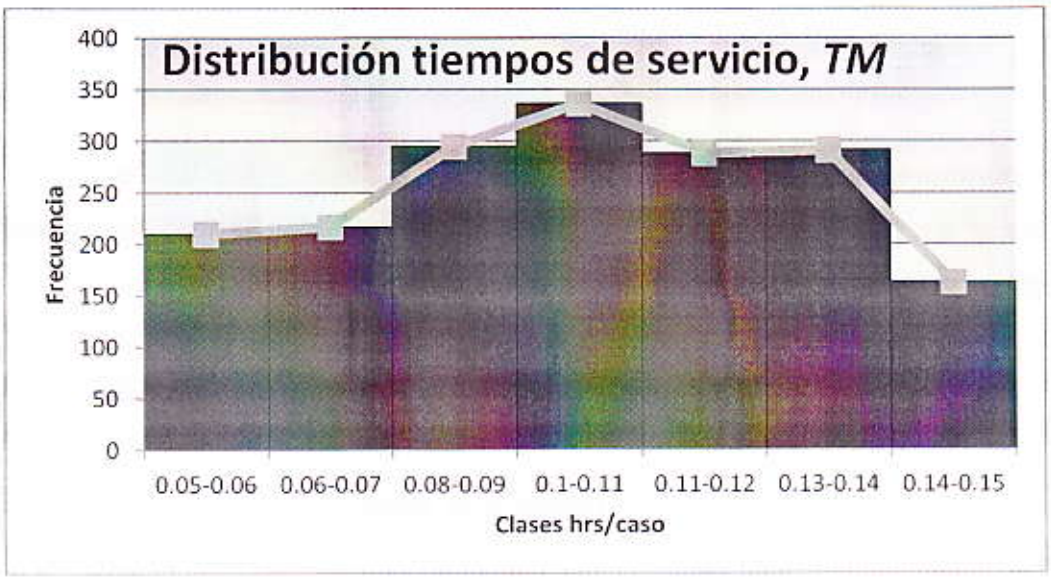
Instalación de servicio, *TM*

Clases hrs/ caso	Frecuencia
0.05-0.06	210
0.06-0.07	217
0.08-0.09	295
0.1-0.11	336
0.11-0.12	288
0.13-0.14	291
0.14-0.15	163
Total general	**1800**

Fuente: elaboración propia.

Para apreciar con claridad la distribución de los tiempos de servicio, es necesario llevar a cabo un histograma y/o polígono, ver figura 9.

Figura 9. **Distribución del tiempo de servicio en la instalación *TM***



Fuente: elaboración propia.

La figura 9 muestra cómo se distribuyen los tiempos de servicio para el área de *TM*, la frecuencia con la que estas distribuciones se presentan no corresponde a una distribución en particular, puede asumirse que la instalación *TM* tiene una distribución general arbitraria de tiempos de servicio.

Al igual que en la instalación de servicio anterior, es necesario determinar la medida más popular de los tiempos de servicio para la instalación *TM* así como la dispersión que tienen los tiempos de servicio respecto de dicha media.

- Media de la población

$$\mu = \frac{\sum x}{N} = \frac{180.00}{1800} = 0.1000\ horas/caso$$

- Distribución estándar de la población

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x-\mu)^2}{N}} = 0.0304\ horas/caso$$

A continuación en la tabla III, se resumen los datos sobre los tiempos de servicios y se determina la tasa de servicio (inverso del tiempo de servicio promedio) para ambas instalaciones de servicio *BPEMS* y *TM*.

Tabla III. **Tabla resumen tiempos de servicio, *Exceptions***

Instalación de servicio	Número de observaciones	Tiempos de servicio (hrs / caso)		Tasa de servicio (casos/hrs), μ
		Promedio	Desviación estándar	
BPEMS	831	0.2167	0.0662	4.6154
TM	1800	0.1000	0.0304	10

Fuente: elaboración propia.

2.3.2. Tasa de llegada de casos

Los casos, forman la línea de espera del sistema. Para definir la distribución de llegada de casos, se observó en cada hora el total de casos que entraron a formar parte de la cola durante veinte días, (ver apéndice 3 y 4). Durante el período de observación se determinó que las llegadas son aleatorias ya que la última llegada no influía en la siguiente.

De la tabla IV a la V, se presentan las agrupaciones de las llegadas de casos que entraron por hora a cada instalación de servicio, durante 20 días de observación.

Tabla IV. **Distribución de llegadas en la instalación de servicio *BPEMS***

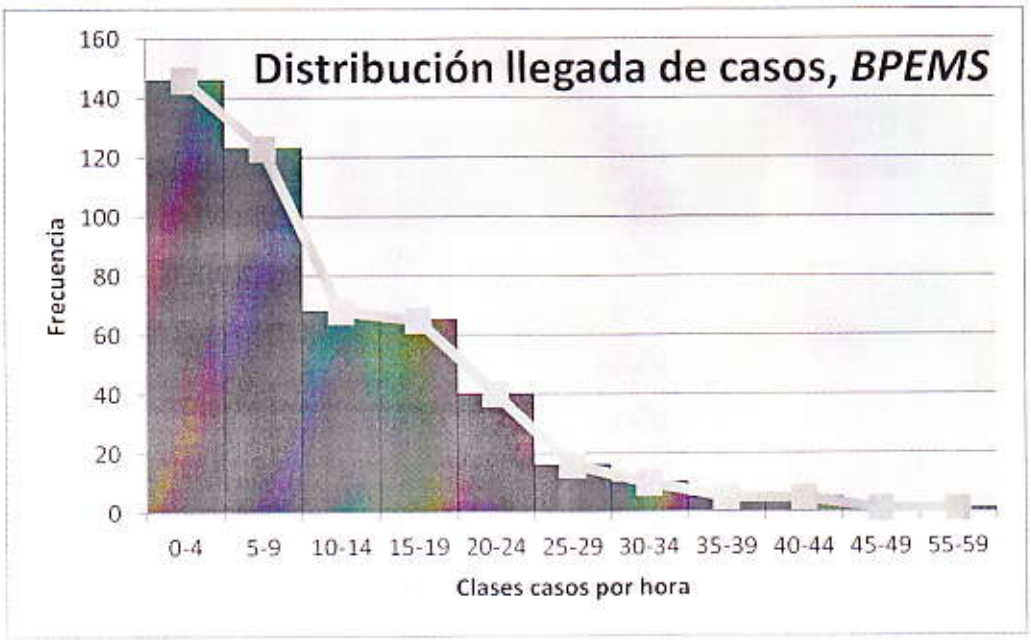
Llegada de casos, *BPEMS*	
Clases casos/hora	Frecuencia
0-4	146
5-9	123
10-14	68
15-19	65
20-24	40
25-29	16
30-34	10
35-39	5
40-44	5
45-49	1
55-59	1
Total general	480

Fuente: elaboración propia.

En la tabla IV se encuentran las agrupaciones de las llegadas de casos a *BPEMS*. Los datos reflejan que, es más frecuente que entren de 0 a 4 casos por hora a la instalación de servicio *BPEMS*, a que entren de 55 a 59 casos por hora.

A continuación, en la figura 10, se presenta el histograma y polígono de frecuencias de llegadas de casos, obtenidas durante los 20 días de observación, en la instalación de servicio *BPEMS*.

Figura 10. **Distribución de llegadas en la instalación de servicio *BPEMS***



Fuente: elaboración propia.

A partir de la figura 10, se observa que las clases o agrupaciones de la tasa de llegada de casos son muy semejantes a un comportamiento exponencial. De esta manera se plantea la hipótesis nula, que indica que la distribución de llegadas de casos a la instalación de servicio *BPEMS* es exponencial.

Sin embargo esta es solo una suposición, por lo que más adelante se realizarán las pruebas de bondad de ajuste, necesarias para aceptar o bien rechazar dicha hipótesis.

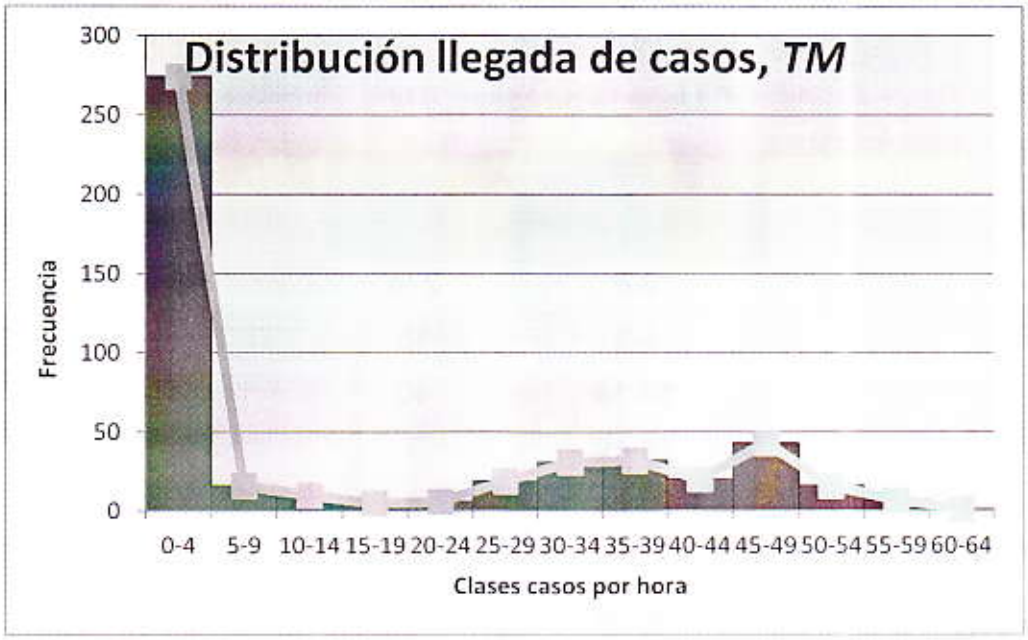
Tabla V. **Distribución de llegada de casos en la instalación de servicio *Transactions Management (TM)***

Llegada de casos, *TM*	
Clases casos/hora	Frecuencia
0-4	274
5-9	16
10-14	10
15-19	5
20-24	6
25-29	19
30-34	31
35-39	32
40-44	20
45-49	43
50-54	16
55-59	7
60-64	1
Total general	**480**

Fuente: elaboración propia.

La tabla V, presenta las agrupaciones de las llegadas de casos a *TM*. Los datos parecieran reflejar un comportamiento exponencial al igual que *BPEMS*; como énfasis se construye un histograma y polígono de frecuencias, ver figura 11.

Figura 11. **Distribución de llegadas en la instalación de servicio *TM***



Fuente: elaboración propia.

A partir de la figura 11 se plantea la hipótesis nula suponiendo que la distribución de llegadas de casos a la instalación de servicio *TM* es exponencial. Es posible que dicha hipótesis sea rechazada debido a la desviación que presenta la gráfica en su recorrido. Ambas instalaciones de servicio, *BPEMS* y *TM*, han señalado una distribución exponencial de llegadas (hipótesis nula).

Sin embargo debe comprobarse si en verdad los arribos se ajustan a dicha distribución, para ello se utilizará la prueba de bondad de ajuste. Esta permite la aplicación del criterio de ji cuadrado, en la que se compara una distribución de frecuencia observada con una distribución esperada o suposición.

- Instalación de servicio *BPEMS*

  - ✓ H_o: La agrupación de las llegadas observadas, V_o cumplen con las llegadas esperadas, V_A.

  - ✓ H_A: La agrupación de las llegadas observadas, V_o no cumplen con las llegadas esperadas, V_A.

  - ✓ $\alpha = 0.05$.

  - ✓ Se rechaza la hipótesis nula si $X^2 \geq 18.307$, donde

$$X^2 = \sum \frac{(o-e)^2}{e}$$

  - ✓ Y 18.307 es el valor de $X^2_{0.05}$ para $k = 10\ grados\ de\ libertad$.

  - ✓ En la tabla VI en la última fila y columna, puede observarse que 10.5724 es el resultado del estadístico de prueba de bondad de ajuste observado.

Tabla VI. **Prueba de bondad de ajuste, arribos *BPEMS***

Clase	Probabilidad	Fo	Fe	Fo-Fe	$(Fo-Fe)^2$	$(Fo-Fe)^2/Fe$
0-4	0.3256	146	156.28	10.28	105.66	0.6761
5-9	0.2558	123	122.79	0.21	0.04	0.0004
10-14	0.1674	68	80.37	12.37	153.07	1.9045
15-19	0.1163	65	55.81	9.19	84.38	1.5119
20-24	0.0698	40	33.49	6.51	42.40	1.2661
25-29	0.0233	16	11.16	4.84	23.40	2.0961
30-34	0.0140	10	6.70	3.30	10.91	1.6282
35-39	0.0093	5	4.47	0.53	0.29	0.0641
40-44	0.0093	5	4.47	0.53	0.29	0.0641
45-49	0.0047	1	2.23	-1.23	1.52	0.6805
55-59	0.0047	1	2.23	-1.23	1.52	0.6805
Sumatorias	**1.0000**	**480**	**480.00**			**10.5724**

Fuente: elaboración propia.

- ✓ Dado que X^2 observado es menor que X^2 tabulado, $10.572 < 18.307$, se acepta la hipótesis nula H_o y se rechaza la hipótesis alternativa H_A. En otras palabras no hay evidencia que la instalación de servicio *BPEMS* no tenga una distribución exponencial de llegadas de casos.

- Instalación de servicio *TM*

De la misma manera que en *BPEMS*, se realizaron las pruebas de bondad de ajuste a las llegadas de *TM*.

Desafortunadamente la hipótesis nula que suponía una distribución exponencial de llegadas a *TM* fue rechazada; se intentó planteando como hipótesis nula una distribución Gamma, pero nuevamente la hipótesis cayó en la zona de rechazo.

De esta manera, se asume una distribución general o arbitraria para las llegadas de casos al área de *TM*.

A continuación, en la tabla VII, se resumen los datos sobre las tasas de llegada de casos para ambas instalaciones de servicio *BPEMS* y *TM*.

Tabla VII. **Tabla resumen tasa de llegada de casos, *Exceptions***

Instalación de servicio	Número de observaciones	Tasa de llegada de casos por hora		Tasa de servicio (casos/hrs), λ
		Promedio	Desviación estándar	
BPEMS	480	10.4583	9.2733	10.4583
TM	480	15.625	19.6575	15.625

Fuente: elaboración propia.

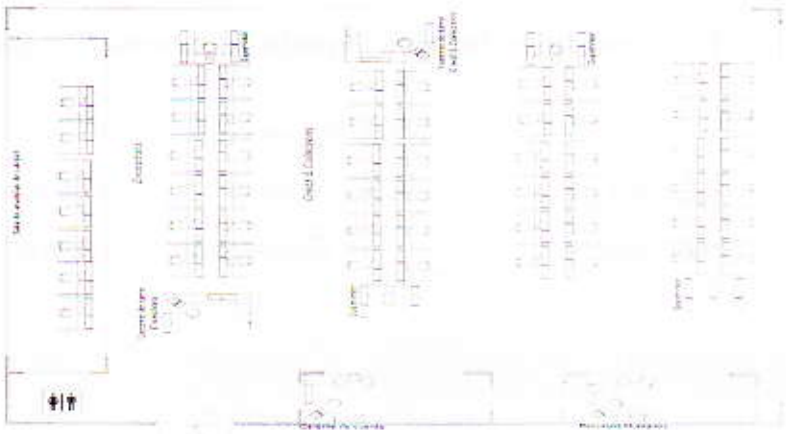
2.3.3. Número de servidores

El servicio es brindado por múltiples servidores y asciende a un número de 9 agentes en el departamento de *Exceptions*. *BPEMS*, trabaja con 5 agentes de servicio y *Transactions Management* cuenta con 4 servidores.

2.4. Distribución de planta

El área en estudio (*Exceptions*), cuenta con 12 estaciones de servicio; 9 corresponden a agentes de servicio y las restantes, a los asistentes de producción; al final de cada tren se ubica un supervisor de producción; la estación en forma de U, corresponde al gerente de turno; a los lados se encuentran las "peceras", correspondientes al área de control calidad, recursos humanos y gerente de cuenta. Ver figura 12.

Figura 12. **Distribución de planta**



Fuente: elaboración propia.

3. PROPUESTA DE PLANEACIÓN DE RECURSO HUMANO DE ACUERDO A LA DEMANDA DE SERVICO APLICANDO TEORÍA DE COLAS

Este capítulo presenta un estudio de investigación de operaciones (IO) con base en la información obtenida en el capítulo 2, respecto del comportamiento del sistema de colas de *Exceptions*. El estudio de IO permitirá encontrar el mejor diseño para el sistema de colas y como parte de su aplicación las decisiones óptimas en la planeación del recurso humano.

En primer lugar concierne la construcción del modelo matemático para el departamento de *Exceptions*, para ello se definirá el problema actual, del que se formulará un modelo matemático. Posteriormente, se obtendrán soluciones a partir del modelo, al que se le realizarán las pruebas concernientes para continuar con las preparaciones de su aplicación. Finalmente se hará una interpretación de los resultados, en consideración de la planeación del recurso humano, analizando el impacto económico del proyecto.

3.1. Construcción del modelo para el departamento de *Exceptions*

El análisis matemático, constituye una parte elemental en las técnicas IO. Sin embargo existe otra parte, compleja y crucial, la construcción del modelo.

La definición del problema es la etapa más importante en esta construcción, por afectar significativamente las conclusiones finales del estudio.

Para definir y enfocar correctamente el problema que será analizado en el departamento de *Exceptions*, se presenta un resumen de la observación del sistema. De este se pueden mencionar las siguientes suposiciones para el modelo en estudio:

- Instalación de servicio *BPEMS*

  - ✓ La distribución de llegadas corresponde a una distribución exponencial con proceso de entradas *Poisson*.

  - ✓ La distribución de los tiempos de servicio es exponencial.

  - ✓ Existen 5 servidores en la instalación.

  - ✓ El tamaño de la cola es infinita debido a que los casos pueden esperar en el sistema hasta ser atendidos.

  - ✓ El tamaño de la fuente de entrada es infinita.

- Instalación de servicio *TM*

  - ✓ La distribución de llegadas se ha asumido general o arbitraria.

  - ✓ La distribución de los tiempos de servicio es general o arbitraria.

  - ✓ Existen 4 servidores en la instalación.

- ✓ El tamaño de la cola es infinita debido a que los casos pueden esperar en el sistema hasta ser atendidos.

- ✓ El tamaño de la fuente de entrada es infinita.

3.1.1. Definición del problema

El departamento de *Exceptions* de la empresa *TXU Energy*, presta servicio de atención a cuentas de los consumidores de servicio eléctrico en el estado de Texas de los Estados Unidos. Para este propósito cuenta con 9 agentes de servicio, distribuidos en 2 áreas para la resolución de 2 tipos de casos que presentan sus clientes.

Los casos llegan a la instalación de servicio *BPEMS* según un proceso de Poisson con distribución exponencial, a una tasa de 10.46 casos/hr. Los casos llegan a la instalación de servicio *TM* a una tasa de 15.62 casos/hr con una distribución general arbitraria.

Los tiempos de servicio necesarios para resolver un caso, tienen una distribución exponencial con una tasa de servicio de 4.62 casos/hrs en el área de *BPEMS;* y una distribución general arbitraria con tasa de servicio de 10 casos/hrs en el área de *TM*.

Hasta ahora la compañía no ha logrado atender completamente los casos. *TXU Energy* es la compañía de servicio eléctrico que ocupa el primer lugar como minorista en el estado de Texas de los Estados Unidos, pero, también ocupa el primer lugar en los reportes de dirección de atención al consumidor, debido a la lentitud en la solución de problemas.

La dirección administrativa de la empresa, ha determinado que por cada caso que no esté completado, incurre en un costo de aproximadamente Q. 24.00 por hora.

Por tanto, a fin de aumentar la productividad de servicio, la compañía estudia la posibilidad de contratar un agente más en cada área y/o incrementar la eficiencia de los servidores. Cada agente de servicio le cuesta a la compañía alrededor de Q. 3400.00 al mes y si el agente cumple al 100 % la meta numérica de producción, se le otorga un bono por productividad de Q. 500.00 al mes.

La compañía desea evaluar tres posibles opciones que ayuden a optimizar sus costos y calidad de servicio. Para ello requiere el estudio de las siguientes posibilidades para cada instalación de servicio:

- Opción 1, contratar un servidor y mantener la tasa de servicio actual.

- Opción 2, continuar con el mismo número de servidores y aumentar la tasa de servicio.

- Opción 3, contratar un servidor más y aumentar la tasa de servicio.

Por cada 19.91 % de aumento en la tasa de servicio, se debe aumentar Q. 100.00 al bono por productividad actual de Q. 500.00. Además la administración ha sugerido evaluar los valores que se indican en la tabla VIII.

Tabla VIII. **Tasas de servicio en estudio**

Área	Tasa de servicio (casos-hora)
BPEMS	5.54
TM	11.99

Fuente: elaboración propia.

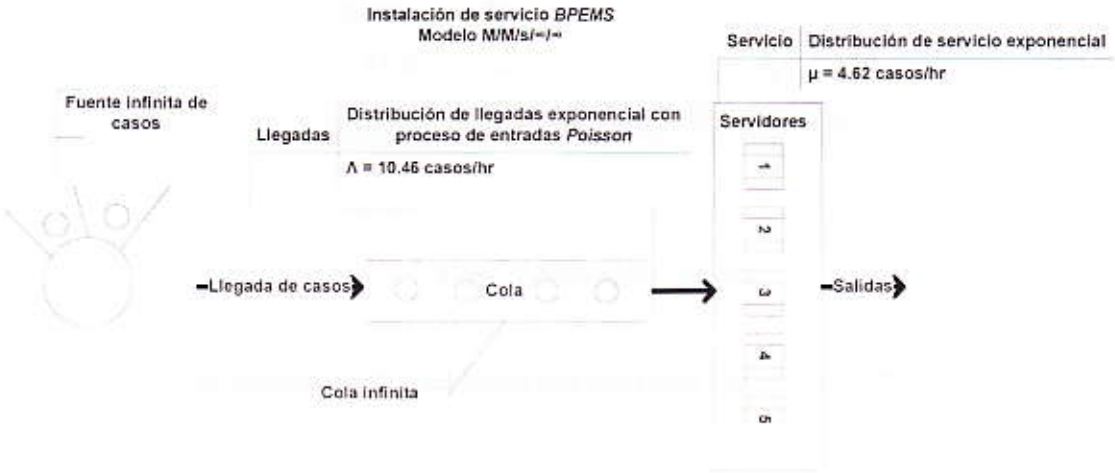
3.1.2. Formular un modelo matemático del problema

El modelo que representa el sistema de colas, depende de las distribuciones de servicio, de llegadas, del número de servidores en la instalación de servicio, del tamaño de la cola y de la fuente.

BPEMS

El sistema de colas de esta instalación de servicio se representa por el modelo $M/M/s/\infty/\infty$, ya que se ha determinado que la distribución de tiempos de servicio es exponencial, la distribución de llegadas es exponencial con proceso de entradas *Poisson*; cuenta con 5 servidores y el tamaño de la cola y de la fuente es infinito. Ver figura 13.

Figura 13. **Estructura del sistema de colas *BPEMS*, Modelo *M/M/s/∞/∞***

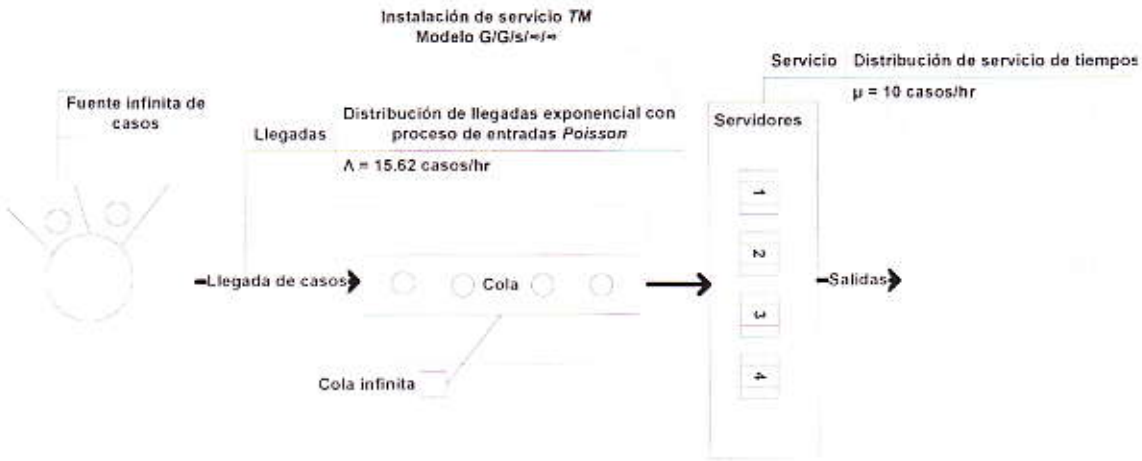


Fuente: elaboración propia.

TM

El sistema de colas de esta instalación de servicio se representa por el modelo *G/G/s/∞/∞*, ya que se ha determinado que la distribución de llegadas y distribución de servicios es generalmente arbitraria; cuenta con 4 servidores y el tamaño de la cola y de la fuente de entrada es infinito. Ver figura 14.

Figura 14. **Estructura del sistema de colas *TM*, Modelo *G/G/s/∞/∞***



Fuente: elaboración propia.

Fórmulas del modelo *M/M/s/∞/∞*

$$\rho = \frac{\lambda}{s\mu} \quad \in [0,1]$$

$$P_0 = \frac{1}{\left[\sum_{n=0}^{s-1} \frac{(\lambda/\mu)^n}{n!}\right] + \left[\frac{(\lambda/\mu)^s}{s!}\left(\frac{1}{1-(\lambda/(\mu s))}\right)\right]}$$

$$P_n = \frac{(\lambda/\mu)^n P_0}{n!} \qquad si\ 0 \leq n \leq s$$

$$P_n = \frac{(\lambda/\mu)^n P_0}{s!\, s^{n-s}} \qquad si\ n > s$$

$$P_b = \frac{\rho^s (\mu * s)}{s!\,(\mu * s - \lambda)} * P_0$$

$$L_q = \frac{P_0(\lambda/\mu)^s \rho}{s!\,(1-\rho)^2}$$

$$L = L_q + \frac{\lambda}{\mu} = \left(W_q + \frac{1}{\mu}\right)$$

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda}$$

$$W = W_q + \frac{1}{\mu}$$

$$P(W > t) = e^{-\mu t}\left[\left(\frac{1 + P_0(\lambda/\mu)^s}{s!\,(1-\rho)}\right)\left(\frac{1 - \exp\left(-\mu t(s - 1 - \lambda/\mu)\right)}{s - 1 - \lambda/\mu}\right)\right]$$

$$P\left(W_q > t\right) = \left(1 - P\left(W_q = 0\right)\right)\exp\left(-s\mu(1-\rho)t\right)$$

$$P\left(W_q = 0\right) = \sum_{n=0}^{s-1} P_n$$

Donde:

λ: Tasa de llegada

μ: Tasa de servicio

s: Número de servidores en el sistema

ρ: Fracción de la capacidad de servicio del sistema, que utilizan en promedio los clientes

P_n: Probabilidad de que haya exactamente n clientes en el sistema

P_b: Probabilidad de que el sistema esté ocupado

L_q: Número esperado de clientes en la cola

L: Número esperado de clientes en el sistema

W: Tiempo de espera en el sistema

Fórmulas del modelo *G/G/s/∞/∞*

Este modelo dispone de un método complicado para obtener la distribución de probabilidad de estado estable del número de clientes en el sistema, su media y otros resultados. Es por ello que se utilizará directamente la aplicación Queuing *Analysis* del paquete *QSB* para determinar dichos resultados de estado estable.

3.1.3. Obtención de soluciones a partir del modelo

El sistema de colas que se estudiará tiene en total 9 agentes como servidores, distribuidos en 2 instalaciones de servicio. Los casos que llegan corresponden a los clientes.

El problema es decidir tanto la tasa de servicio del servidor, medida por μ, como el número de servidores *s* que debe tener cada instalación de servicio (*BPEMS* y *TM*).

La compañía desea que se estudien tres opciones, contratar un agente más, incrementar la tasa de servicio, o ambas. Para encontrar la opción que dé como resultado un nivel de servicio óptimo, se obtendrán soluciones a partir del modelo. La unidad de tiempo que va a utilizarse es: horas.

En otras palabras el objetivo es minimizar la expresión:

$$E(CT) = E(CS) + E(CW)$$

$$E(CT) = C_s * s + C_w * L$$

Con los datos que da el problema:

$s, \mu, \lambda, C_s \; y \; C_w$

Donde

$C_s = costo\ marginal\ de\ un\ servidor\ por\ unidad\ de\ tiempo$

$C_w = costo\ de\ espera\ por\ unidad\ de\ tiempo\ para\ cada\ cliente$

Instalación de servicio, *BPEMS*

- Opción actual

✓ Número de servidores, s

$s = 5$

✓ Tasa de servicio, μ

$\mu = 4.62\ casos/hora$

✓ Tasa de llegadas, λ

$\lambda = 10.46\ casos/hora$

✓ Costo marginal de un servidor por unidad de tiempo, C_s

$$C_s = \frac{Q.3{,}400.00 + Q.500.00}{mes} = \frac{Q.3{,}900.00}{mes} * \frac{1mes}{30días} * \frac{1\ día\ laboral}{9\ horas}$$

$C_s \cong Q.14.44/hora$

✓ Costo de espera esperado, $E(CW)$

$E(CW) = C_w * L$

$E(CW) = Q.24.00 * 2.3409 = 56.1816$

$E(CW) = Q.56.18$

✓ Así, el costo total actual por hora del sistema de colas es:

$E(CT) = C_s s + C_w * L = Q.14.44 * 5 + Q.24.00 * 2.3409$

$E(CT) = Q.72.20 + Q.56.18$

$E(CT) = Q.128.38$

- Opción 1, contratar un servidor más y mantener la tasa de servicio

✓ Número de servidores, s

$s = 6$

✓ Tasa de servicio, μ

$\mu = 4.62\ casos/hora$

✓ Tasa de llegadas, λ

$\lambda = 10.46\ casos/hora$

✓ Costo marginal de servicio por unidad de tiempo, C_s

$$C_s = \frac{Q.3{,}400.00 + Q.500.00}{mes} = \frac{Q.3{,}900.00}{mes} * \frac{1mes}{30días} * \frac{1\ día\ laboral}{9\ horas}$$

$C_s \cong Q.14.44/hora$

✓ Costo de espera esperado, $E(CW)$

$E(CW) = C_w * L$

$E(CW) = Q.24.00 * 2.2829 = 54.7896$

$E(CW) = Q.54.79$

✓ De esta manera el costo total por hora para la opción 1 es:

$E(CT) = C_s s + C_w * L = Q.14.44 * 6 + Q.24.00 * 2.2829$

$E(CT) = Q.86.64 + Q.54.79$

$E(CT) = Q.141.43$

- Opción 2, continuar con el mismo número de servidores y aumentar la tasa de servicio

✓ Número de servidores, s

$s = 5$

✓ Tasa de servicio, μ

$\mu = 5.54\ casos/hora$

✓ Tasa de llegadas, λ

$\lambda = 10.46\ casos/hora$

✓ Costo marginal de servicio por unidad de tiempo, C_s

$$C_s = \frac{Q.3{,}400.00 + Q.600.00}{mes} = \frac{Q.4{,}000.00}{mes} * \frac{1mes}{30días} * \frac{1\ día\ laboral}{9\ horas}$$

$C_s \cong Q.14.81/hora$

✓ Costo de espera esperado, $E(CW)$

$E(CW) = C_w * L$

$E(CW) = Q.24.00 * 1.9174 = 46.0176$

$E(CW) = Q.46.02$

✓ De esta manera el costo total por hora para la opción 2 es:

$E(CT) = C_s s + C_w * L = Q.14.81 * 5 + Q.24.00 * 1.9174$

$E(CT) = Q.74.05 + Q.46.02$

$E(CT) = Q.120.07$

- Opción 3, contratar un servidor más y aumentar la tasa de servicio.

✓ Número de servidores

$s = 6$

✓ Tasa de servicio, μ

$\mu = 5.54\ casos/hora$

✓ Tasa de llegadas, λ

$\lambda = 10.46\ casos/hora$

✓ Costo marginal de un servidor por unidad de tiempo, C_s

$$C_s = \frac{Q.3{,}400.00 + Q.600.00}{mes} = \frac{Q.4{,}000.00}{mes} * \frac{1mes}{30días} * \frac{1\ día\ laboral}{9\ horas}$$

$C_s \cong Q.14.81/hora$

✓ Costo de espera esperado, $E(CW)$

$E(CW) = C_w * L$

$E(CW) = Q.24.00 * 1.8945 = 45.468$

$E(CW) = Q.45.47$

✓ De esta manera el costo total por hora para la opción 3 es:

$E(CT) = C_s s + C_w * L = Q.14.81 * 6 + Q.24.00 * 1.8945$

$E(CT) = Q.88.86 + Q.45.47$

$E(CT) = Q.134.33$

La opción a elegir debe tener como objetivo minimizar el costo total. En la tabla IX, se obtienen los resultados que indican que el área de *BPEMS* debe elegir la opción 2. Continuar con 5 servidores, pero aumentar su tasa de servicio diaria para reducir costos.

Tabla IX. **Cálculo de $E(CT)$ para el área de *BPEMS***

Opción	Número de servidores	Tasa de servicio $casos/hora$	E(CS)	E(CW)	E(CT)
Actual	5	4.62	Q. 72.20	Q. 56.18	Q. 128.38
1	6	4.62	Q. 86.64	Q. 54.79	Q. 141.43
2	**5**	**5.54**	**Q. 74.05**	**Q. 46.02**	**Q. 120.07**
3	6	5.54	Q. 88.86	Q. 45.47	Q. 134.33

Fuente: elaboración propia.

Instalación de servicio, *TM*

- Opción actual

  ✓ Número de servidores, s

  $s = 4$

  ✓ Tasa de servicio, μ

  $\mu = 10\ casos/hora$

  ✓ Tasa de llegadas, λ

  $\lambda = 15.62\ casos/hora$

- ✓ Costo marginal de un servidor por unidad de tiempo, C_s

$$C_s = \frac{Q.3{,}400.00 + Q.500.00}{mes} = \frac{Q.3{,}900.00}{mes} * \frac{1mes}{30días} * \frac{1\ día\ laboral}{9\ horas}$$

$$C_s \cong Q.14.44/hora$$

- ✓ Costo de espera esperado, $E(CW)$

$$E(CW) = C_w * L$$

$$E(CW) = Q.24.00 * 1.5821 = 37.97$$

$$E(CW) = Q.37.97$$

- ✓ Así, el costo total actual por hora del sistema de colas es:

$$E(CT) = C_s s + C_w * L = Q.14.44 * 4 + Q.24.00 * 1.5821$$

$$E(CT) = Q.57.76 + Q.37.97$$

$$E(CT) = Q.95.73$$

- Opción 1, contratar un servidor más y mantener la tasa de servicio

- ✓ Número de servidores, s

$$s = 5$$

- ✓ Tasa de servicio, μ

$$\mu = 10\ casos/hora$$

- ✓ Tasa de llegadas, λ

$$\lambda = 15.62\ casos/hora$$

- ✓ Costo marginal de servicio por unidad de tiempo, C_s

$$C_s = \frac{Q.3{,}400.00 + Q.500.00}{mes} = \frac{Q.3{,}900.00}{mes} * \frac{1mes}{30días} * \frac{1\ día\ laboral}{9\ horas}$$

$C_s \cong Q.14.44/hora$

- ✓ Costo de espera esperado, $E(CW)$

  $E(CW) = C_w * L$

  $E(CW) = Q.24.00 * 1.5664 = 12{,}189.65$

  $E(CW) = Q.37.5936$

- ✓ De esta manera el costo total por hora para la opción 1 es:

  $E(CT) = C_s s + C_w * L = Q.14.44 * 5 + Q.24.00 * 1.5664$

  $E(CT) = Q.72.20 + Q.37.59$

  $E(CT) = Q.109.79$

- Opción 2, continuar con el mismo número de servidores y aumentar la tasa de servicio

  - ✓ Número de servidores, s

    $s = 4$

  - ✓ Tasa de servicio, μ

    $\mu = 11.99\ casos/hora$

  - ✓ Tasa de llegadas, λ

    $\lambda = 15.62\ casos/hora$

  - ✓ Costo marginal de servicio por unidad de tiempo, C_s

    $$C_s = \frac{Q.3{,}400.00 + Q.600.00}{mes} = \frac{Q.4{,}000.00}{mes} * \frac{1mes}{30días} * \frac{1\ día\ laboral}{9\ horas}$$

    $C_s \cong Q.14.81/hora$

✓ Costo de espera esperado, $E(CW)$

$E(CW) = C_w * L$

$E(CW) = Q.24.00 * 1.3120 = 31.488$

$E(CW) = Q.31.49$

✓ De esta manera el costo total por hora para la opción 2 es:

$E(CT) = C_s s + C_w * L = Q.14.81 * 4 + Q.24.00 * 1.3120$

$E(CT) = Q.59.24 + Q.31.49$

$E(CT) = Q.90.73$

- Opción 3, contratar un servidor más y aumentar la tasa de servicio

✓ Número de servidores

$s = 5$

✓ Tasa de servicio, μ

$\mu = 11.99\ casos/hora$

✓ Tasa de llegadas, λ

$\lambda = 15.62\ casos/hora$

✓ Costo marginal de un servidor por unidad de tiempo, C_s

$$C_s = \frac{Q.3{,}400.00 + Q.600.00}{mes} = \frac{Q.4{,}000.00}{mes} * \frac{1mes}{30días} * \frac{1\ día\ laboral}{9\ horas}$$

$C_s \cong Q.14.81/hora$

✓ Costo de espera esperado, $E(CW)$

$E(CW) = C_w * L$

$E(CW) = Q.24.00 * 1.3047 = 31.3128$

$E(CW) = Q.31.31$

- ✓ De esta manera el costo total por hora para la opción 3 es:

$E(CT) = C_s s + C_w * L = Q.14.81 * 5 + Q.24.00 * 1.3047$

$E(CT) = Q.74.05 + Q.31.31$

$E(CT) = Q.105.36$

En la tabla X, se han recopilado los resultados obtenidos en las diferentes opciones, la opción a elegir debe tener como objetivo minimizar el costo total. Los resultados indican que el área de *TM* debe elegir la opción 2, continuar con el mismo número de servidores y aumentar la tasa de servicio, para minimizar el costo total del sistema de colas.

Tabla X. **Cálculo de $E(CT)$ para el área de *TM***

Opción	Número de servidores	Tasa de servicio $casos/hora$	E(CS)	E(CW)	E(CT)
Actual	4	10	Q. 57.76	Q. 37.97	Q. 95.73
1	5	10	Q. 72.20	Q. 37.59	Q. 109.79
2	**4**	**11.99**	**Q. 59.24**	**Q. 31.49**	**Q. 90.73**
3	5	11.99	Q. 74.05	Q. 31.31	Q. 105.36

Fuente: elaboración propia.

3.1.4. Prueba del modelo

Como prueba al modelo en estudio se presenta una prueba retrospectiva. Consiste en utilizar datos históricos con el fin de reconstruir el pasado y determinar si el modelo ahora definido hubiese logrado un buen resultado.

Instalación de servicio, *BPEMS*

Tiempo atrás el área de *BPEMS* presentó problemas en la toma de decisiones respecto del nivel de servicio. Al principio contó con 5 servidores y con tasa de servicio de 3.88 casos por hora. Pero, debido a las sucesivas decisiones de la junta directiva, la instalación de servicio *BPEMS* atravesó por diferentes escenarios en su búsqueda de reducir costos.

Al emplear el modelo $M/M/s/\infty/\infty$ ahora definido, se obtienen los siguientes resultados para los diferentes escenarios por los que atravesó el área de *BPEMS*. Ver tabla XI.

Tabla XI. **Prueba retrospectiva de E(CT) para el área de *BPEMS***

Decisión o Escenario	Servidores	Tasa de servicio $casos/hora$	E(CS)	E(CW)	E(CT)
1	5	3.85	Q. 70.35	Q. 70.11	Q. 140.46
2	6	3.85	Q. 84.42	Q. 66.53	Q. 150.95
3	5	4.62	Q. 72.20	Q. 56.18	Q. 128.38

Fuente: elaboración propia.

En la tabla XI, puede observarse que en la decisión 2, la junta directiva decidió contratar un servidor más, sin embargo obtuvo costos aún más altos, debido a que no se encontró un balance entre costos de servicio y de espera.

La mala decisión condujo a quebrantar las políticas de la empresa dando de baja a un servidor y colocando en mala posición a la planificación de personal.

En un principio el modelo determinaría que la mejor opción era continuar con la misma cantidad de servidores y aumentar la tasa de servicio, aunque el bono por productividad sufriera un aumento de Q. 400.00 a Q. 500.00. El modelo habría evitado lo que en realidad ocurrió.

Instalación de servicio, TM

De la misma manera, *TM* buscó optimizar sus costos. Utilizando el modelo $G/G/s/\infty/\infty$ se obtienen los resultados de la tabla XII.

Tabla XII. **Prueba retrospectiva de E(CT) para el área de *TM***

Decisión o Escenario	Servidores	Tasa de servicio $casos/hora$	E(CS)	E(CW)	E(CT)
1	3	8.34	Q. 42.22	Q. 50.34	Q. 92.56
2	4	10	Q. 57.76	Q. 37.97	Q. 95.73

Fuente: elaboración propia.

En la tabla XII, se puede observar que la junta directiva decidió contratar un servidor más y aumentar la tasa de servicio. Esta decisión solamente logró mejorar el desempeño del sistema al reducir el costo esperado de espera; sin embargo aumentó el costo total del sistema.

De haber evaluado otros resultados a partir del modelo *G/G/s/∞/∞*, la junta directiva hubiese logrado no sólo mejorar el desempeño del sistema, sino reducir también los costos totales.

3.1.5. Preparación para aplicar el modelo

Luego de realizar las pruebas correspondientes al modelo, es necesario instalar un sistema que incluya el modelo matemático y el procedimiento de solución. De esta manera, el sistema podrá ser consultado periódicamente y obtener una solución breve y concisa, que ayude a la administración a usar los datos y tomar una decisión.

El sistema puede ser diseñado por computadora, por lo general resultan bastante complejos, ya que necesitan de una base de datos de entrada actualizada y los procedimientos de solución. Sin embargo, ya existen sistemas diseñados por computadora, que resultan una herramienta útil para la rama de la investigación de operaciones (IO).

El sistema *QSB* es un programa que incluye los procedimientos de solución para diferentes áreas de la IO. *Excel* es otra herramienta que también se puede utilizar; a diferencia de *QSB*, ésta necesita programar el procedimiento de solución. Ver del apéndice 5 al 12, la documentación de la *plantilla de Excel M/M/s* y del *software QSB*, utilizados para resolver el caso en estudio.

3.2. Interpretación de resultados para la planeación de recurso humano

El departamento de *Exceptions*, ha experimentado anteriormente problemas sobre cómo pronosticar sus necesidades de personal. Siempre se ha pronosticado con base en el juicio de la junta directiva.

Existen formas técnicas para predecir las necesidades de personal. Para el caso en estudio, se ha hecho a través de la *Teoría de Colas*.

El objetivo ha sido analizar las necesidades de empleo en cada instalación de servicio del departamento de *Exceptions*, determinando la mejor opción con base en los objetivos de la compañía.

Para la instalación de servicio *BPEMS*, se ha determinado la necesidad de *5* puestos o 5 servidores, que serán ocupados por los 5 empleados internos con los que ya cuenta la instalación. Los servidores deberán mantener por lo menos una tasa de servicio de 5.54 casos/hora. El costo esperado de servicio asciende a Q. 120.07-hora por servidor.

Para la instalación de servicio *TM*, se ha determinado la necesidad de *4* puestos o 4 servidores, que serán ocupados por 4 empleados internos. Los servidores deberán mantener por lo menos una tasa de servicio de 11.99 casos/hora. El costo esperado de servicio asciende a Q. 59.24-hora por servidor.

3.2.1. Número de servidores

De acuerdo con los objetivos de la empresa y después de haber estudiado las necesidades de personal, se presenta un análisis breve a la opción de contratar un servidor más para cada instalación de servicio del departamento de *Exceptions*.

Instalación de servicio *BPEMS*

Actualmente opera con 5 servidores. La iniciativa de contratar un servidor más, no es la mejor opción ya que representa costos más elevados que van en contra de las necesidades de la compañía.

Instalación de servicio *TM*

En la actualidad opera con 4 servidores. La opción de contratar un servidor más, logra mejorar el desempeño del sistema, sin embargo no lo suficiente para reducir los costos totales del sistema.

3.2.2. Eficiencia de los servidores

Hasta ahora la eficiencia de los servidores, medida por μ, ha sido cuestionada, ya que un incremento de esta significa un aumento al bono por productividad.

El estudio al sistema de colas del departamento de *Exceptions*, ha permitido tomar una decisión óptima acerca de la eficiencia que deben mantener los agentes de servicio.

En la tabla XIII se presenta la eficiencia actual de los servidores y la eficiencia sugerida que cumple los objetivos de la compañía, logrando mejorar el desempeño y los costos totales del sistema.

Tabla XIII. **Comparación de la eficiencia de los servidores, actual y propuesta**

Instalación de servicio	Actual		Propuesta	
	μ $casos/hora$	C_s $Q./hora$	μ $casos/hora$	C_s $Q./hora$
BPEMS	4.62	14.44	5.54	14.81
TM	10	14.44	11.99	14.81

Fuente: elaboración propia.

3.3. Impacto económico del proyecto

La decisión a la que se enfrenta el departamento de *Exceptions*, se refiere a qué tan rápidos deben ser los servidores y cuántos de ellos, conviene asignar a cada instalación de servicio.

El problema se reduce a seleccionar el costo total mínimo de las opciones proporcionadas por la junta administrativa.

El objetivo es trazar los resultados obtenidos, e identificar, si se ha escogido un balance adecuado entre costo de servicio y costo de espera por ese servicio. En otras palabras, si el costo total obtenido es óptimo.

En la tabla XIV se encuentra el cálculo de $E(CT)$ de la opción actual y propuesta, obtenidos para el departamento de *Exceptions*.

Tabla XIV. **Comparación de $E(CT)$, *Exceptions (Q. /hora)***

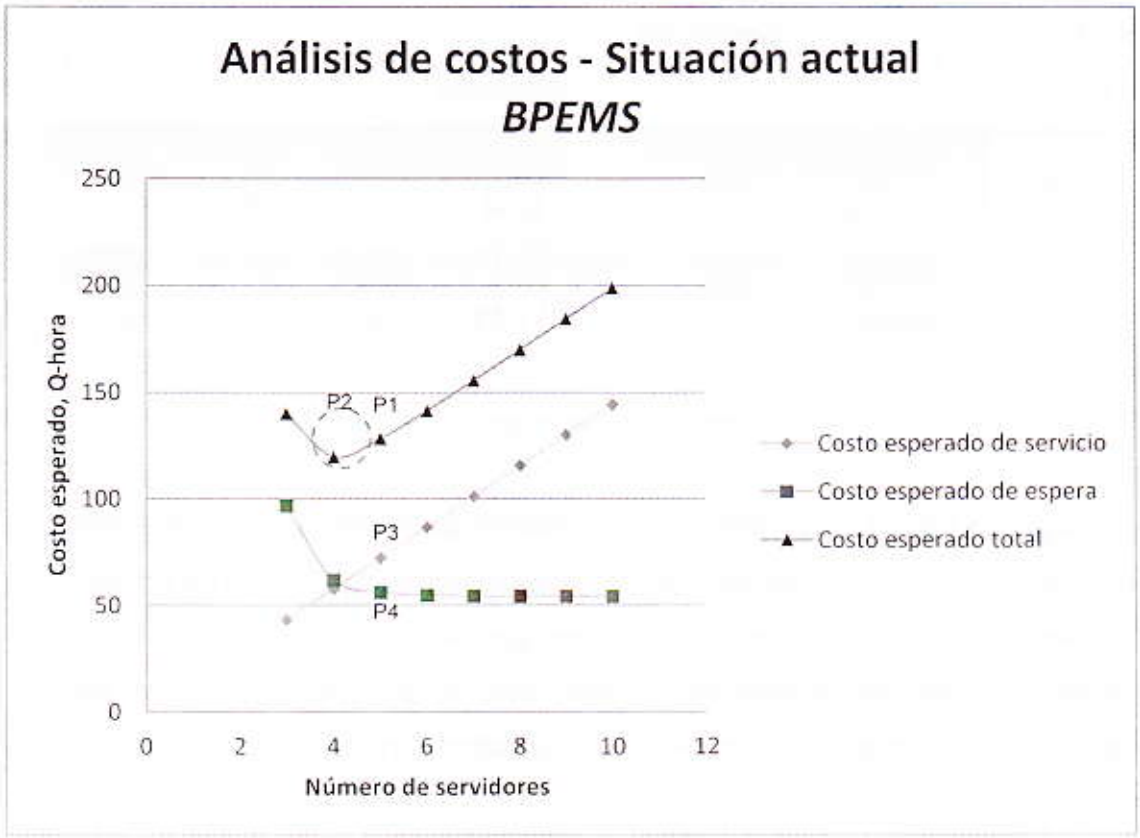
Instalación de servicio	Opción	Servidores, s	μ casos/hora	$E(CS)$	$E(CW)$	$E(CT)$
BPEMS	*Actual*	5	4.62	72.20	56.18	128.38
	Propuesta	5	5.54	74.05	46.02	120.07
TM	*Actual*	4	10	57.76	37.97	95.73
	Propuesta	4	11.99	59.24	31.49	90.73

Fuente: elaboración propia.

Según la tabla XIV, el número de servidores permanece igual entre ambas opciones: actual y propuesta para ambas instalaciones. El cambio se encuentra en la tasa de servicio. Puede observarse que se logra reducir el costo total esperado al aumentar la tasa de servicio; esto es porque presenta un mejor balance entre tiempo de espera, al solicitar un servicio y costo de proporcionarlo.

A continuación se grafican las curvas correspondientes al costo esperado de espera, de servicio y de costos totales, de la situación actual de la instalación de servicio *BPEMS*. Ver figura 15.

Figura 15. **Análisis de costos de la situación actual en *BPEMS***

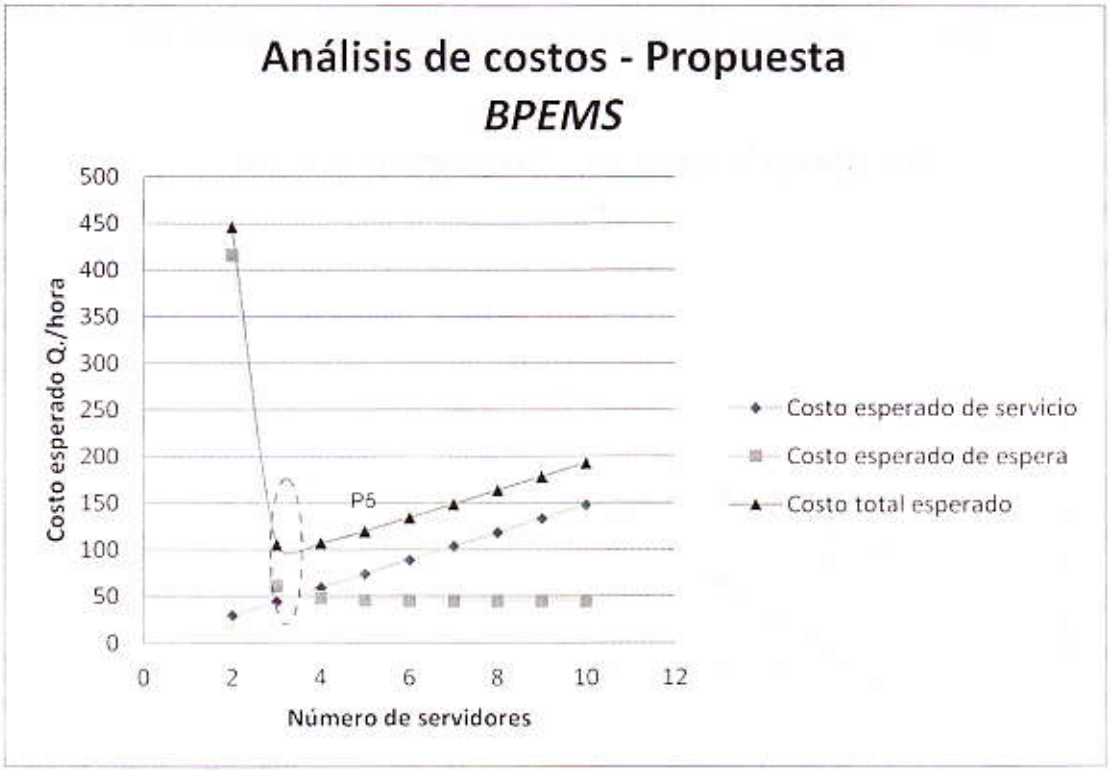


Fuente: elaboración propia.

En la figura 15, el punto 1 sobre la curva de costo total esperado, identificado como P1, corresponde a Q. 128.38-hora por servidor, que representa la situación actual de la instalación de servicio *BPEMS* (5 servidores y $\mu = 4.62$ casos hora). Debajo de P1 se encuentra P3 y P4 que representan el costo esperado de servicio y de espera de la situación actual de *BPEMS*, respectivamente. En la curva de costo total esperado, puede observarse que el mejor balance lo da P2 con Q. 119.78-hora por servidor; sin embargo, para alcanzar este balance, *BPEMS* deberia reducir sus servidores a 4 agentes y mantener la misma tasa de servicio.

A continuación en la figura 16, se ilustra la curva costo esperado de espera, de servicio y total correspondientes a la propuesta (opción 2 sugerida por la junta directiva) en la instalación de servicio *BPEMS*.

Figura 16. **Análisis de costos de la propuesta en *BPEMS***

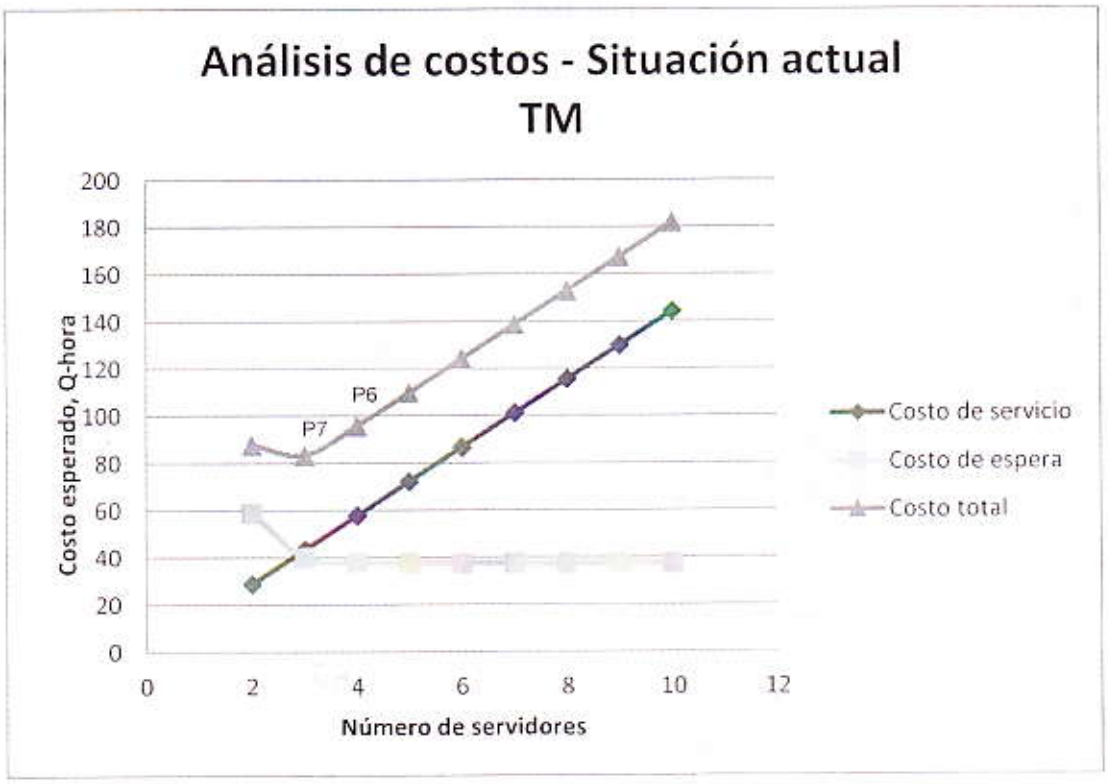


Fuente: elaboración propia.

La junta directiva ha solicitado evaluar los resultados entre 3 opciones, la mejor opción ha sido la número 2, en ella se proponen 5 servidores y aumentar la tasa de servicio a 5.54 casos por hora (P5), con un costo total esperado de Q. 120.07/hora por servidor; esto es menor que el costo actual de Q. 128.38.

Observar que el mejor balance no corresponde a P5; en realidad este se encuentra entre el área marcada. Aunque lograrlo va en contra de las políticas de la empresa, ya que necesita reducir su número de servidores de la actualidad. En la figura 17 se grafican los costos generados de la situación actual de la instalación de servicio *TM*.

Figura 17. **Análisis de costos de la situación actual en *TM***

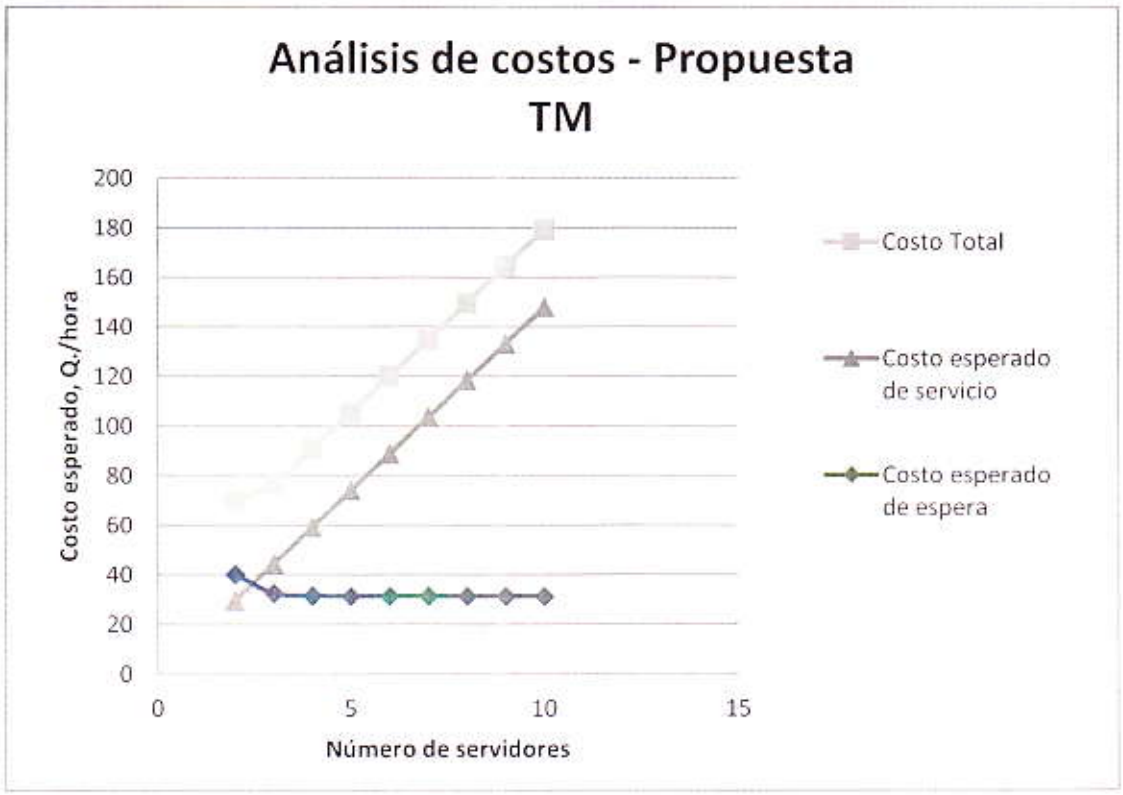


Fuente: elaboración propia.

La figura 17 permite analizar económicamente la línea de espera de *TM*. P6 representa la situación actual Q. 95.73; 4 servidores con tasa de servicio de 10 casos por hora. El mejor balance lo otorga P7, aunque lograrlo implica dar de baja a un servidor, que está en completo desacuerdo con las políticas de la compañía.

En la figura 18 se grafican las curvas de los costos esperados para la propuesta en *TM*.

Figura 18. **Análisis de costos de la propuesta en *TM***



Fuente: elaboración propia.

La propuesta a *TM*, consiste en continuar con 4 servidores y aumentar la tasa de servicio a 11.99 casos por hora. Puede observarse que esta opción permite mejorar el desempeño del sistema al reducir el costo de espera y logra reducir el costo total esperado del sistema al definir un mejor balance entre costo de servicio y espera por ese servicio. A la intersección de las curvas de costo de espera y de servicio genera el mejor balance, pero como ya se ha explicado, va en contra de las políticas de la empresa.

4. EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA

Después de haber analizado mediante la teoría de colas las necesidades de personal en cada instalación de servicio del departamento de *Exceptions*, se han determinado las mejores opciones que mejor se ajustan a los objetivos y necesidades de la compañía. Sin embargo, es necesario efectuar una evaluación apropiada a la propuesta, básicamente esta consiste en medir el desempeño del sistema.

4.1. Metodología

Al medir el desempeño del sistema de colas del departamento de *Exceptions*, resulta racional comparar el del sistema de colas de la situación actual con el desempeño de la propuesta.

Básicamente, se busca conocer dos factores, el número de casos que esperan y el tiempo que los casos esperan.

En cada modelo de colas existen dichos indicadores de desempeño, solamente es necesario conocer las fórmulas para calcularlos y una base de datos que incluya la información que se desea evaluar.

4.1.1. Indicadores a manejar

Los indicadores de desempeño que se van a evaluar en cada instalación de servicio son:

- Número esperado de clientes en la cola, L_q
- Número esperado de clientes en el sistema, L_s
- Tiempo esperado de espera en la cola, W_q
- Tiempo esperado de espera en el sistema, W_s

En el caso de la instalación de servicio *BPEMS*, se utilizarán las fórmulas del modelo *M/M/s/∞/∞*, detalladas en la sección 3.1.2; y la plantilla del modelo *M/M/s/∞/∞*, documentada en el apéndice.

En el caso de la instalación de servicio *TM*, se utilizarán las soluciones obtenidas a partir del modelo *G/G/∞/∞* utilizando la aplicación *Queuing Analysis* del *software QSB*. (Ver documentación en el apéndice).

4.1.2. Base de datos

A fin de comprobar que la opción propuesta presenta un mejor desempeño que la actual, es necesario medir el desempeño del sistema de colas, utilizando los datos de cada opción y finalmente realizar una comparación de resultados.

A partir de la tabla XV a la XVI se exponen los datos de las opciones actual y propuesta de cada instalación de servicio, que más adelante se utilizarán para medir su desempeño en el sistema de colas.

Tabla XV. **Base de datos instalación de servicio *BPEMS***

Estado	Tasa de servicio, μ $casos/hora$	Tasa de llegadas, Λ $casos/hora$	Número de servidores
Actual	4.62	10.46	5
Propuesta, opción 2	5.54	10.46	5

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Base de datos instalación de servicio *Transactions Management***

Estado	Tasa de servicio, μ $casos/hora$	Tasa de llegadas, Λ $casos/hora$	Número de servidores
Actual	10	15.625	4
Propuesta, opción 2	11.99	15.625	4

Fuente: elaboración propia.

4.2. Medida del desempeño del sistema de colas propuesto

A continuación se obtendrán los resultados de los indicadores del desempeño del sistema de colas, que corresponden a la información en la base de datos establecida en la sección 4.1.2.

4.2.1. Número esperado de clientes en la cola

El indicador de desempeño L_q, se refiere al número esperado de clientes en la cola, para el caso en estudio, los clientes se refieren a los casos. Mientras más pequeño sea este valor, los clientes tendrán una impresión de servicio rápido y eficiente.

Instalación de servicio *BPEMS*

A partir de la plantilla *M/M/s/∞/∞*, se obtienen los resultados de la tabla XVII, según la situación actual y propuesta en la instalación de servicio *BPEMS*.

Tabla XVII. **Número esperado de clientes en la cola L_q, opción actual y propuesta para la instalación de servicio *BPEMS***

Instalación de servicio	Actual L_q	Propuesta L_q
BPEMS	0.08	0.03

Fuente: elaboración propia.

La tabla XVII, indica que actualmente con 5 servidores trabajando a 4.62 casos por hora, se espera tener aproximadamente 0.08 casos en la cola. Y que con la propuesta de 5 servidores trabajando a 5.54 casos por hora, se espera reducir este número a 0.03 casos esperados en la cola, aproximadamente.

Instalación de servicio *TM*

A partir de la aplicación *Queuing Analysis* del *software QSB*, se obtienen los resultados de la tabla XVIII, según la situación actual y propuesta de la instalación de servicio *TM*.

Tabla XVIII. **Número esperado de clientes en la cola L_q, opción actual y propuesta para la instalación de servicio *TM***

Instalación de servicio	Actual L_q	Propuesta L_q
TM	0.0196	0.0089

Fuente: elaboración propia.

Según los resultados de la tabla XVIII, se esperan 0.0196 casos en la cola utilizando los datos de la situación actual. La propuesta logra mejorar aún más este desempeño, reduciendo el número a 0.0089 casos en la cola.

4.2.2. Número esperado de clientes en el sistema

Otro indicador de desempeño es L_s; este, a diferencia de L_q mide tanto el número esperado de clientes en la cola como en la instalación de servicio, es decir del sistema.

Instalación de servicio *BPEMS*

A partir de la plantilla *M/M/s/∞/∞*, se obtienen los resultados de la tabla XIX, según la situación actual y propuesta en la instalación de servicio *BPEMS*.

Tabla XIX. **Número esperado de clientes en el sistema L_s, opción actual y propuesta para la instalación de servicio *BPEMS***

Instalación de servicio	Actual L_s	Propuesta L_s
BPEMS	2.3409	1.9174

Fuente: elaboración propia.

La tabla XIX, indica que, actualmente con 5 servidores trabajando a 4.62 casos por hora, se espera tener aproximadamente 2.34 casos en el sistema. Y que con la propuesta de 5 servidores trabajando a 5.54 casos por hora, se espera reducir el número esperado de casos en el sistema a 1.92 casos, aproximadamente.

Instalación de servicio *TM*

A partir de la aplicación *Queuing Analysis* del *software QSB*, se obtienen los resultados de la tabla XX; según la situación actual y propuesta de la instalación de servicio *TM*.

Tabla XX. **Número esperado de clientes en el sistema L_s, opción actual y propuesta para la instalación de servicio *TM***

Instalación de servicio	Actual L_s	Propuesta L_s
TM	1.5821	1.3120

Fuente: elaboración propia.

De la tabla XX se determina que al comparar el número esperado de clientes o casos en el sistema de la situación actual, con los de la propuesta de *TM*, la propuesta presenta un mejor desempeño del sistema, ya que mientras menos casos haya en el mismo, más bajo es el costo esperado de espera.

4.2.3. Tiempo esperado de espera en la cola

El indicador de desempeño, tiempo esperado de espera en la cola, medido por W_q, mide el tiempo que le toma a un caso esperar en la cola antes de ser atendido. Mientras más pequeño sea este valor, más alto es el costo de servicio y más bajo tiende ser el costo de espera.

Instalación de servicio *BPEMS*

Nuevamente a partir de la plantilla *M/M/s/∞/∞* se obtienen los resultados estables; en este caso, los de la tabla XXI, para la situación actual y propuesta en la instalación de servicio *BPEMS*.

Tabla XXI. **Tiempo esperado de espera en la cola W_q, opción actual y propuesta para la instalación de servicio *BPEMS***

Instalación de servicio	Actual $W_q, horas$	Propuesta $W_q, horas$
BPEMS	0.0073	0.0028

Fuente: elaboración propia.

En la tabla anterior puede observarse que actualmente en *BPEMS* se espera que un caso espere 0.0073 horas en la cola, aproximadamente 26 segundos. Con la propuesta se espera reducir este tiempo a 0.0028 horas de espera en la cola, aproximadamente 10 segundos.

Instalación de servicio *TM*

Nuevamente a partir de la aplicación *Queuing Analysis* del *software QSB* se obtienen los resultados estables; en este caso, los de la tabla XXII para la situación actual y propuesta en la instalación de servicio *TM*.

Tabla XXII. **Tiempo esperado de espera en la cola W_q, opción actual y propuesta para la instalación de servicio *TM***

Instalación de servicio	Actual $W_q, horas$	Propuesta $W_q, horas$
TM	0.0013	0.0006

Fuente: elaboración propia.

En la tabla XXII puede observarse que actualmente en *TM* se espera que un caso espere 0.0013 horas en la cola, aproximadamente 4.68 segundos. Con la propuesta se espera reducir este tiempo a 0.0006 horas de espera en la cola, aproximadamente 2.16 segundos.

4.2.4. Tiempo esperado de espera en el sistema

Este indicador de desempeño del sistema de colas evalúa el tiempo esperado de espera que le toma a un caso permanecer en la cola y en la instalación de servicio, es decir en el sistema. Medido por W_s.

Instalación de servicio *BPEMS*

De la plantilla *M/M/ s/∞/∞* se obtienen los resultados de la tabla XXIII, correspondientes al indicador de tiempo esperado de espera en el sistema W_s, para la opción actual y propuesta de la instalación de servicio *BPEMS*.

Tabla XXIII. **Tiempo esperado de espera en el sistema W_s, opción actual y propuesta para la instalación de servicio *BPEMS***

Instalación de servicio	Actual $W_s, horas$	Propuesta $W_s, horas$
BPEMS	0.2238	0.1833

Fuente: elaboración propia.

Actualmente, el tiempo esperado de espera de un caso en el sistema de *BPEMS* es de 0.2238 horas, es decir 13 minutos. En otras palabras, se espera que, desde que un caso llega a la instalación de servicio *BPEMS*, le tome aproximadamente 13 minutos esperar en ella para ser servido. La propuesta logra reducir este tiempo a 0.1833 horas alrededor de 11 minutos.

Instalación de servicio *TM*

De la aplicación *Queuing Analysis* del *software QSB*, se obtienen los resultados de la tabla XXIV, correspondientes al indicador de tiempo esperado de espera en el sistema W_s, para la opción actual y propuesta de la instalación de servicio *TM*.

Tabla XXIV. **Tiempo esperado de espera en el sistema W_s, opción actual y propuesta para la instalación de servicio *TM***

Instalación de servicio	Actual $W_s, horas$	Propuesta $W_s, horas$
TM	0.1013	0.0013

Fuente: elaboración propia.

De la tabla XXIV se interpreta que a partir de que un caso llega a la instalación de servicio *TM*, a este le toma aproximadamente 6 minutos esperar en ella para ser servido. La propuesta logra reducir este tiempo a 0.0013 horas alrededor de 5 segundos.

4.3. Probabilidades como medida del desempeño del sistema de colas propuesto

Cuando se utilizan las probabilidades como medidas de desempeño del sistema de colas, permiten a la compañía evaluar escenarios de interés, como establecer metas a corto o bien largo plazo. Los indicadores que van a utilizarse se denotan a continuación:

- La probabilidad de, que un cliente o caso que llega, espere en la cola o que el sistema este ocupado, (P_b).

- Probabilidad de que todos los servidores se encuentren desocupados, (P_0).

4.3.1. Probabilidad de que un caso que llega espere en la cola o que el sistema este ocupado

En el desarrollo de esta sección se continuará utilizando la plantilla *M/M/s/∞/∞* y la aplicación *Queuing Analysis* de QSB, para obtener los resultados de la instalación *BPEMS*. En el caso de la instalación *TM*, se continuará utilizando únicamente la aplicación *Queuing Analysis* de QSB.

Instalación de servicio *BPEMS*

En el área de *BPEMS*, la propuesta consiste en mantener 5 servidores con una tasa de servicio de 5.54 casos por hora, siempre que la tasa de llegada de casos sea de 10.46 casos por hora.

La probabilidad de que un caso llegue a la instalación de servicio *BPEMS* y tenga que esperar en la cola, porque los 5 servidores están ocupados, se puede determinar si se encuentra la probabilidad de que el sistema esté ocupado, medida por P_b.

El valor de P_b correspondientes a la situación actual y propuesta de *BPEMS*, se obtiene de las fórmulas establecidas en la sección 3.1.2. o directamente de los resultados que dé la aplicación *Queuing Analysis* de *QSB*. Ver tabla XXV.

Tabla XXV. **Probabilidad de que todos los servidores se encuentren ocupados, opción actual y propuesta, *BPEMS***

Instalación de servicio	Actual P_b	Propuesta P_b
BPEMS	0.0928	0.0484

Fuente: elaboración propia.

La probabilidad de 0.0928 corresponde a la situación actual de *BPEMS;* este valor indica que es poco probable que, en cuanto llegue un caso a la instalación, tenga que esperar en la cola porque todos los servidores se encuentran ocupados.

La propuesta indica una probabilidad aún menor de 0.0484, comprobando nuevamente que esta opción, además de presentar costos más bajos, presenta un mejor desempeño que la situación actual.

Instalación de servicio *TM*

En el área de *TM,* la propuesta consiste en mantener 4 servidores con una tasa de servicio de 11.99 casos por hora, siempre que la tasa de llegada sea de 15.62 casos por hora.

La probabilidad de que un caso llegue a la instalación de servicio *TM* y tenga que esperar en la cola, porque los 4 servidores están ocupados, al igual que en *BPEMS,* se determina nuevamente por el valor de P_b. Para ello se utiliza la aplicación *Queuing Analysis* del *software QSB*. Ver tabla XXVI.

Tabla XXVI. **Probabilidad de que todos los servidores se encuentren ocupados, opción actual y propuesta, *TM***

Instalación de servicio	Actual P_5	Propuesta P_5
TM	0.0844	0.0482

Fuente: elaboración propia.

La probabilidad de 0.0844 corresponde a la situación actual de *TM*; este valor indica que es poco probable que, en cuanto llegue un caso a la instalación, tenga que esperar en la cola porque todos los servidores se encuentran ocupados. La propuesta indica una probabilidad aún menor de 0.0482; comprobando nuevamente que esta opción, además de presentar costos más bajos, presenta un mejor desempeño que la situación actual.

4.3.2. Probabilidad de que todos los servidores se encuentren desocupados

La jornada laboral que maneja el departamento de *Exceptions*, es de 9 horas de trabajo efectivo. La junta directiva desea conocer la probabilidad de que todos los servidores se encuentren desocupados.

Instalación de servicio *BPEMS*

De la plantilla *M/M/s/∞/∞* se obtienen los resultados de la tabla XXVII; en ella se observa la comparación entre la opción actual y propuesta de la probabilidad de que todos los servidores se encuentren desocupados.

Tabla XXVII. **Probabilidad de que todos los servidores se encuentre desocupados, opción actual y propuesta, *BPEMS***

Instalación de servicio	Actual	Propuesta
BPEMS	0.1024	0.1505

Fuente: elaboración propia.

Instalación de servicio *TM*

De la aplicación *Queuing Analysis* del *software QSB* se obtienen los resultados de la tabla XXVIII; en ella se observa la comparación entre la opción actual y propuesta de la probabilidad de que todos los servidores de la instalación de servicio *TM* se encuentren desocupados.

Tabla XXVIII. **Probabilidad de que todos los servidores se encuentren desocupados, opción actual y propuesta, *TM***

Instalación de servicio	Actual	Propuesta
TM	0.2072	0.2704

Fuente: elaboración propia.

4.3.3. Factor de utilización del sistema

El factor de utilización del sistema, medido por ρ, se refiere a la fracción de capacidad de servicio del sistema que, utilizan en promedio los casos.

Generalmente se requiere que este factor pertenezca al conjunto $[0,1]$, de ser mayor excedería la tasa media de servicio y la cola crecería sin límite.

La fórmula del factor de utilización, para ambas áreas de servicio, es:

$$\rho = \frac{\lambda}{s\mu} \quad \in [0,1]$$

Instalación de servicio *BPEMS*

Sustituyendo los valores de la propuesta de *BPEMS*, se tiene que:

$$\rho = \frac{10.46}{5 * 5.54} = 0.3776, \quad \wedge \quad \in [0,1]$$

La propuesta realizada a la instalación de servicio *BPEMS*, tiene un factor de utilización, medido por ρ, de 0.3776. La fracción indica que hay menos casos que servidores; no se excede la tasa de servicio, evitando que la cola crezca sin límite.

Instalación de servicio *TM*

Sustituyendo los valores de la propuesta de *TM*, se tiene que:

$$\rho = \frac{15.62}{4 * 11.99} = 0.3257, \quad \wedge \quad \in [0,1]$$

La propuesta realizada a la instalación de servicio *BPEMS*, tiene un factor de utilización, medido por ρ, de 0.3257. La fracción indica que hay menos casos que servidores, no se excede la tasa de servicio, evitando que la cola crezca sin límite.

En la tabla XXIX, se presenta el factor de utilización tanto para la opción actual como para la propuesta de ambas instalaciones de servicio.

Tabla XXIX. **Factor de utilización, opción actual y propuesta, *Exceptions***

Instalación de servicio	Actual ρ	Propuesta ρ
BPEMS	0.4528	0.3776
TM	0.3257	0.3906

Fuente: elaboración propia.

5. SEGUIMIENTO DE LA PROPUESTA

La etapa de seguimiento del proyecto, es más que supervisar las actividades propuestas. Esta fase consiste en asegurar que el objetivo de la compañía se vea reflejado en el resultado, que es mantener un nivel de servicio óptimo.

Para ayudar a mantener el seguimiento de la propuesta, se utilizarán hojas de control, que le permitan reunir y clasificar al departamento *Exceptions* diariamente, los tiempos y costos de servicio, costos de espera, eficiencia de los servidores y el costo total del sistema de colas.

5.1. Control de la cantidad adecuada de servidores

Como parte de esta sección, se sugiere llevar un control de la cantidad adecuada de servidores. Para lograrlo, simplemente pueden registrarse los factores que permitan destacar la influencia de una pequeña varianza en la cantidad diaria de servidores. Por ejemplo, el número de casos resueltos y remanentes en el día, al contar con cierto número de servidores, así como registrar el costo de servicio incurrido. Ver tabla XXX.

Tabla XXX. **Hoja de control de cantidad adecuada de servidores**

Hoja de control de cantidad adecuada de servidores					
Departamento				Fecha	
Instalación de servicio				Sueldo * hr	
Supervisor					
Descripción	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
Casos en el *bucket*					
Casos resueltos					
Casos remanentes					
Número de servidores					
Costo de servicio					

Fuente: elaboración propia.

5.2. Control de tiempos de servicio

Otra buena idea es registrar las tasas de servicio obtenidas durante el día respecto de las horas trabajadas y los casos resueltos. Esto permitirá destacar los días con mejores tiempos de servicio y sus respectivos costos alcanzados. Ver tabla XXXI.

5.2.1. Hoja de control de tiempos de servicio

Tabla XXXI. **Hoja de control de tiempos de servicio**

Hoja de control de tiempos de servicio					
Departamento				Fecha	
Instalación de servicio				Sueldo * hr	
Supervisor					
Descripción	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
Casos en el *bucket*					
Casos resueltos					
Casos remanentes					
Horas trabajadas					
Tasa de servicio observada					
Costo de servicio					

Fuente: elaboración propia.

5.2.2. Interpretación de la hoja

Con el formato de esta hoja se espera obtener diariamente, tasas y costos de servicio reales. La tasa de servicio real se obtiene de la relación entre el total de casos resueltos y horas trabajadas. El costo de servicio se obtiene del producto de horas trabajadas y sueldo por hora.

Esta hoja de control, permitirá asegurar que las tasas de servicio reales representen las metas de la planeación, ya que si esta representa una desviación de lo esperado, puede corregirse inmediatamente, estableciendo un procedimiento para que no vuelva a presentarse.

Un problema por ejemplo, podría ser un atraso debido a un repentino cambio de instrucciones, si surgen nuevas instrucciones o procedimientos, debe contemplarse el tiempo necesario de entrenamiento y evitar un retraso innecesario en los tiempos de servicio.

5.3. Control del tiempo de espera

El tiempo de espera en el sistema como ya se estudió en la sección 4.2.4., es el tiempo que permanece un caso en la cola, más el tiempo de servicio. Registrar este valor diariamente permitirá al departamento de *Exceptions* mantener un control sobre los tiempos de espera en el sistema y fijar metas sobre ellos. Ver tabla XXXII.

5.3.1. Hoja de control de tiempo de espera

Tabla XXXII. **Hoja de control de costos de espera**

Hoja de control de costos de espera					
Departamento				Fecha	
Instalación de servicio				Sueldo * hr	
Supervisor				No. Servidores	
Descripción	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
Hora de llegada					
Hora que se completó					
Tiempo de espera en el sistema, W_i					

Fuente: elaboración propia.

5.3.2. Interpretación de la hoja

La espera de un caso en la cola o en la instalación de servicio representa un costo para el departamento de *Exceptions*. Esta hoja permitirá mantener estos tiempos bajo control e identificar las causas que alteraron una desviación de estos, para evitar que vuelva a suceder en el futuro.

5.4. Control de eficiencia de los servidores

Otro factor que ayudará a controlar el cumplimiento de los objetivos, es la eficiencia de los servidores desde el punto de vista económico. La eficiencia de los servidores será la relación entre los resultados obtenidos y los recursos utilizados, es decir, la capacidad con la que un servidor completa un caso utilizando el menor tiempo posible y por tanto menos capital invertido. Ver tabla XXXIII.

5.4.1. Hoja de control de eficiencia de los servidores

Tabla XXXIII. **Hoja de control de eficiencia de los servidores**

Hoja de control de eficiencia de los servidores					
Departamento				Fecha	
Instalación de servicio				Sueldo diario	
Supervisor				No. Servidores	
Descripción	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
Casos resueltos (I)					
Capital invertido (II)					
Eficiencia (I/II)					

Fuente: elaboración propia.

5.4.2. Interpretación de la hoja

La eficiencia se obtiene de la relación entre el número de casos resueltos y el capital invertido. El capital invertido representa el producto del sueldo diario y el número de servidores.

La hoja de control de eficiencia de los servidores, permitirá comparar rápidamente las eficiencias alcanzadas durante la semana.

El valor más alto representa al día, como el de mayor capacidad obtenida para conseguir casos completados o resueltos. Esto puede ser utilizado para investigar e identificar en determinado momento los factores que influyeron sobre la eficiencia obtenida.

5.5. Control de costos de servicio

El costo total del sistema de colas, debe representar un nivel de servicio óptimo. Es decir que, la suma del costo de servicio y costo de espera debe ser el mínimo. Ver tabla XXIV.

5.5.1. Hoja de control de costos de servicio

Tabla XXXIV. **Hoja de control de costo total del sistema de colas**

Hoja de control de costos de servicio					
Departamento				Fecha	
Instalación de servicio				Sueldo diario	
Supervisor				No. servidores	
Descripción	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
Casos en el *bucket*					
Casos resueltos					
Casos remanentes					
Horas trabajadas					
Costo de servicio					
Costo de espera					
Costo total					

Fuente: elaboración propia.

5.5.2. Interpretación de la hoja

Para el control del costo total del sistema de colas, se puede registrar el costo de servicio, el costo de espera y como referencia, los casos que llegaron durante el día (*bucket*), casos resueltos y horas trabajadas. El costo total se obtiene sumando los costos de servicio y de espera.

El costo de servicio es el producto del sueldo diario por el número de servidores. El costo de espera es el producto de número de casos remanentes en el día por Q. 24.00.

Obtener diariamente el valor del costo total del sistema de colas, permitirá identificar si diariamente se trabaja con un balance adecuado para que el costo total sea mínimo. Si este es el caso, significa que el costo de servicio aumenta tanto, como disminuye el costo de espera.

CONCLUSIONES

1. El presente estudio se fundamenta en antecedentes generales de la empresa, que posteriormente se utilizaron en conjunto, para la construcción de un modelo matemático y aplicando la teoría de líneas de espera, se determinó la cantidad de servidores y tasas de servicio óptimas.

2. Actualmente la planeación de recurso humano en el departamento de *Exceptions* de la cuenta *TXU Energy*, es determinada de acuerdo con la experiencia de los integrantes de la junta administrativa de dicha empresa.

3. Para el proceso de toma de decisiones es necesario evaluar ciertos parámetros como el aumento al costo de servicio, que depende de si se contrata un servidor más o de si se aumenta la tasa de servicio, así como la calidad de servicio, con el fin de evitar la pérdida de clientes. El problema se reduce a encontrar el equilibrio entre costos de servicio y costos de espera por ese servicio.

4. La instalación de servicio llamada *BPEMS*, se representa por el modelo matemático que establece que, los casos llegan de manera aleatoria y siguen una distribución exponencial; los tiempos de servicio se distribuyen de forma exponencial; el sistema trabaja con varios servidores; y que la cola y fuente de entrada son infinitas (Modelo $M/M/s/\infty/\infty$).

5. La segunda instalación de servicio llamada *Transactions Management (TM)*, se representa por el modelo matemático que establece, que, tanto las llegadas de casos como los tiempos de servicio se distribuyen en forma general o arbitraria; el sistema trabaja con varios servidores, tanto la cola como la fuente de entrada se consideran infinitas (Modelo $G/G/s/\infty/\infty$). A partir de una prueba retrospectiva realizada a los modelos formulados, se logró reconstruir el pasado, comprobando que los modelos se ajustan a la realidad.

6. La cantidad de personal se mantiene, debido a que es más rentable aumentar la producción. El incremento a la producción logra reducir costos y mejorar el desempeño del sistema.

7. Los indicadores de desempeño reflejan que las soluciones de la propuesta además de reducir costos presentan una alta calidad de servicio. La propuesta reduce el número esperado de clientes o casos en el sistema, así como el tiempo esperado de espera en el mismo. Incluso, se reduce la probabilidad de que un caso que llega deba esperar en la cola por que el sistema se encuentra ocupado.

8. Las hojas de control son fundamentales en la etapa de seguimiento, ya que velan por el cumplimiento de los objetivos propuestos.

RECOMENDACIONES

1. En el proceso de toma de decisiones administrativas, adoptar la teoría disponible en el presente estudio acerca de planeación de personal y teoría de colas, con el fin de complementar sus decisiones.

2. Que se incluyan procesos matemáticos estandarizados en el proceso de la planificación de personal.

3. El departamento de recursos humanos debe contemplar que aumentar la tasa de servicio puede generar grandes reducciones de costos en el sistema; sin embargo, debe existir un límite que proteja a los servidores de padecer estrés y/o enfermedades profesionales.

4. Al obtener las soluciones de estado estable correspondientes a cada modelo matemático determinado en el presente estudio, deben evitarse los medios manuales inexactos y tediosos; es mejor hacerlo de forma automatizada.

5. Cuando se determine que es muy poco probable que los servidores se encuentren desocupados, debe considerarse el aumento de personal. El objetivo es evitar el estrés en los trabajadores, que provoque un descenso en la calidad de servicio.

6. Si se relacionan los indicadores de desempeño con los costos de servicio, es posible identificar y deducir propias conclusiones acerca de si el equilibrio encontrado es óptimo.

7. Delegar a los asistentes de producción el cumplimiento de las hojas de control a fin de asegurar la etapa de seguimiento.

BIBLIOGRAFÍA

1. DESSLER, Gary. *Administración de personal.* 5ª ed. México: Pearson Educación, 2001. 538 p.

2. EPPEN, G. D.; GOULD, F. J. *Investigación de operaciones en la ciencia administrativa.* México: Prentice-Hall Hispanoamericana, 1986. 687 p.

3. GAMAS VELÁSQUEZ, Víctor Eduardo. "*El estudio de colas en el procesamiento de datos de liquidación de ventas en una fábrica y embotelladora de bebidas*". Trabajo de graduación de Ing. Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2003. 145 p.

4. GÓMEZ LÓPEZ, Juan Francisco. "*Manual de reclutamiento, selección y contratación de personal de una industria de fabricación de productos de acero para la construcción*". Trabajo de graduación de Ing. Mecánica Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2006. 194 p.

5. HILLIER, Frederick. *Investigación de operaciones.* 2ª ed. México: McGraw-Hill, 2001. 956 p.

6. KAMLESH, Mathur. *Investigación de operaciones; el arte de la toma de decisiones.* 4ª ed. México: Prentice-Hall, 1996. 1024 p.

7. LEANDRO, Gabriel. *Líneas de espera: Teoría de colas.* Guatemala, 2010. En http://www.auladeeconomia.com.

8. MARTÍNEZ MURRILLO, Oscar Noé. "*Diseño del programa de dotación de personal para los departamento de ventas y contabilidad en una empresa dedicada al comercio de motocicletas*". Trabajo de graduación de Ing. Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2008. 126 p.

9. ORTIZ CHANG, Julio Roberto. "*Aplicación de un modelo de teoría de colas en garitas de acceso de transporte pesado en un recinto portuario*". Trabajo de graduación de Ing. Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2004. p. 158.

10. WINSTON, Wayne. *Introducción a la construcción de modelos*. 2ª ed. México: Iberoamericana, 2001. 435 p.

APÉNDICE

1. Observación tiempos de servicio, *BPEMS*

	Día 1						Día 2							Día 3						Día 4							Día 5					
Hora / Servicio	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7	s1	s2	s3	s4	s5	s6
1	13	9	9	15	14		12	12	10	7	9	10	13	17	14	16				15	12	10	10	13			13	10	12	10	15	
2	12	16	12	11	9		20	19	21				12	10	18	11	9			14	17	11	18				16	12	14	18		
3	17	16	15	12			17	10	15	18			15	7	7	11	13	7	19	24	17						8	13	11	13	15	
4	9	10	12	11	10	8	9	10	8	12	10	11	14	9	9	13	15			10	12	10	15	13			20	22	18			
5	14	17	15	14			13	13	11	14	9		25	17	18					17	21	22					9	16	10	12	13	
6	12	9	11	9	10	9	9	10	14	8	12	7	16	15	13	16				12	10	8	16	14			9	11	9	8	12	11
7	10	10	12	16	12		10	14	9	8	11	8	13	15	21	11				15	13	10	9	13			15	14	16	15		
8	9	12	10	9	11	9	10	14	14	10	12		18	14	13	15				12	16	17	15				23	21	16			
9	16	18	14	12			21	22	20				10	12	13	14	11			8	13	10	9	11	9		15	9	10	16	10	

	Día 6						Día 7							Día 8						Día 9							Día 10					
Hora / Servicio	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7	s1	s2	s3	s4	s5	s6
1	12	11	15	9	13		8	10	9	12	10	11	12	14	14	9	11			17	21	22					7	11	9	12	11	10
2	14	17	15	14			16	17	12	15			12	17	16	15				17	16	16	11				8	13	10	7	22	
3	13	11	12	10	14		11	12	14	11	12		14	21	25					11	9	10	8	11	11		16	22	22			
4	7	11	14	15	13		20	18	22				9	12	13	9	10	7	8	7	10	10	9	7	9	14	16	12	18			
5	17	22	21				8	8	10	12	13	9	12	16	14	18				19	21	20					14	8	9	14	15	
6	15	16	15	14			19	20	21				19	18	23					11	12	11	10	16			12	16	15	17		
7	19	16	25				15	12	10	13	10		21	19	20					12	15	16	17				17	23	20			
8	7	12	11	9	10	11	13	14	17	16			9	13	11	10	17			12	18	9	11	10			12	11	16	10	11	
9	17	21	22				22	16	22				14	17	15	14				20	18	22					8	8	15	13	16	

	Día 11						Día 12							Día 13						Día 14							Día 15					
Hora / Servicio	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7	s1	s2	s3	s4	s5	s6
1	11	12	15	12	10		14	14	11	11	10		10	8	9	12	12	9	17	18	25					14	10	8	17	11	
2	12	13	9	14	12		9	10	9	8	9	7	14	12	18	16				11	12	7	11	9	10		13	14	16	17		
3	20	21	19				10	8	8	7	10	8	6	8	9	7	7	8	20	18	22						12	18	16	14		
4	16	15	14	15			7	10	22	21			8	10	9	12	10	11	14	9	12	14	11				9	14	12	14	11	
5	22	21	17				12	10	14	12	12		9	10	7	10	8	7	10	12	11	15	12				14	18	12	16		
6	9	11	9	12	10	9	14	10	12	10	14		12	12	11	10	15			13	9	8	11	10	9		21	22	17			
7	15	16	18	11			16	10	12	11	11		15	22	23					9	10	12	9	12	8		12	13	11	10	14	
8	12	11	14	11	12		11	15	16	18			14	12	10	11	13			7	10	9	12	8	7	7	23	19	18			
9	23	18	19				9	17	10	15	9		23	18	19					13	16	19	12				12	11	15	12	10	

	Día 16						Día 17							Día 18						Día 19						Día 20					
Hora / Servicio	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s1	s2	s3	s4	s5	s6		s1	s2	s3	s4	s5	s6
1	8	16	14	10	12		16	17	12	15			13	9	15	13	10			22	20	18					11	10	13	16	10	
2	11	14	13	8	14		12	14	9	10	15		12	11	10	9	8	10	15	14	15	16					8	11	9	11	12	9
3	8	12	10	8	12	10	9	12	8	9	10	12	11	8	9	10	10	12	11	8	9	10	10	12			12	14	10	12	12	
4	8	11	9	10	10	12	14	16	17	13			12	14	11	10	13			12	11	9	13	15			15	12	16	17		
5	20	22	18				18	22	20				14	12	11	14	9			12	14	16	18				20	18	22			
6	10	12	13	11	14		16	25	19				11	14	12	7	16			21	22	17					11	12	14	12	11	
7	17	21	22				18	12	14	16			12	11	10	12	15			18	23	19					12	10	12	17	9	
8	10	12	8	10	11	9	9	10	11	9	11	10	12	14	13	10	11			16	14	15	15				9	13	10	9	8	11
9	10	11	12	12	15		10	12	10	9	8	11	8	10	9	13	11		9	12	10	11	12	8	7		21	17	22			

Fuente: elaboración propia.

2. Observación tiempos de servicio, *TM*

Día	Día 1													Día 2												Día 3											
Hr./servicio	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7	s8	s9	s10	s11	s12	s13	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7	s8	s9	s10	s11	s12	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7	s8	s9	s10	s11	s12
1	3	6	3	5	7	3	3	7	3	7	7			8	9	6	6	5	5	4	5	6	6			6	5	4	7	8	9	3	7	3	8		
2	7	5	4	8	7	6	7	6	5	5				6	4	9	5	5	9	4	6	8	4			9	6	6	3	7	6	8	9	6			
3	9	4	5	9	4	5	9	6	9					5	7	8	4	6	5	9	7	9				7	4	3	6	3	7	7	3	8	3	6	3
4	7	7	8	8	6	8	7	9						9	3	5	4	3	6	3	8	7	3	9		5	8	6	9	5	5	5	6	4	8	4	
5	7	5	6	8	6	8	3	9	8					7	6	6	5	6	5	3	8	3	8	3		6	7	6	8	6	5	7	8	7			
6	8	9	6	8	3	3	8	8	3	4				9	5	7	4	6	5	8	9	7				5	9	8	3	8	3	4	8	5	4	3	
7	8	8	5	7	5	6	5	7	9					8	9	4	9	4	8	3	4	6	5			8	9	8	9	3	8	8	7				
8	4	5	5	3	4	3	9	5	6	7	9			5	7	5	9	8	8	5	7	6				7	7	7	8	7	7	9	8				
9	9	8	8	5	6	8	7	9						8	8	7	9	8	7	6	7					9	8	3	7	4	6	3	5	4	6	5	

Día	Día 4													Día 5												Día 6											
Hr./servicio	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7	s8	s9	s10	s11	s12	s13	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7	s8	s9	s10	s11	s12	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7	s8	s9	s10	s11	s12
1	5	7	3	5	6	7	8	6	5	4	4			7	8	7	6	8	7	9	8					4	5	7	7	6	8	7	3	4	3	6	
2	4	7	4	9	4	9	7	3	6	7				6	6	7	6	7	6	8	8	6				8	5	4	4	5	7	6	4	6	5	6	
3	7	7	9	5	5	6	8	3	4	6				7	5	6	6	3	5	6	7	4	5	6		5	4	4	8	5	3	8	3	4	7	4	5
4	5	4	4	6	7	3	5	5	4	8	3	6		8	7	9	6	7	9	6	8					8	3	7	3	6	8	6	5	6	8		
5	5	4	5	6	7	4	8	4	6	5	6			7	6	4	8	9	5	4	6	5	6			7	8	3	8	5	7	6	8	8			
6	4	9	4	9	5	6	8	7	8					7	7	7	9	7	8	7	8					8	6	5	9	6	7	6	5	8			
7	9	7	3	4	7	5	3	6	7	9				9	9	3	3	7	3	3	5	3	5	7	3	8	6	4	5	5	3	4	9	3	6	7	
8	8	7	6	5	9	8	5	5	7					8	9	3	4	8	6	9	6	7				7	5	7	8	4	5	8	4	3	9		
9	7	9	5	9	6	6	5	8	5					3	9	3	4	7	4	5	3	8	4	3	7	3	6	4	4	5	3	6	5	6	5	6	7

Día	Día 7													Día 8												Día 9											
Hr.	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7	s8	s9	s10	s11	s12	s13	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7	s8	s9	s10	s11	s12	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7	s8	s9	s10	s11	s12
1	8	8	5	6	4	3	3	8	7	6				4	6	8	6	8	6	6	7	9				5	3	6	3	5	3	6	7	3	7	6	6
2	4	4	5	6	5	8	9	6	8	5				8	6	5	3	6	3	7	5	8	5	4		8	9	7	5	5	8	5	5	4	4		
3	7	6	4	6	8	8	8	7	6					6	4	9	5	6	3	5	8	7	7			7	4	9	5	5	7	8	6	9			
4	3	4	3	5	6	4	6	4	8	5	6	6		5	3	3	5	5	3	4	7	8	5	7	5	7	7	5	6	6	3	7	3	3	4	9	
5	7	3	6	3	6	5	7	5	7	4	7			4	7	3	3	7	6	4	3	8	8	7		5	4	3	7	7	5	8	6	6	9		
6	8	7	9	3	3	6	7	6	5	6				6	8	3	8	6	5	6	3	8	3	4		5	6	6	8	7	8	5	8	7			
7	5	4	8	7	6	5	7	9	5					3	4	6	6	5	4	5	6	4	6	4	7	4	6	3	3	7	6	3	8	6	5	9	
8	5	6	5	7	6	5	8	5	7	6				5	7	3	5	4	5	3	4	7	6	7	4	6	7	8	5	5	6	8	9	6			
9	5	8	6	6	8	4	8	3	5	7				6	8	5	6	4	8	6	5	7	5			6	4	9	3	3	8	4	3	5	6	9	

Día	Día 10													Día 11												Día 12											
Hr./servicio	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7	s8	s9	s10	s11	s12	s13	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7	s8	s9	s10	s11	s12	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7	s8	s9	s10	s11	s12
1	5	4	7	4	3	3	4	4	5	4	5	7	5	6	8	8	7	7	9	8	7					3	9	8	4	8	3	6	8	5	6		
2	9	5	8	7	6	5	8	8	4					4	5	3	9	7	6	5	5	4	4	5	3	6	3	6	7	3	6	6	5	4	7	7	
3	7	7	5	8	6	9	6	4	8					3	7	9	5	5	8	6	6	5	6			4	7	6	3	8	6	5	4	3	6	6	
4	6	5	7	7	4	3	7	5	6	4	6			6	4	5	4	4	4	4	8	6	3	6	6	5	5	6	7	7	4	5	6	7	8		
5	7	6	9	3	5	6	5	7	6	6				3	9	8	4	5	4	7	4	8	8			5	4	8	6	4	7	6	4	3	3	6	4
6	5	7	3	6	7	4	7	7	6	8				9	8	5	3	7	8	5	8	7				7	7	5	8	5	7	8	7	6			
7	3	7	7	7	6	6	4	9	6	5				7	6	7	8	5	8	5	8	6				8	4	7	5	6	4	4	5	4	3	3	7
8	5	5	7	5	8	9	4	8	9					7	7	8	7	8	6	8	9					3	3	4	5	6	5	4	5	6	4	7	8
9	7	5	8	7	7	8	7	8						4	8	9	6	9	8	7	9					6	3	9	7	4	3	6	9	5	4	4	

Día	Día 13													Día 14												Día 15											
Hr./servicio	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7	s8	s9	s10	s11	s12	s13	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7	s8	s9	s10	s11	s12	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7	s8	s9	s10	s11	s12
1	5	7	3	4	8	5	4	6	7	6	5			5	4	7	3	6	4	5	4	7	8	7		6	8	3	6	5	4	8	4	3	6	3	4
2	7	8	5	8	7	9	6	4	4					4	5	9	8	9	3	6	6	5	5			5	3	6	4	9	8	6	5	7	7		
3	8	5	3	7	5	3	4	6	5	6	3	5		8	4	8	9	9	9	6	7					6	9	3	6	7	3	8	6	4	8		
4	3	6	6	3	8	7	4	5	7	7	4			5	4	7	5	3	8	3	7	4	3	5	6	3	6	5	6	5	5	4	4	3	5	8	6
5	6	8	6	3	8	3	5	4	4	5	3	5		4	6	6	5	4	7	6	5	5	7	5		6	5	6	4	5	4	6	3	7	6	5	3
6	5	5	7	3	9	8	8	8	7					6	8	9	9	5	7	5	6	5				3	9	8	4	8	4	7	8	9			
7	8	7	5	3	7	4	5	5	5	4	4	3		5	7	6	5	7	5	7	5	6	7			6	8	7	4	3	6	4	7	8	4	3	
8	3	3	9	8	7	7	9	6	8					8	9	6	6	9	8	3	6	5				4	4	3	6	5	8	7	3	5	4	3	8
9	6	4	8	9	8	8	9	8						5	4	5	8	3	9	9	8	3	6			6	8	7	9	9	6	7	8				

Día	Día 16													Día 17												Día 18											
Hr./servicio	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7	s8	s9	s10	s11	s12	s13	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7	s8	s9	s10	s11	s12	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7	s8	s9	s10	s11	s12
1	3	8	7	9	6	9	5	4	9					6	9	8	9	8	5	8	7					9	5	8	8	8	5	3	3	8	3		
2	6	6	8	9	8	8	7	8						8	6	7	3	9	8	7	6	6				9	7	8	4	7	6	7	4	8			
3	9	8	3	3	3	8	8	5	6	7				7	8	7	7	8	9	6	8					6	3	5	8	7	5	9	3	9	5		
4	3	5	3	4	5	6	7	5	6	5	4	7		4	5	9	5	7	5	6	9	6	4			9	3	7	8	3	9	6	4	5	3	3	
5	6	7	4	3	8	5	4	7	5	7	4			8	6	9	8	5	7	8	9					4	9	6	3	9	5	3	8	6	7		
6	6	5	9	7	8	5	8	8	4					7	8	8	9	7	6	8	7					9	7	9	5	8	7	8	7				
7	6	3	7	5	6	3	4	5	6	8	4	3		8	5	3	6	7	9	8	5	9				6	5	8	3	5	8	8	6	7	4		
8	6	4	6	6	8	8	9	6	7					3	7	6	4	7	3	3	9	6	5	7		8	7	9	9	4	6	5	6	6			
9	7	6	4	8	4	3	8	8	4	8				3	5	7	6	5	7	3	7	3	8	6		8	5	7	3	4	4	6	6	9	8		

Día	Día 19													Día 20											
Hr./servicio	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7	s8	s9	s10	s11	s12	s13	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7	s8	s9	s10	s11	s12
1	9	7	9	3	8	8	5	6	5					8	3	5	3	6	5	6	3	6	5	4	6
2	8	8	7	6	8	6	9	8						6	7	9	6	4	5	6	8	9			
3	8	7	8	6	6	9	9	7						4	6	6	8	6	3	9	3	6	5	4	
4	6	5	6	5	7	6	7	5	4	3	6			6	3	8	3	4	8	7	6	7	4	4	
5	9	5	9	6	9	6	5	6	5					4	7	6	3	6	8	6	5	6	5	4	
6	6	8	7	8	7	9	8	7						6	8	7	9	6	9	7	8				
7	6	6	8	5	8	8	6	7	6					8	5	4	8	7	7	6	7	8			
8	7	3	6	7	6	5	9	9	8					4	3	8	7	4	3	4	7	6	3	5	6
9	6	5	6	5	6	7	6	8	5	6				5	6	5	6	3	6	4	5	5	6	4	5

Fuente: elaboración propia.

3. Observación llegada de casos, *BPEMS*

DÍA #	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Hora																				
1	0	20	0	13	11	43	25	20	20	25	9	28	20	23	16	30	17	9	16	28
2	15	15	40	20	30	0	13	21	0	12	34	17	15	18	1	15	15	8	18	15
3	0	6	0	0	9	3	7	2	3	3	15	11	2	7	1	8	2	0	2	15
4	18	0	0	16	0	0	3	10	5	7	0	9	12	2	7	1	4	14	12	4
5	15	0	16	5	1	0	5	0	4	2	0	3	0	5	3	4	1	15	0	5
6	7	28	30	13	2	43	16	24	20	23	6	15	14	20	21	6	19	7	15	6
7	1	0	0	3	1	25	13	0	8	12	7	0	3	6	3	0	6	0	6	3
8	4	26	0	6	1	0	0	6	0	4	0	1	6	5	11	3	4	9	11	4
9	4	17	5	8	8	4	7	4	7	6	6	3	8	4	1	8	3	3	6	8
10	16	6	14	14	5	0	5	11	32	8	9	8	10	5	45	20	23	16	5	11
11	5	20	0	58	3	18	25	24	0	32	9	20	18	29	0	25	22	12	22	20
12	20	12	5	3	39	27	21	18	21	20	31	35	6	24	29	18	18	14	21	14
13	1	15	15	5	2	5	6	2	1	5	0	5	2	2	0	1	4	0	7	11
14	5	0	21	5	6	6	3	10	9	6	10	4	3	3	17	5	5	13	1	16
15	16	1	18	9	3	21	14	9	13	13	9	16	3	10	6	16	9	10	9	0
16	20	0	12	1	6	10	3	10	9	6	0	14	8	7	16	8	10	15	16	14
17	6	8	7	4	7	0	4	1	6	2	5	0	6	4	0	4	3	3	4	0
18	16	5	26	12	8	12	11	16	15	13	12	14	11	16	21	11	15	20	14	21
19	11	18	0	1	1	3	4	0	6	2	7	1	3	1	1	5	4	9	23	6
20	12	21	18	0	5	14	4	11	15	7	0	0	2	6	20	1	9	18	16	19
21	5	9	0	8	27	5	16	11	10	10	25	8	5	8	13	3	7	1	6	5
22	35	11	0	16	2	7	6	13	13	11	6	9	19	11	10	5	9	18	14	16
23	9	16	0	17	6	0	9	5	0	8	12	7	15	9	4	17	11	9	2	21
24	18	2	25	11	41	36	34	35	24	18	33	30	13	20	20	40	23	18	14	8
Sumatoria	259	256	252	248	224	282	254	263	241	255	245	258	204	245	266	254	243	241	260	270

Fuente: elaboración propia.

4. Observación llegada de casos, *TM*

DÍA #	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Hora																				
1	2	0	1	0	3	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
2	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	2	0	0	0	0	1	0	0	3
3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	3	0	2	0	1	0	0
4	1	1	0	0	0	2	1	0	0	0	2	0	3	0	1	0	1	0	2	0
5	0	0	0	0	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
6	1	0	2	1	0	0	2	1	0	3	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1
7	0	2	1	0	0	2	0	0	2	0	1	0	0	0	3	0	0	0	2	0
8	2	1	2	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	2	0	0	1	1
9	3	4	2	6	3	8	2	5	0	4	5	0	1	9	6	7	8	6	8	4
10	29	38	42	44	26	29	37	29	34	46	36	48	49	28	47	41	32	49	47	33
11	31	42	36	45	32	46	38	52	54	53	48	52	47	56	49	54	42	57	54	53
12	44	56	39	42	51	53	29	47	40	49	43	53	49	56	48	35	56	39	51	34
13	48	32	54	38	31	38	33	39	36	41	31	49	39	38	49	23	31	46	28	49
14	58	41	48	46	53	46	35	29	49	33	47	34	48	43	34	32	39	42	39	32
15	37	39	63	48	46	48	29	33	41	49	32	48	36	49	46	53	46	31	34	48
16	39	33	33	47	39	33	46	34	33	31	37	28	28	52	39	35	49	32	48	36
17	38	36	28	26	26	44	47	36	24	51	46	31	47	33	35	56	43	41	29	37
18	11	25	16	14	11	31	49	28	16	26	42	21	41	21	23	28	32	21	36	43
19	14	18	18	12	8	14	0	1	0	5	9	0	6	9	13	14	12	11	4	19
20	3	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sumatoria	362	373	387	371	333	394	350	337	333	394	380	366	396	398	394	382	394	377	386	393

Fuente: elaboración propia.

A continuación la imagen de la plantilla *M/M/s* que se utilizó para obtener soluciones de estado estable, en el presente estudio.

5. Documentación de la plantilla *M/M/s*

Preparación para aplicar el modelo
Plantila del modelo *M/M/s/?/?*

DATOS		
Tasa de servicio (unid/tiempo), μ	4.62	casos/hora
Tasa de llegadas (unid/tiempo), λ	10.46	casos/hora
Número de servidores, s	5	

A encontrar

Fracción de la capacidad de servicio, ρ	0.4528

La fracción de la capacidad de servicio del sistema que utilizan en promedio los casos es de 0.4528. La fracción indica que hay menos casos que servidores y no se excede la tasa media de servicio, evitando que la cola crezca sin límite.

Probabilidad de que hayan 0 casos en el sistema, P_0	0.1024

La probabilidad de que hayan 0 casos en el sistema es de 0.1024. Este valor se puede utilizar para definir el porcentaje de ocio.

Porcentaje de ocio	10.2436

El 10.24% del tiempo están ociosos los 5 agentes de servicio. El resto corresponde al porcentaje de tiempo que se mantienen ocupados.

Porcentaje de ocupación	89.7564

El porcentaje de ocupación corresponde a 89.76%.

Probabilidad de que haya exactamente n casos en el sistema	0.0230
Valor de n?	6

La probabilidad de que haya 6 casos en el sistema es de 0.023

Número esperado de clientes en la cola, L_q	0.0768

El número esperado de clientes en la cola con 5 servidores es de 0.08

Número esperado de clientes en el sistema, L	2.3409

El número esperado de clientes en el sistema con 5 servidores es de 2.34

Tiempo de espera en la cola, W_q	0.0073

El tiempo de espera en la cola con 5 servidores, es aproximadamente 0.007 horas

Tiempo de espera en el sistema, W	0.2238

El tiempo de espera en el sistema con 5 servidores, es aproximadamente 0.22 horas

Probabilidad de que un caso no espere mas de t hrs. en el sitema	1.000000000000	t = 9

La probabilidad de que un caso no espere más de 9 hora(s) en el sistema es 1

Costo esperado de espera, E(CW)	Q56.18
Ingrese cw: Q24.00	

El costo esperado de espera lineal del sistema es de Q.56.18 por hora

Costo esperado de servicio, E(CS)	Q72.00
Ingrese cs: Q14.40	

El costo esperado de servicio del sistema es de Q.72 por hora

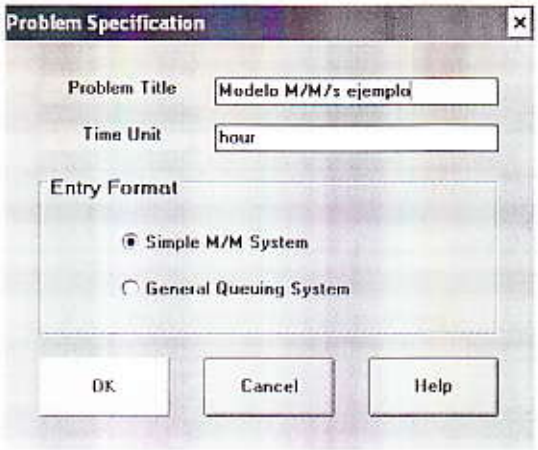
Costo total esperado del sistema	Q128.18

El costo total esperado del sistema es de Q.128.18 por hora

Fuente: elaboración propia.

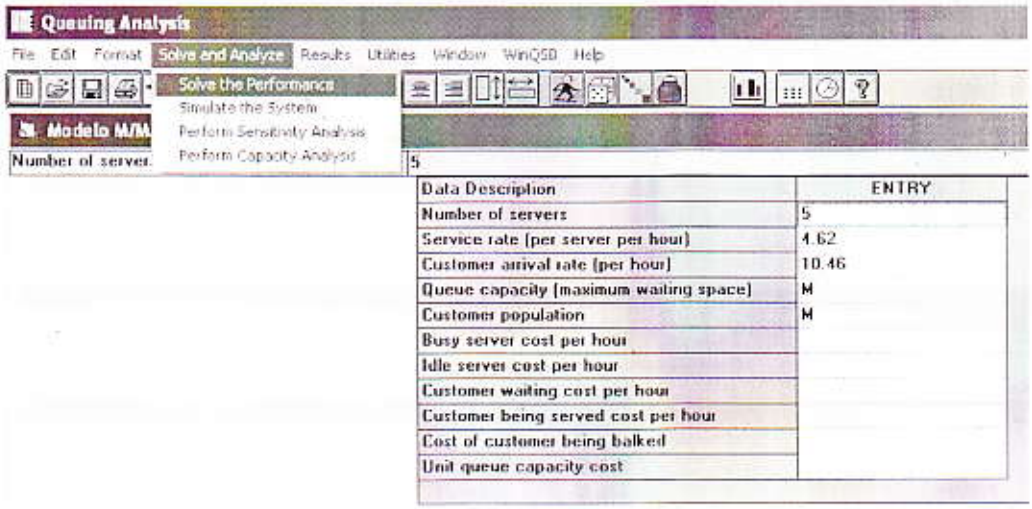
A continuación la documentación de figuras que explican el procedimiento para utilizar la aplicación *Queuing Analysis* del software *QSB* con el modelo *M/M/s*.

6. Especificación del sistema *M/M/s*



Fuente: elaboración propia.

7. Ingreso de datos del sistema *M/M/s*



Fuente: elaboración propia.

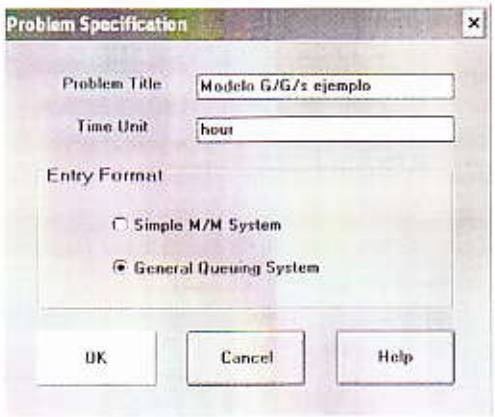
8. Soluciones de estado estable del sistema *M/M/s*

04-05-2011	Performance Measure	Result
1	System: M/M/5	From Formula
2	Customer arrival rate (lambda) per hour =	10.4600
3	Service rate per server (mu) per hour =	4.6200
4	Overall system effective arrival rate per hour =	10.4600
5	Overall system effective service rate per hour =	10.4600
6	Overall system utilization =	45.2814 %
7	Average number of customers in the system (L) =	2.3409
8	Average number of customers in the queue (Lq) =	0.0768
9	Average number of customers in the queue for a busy system (Lb) =	0.8275
10	Average time customer spends in the system (W) =	0.2238 hours
11	Average time customer spends in the queue (Wq) =	0.0073 hours
12	Average time customer spends in the queue for a busy system (Wb) =	0.0791 hours
13	The probability that all servers are idle (Po) =	10.2436 %
14	The probability an arriving customer waits (Pw) or system is busy (Pb) =	9.2888 %
15	Average number of customers being balked per hour =	0
16	Total cost of busy server per hour =	$0
17	Total cost of idle server per hour =	$0
18	Total cost of customer waiting per hour =	$0
19	Total cost of customer being served per hour =	$0
20	Total cost of customer being balked per hour =	$0
21	Total queue space cost per hour =	$0
22	Total system cost per hour =	$0

Fuente: elaboración propia.

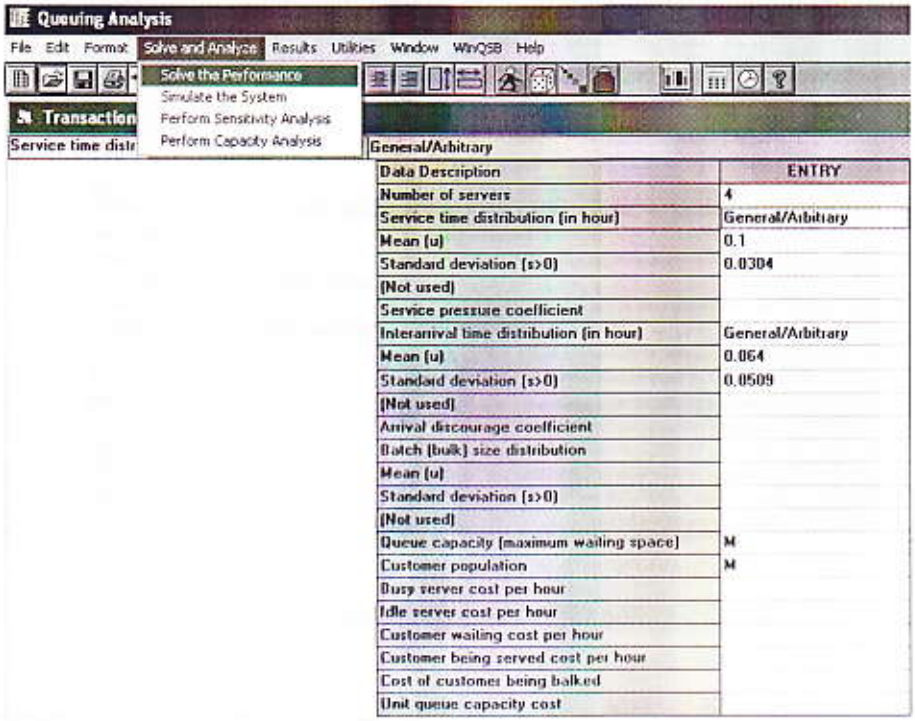
A continuación la documentación de figuras que explican el procedimiento de utilizar la aplicación *Queuing Analysis* de *QSB* con el modelo *G/G/s*.

9. Especificación del problema *G/G/s*



Fuente: elaboración propia.

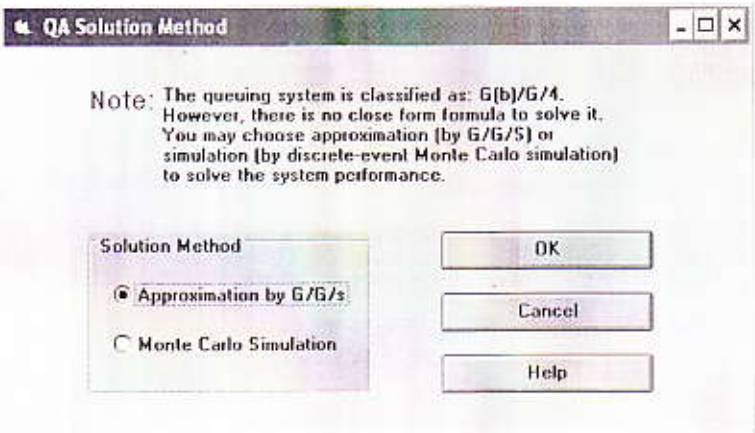
10. Ingreso de datos del sistema *G/G/s*



Data Description	ENTRY
Number of servers	4
Service time distribution (in hour)	General/Arbitrary
Mean (u)	0.1
Standard deviation (s>0)	0.0304
(Not used)	
Service pressure coefficient	
Interarrival time distribution (in hour)	General/Arbitrary
Mean (u)	0.064
Standard deviation (s>0)	0.0509
(Not used)	
Arrival discourage coefficient	
Batch (bulk) size distribution	
Mean (u)	
Standard deviation (s>0)	
(Not used)	
Queue capacity (maximum waiting space)	M
Customer population	M
Busy server cost per hour	
Idle server cost per hour	
Customer waiting cost per hour	
Customer being served cost per hour	
Cost of customer being balked	
Unit queue capacity cost	

Fuente: elaboración propia.

11. Método de solución *G/G/s*



Fuente: elaboración propia.

12. Soluciones de estado estable del sistema *G/G/s*

04-23-2011	Performance Measure	Result
1	System: G(b)/G/4	From Approximation
2	Customer arrival rate (lambda) per hour =	15.6250
3	Service rate per server (mu) per hour =	10.0000
4	Overall system effective arrival rate per hour =	15.6250
5	Overall system effective service rate per hour =	15.6250
6	Overall system utilization =	39.0625 %
7	Average number of customers in the system (L) =	1.5821
8	Average number of customers in the queue (Lq) =	0.0196
9	Average number of customers in the queue for a busy system (Lb) =	0.2324
10	Average time customer spends in the system (W) =	0.1013 hours
11	Average time customer spends in the queue (Wq) =	0.0013 hours
12	Average time customer spends in the queue for a busy system (Wb) =	0.0149 hours
13	The probability that all servers are idle (Po) =	20.7188 %
14	The probability an arriving customer waits (Pw) or system is busy (Pb) =	0.4440 %
15	Average number of customers being balked per hour =	0
16	Total cost of busy server per hour =	$0
17	Total cost of idle server per hour =	$0
18	Total cost of customer waiting per hour =	$0
19	Total cost of customer being served per hour =	$0
20	Total cost of customer being balked per hour =	$0
21	Total queue space cost per hour =	$0
22	Total system cost per hour =	$0

Fuente: elaboración propia.