



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

EL ESTUDIO DE COLAS EN EL PROCESAMIENTO DE DATOS DE
LIQUIDACIÓN DE VENTAS EN UNA FÁBRICA Y EMBOTELLADORA DE
BEBIDAS

Víctor Eduardo Gamas Velásquez
Asesorado por Inga. Miriam Patricia Rubio de Akú

Guatemala, octubre de 2003

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

EL ESTUDIO DE COLAS EN EL PROCESAMIENTO DE DATOS DE
LIQUIDACIÓN DE VENTAS EN UNA FÁBRICA Y EMBOTELLADORA DE
BEBIDAS

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

VÍCTOR EDUARDO GAMAS VELÁSQUEZ
ASESORADO POR INGA. MIRIAM PATRICIA RUBIO CONTRERAS DE AKÚ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO INDUSTRIAL

GUATEMALA SEPTIEMBRE DE 2003

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Marco Vinicio Monzón Arriola
EXAMINADOR	Ing. Alba Elena Baldelomar Rivera
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

EL ESTUDIO DE COLAS EN EL PROCESAMIENTO DE DATOS DE
LIQUIDACIÓN DE VENTAS EN UNA FÁBRICA Y EMBOTELLADORA DE
BEBIDAS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería mecánica Industrial con fecha 11 de julio de 2003.

Víctor Eduardo Gamas Velásquez

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	IV
GLOSARIO	V
RESUMEN	VII
OBJETIVOS	IX
INTRODUCCIÓN	X
1. GENERALIDADES	
1.1 Acerca de la empresa	1
1.1.1 Su misión y visión	1
1.1.2 Su filosofía	1
1.1.3 Diversificación de productos	2
1.1.4 Organigrama	2
1.2 Modelo de colas	3
1.2.1 Teoría de colas	3
1.2.2 Expresiones y definiciones estándar para las líneas de espera	4
1.2.2.1 Características de la población en busca del servicio	4
1.2.2.2 Características de las colas	5
1.2.2.3 Características del centro o facilidad de servicio	6
1.2.3 Estructura básica de una línea de espera	7
1.2.4 Análisis económico de líneas de espera	9
2. SITUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA DE COLAS ESTABLECIDO	
2.1 Análisis del proceso de liquidación	13
2.2 Estructura del modelo de cola establecido	13

2.3	Tasa de llegada (λ)	14
2.4	Tasa de servicio (μ)	15
2.4.1	Justificación del número de tiempos tomados	16
2.5	Capacidad del sistema	17
2.6	Modelo de colas establecido con 3 servidores sin límite en la capacidad del sistema y de la fuente (M/M/3):(GD/ α / α)	18
2.6.1	Medidas de desempeño	18
2.6.1.1	Liquidaciones esperadas en la cola (Lq)	19
2.6.1.2	Liquidaciones esperadas en el sistema (Ls)	20
2.6.1.3	Tiempo esperado en la cola (Wq)	20
2.6.1.4	Tiempo esperado en el sistema (Ws)	21
2.6.2	Factor de utilización	21
2.7	Costos del sistema de colas actual	22
2.8	Jornada de trabajo	23
3.	PROPUESTA DEL MODELO DE COLA	
3.1	Comportamiento del departamento, bajo patrones alternos de personal	25
3.1.1	Tasa de llegada	25
3.1.2	Tasa de servicio	26
3.1.3	Factor de utilización	26
3.1.4	Costo total	27
3.2	Características principales de la línea de espera	28
3.2.1	Número de servidores en paralelo	29
3.2.2	Disciplina de la cola	29
3.2.3	Número máximo de clientes admitidos en el sistema	29

3.2.4	Tamaño de la población con acceso	29
3.3	Tipo de modelo de colas por aplicar	30
4.	IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO DE COLA PROPUESTO	
4.1	Estructura del modelo de cola	31
4.2	Requerimientos del modelo de cola	31
4.2.1	Distribución del área física	32
4.2.2	Mobiliario y equipo	33
4.2.3	Recurso humano	33
4.2.4	Disponibilidad de apoyo del equipo operativo y administrativo	34
4.3	Medidas de desempeño del modelo de cola	35
4.3.1	Número esperado de liquidaciones en la cola (L_q)	35
4.3.2	Número esperado de liquidaciones en el sistema (L_s)	36
4.3.3	Tiempo estimado de espera en la cola (W_q)	36
4.3.4	Tiempo estimado de espera en el sistema (W_s)	37
5.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS	
5.1	El desequilibrio del servicio del estado actual	39
5.2	El cuello de botella durante el proceso de liquidación	39
5.3	Comparación entre situación actual y propuesta	42
	CONCLUSIONES	43
	RECOMENDACIONES	46
	BIBLIOGRAFÍA	47
	ANEXOS	48

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1 Organigrama Distribuidora La Nueva	2
2 Sistema de cola	7
3 Estructura básicas de una línea de espera	8
4 Modelos de costos	11
5 Estructura del modelo de cola actual	14
6 Estructura del modelo de cola propuesto	31
7 Diagrama del proceso de liquidación	41

TABLAS

I Tasa de llegada de liquidaciones por período	15
II Resumen de características de diferentes modelos de colas	30
III Resumen de parámetros de la situación actual y propuesta	42

GLOSARIO

Canal	Vía de acceso al servicio.
Característica	Cualidades para distinguir una línea de espera
Disciplina de cola	Sistema en que se define el orden del servicio a los clientes.
Estación de servicio	Es el centro que proporciona servicio a la línea de espera
Estructura de la línea de espera	Es el orden y distribución de las partes de una línea de espera.
Fase	Se refiere a cada una de las etapas de un proceso.
Línea de espera o cola	Es el grupo de llegadas en espera de servicio.
Liquidar	Hacer el ajuste formal de las ventas del día.

Modelo	Ejemplar o forma que uno sigue para el estudio de colas.
Población	Posibles clientes que ingresan al sistema por el servicio.
Ruta	Es la distribución del producto en un área específica.
Servidor	Es el medio, por el cual se proporciona el servicio al cliente.
Tasa de llegada	Es la frecuencia, con la cual ingresan liquidaciones al sistema.
Tasa de servicio	Es el ritmo de salida de las liquidaciones.

RESUMEN

La empresa distribuidora de bebidas de refrescos y de cervezas, más específicamente su Departamento de Prodatos encargado de las liquidaciones de las ventas del día, tiene la necesidad de hacer un estudio de colas en el procesamiento de los datos de las ventas, dado por la acumulación de papelería que se da dentro del departamento cada día, por lo que se llega a la necesidad de pagar horas extras a sus operarios, para terminar con la liquidación.

La demanda actual o la tasa de llegada que tiene el departamento es de 9 liquidaciones/hr, contra una capacidad o tasa de servicio combinada de 6 liquidaciones/hr, por lo que el sistema es incapaz de cubrir la demanda. Esto hace que el factor de utilización sea del 150%, lo que significa que el sistema permanece ocupado un 50% más de su capacidad.

Se identificó que en el Departamento de Prodatos se trabaja con un modelo de colas con 3 servidores, sin límite en la capacidad del sistema y de la fuente; este modelo se abrevia como $(M/M/3):(GD/\alpha/\alpha)$. Este modelo presenta las siguientes medidas de desempeño: 11 liquidaciones en cola en espera del servicio, 15 liquidaciones en el sistema; el tiempo que una liquidación hace cola es de 1hr. con 13 minutos y 1 hr. con 43 minutos dentro del sistema. Estas medidas son necesarias para diseñar un nuevo sistema, por lo que es importante su cálculo. El costo que le representa al departamento trabajar con este modelo es de Q 11,400.00/mes.

Con el objetivo de encontrar el modelo que aumente la tasa combinada de servicio, que minimice el costo total de operación y con un factor de utilización no más del 100%, se analizó el comportamiento del departamento bajo patrones alternos de personal, considerando un modelo con 4, 5 y 6 servidores.

Después del estudio, se llegó a la conclusión de que el modelo que satisface mejor las necesidades del departamento es el modelo de colas con 5 servidores, en donde la única diferencia con el actual es que se agregan 2 servidores más, por lo que se tiene un modelo $(M/M/5):(GD/\alpha/\alpha)$. En este nuevo modelo, se espera una tasa combinada de servicio de 10 liquidaciones/hr y un factor de utilización del 90 %. Entre sus medidas de desempeño, se esperan: 0.014 liquidaciones en cola, 4.52 liquidaciones en el sistema; el tiempo que una liquidación pasa en cola es de 5.76 seg. y de 30 minutos dentro del sistema. Para el departamento, este nuevo modelo le representa un costo total de Q 9,500.00/mes.

Como se puede ver al aplicar el nuevo modelo, se aumenta la tasa combinada de servicio, se disminuye el factor de utilización y se reducen considerablemente todas las medidas de desempeño, lo que al final se logra minimizar el costo total.

OBJETIVOS

GENERAL

Identificar el sistema de línea de espera en el procesamiento de datos de liquidación de ventas, y cuantificar sus parámetros que midan el desempeño del mismo.

ESPECÍFICOS

1. Conocer la situación actual del departamento respecto a la línea de espera que se forma, así como evaluar su capacidad de servicio.
2. Identificar el modelo de cola establecido y conocer sus medidas de desempeño.
3. Obtener los costos en que incurre el sistema de cola actual.
4. Conocer el comportamiento del departamento con variaciones de personal.
5. Proponer el sistema de colas que se adecue a la necesidad del departamento.
6. Identificar los requerimientos del modelo propuesto.
7. Comparar los parámetros del modelo de cola actual versus el propuesto.

INTRODUCCIÓN

Al hablar de teoría de colas, se recuerdan las innumerables ocasiones, en que se forma parte de una de ellas. En estos tiempos, es muy importante analizar y hacer estudios de líneas de espera, ya que es imposible poder hablar de la obtención de algún bien o servicio, sin que ella se acompañe de una línea de espera antes de recibir, comprar o adquirirlo. Por eso, es necesario poder balancear la capacidad de servicio con el tiempo que pasa un cliente en espera de éste, para minimizar el tiempo y poder atenderlo lo más pronto posible.

Para poder mejorar el servicio a los clientes, muchas veces se piensa en que se deben aumentar el número de servidores, aunque esto no siempre es la estrategia más económica. Actualmente este problema se maneja tratando de comprender las características de las líneas de espera, para encontrar la forma de mantener al cliente aguardando a ser atendido por un tiempo razonable.

La permanencia en una línea de espera implica un costo de oportunidad, en que el tiempo invertido en la misma puede ser utilizado en otras actividades más productivas. Por otro lado, es importante el costo que implica el aumento de número de servidores al creerlo necesario. Lo que se necesita es una solución aceptable, que tome en cuenta todos los factores del problema y determine la relación entre el número de clientes en el sistema, así como el número de servidores que resulte en un costo total más bajo.

Para el desarrollo del presente trabajo, se hará un estudio de colas en el Departamento de “Prodatos” de la empresa “Distribuidora la Nueva”, el cual es el encargado de la liquidación de las ventas del día, cuyo principal problema es la acumulación de papelería de liquidación, en espera de ser procesada por los operarios encargados de este trabajo; este proceso inicia desde la llegada de los vendedores de las diferentes rutas al departamento. Al referirse a clientes en el sistema, no necesariamente tienen que ser personas en espera de ser atendidas, ya que puede ser cualquier elemento que forme una cola y, por lo tanto, este ejemplo se da en el presente caso.

1. GENERALIDADES

1.1 Acerca de la empresa

Distribuidora La Nueva es una empresa que se encarga de la distribución de productos de bebidas de cerveza y refrescos de todas las líneas que produce “Cervecería Centroamericana”; como empresa pretende dar un buen servicio que satisfaga las expectativas del consumidor, y colocar el producto en el lugar y hora en que el cliente lo requiera.

Esta empresa se encuentra ubicada en la Calzada Roosevelt, km. 13.5 43.28 zona 7, y cubre las zonas que se encuentran dentro del perímetro que le corresponde.

1.1.1 Su Misión y Visión

La empresa tiene como misión “ser un equipo líder e innovador en la comercialización de bebidas de calidad, que está comprometida con la satisfacción de nuestros clientes y consumidores”.

Y como visión “seguir siendo líderes y sobrepasar las fronteras, hasta donde no han llegado nuestros productos, derrotar al enemigo, desarrollar clientes actuales y abrir clientes nuevos”.

1.1.2 Su filosofía

“Nuestro mayor orgullo es ser guatemaltecos; nos identificamos profundamente con los valores nacionales y todo lo que representa a

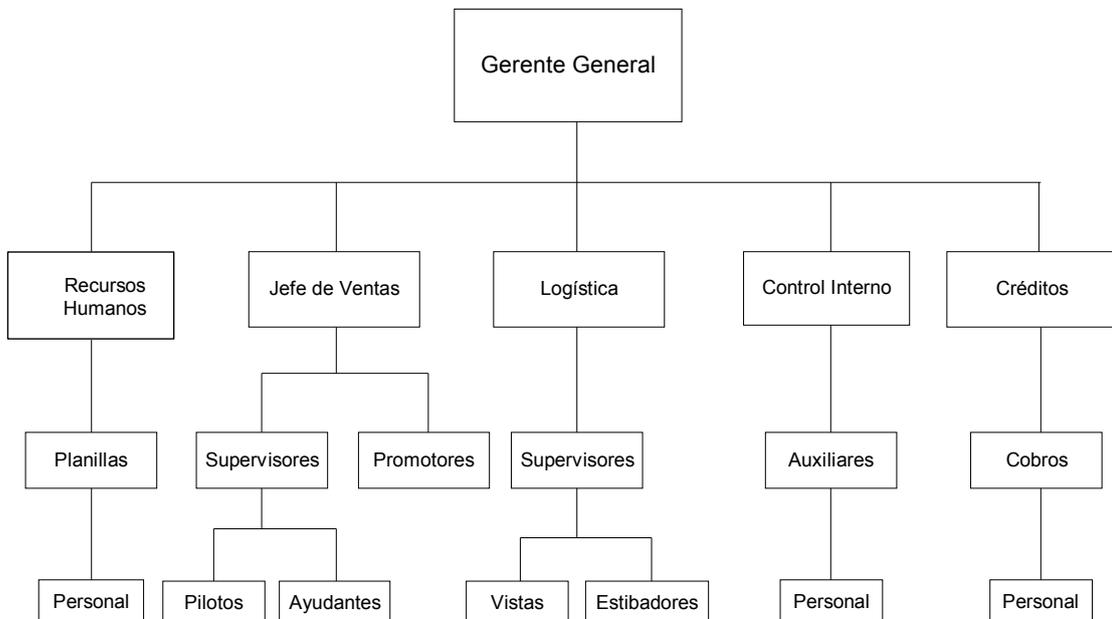
Guatemala. Nuestro desarrollo se ha basado en la calidad de nuestros productos y una firme creencia en nuestro país y nuestra gente; damos el ejemplo con nuestra orientación hacia los recursos humanos". Nadie puede decir con más orgullo: "Creemos, confiamos e invertimos en Guatemala".

1.1.3 Diversificación de productos

Entre los productos que se manejan en la Distribuidora la Nueva está toda la variedad que posee la Cervecería Centroamericana, como cervezas y refrescos en todas sus presentaciones; sus productos líder son: cerveza gallo y refrescos orange crush y tiky.

1.1.4 Organigrama

Figura 1. Organigrama Distribuidora la Nueva



1.2 Modelo de colas

1.2.1 Teoría de colas

La teoría de colas comprende el estudio matemático de las colas o líneas de espera. Por su puesto, la formación de líneas de espera es un fenómeno común, que se presenta siempre que la demanda actual de un servicio sea mayor que la capacidad actual para proporcionarlo.

Toda clase de negocio, industria, escuelas y hospitales, sean grandes o pequeños, tienen problemas de colas. Muchos de ellos se pueden beneficiar con un análisis de investigación de operaciones, para determinar las condiciones de costo mínimo y máximo rendimiento. Sin embargo, las suposiciones requeridas para utilizar matemáticas sencillas, frecuentemente convierten el modelo en una representación poco ajustada a la realidad; por eso es que se recurre a la utilización de la teoría de colas.

Las líneas de espera, conocidas como colas, ocurren cuando algún empleado, parte, máquina o unidad, debe esperar por servicio, debido a que la facilidad de servicio, que opera a capacidad, está temporalmente imposibilitada para prestar ese servicio.

La solución a los problemas de colas consiste en agilizar apropiadamente la tasa de servicio del proceso con la tasa de llegada de trabajos a realizar. En los negocios, se intenta alcanzar el tiempo medio, de manera que las colas sean lo suficientemente cortas para minimizar el tiempo de espera de los clientes.

Los clientes llegan a una cola y esperan hasta que se les proporcione el servicio. Si el sistema está vacío, el cliente que llega puede ser atendido inmediatamente. Después de que el servicio se completa, el cliente abandona el sistema.

1.2.2 Expresiones y definiciones estándar para las líneas de espera

Se trata con algún detalle las tres partes del sistema de colas: (1) la población en busca de servicio; (2) la cola o línea de espera misma; y (3) la facilidad o centro de servicio. Cada una de estas tres partes tiene características descritas en un lenguaje específico.

1.2.2.1 Características de la población en busca del servicio

Esta parte de un sistema de colas tiene tres características que se tratarán a continuación, así:

a) Tamaño de la población con acceso. La población con acceso puede ser finita o infinita. Ejemplo de poblaciones con acceso prácticamente infinitas incluyen carros que llegan a una caseta de peaje, pacientes que llegan a una sala de urgencias de un gran hospital, y 20,000 estudiantes haciendo cola el día de matriculación. Estas son en realidad poblaciones finitas, pero mucho muy grandes, y por conveniencia matemáticas las tratamos como infinitas. Cuando las poblaciones con acceso son infinitas, es mucho más fácil aplicar técnicas cuantitativas en su análisis. ¿Cómo diferenciar entre las poblaciones con acceso finitas o infinitas? Generalmente, si la probabilidad de una llegada es cambiada grandemente, cuando un miembro de la población con acceso está recibiendo servicio, consideramos que la población es finita.

b) Características de llegada de la población con acceso. Los miembros de la población con acceso llegan a la estación de servicio, en algún patrón organizado o en un orden aleatorio. Cuando las llegadas son aleatorias, se tiene que conocer la distribución de probabilidad que describe las llegadas, específicamente el tiempo entre llegadas. Los científicos de la administración han demostrado que las llegadas aleatorias son a menudo descritas mejor con la distribución de Poisson.

c) Conducta de la población con acceso. Las poblaciones con acceso y sus miembros individuales, tienen diferentes actitudes sobre “cómo encontrar a la línea”. La mayoría de nosotros rutinariamente seguimos de frente, si al llegar a una gasolinera vemos que la mayoría de las bombas están ocupadas (en la teoría de colas esto se conoce como rehusar), sin embargo, podemos esperar gustosamente en línea durante varias horas por boletos para un buen concierto de rock. Ya sea que lo acepte o no, la mayoría de los modelos de colas supone que la población con acceso tienen bastante paciencia y acepta esperar.

1.2.2.2 Características de las colas (Líneas de Espera)

Es práctica común describir las características de la cola en términos de la longitud máxima a la que la cola puede crecer. Esta longitud se clasifica como limitada o ilimitada. Las longitudes de colas limitada son generalmente causadas por la falta de espacio (en una noche muy fría, la línea de espera para un restaurante puede estar limitada al número de personas que pueden amontonarse en el vestíbulo), o por la actitud de los miembros de la población con acceso (algunas personas simplemente no les gusta esperar en líneas).

1.2.2.3 Características del centro o facilidad de servicio

Al examinar las características de la estación de servicio, interesan tres aspectos:

a) La distribución física del sistema de colas. La distribución física de un sistema de colas se describe en los términos del canal y de la fase. Un sistema de un solo canal tiene más de un estación de servicio en paralelo . La fase se refiere al número de servidores de quien tiene que recibir el servicio. En un sistema de una sola fase, usted recibe servicio de un persona, como cuando lleva a afinar su carro. Pero si estrelló su carro, se requieren los servicios (en orden) de un mecánico, un hojalatero y un alineador de defensas (todo en el mismo taller de reparaciones), entonces se está entrando en un sistema de multifase.

b) La disciplina de la cola. Aquí se refiere a cuál unidad de la población de servicio recibe el servicio. Se usan dos clasificaciones: *prioridad* y *primero en llegar, primero en recibir servicio*. La prioridad le permite al miembro de la población con acceso, a que interrumpa a los miembros que ya están recibiendo servicio.

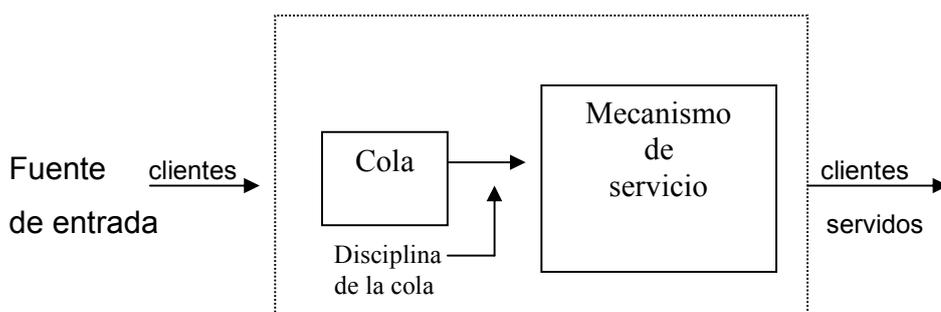
En la disciplina de cola, el primero en llegar, es el primero en recibir servicio; no asigna prioridades y sirve al miembro de la cola que llegó primero. Las combinaciones de estas disciplinas de cola son mucho muy evidentes. Considere la línea de servicio express en el supermercado para compradores con menos de cinco artículos: se opera con una disciplina de cola, de que el primero en llegar es el primero en recibir el servicio de una vez, que uno entra a la línea; sin embargo, esta línea express proporciona un canal de alta prioridad, para aquellos compradores con pocos artículos.

c) **La distribución de probabilidad apropiada para expresar tiempos de servicio.** Es posible que los tiempos de servicio sean constantes (cada miembro de la cola requiere el mismo tiempo para recibir el servicio) o aleatorios. Si los tiempos de servicio están distribuidos aleatoriamente, se tiene que encontrar la distribución de probabilidad que mejor describa su conducta. En muchos casos donde los tiempos de servicio son aleatorios, los científicos de la administración han encontrado que éstos se describen mejor por la distribución exponencialmente y las llegadas distribuidas en forma de Poisson.

1.2.3 Estructura básica de una línea de espera

El proceso básico, que se supone que existen en la mayor parte de los modelos de líneas de espera, es el siguiente: *clientes* que requieren servicio se generan en el tiempo, por medio de una *fuerza de entrada*. Estos clientes entran al *sistema de líneas de espera* y se unen a una cola. En diversos momentos, se selecciona a uno de los clientes formados para darle servicio, mediante la regla conocida como *disciplina de la cola* (o *disciplina en el servicio*). Entonces, se proporciona al cliente el servicio requerido, por medio del *mecanismo del servicio*, después de lo cual este cliente sale del sistema. En la siguiente figura, se muestra un esquema de este proceso.

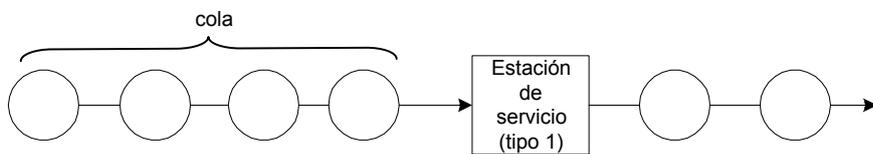
Figura 2. Sistema de cola



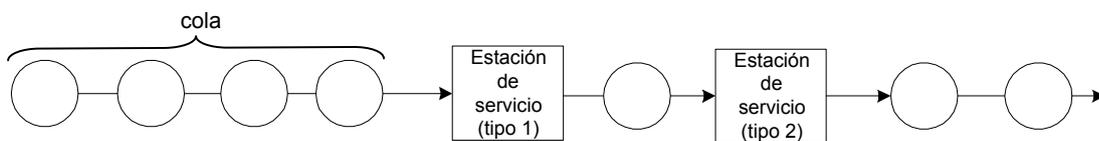
Hay cuatro estructuras básicas de línea de espera, que definen las condiciones generales en la instalación de servicio:

Figura 3. Estructuras básicas de una línea de espera

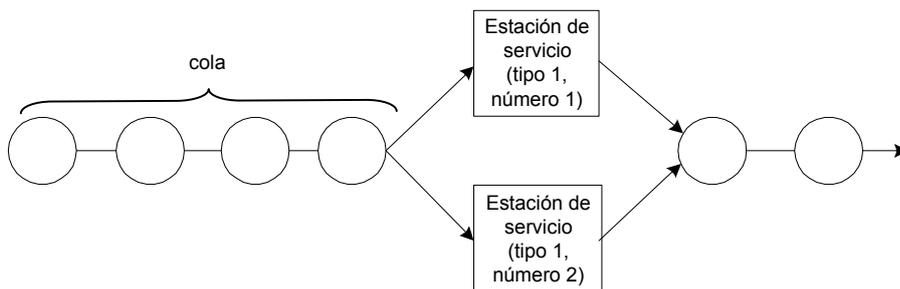
Un solo canal, una sola fase



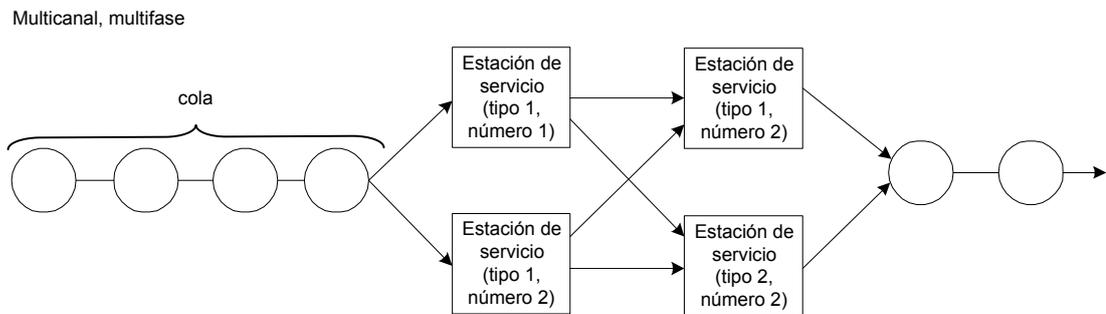
Un solo canal, multifase



Multicanal, una sola fase



Continuación



1.2.4 Análisis económico de líneas de espera

Un sistema de colas puede dividirse en sus dos componentes de mayor importancia, la cola y el mecanismo de servicio (véase figura 1). Ambos componentes del sistema tienen costos asociados que deben considerarse.

a) Costo de espera. Esperar es inútil, es desperdicio. Significa que algún recurso está inactivo, cuando podría usarse en una forma más productiva (o agradable) en otra parte. De hecho, representa un costo de oportunidad; la productividad disminuye y es dinero que no puede recuperarse. Este tipo de costo refleja el punto de vista del cliente.

Existe una forma de calcular los costos intangibles del tiempo de espera. Una es pedir a personas con conocimientos, que estimen el valor promedio del tiempo de los clientes, y después, suponiendo linealidad, se utiliza la siguiente fórmula:

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

Donde:

C_w = Costo de espera por cliente por unidad de tiempo

L = Longitud promedio en la línea

b) Costo de servicio. Determinar el costo de servicio es más sencillo, en concepto, que determinar el costo de espera. En la mayoría de las aplicaciones, se tratará de comparar varias instalaciones de servicio: Por ejemplo dos cajeros de banco contra tres; tres operadores contra cuatro, etc; en estos casos, solamente se necesitan los costos comparativos o diferenciales. Casi siempre los datos necesarios son evidentes para una situación dada. Este tipo de costo refleja el punto de vista del servidor.

Existe también una manera de calcular este costo, por medio de la siguiente fórmula:

Costo total de servicio = $C_s * K$

Donde:

C_s = costo del servicio por período para cada canal

K = número de canales

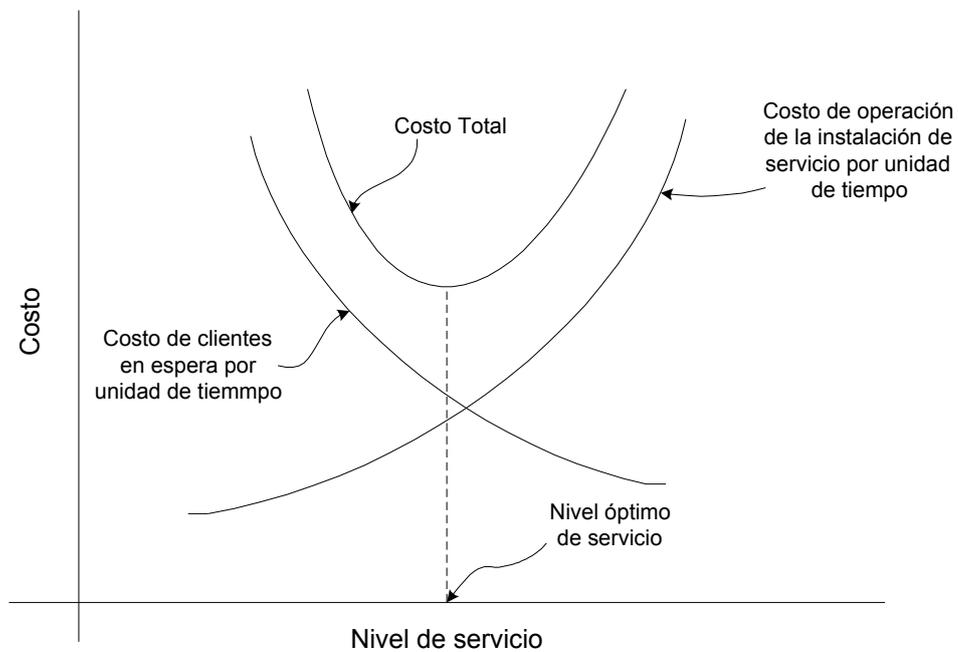
Se puede definir entonces el costo total, como la suma del costo total de espera y el costo total de servicio:

$CT = C_w * L + C_s * K$

c) Sistema de costo mínimo. Desde un punto de vista global, se requiere el sistema que, comparado con los demás, tiene el costo total más pequeño, incluyendo el costo de servicio y el costo de espera. Esto se muestra en la siguiente figura. Para tasas bajas de servicio, se experimentan largas colas y

costos de espera muy altos. Conforme aumenta el servicio, hay un ahorro sustancial en el costo de espera, aunque los costos de servicio aumenten, ya que el costo total del sistema disminuye. Sin embargo, finalmente se llega a un punto de disminución en el rendimiento. Más allá del punto de costo mínimo, el aumento en el servicio cuesta más que los ahorros consecuentes en el costo de espera. Entonces el objetivo es encontrar el *sistema de costo mínimo*.

Figura 4. Modelos de Costo



2. SITUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA DE COLAS ESTABLECIDO

2.1 Análisis del proceso de liquidación

Para hacer el ajuste formal de la cuenta de ventas, el Departamento de Prodatos se encarga de todo el proceso que lleva liquidar las ventas de cada día de todas las rutas, que le corresponde a la empresa. Este proceso empieza con la llegada de los vendedores al departamento, después de distribuir el producto a todos sus clientes, dejando la papelería correspondiente para poder hacer los ajustes necesarios.

En sí, el proceso es llevado a cabo por los operarios encargados de este trabajo y por medio de operaciones; a través de un computador o terminal realizan la liquidación correspondiente del día, cuyo trabajo es más interno al Departamento de Cómputo.

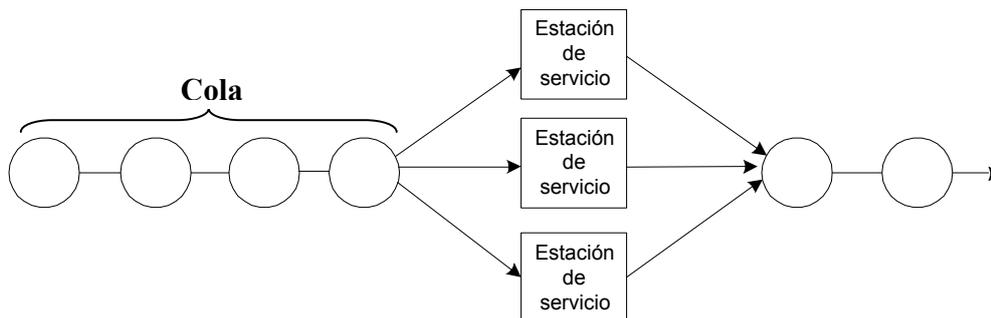
El proceso básico empieza en el momento en que los clientes (papelería para liquidar) llegan y se unen a la cola y son seleccionados conforme van llegando, es decir, que el primero en llegar es el primero en ser atendido, para luego proporcionar el servicio (liquidación).

2.2 Estructura del modelo de cola establecido

El esquema que sigue este proceso consta de una sola cola, 3 estaciones de servicio (ó canales) y una sola fase. Las estaciones de servicio se compone

de 1 operario y un computador o terminal; esto se puede ver mejor en la siguiente figura:

Figura 5. Estructura del modelo de cola actual



2.3 Tasa de Llegada (λ)

Es la velocidad de llegada de liquidaciones (papelería) por unidad de tiempo. Para el cálculo de esta tasa, se observó la línea de espera durante una semana en el período de 18:00 a 20:00 hrs, que es el período en que el sistema se mantiene más ocupado o en las horas pico. Se registraron los datos pertinentes con la ayuda de la hoja de registro, que los vendedores llenan al momento de llegar con la papelería y se contó el número de llegadas durante ese período (ver anexo 1).

Teniendo la información necesaria, se saca el promedio para poder obtener un dato representativo, y así se obtiene el número de llegadas en una hora, que es la unidad de tiempo para trabajar. A continuación, se presenta, en una tabla, el resumen de las liquidaciones que llegan en el período mencionado por día.

Tabla I. Tasa de llegada de liquidaciones por período

Semana del 26 al 31 de Mayo / 2003 Período: 18:00 --- 20:00 hrs.	
Día	$\lambda/2\text{hrs.}$
Lunes	15
Martes	19
Miércoles	18
Jueves	19
Viernes	20
Sábado	17

Cálculo:

Promedio = $18 / 2\text{hrs.}$

Obteniendo así una $\lambda = 9 / \text{hr.}$, o sea 9 liquidaciones llegan en una hora.

2.4 Tasa de servicio

Es la tasa de velocidad de servicio, es decir el número de liquidaciones hechas por unidad de tiempo. La recolección de este otro parámetro, se basó en el uso de un cronómetro y una hoja de registro de los tiempos tomados (ver anexo 2). Se tomaron tiempos con los 3 operarios, desde el momento en que toman la papelería hasta que mandan la liquidación, sacando al final el promedio correspondiente, que va hacer representativo para los tres operarios.

Cálculo:

Promedio de servicio= 24.56 minutos por liquidación

24.56 minutos ----- 1 liquidación

60 minutos ----- x

x = 2.44

Entonces

$\mu = 2$ /hr por servidor.

Con una tasa combinada de salida de $2 * 3$ operarios = 6 liquidaciones son hechas en una hora.

2.4.1 Justificación del número de tiempos tomados

El número de datos de los tiempos de servicio tomados es cuestión de criterio del analista, pero para estar más seguros que estos datos van a dar información bastante representativa, nos basamos en técnicas estadísticas.

El cálculo de la varianza es una técnica estadística que se utiliza para medir la variabilidad de los datos o muestra, y cuanto más grande es la varianza en relación con los datos, mayor es la variabilidad entre ellos, y el tamaño de la muestra no es representativa.

Cálculo de la varianza:

Fórmula

$$S^2 = \frac{\sum_{i=0}^n x^2 - n\bar{x}^2}{n - 1}$$

Donde

X = representa c/u de los datos

\bar{x}^2 = media de la muestra

n = total de datos

Sustituyendo

$$\sum_{i=0}^n x^2 = 17612.3673$$

$$x = 24.567$$

$$n = 26 \text{ datos}$$

$$S^2 = \frac{17612.37 - 26(24.567)^2}{26 - 1}$$

$$S^2 = 76.80$$

Como se puede ver, el resultado de la varianza no es demasiado grande, en comparación con los datos de la muestra de los tiempos de servicio, por lo que el tamaño de la muestra es representativa para efectos de cálculos.

2.5 Capacidad del sistema

La formación de líneas de espera es, por supuesto, un fenómeno común que ocurre siempre que la demanda actual de un servicio excede a la capacidad actual de proporcionarlo.

Como se puede ver, la demanda que tiene el departamento actualmente es de 9 liquidaciones/hr, y el servicio que presta es de 6 liquidaciones/hr, por lo cual el sistema es incapaz de cubrir la demanda que es mayor que el servicio prestado.

2.6 Modelo de colas establecido con 3 servidores sin límite en la capacidad del sistema y de la fuente (M/M/3):(GD/α/α).

Actualmente este es el modelo que están trabajando en el departamento, y para la comprensión de las características principales se tiene la siguiente nomenclatura:

Modelo (M/M/3):(GD/α/α) = (a/b/c):(d/e/f)

donde

a y b : representa las tasa de llegada y de servicio y se toman como tasas constantes.

c: es el número de servidores en paralelo.

d: es la disciplina de servicio, o la disciplina general.

e: es el número máximo de liquidaciones permitidas en el sistema (en cola + en servicio).

f: es el tamaño de la fuente, que para poder aplicar algún modelo establecido, se toma como infinita.

2.6.1 Medidas de desempeño

Estas medidas de desempeño se pueden usar para analizar la operación de las líneas de espera, con el fin de hacer recomendaciones sobre el diseño del sistema. Entre las principales medidas de desempeño, se cuentan: el número estimado de liquidaciones en la cola, el número esperado de liquidaciones en el sistema, el tiempo estimado de espera en la cola y el tiempo estimado de espera en el sistema.

2.6.1.1 Liquidaciones esperadas en la cola (Lq)

Fórmula

$$Lq = \frac{P_0 (\lambda / \mu)^k (\lambda / \mu k)}{k! (1 - \lambda / \mu k)^2}$$

Donde

P_0 = probabilidad de que el sistema esté vacío

λ = tasa de llegada

μ = tasa de servicio

k = número de servidores

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

Sustituyendo:

$\lambda = 9$ liq/hr

$\mu = 2$ liq/hr

$k = 3$ servidores

$$P_0 = \frac{1}{\left[\sum_{n=0}^2 \frac{(9/2)^n}{n!} + \frac{(9/2)^3}{3!} * \frac{1}{1 - (9/2*3)} \right]}$$

$P_0 = 0.121 * 100 = 12.1$ % de probabilidad que el sistema esté vacío

Entonces

$$Lq = \frac{-0.121(9/2)^3(9/2*3)}{3!(1-9/2*3)} = -11.02 \text{ liquidaciones}$$

El número negativo se debe a que la tasa de llegada es más grande que la tasa de servicio, lo que hace que no haya un equilibrio o estabilidad entre llegada y servicio. Pero para efectos de cálculos matemáticos, $Lq = 11$ liquidaciones que están en cola.

2.6.1.2 Liquidaciones esperadas en el sistema (Ls)

Fórmula

$$Ls = Lq + \lambda/\mu$$

Sustituyendo:

$$\lambda = 9 \text{ liq/hr}$$

$$\mu = 2 \text{ liq/hr}$$

$$Lq = 11 \text{ liquidaciones}$$

$$Ls = 11 + 9/2 = 15.5$$

$$Ls = 15 \text{ liquidaciones}$$

El total de liquidaciones en el sistema incluye las que están en cola, como las que están recibiendo el servicio, que da el total de 15.

2.6.1.3 Tiempo esperado en la cola (Wq)

Fórmula

$$Wq = Lq / \lambda$$

Sustituyendo:

$$Lq = 11 \text{ liq.}$$

$$\lambda = 9 \text{ liq.}$$

$$Wq = 11 / 9 = 1.22 \text{ hr}$$

$$Wq = 1 \text{ hr y } 13 \text{ minutos.}$$

Esto indica que una liquidación pasa en espera o cola 1hr con 13 minutos.

2.6.1.4 Tiempo esperado en el sistema (Ws)

Fórmula

$$Ws = Wq + 1/\mu$$

Sustituyendo:

$$\mu = 2 \text{ liq/hr}$$

$$Wq = 1.22 \text{ hr}$$

$$Ws = 1.22 + 1/2 = 1.72 \text{ hr.}$$

El tiempo, en que una liquidación pasa haciendo cola como en servicio, es de 1 hr con 43 minutos.

2.6.2 Factor de utilización (ρ)

Es el porcentaje de tiempo en que el sistema permanece ocupado.

Fórmula

$$\rho = \frac{\lambda}{k * \mu}$$

Sustituyendo:

$$\lambda = 9 \text{ liq/hr}$$

$$\mu = 2 \text{ liq/hr}$$

$$K = 3 \text{ servidores}$$

$$\rho = \frac{9}{3 * 2} = 1.5 * 100 = 150 \%$$

El porcentaje de tiempo que el sistema permanece ocupado es de 150 %, lo que indica claramente que el sistema no es capaz.

2.7 Costos del sistema de colas actual

El presente análisis se realizó con base en el diseño de colas ya establecido; por restricción por parte de la empresa, aparecen costos aproximados y no detallados a los reales que se calcularon e investigaron.

a) Costo de espera

Este es un costo difícil de calcular, ya que determina el costo por unidad de tiempo que la unidad espera ser atendida.

Este costo se estimó como las consecuencias que trae al tener una cola, y que estos elementos (liquidaciones) no sean atendidas pronto. Estos costos incluyen, el pago de horas extras de casi todos los días de los operarios, así como el taxi que se le paga para ir a dejarlos a su casa.

$C_{espera} = (\text{costo por horas extras} + \text{costo por taxi}) * \text{Número de operarios}$

$C_{espera} = (\text{Hrs. extras/mes por operario} * \text{costo/hr extra} + \text{total de días con hrs extras} * \text{costo de taxi}) * \text{Número de operarios}$

$C_{espera} = (50 \text{ hrs/mes} * \text{Q}20.00/\text{hr extra} + 15 \text{ días/mes} * \text{Q}60.00) * 3 \text{ operarios}$

Total $C_{espera} = \text{Q}5700.00 / \text{mes}$

b) Costo de servicio

Para este cálculo, se deben incluir todos los costos vinculados con el servicio de liquidación; para este caso, se incluyen los costos variables por servidor (energía eléctrica, teléfono y agua pura), costos fijos (salarios de los operarios, gaseosas, papelería, etc). El salario por operario es de Q1200.00/mes

$C_{servicio} = (\text{Costos variables} + \text{costos fijos}) * \text{número de servidores}$

$C_{servicio} = (\text{Q}400.00/\text{mes} + \text{Q}1500.00/\text{mes}) * 3 \text{ servidores}$

Total $C_{servicio} = \text{Q}5700.00/\text{mes}$

COSTO TOTAL = COSTO DE ESPERA + COSTO DE SERVICIO

COSTO TOTAL = Q5700.00/MES + Q5700.00/MES

COSTO TOTAL = Q11400.00/MES

2.8 Jornada de trabajo

En el Departamento de Prodatos se trabaja con una jornada Mixta de 16:00 a 23:00 hrs de lunes a viernes, ya que es el período de tiempo donde los vendedores llegan al departamento después de un día de trabajo, y dejan la papelería para su liquidación.

3. PROPUESTA DEL MODELO DE COLA

3.1 Comportamiento del departamento bajo patrones alternos de personal

Muchas veces, el análisis económico del costo de las líneas de espera se realiza con base en el diseño ya establecido; lo recomendable, para no descuidar la relación de costo del sistema, es analizar varias opciones de diseño que satisfagan las metas subjetivas de “atención al cliente” y que mantengan una rentabilidad satisfactoria, según los criterios administrativos del establecimiento (minimizando costos).

Aparte de minimizar el costo del sistema, también es muy importante conjugar algunos factores que van a indicar el mejor sistema de colas, y entre los cuales están: tasa de llegada, tasa de servicio y el factor de utilización.

A continuación, se presentan varias opciones que presentan resultados diferentes, que junto con las características del modelo, se tomará la decisión del modelo por proponer.

3.1.1 Tasa de llegada

La tasa de llegada no resulta afectada por ningún sistema de cola, porque no depende de otros factores para calcularla; depende únicamente de la fuente de llegada y ésta sigue siendo la misma.

Entonces tenemos que $\lambda = 9 / \text{hr}$, como se había calculado.

3.1.2 Tasa de servicio

Se hacen los cálculos con base en que el operario extra está debidamente adiestrado y capacitado para trabajar en el departamento; por esa razón, la tasa de servicio igual a $\mu = 2 / \text{hr}$ es la misma para cualquier modelo.

Lo único que va a ir cambiando es la tasa combinada de salida del departamento; que es de $2*3$ operarios = 6 liquidaciones/hr.

Con 4 servidores:

Tasa combinada de salidas del departamento de $2*4$ operarios = 8 liq /hr.

Con 5 servidores:

Tasa combinada de salidas $2*5$ operarios = 10 liquidaciones/hr

Con 6 servidores:

Tasa combinada de salidas $2*6$ operarios = 12 liquidaciones/hr

3.1.3 Factor de utilización

Con 4 servidores:

$\rho_4 = \lambda / k*\mu$, con un $\lambda = 9 \text{ liq/hr}$, $\mu = 2 \text{ liq/hr}$ y $K = 4$ servidores
 $\rho_4 = 9 / 4*2 = 1.125 * 100 = 112.5 \%$

Con 5 servidores:

$\rho_5 = \lambda / k*\mu$, con un $\lambda = 9 \text{ liq/hr}$, $\mu = 2 \text{ liq/hr}$ y $K = 5$ servidores
 $\rho_5 = 9 / 5*2 = 0.9 * 100 = 90 \%$

Con 6 servidores:

$$\rho_6 = \lambda / k * \mu, \text{ con un } \lambda = 9 \text{ liq/hr, } \mu = 2 \text{ liq/hr y } K = 6 \text{ servidores}$$
$$\rho_6 = 9 / 6 * 2 = 0.75 * 100 = 75 \%$$

3.1.4 Costo total

Se calcula de la misma manera en que se trabajó, sólo que con algunos cambios debido al aumento de los servidores.

Según el modelo actual $\rho_3 = 150 \%$, lo que indica que el sistema está ocupado 50% más de su capacidad, que lleva a un total de 50 hrs extras/mes/operario distribuidas aproximadamente en 15 días/mes. Entonces al aumentar un operario más, es necesario sacar la proporción necesaria para calcular el total de hrs extras/mes/operarios, y el total de días que se trabajan con horas extras, para calcular el costo de espera de c/u de los sistemas.

Con 4 servidores

Tenemos que $\rho_4 = 112.5 \%$, existe un 12.5 más de su capacidad.

Si con 50 % ----- 50 hrs. extras/mes/operario

12.5 % ----- x

x = 13 extras/mes/operario distribuidas aproximadamente en 4 días/mes.

$$C_{\text{espera}} = (13 \text{ hrs/mes/operario} * Q20.00/\text{hr extra} + 4 \text{ días/mes} * Q60.00) * 4$$

operarios

$$\text{Total } C_{\text{espera}} = Q2000.00 / \text{mes}$$

$$C_{\text{servicio}} = (Q400.00/\text{mes} + Q1500.00/\text{mes}) * 4 \text{ servidores}$$

$$\text{Total } C_{\text{servicio}} = Q7600.00/\text{mes}$$

$$\text{COSTO TOTAL} = Q9600.00/\text{MES}$$

Con 5 servidores

Tenemos que $\rho_5 = 90 \%$. En este caso, no existe un exceso en su capacidad, lo que indica que el sistema es capaz y no son necesarias las horas extras.

$$C_{\text{espera}} = 0$$

$$C_{\text{servicio}} = (Q400.00/\text{mes} + Q1,500.00/\text{mes}) * 5 \text{ servidores}$$

$$\text{Total } C_{\text{servicio}} = Q 9,500.00/\text{mes}$$

$$\text{COSTO TOTAL} = Q 9,500.00/\text{MES}$$

Con 6 servidores

Tenemos que $\rho_6 = 75 \%$. En este caso, tampoco existe un exceso en su capacidad y también no son necesarias horas extras.

$$C_{\text{espera}} = 0$$

$$C_{\text{servicio}} = (Q400.00/\text{mes} + Q1,500.00/\text{mes}) * 6 \text{ servidores}$$

$$\text{Total } C_{\text{servicio}} = Q 11,400.00/\text{mes}$$

$$\text{COSTO TOTAL} = Q 11,400/\text{MES}$$

3.2 Características principales de la línea de espera

Antes de implementar un sistema de cola, también es necesario conocer antes sus características principales, que junto con el costo total y los factores mencionados, se llega a la conclusión del modelo que más conviene a aplicar.

La tasa de llegada, igual a $\lambda = 9$ liq/hr y la tasa de servicio igual a $\mu = 2$ liq/hr, siguen siendo las mismas por las razones ya explicadas; por eso no se detallan a continuación.

3.2.1 Número de servidores en paralelo

Es el número de servidores del sistema. Según el costo total más bajo, es igual a $c = 5$ servidores en paralelo, con el fin de aumentar la tasa de servicio que es el fin primordial.

3.2.2 Disciplina de servicio

Es la disciplina de servicio. Para evitar problemas con los vendedores, el servicio se va a dar conforme va llegando la papelería, es decir, el primero en llegar es el primero en ser atendido. Se representa por "GD".

3.2.3 Número máximo de clientes admitidos en el sistema

Es el número máximo de liquidaciones en el sistema. Para esta característica, no existe ninguna restricción porque existe el espacio suficiente para almacenar papelería en espera. Se representa por α .

3.2.3 Tamaño de la población con acceso

Es el tamaño de la población o fuente de llegada. Para poder aplicar un modelo de cola, se supone que la fuente es infinita. Se representa por α .

3.3 Tipo de modelo de colas a aplicar

La decisión de las líneas de espera frecuentemente es en forma subjetiva; el gerente decide cuál es el tiempo de espera en línea adecuado para su servicio, según sea sus metas y con base en éste se coloca uno o varios canales para el despacho del servicio. Con la ayuda de un estudio de colas, esto se vuelve más fácil, pues podrá ver varios sistemas y decidir cuál le conviene más, como se puede ver en la tabla siguiente:

Tabla II Resumen de características de diferentes modelos de colas

Diferentes modelos de colas				
con $\lambda = 9$ liq/hr y $\mu = 2$ liq/hr				
Características	Actual	4 servidores	5 servidores	6 servidores
Tasa combinada de salidas (μ)	6 Liq./hr	8 Liq./hr	10 Liq./hr	12 Liq./hr
Factor de utilización (ρ)	150.0%	112.5%	90.0%	75.0%
Costo Total (Q)	11,400.00/mes	9600.00/mes	9500.00/mes	11400.00/mes

El objetivo principal es aumentar la tasa de servicio que minimice el costo total de operación, y a la vez para que el sistema no permanezca mucho tiempo desocupado. Como se puede ver, el modelo que aplica a todas estas características es el de 5 servidores.

Entonces el modelo de colas a aplicar queda así:

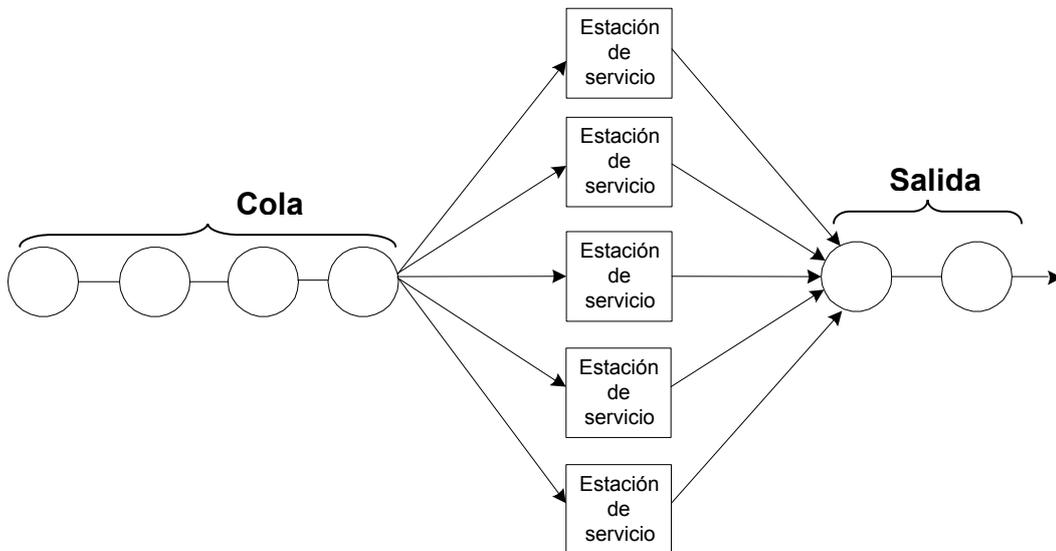
(M/M/5):(GD/ α / α). Modelo de colas con 5 servidores, sin límite, en la capacidad del sistema y de la fuente.

4. IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO DE COLA PROPUESTO

4.1 Estructura del modelo de cola

La estructura del modelo de cola que sigue, según la conclusión tomada anteriormente, se ve a continuación en la figura.

Figura 6. Estructura del modelo de cola propuesto



4.2 Requerimientos del modelo de cola

El objetivo principal de este trabajo es hacer que un modelo de cola sea funcional y proporcione un buen servicio cómodo y rápido dentro del departamento.

Para poder llegar a desarrollar un nuevo modelo de cola, se deben tomar en cuenta las siguientes condiciones: la distribución del área física, el mobiliario y equipo, la disponibilidad del recurso humano y el apoyo del equipo operativo y administrativo.

4.2.1 Distribución del área física

Al pensar en agregar 2 servidores más al Departamento de Prodatos, es importante contar con el espacio suficiente, para que todo el equipo de operarios trabajen de una manera ordenada y eficiente.

El espacio físico del departamento puede adecuarse para desarrollar los cambios. En el anexo 3, se puede observar la forma en que están distribuidas cada estación de servicio, así como la forma y ubicación de la actual línea de espera.

Al ver el plano, se puede ver que existen 2 ventanillas cerradas, en las cuales no se está trabajando y que se pueden utilizar en el momento de implementar el nuevo sistema de colas. Según el jefe de prodatos, el departamento fue diseñado sin un estudio previo de colas, como para calcular el número de ventanillas necesarias, y después se acomodaron como están actualmente.

En el instante en que los vendedores llegan al departamento, dejan la papelería en la estación 2; en esa estación, se forma la cola y los operarios de las estaciones 1 y 3 caminan hacia la estación 2, toman la liquidación que está hasta abajo, y regresan a sus lugares para hacer las operaciones respectivas.

4.2.2 Mobiliario y equipo

El mobiliario y equipo es un recurso necesario en el momento de implementar o habilitar las dos ventanillas, por lo que en cada estación de trabajo se tiene:

- Una computadora
- Repisas para colocar liquidaciones pendientes y terminadas.
- Una sumadora
- Una engrapadora
- Un saca grapas
- Una silla, etc.

Entonces es importante que en el momento de habilitar las nuevas estaciones de trabajo, se tenga preparado todo este equipo y mobiliario para que los operarios puedan realizar todas las operaciones que le serán asignadas.

Además de contar con el equipo de trabajo, también es necesario chequear el mobiliario que se encuentra en estado de deterioro, lo cual resta presentación al departamento y comodidad a los operarios, como por ejemplo, algunas repisas oxidadas, sillas que no prestan buen funcionamiento, etc.

4.2.3 Recurso humano

Este es un recurso muy importante, porque sin ellos una empresa no podría funcionar o simplemente no existiría, por lo que es necesario escoger a las personas idóneas para el puesto que le será asignado.

El trabajo dentro del departamento es prácticamente de operaciones en una terminal, y es necesario que el operario tenga conocimientos aceptables de computación, para que en el momento de capacitarlo no lleve mucho trabajo y

no se pierda mucho tiempo en esta etapa. Además para que en el momento de incorporarlo al departamento, éste se sienta cómodo y en su ambiente.

Las relaciones humanas es otro factor que se debe de tomar en cuenta para el operario, porque va a convivir con varias personas, y si todo el personal trabaja como un equipo, el departamento dará un mejor servicio.

2.6 Disponibilidad de apoyo del equipo operativo y administrativo

El apoyo del equipo operativo es muy importante porque deben de tener una actitud positiva al cambio, al aceptar y apoyar a los nuevos operarios. Los operarios, que llevan tiempo trabajando en el departamento, tienen la experiencia suficiente para orientar a los nuevos integrantes, sobre algunas dudas que surjan en los primeros días.

Entonces sería conveniente reunir a todo el personal y hacerles conciencia sobre el apoyo mutuo, y los efectos positivos que proporciona al departamento y a la empresa en general.

También la actitud positiva por parte del jefe del departamento y gerente general es muy valioso; además el hecho de contar con los recursos económicos para poder efectuar el cambio recomendado, al agregar 2 estaciones de trabajo más.

4.3 Medidas de desempeño del modelo de cola

Estas medidas de desempeño entran como parte del diseño de cola propuesto; al analizarlas, se puede ver el comportamiento del modelo dentro del departamento.

4.3.1 Liquidaciones esperadas en la cola (Lq)

Fórmula

$$Lq = \frac{P_0 (\lambda / \mu)^k (\lambda / \mu k)}{k! (1 - \lambda / \mu k)^2}$$

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

Sustituyendo:

$$\lambda = 9 \text{ liq/hr}$$

$$\mu = 2 \text{ liq/hr}$$

$$k = 5 \text{ servidores}$$

$$P_0 = \frac{1}{\left[\sum_{n=0}^2 \frac{(9/2)^n}{n!} + \frac{(9/2)^5}{5!} * \frac{1}{1 - (9/2*5)} \right]}$$

$$P_0 = 0.0305 * 100 = 3.05 \% \text{ de probabilidad que el sistema esté vacío}$$

Entonces para Lq, se tiene que $\mu = 10$ liq/hr, por que existen cambios en el número de servidores y se tienen que tomar en cuenta también los cambios en la tasa de servicio, por lo que se toma la tasa combinada de salida.

$$Lq = \frac{0.0305(9/10)^5(0.9)}{5! (1 - 0.9)^2} = 0.014 \text{ liquidaciones}$$

4.3.2 Liquidaciones esperadas en el sistema (Ls)

Fórmula

$$L_s = L_q + \lambda/\mu$$

Sustituyendo:

$$\lambda = 9 \text{ liq/hr}$$

$$\mu = 2 \text{ liq/hr}$$

$$L_q = 0.014 \text{ liquidaciones}$$

$$L_s = 0.014 + 9/2 = 4.52$$

$$L_s = 4.52 \text{ liquidaciones}$$

El total de liquidaciones en el sistema incluye tanto las que están en cola como las que están recibiendo el servicio, lo que da un total de 4.52.

4.3.3 Tiempo esperado en la cola (Wq)

Fórmula

$$W_q = L_q / \lambda$$

Sustituyendo:

$$L_q = 0.014 \text{ liq.}$$

$$\lambda = 9 \text{ liq.}$$

$$W_q = 0.014 / 9 = 0.0016 \text{ hr} * 60 * 60$$

$$W_q = 5.76 \text{ seg.}$$

Esto indica que una liquidación pasa en espera o cola 5.76 seg.

4.3.4 Tiempo esperado en el sistema (W_s)

Fórmula

$$W_s = W_q + 1/\mu$$

Sustituyendo:

$$\mu = 2 \text{ liq/hr}$$

$$W_q = 0.0016 \text{ hr}$$

$$W_s = 0.0016 + 1/2 = 0.5016 \text{ hr}$$

El tiempo que una liquidación pasa, tanto haciendo cola como en servicio, es de 30 minutos.

5. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS

5.1 El desequilibrio del servicio del estado actual

Distribuidora La Nueva es una empresa que viene desarrollando actividades de distribución de bebidas desde hace años; como empresa en desarrollo, ha crecido al ampliar sus rutas de distribución con el tiempo. Esto permite a que existan más vendedores que llegan al departamento para hacer la respectiva liquidación de sus ventas.

Desde hace tiempo, se ha venido trabajando con el personal que se encuentra actualmente, sin que haya ningún crecimiento dentro del departamento respecto al servicio, por lo que cada vez se ha tenido la necesidad del pago de horas extras a los operarios, con el fin de terminar las liquidaciones de las ventas del día.

Este desequilibrio se refleja en la presente situación, en donde la demanda de liquidaciones es de 9liq/hr y la tasa de servicio combinada es de 6 liq/hr, por lo que es importante aumentar la tasa de servicio para cubrir esta demanda y prestar un mejor servicio.

5.2 El cuello de botella durante el proceso de liquidación

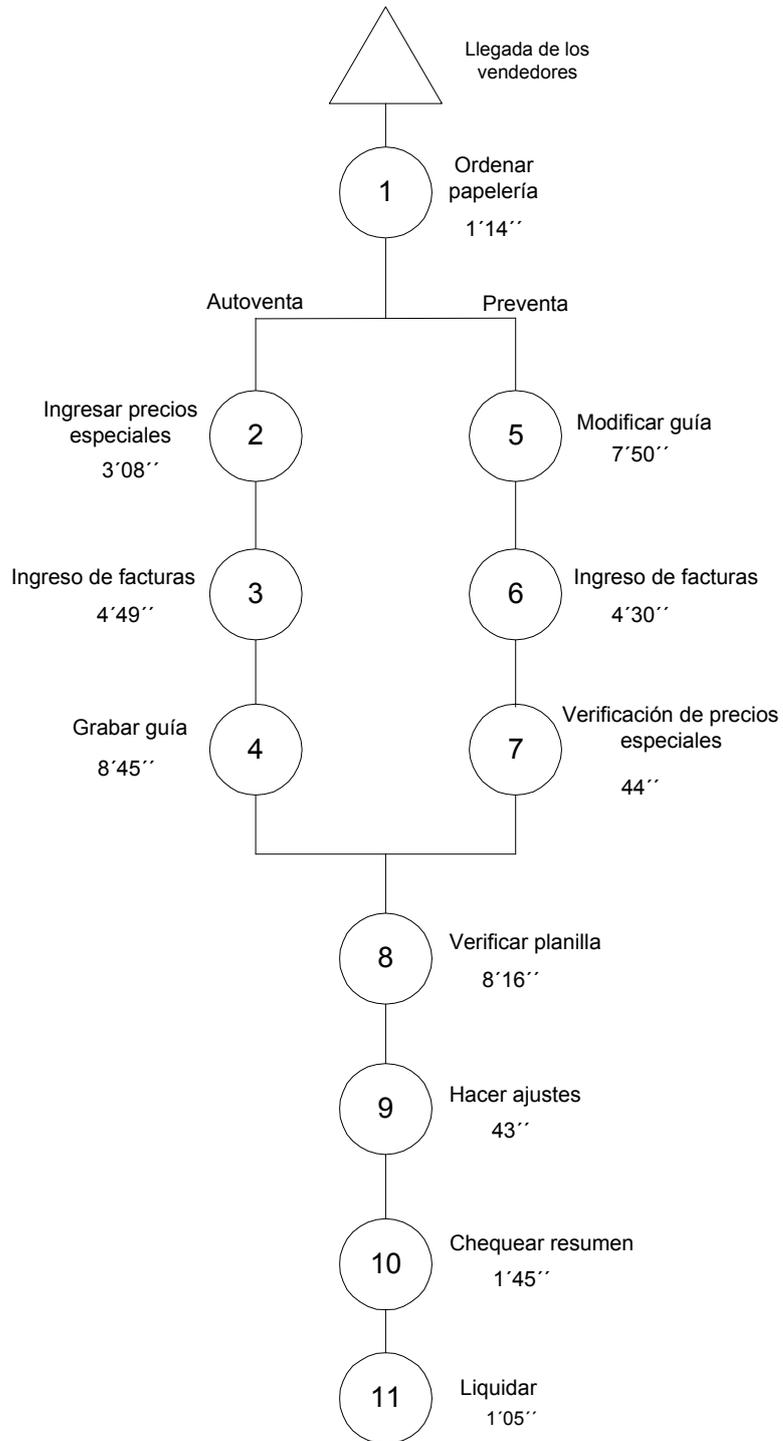
Como se dijo anteriormente, el proceso de liquidación es un conjunto de operaciones en una terminal o computadora, que inicia desde el momento en que los operarios toman la papelería, hasta que hacen la última operación.

En la siguiente figura, se muestra el diagrama del proceso de liquidación y se puede ver que existen 3 cuellos de botellas: uno está en la parte de preventa, “modificar la guía de trabajo”; otro en la parte de autoventa, “grabar guía de trabajo”, y el último, en la parte final del proceso, “verificar planilla”.

El cuello de botella, dentro de estas operaciones, no se analizó anteriormente dentro del estudio de colas, porque la línea de espera no está relacionada directamente con éste. Se hace mención, en este punto, como solicitud del jefe del departamento para poder identificarlo, ya que es parte de su administración.

Las guías de trabajo y la planilla se les entrega a los vendedores en otro departamento, y la forma de trabajo de éstas repercuten en la parte final que es la liquidación, por lo que el jefe de Prodatos tiene la obligación de informar a otros departamentos todo aquello que le atrase el trabajo, con el fin de mejorar el servicio y trabajar como equipo.

Figura 7. Diagrama del proceso de liquidación



5.3 Comparación entre la situación actual y la propuesta

Como se ha venido diciendo, el objetivo es aumentar la tasa de servicio, minimizar el costo total, con un factor de utilización no más del 100 %. A continuación, se muestra el resumen de cada sistema de colas, para que se pueda observar con más facilidad esta comparación.

Tabla III. Resumen de parámetros de la situación actual y la propuesta

Parámetros	Situación Actual	Propuesta
	3 operarios	5 operarios
Tasa de llegada (λ)	9 liq/hr	9 liq/hr
Tasa de servicio (μ)	2 liq/hr/estación	2 liq/hr/estación
Tasa combinada de salida (μ)	6 liq/hr	10 liq/hr
Probabilidad de que el sistema esté vacío (P_0)	-0.121	0.0305
Número esperado de liquidaciones en cola (L_q)	11	0.014
Número esperado de liquidaciones en el sistema (L_s)	15	4.52
Tiempo en cola (W_q)	1.22 horas	0.0016 horas
Tiempo en el sistema (W_s)	1.72 horas	0.5016 horas
Factor de utilización (ρ)	1.50%	90%
Costo Total	Q 11,400.00/mes	Q9,500.00

Como se puede observar, la situación actual no es suficiente para cubrir la demanda, por lo cual tiene un factor de utilización muy alto, lo que lleva a un costo total muy elevado. Esto es importante en cuanto a la propuesta que aplica mejor a los requerimientos, sí es capaz de cubrir la demanda con un factor de utilización aceptable, y sí minimiza el costo total.

CONCLUSIONES

1. El desequilibrio del servicio, que presta el Departamento de Prodatos, se debe al crecimiento que ha desarrollado la distribuidora respecto al número de rutas, donde actualmente tienen una demanda de $\lambda = 9$ liquidaciones/hr, y una tasa combinada de servicio de $\mu = 6$ liquidaciones /hr. Esto lleva a la incapacidad del sistema de cubrir la demanda y hace que se forme una cola de liquidaciones en espera de ser procesada por los operarios, por lo que al final es necesario el pago de horas extras de casi todos los días, para terminar con las liquidaciones de las ventas del día.
2. El departamento trabaja actualmente con un sistema de colas, sin conocer cuál es el modelo que utilizan; esto impide conocer sus medidas de desempeño que se pueden utilizar para el diseño de cualquier otro. Con los estudios previos y observación directa, se identificó que es el modelo $(M/M/3):(GD/\alpha/\alpha)$, que es un modelo de cola con 3 servidores sin límite, en la capacidad del sistema y de la fuente. Este modelo tiene un promedio esperado de 11 liquidaciones en la cola y de 15 liquidaciones en el sistema, con un promedio de tiempo esperado en la cola de 1 hora con 23 minutos, y de 1 hora con 43 minutos en el sistema.
3. Un sistema de colas tiene 2 costos que se deben analizar: el costo de espera y el costo del servicio. Para el costo de espera, se analizaron las consecuencias que conlleva el no poder liquidar a tiempo todas las ventas; esto significa el pago de horas extras a los operarios y el taxi que los lleva a sus hogares, con un total de Q5700.00/mes. Para el costo de

servicio, se tomaron en cuenta los costos variables por servidor (energía eléctrica, teléfono y agua pura) y los costos fijos (salarios de los operarios, gaseosas, papelería, etc), con un total de Q5700.00/mes. Estos costos son un aproximado, debido a restricciones de la empresa.

4. El comportamiento del departamento, con variaciones de personal, se puede ver muy claro en la tabla II, en donde se tomó en cuenta únicamente la tasa combinada de salida, así como el factor de utilización y el costo total para llegar a una conclusión; las demás características son propias del departamento y de la empresa, que se pueden aplicar a cualquier modelo sin ningún problema. Para llevar a cabo esta evaluación, se registraron valores para 4, 5 y 6 servidores.
5. El fin es aumentar la tasa de servicio y minimizar el costo total de operación, y a la vez que el sistema no exceda su límite de capacidad. Como se puede ver en la tabla II, el modelo que aplica más a todas éstas características es el modelo con 5 servidores. Este modelo es el $(M/M/5):(GD/\alpha/\alpha)$, cuya diferencia con el actual es que existen 5 servidores, con una tasa combinada de salida de $\mu = 10$ liquidaciones /hr, con un factor de utilización $\rho = 90 \%$, y un costo total de operación de Q 9500.00/mes.
6. Al desarrollar un nuevo modelo de colas, es necesario contar con ciertos recursos que son importantes para su implantación, como: el espacio suficiente para colocar 2 ventanillas más; existen 2 ventanillas que están cerradas y se pueden utilizar; un equipo de cómputo, donde la empresa cuenta con las computadoras y un escritorio para poder trabajar; sólo habría necesidad de invertir en el resto del equipo como por ejemplo, una engrapadora, una sumadora, etc. También habría necesidad de contratar

2 personas más y capacitarlos para desempeño de sus tareas; y con la disponibilidad del recurso humano actual y administrativo, se cuenta con todo el apoyo para los cambios propuestos.

7. El modelo propuesto reduce en un 40% el total del tiempo que el sistema permanece ocupado, un 17 % del costo total de operación, y aumenta la tasa combinada de servicio en un 66 %. Con esto, se puede decir que el modelo propuesto es funcional y va a proporcionar un servicio rápido y eficiente dentro del departamento.

RECOMENDACIONES

1. Hay que quitarle a los operarios todas las atribuciones que no tenga que ver con la liquidación, ya que estas operaciones le restan tiempo y hace que disminuya la tasa de servicio dentro del departamento. Entre estas otras atribuciones se pueden mencionar: alcanzar las llaves de los camiones, las boletas de depósitos, las facturas, etc, que aunque es mínimo el tiempo que les lleva, de segundo en segundo habría pérdida de tiempo.
2. Se debe colocar una persona encargada del departamento que esté fija, que evalúe a los operarios constantemente y que controle que no pierdan el tiempo en actividades ociosas.
3. Es conveniente reunirse constantemente con otros departamentos, para mejorar el control del producto que entra, sale, se vende, etc., ya que si dicho control es deficiente, esto repercute en el procesamiento de los datos en el departamento, y retrasa más el servicio.
4. A la hora de cambiar o agregar dos estaciones de servicio más, sería ideal colocar la cola de las liquidaciones en la parte central del departamento, en la mesa donde se encuentra la impresora central, para que todos los operarios caminen lo mismo a la hora de ir a tomar una.
5. Es necesario hacer conciencia en los vendedores de las consecuencias que tiene llenar la papelería con errores, lo cual atrasa más liquidación.

BIBLIOGRAFÍA

1. GARCÍA Gandini, Juan Pablo. Implementación de un modelo de líneas de espera en un banco comercial. Tesis Lic. administración de empresas. Guatemala, universidad Francisco Marroquín, Facultad de Ciencias Económicas, 1998, 55pp.
2. CIFUENTES Gándara, Karen. Análisis de optimización de líneas de espera en el proceso de autorización de una tarjeta de crédito. Tesis Lic. administración de empresas. Guatemala, universidad Francisco Marroquín, Facultad de Ciencias Económicas, 1999, 54pp.
3. HILLIER, Frederick S. y Gerald J. Lieberman. **Introducción a la investigación de operaciones.** 6ª ed. México: Editorial McGraw-Hill, 1999, 998pp.
4. HINES, William W. y Douglas C. Montgomery. **Probabilidad y estadística.** 3ª ed. México: Editorial CECSA, 1993, 834pp.
5. LEVIN, Richard I. y Charles A. Kirkpatrick. **Enfoques cuantitativos a la administración.** México: Editorial CECSA, 1987, 724pp.
6. PRAWDA, Juan. **Métodos y modelos de investigación de operaciones.** (volumen 2) México: Editorial Limusa, 1984, 1023pp.
7. RODRÍGUEZ Galindo Karla Judith. Las líneas de espera y su aplicación en la prestación de los servicios bancarios. Tesis Lic. administración de empresas. Guatemala, universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Económicas, 1998, 69pp.
8. TAHA. **Investigación de operaciones.** 5ª ed. México: Editorial Alfaomega, 1995, 960pp.

ANEXO I

Tabla IV. Arribo de liquidaciones por día

Semana: 26/05 al 31/05 del 2003

Fecha: Lunes 26/05/2003

Ruta No.	Nombre	Hora	Firma
16	Arnoldo González	15:30	
30	Francisco López	15:42	
2	Jorge Urrutia	15:56	
20	Ernesto Juárez	16:15	
18	Rigoberto Méndez	16:28	
23	Estuardo Pérez	16:35	
8	Cesar Castillo	16:51	
14	Hugo De León	17:11	
31	Carlos Velásquez	17:16	
26	René Rivera	17:29	
15	Elmer Pantzú	17:47	
19	Jesús Figueroa	18:05	
27	Juan López	18:10	
36	Julio Escobar	18:15	
33	Justiniano Flores	18:20	
14	Lisandro García	18:22	
5	Lucilo Marroquín	18:33	
17	Juan Guamuch	18:52	
25	Mario Lázaro	18:56	
18	Francisco Robles	19:12	
3	Leonel Roca	19:18	
4	Manuel García	19:30	
32	Rony Barrios	19:36	
35	José Aldana	19:45	
29	Fabián Ramos	19:53	
22	Pedro Gómez	19:56	
13	Domingo Tsoc	20:05	
21	Raúl Castañeda	20:08	

ANEXO 2

Tabla V. Toma de tiempos de liquidación

Muestra	Operario	Tiempo (min)
1	# 2	53.22
2	# 3	24.1
3	# 2	51.5
4	# 3	28.07
5	# 2	24.02
6	# 1	19.15
7	# 3	22.51
8	# 2	20.23
9	# 1	24.11
10	# 2	26.3
11	# 3	23.36
12	# 2	18.35
13	# 3	18.26
14	# 1	28.57
15	# 3	25.1
16	# 1	18.52
17	# 3	17.49
18	# 3	19.48
19	# 2	22.20
20	# 1	20.23
21	# 3	25.47
22	# 3	21.21
23	# 1	20.21
24	# 1	26.45
25	# 3	19.48
26	# 3	21.16

ANEXO 3

Figura 8. Distribución de las estaciones de servicio

