
**UNIVERSIDAD DON BOSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE COMPUTACIÓN Y ELECTRÓNICA.**



**“ DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA DE SIMULACIÓN PARA EL
ANÁLISIS Y ESTUDIO DE UNA COLA CON MÚLTIPLES SERVIDORES,
APLICADO A UNA ENTIDAD BANCARIA.”**

**TESIS DE GRADUACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO
EN CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN.**

PRESENTADA POR:

ANA SUSANA SORIANO LINARES.

NELY DE JESÚS ALVARADO MARTÍNEZ.

E INGENIERO EN ELECTRÓNICA.

FRANCISCO PEREIRA CONTRERAS

**OCTUBRE 2003
SAN SALVADOR, EL SALVADOR C.A.**

UNIVERSIDAD DON BOSCO

RECTOR
ING. FEDERICO HUGUET RIVERA

VICERECTOR ACADÉMICO
VICTOR BERMÚDEZ

SECRETARIO GENERAL
LIC. MARIO RAFAEL OLMOS

DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA
ING. CARLOS GUILLERMO BRAN

**UNIVERSIDAD DON BOSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA**



JURADO EVALUADOR DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN

**ING. SERGIO MARTÍN.
Asesor**

**ING. MILTON NARVÁEZ.
Tutor.**

**ING. PATRICIA ESTRADA.
Jurado.**

**LIC. MIGUEL BAUTISTA.
Jurado.**

**ING. HERNÁN ARÉVALO.
Jurado**

DEDICATORIA

Primeramente agradezco a Dios todo poderoso, por haberme cargado y llevado de la mano cuando creí desfallecer, inundándome de todo su amor , fe, coraje y fuerza para salir adelante.

A mi Madre Ana Julia Linares, el mayor tesoro que me brindo Dios y la persona que mas admiro por su amor a la vida, entereza, dedicación , esfuerzo y sentido de lucha en la adversidad , por quien soy lo que soy el día de hoy.

A mis hermanos Christian y Delmy , por estar siempre presente , apoyándome en las decisiones mas importantes de mi vida.

Y por ultimo todas aquellas personas o angelitos de la guarda que Dios puso en mi camino y que directa o indirectamente colaboraron en la culminación de una de las mas importantes metas de mi vida.

Me gusta mucho esta frase y dice :

Con el tiempo aprenderás que intentar perdonar o pedir perdón,
decir que amas, decir que extrañas, decir que necesitas , decir que sientes,
decir que quieres ser amigo ... ante una tumba ... ya no tiene ningún sentido .

Pero desafortunadamente SOLO CON EL TIEMPO...

(Delphi's)

Sussy Linares.

DEDICATORIA

A DIOS, por haberme iluminado en el transcurso de mi carrera y haberme permitido culminar mis estudios universitarios.

A mis abuelitos: JOSÉ VIRGILIO MARTÍNEZ Y PAZ MÉNDEZ DE MARTÍNEZ, (Q.D.D.G) que siempre confiaron en mí, y desde el cielo comparten mi triunfo.

A mi madre: MARIA DOLORES MARTÍNEZ, por su apoyo incondicional, su dedicación y esfuerzo en infundirme confianza y valor para lograr mis objetivos.

A mis amigas y amigos, por creer siempre en mis capacidades y animarme a cumplir con mis metas.

Nely de Jesús Alvarado Martínez.

DEDICATORIA

Quiero agradecer a DIOS TODO PODEROSO por darme a los mejores Padres del Mundo:

Rodolfo Arquímedes Pereira y Bertha Alicia Contreras de Pereira, ya que ellos han sido el pilar más grande en mi vida y el mejor ejemplo de dedicación, esfuerzo, comprensión y amor.

A mis hermanos: Erick, Daniel y Alicia, por aguantar mi mal humor en fechas de evaluaciones y apoyarme siempre en la búsqueda de mis metas.

A mis Familiares, que han apoyado tanto a mis padres como a mi para ayudarme a lograr este triunfo.

A mis amigos y amigas de toda la vida de San Miguel, por estar siempre cerca y brindarme todo el apoyo y cariño de siempre.

A mi comunidad Sueño con Jesús y a los Hermanos Maristas por estar siempre conmigo en los momentos más difíciles , para apoyarme y alentarme a seguir.

Y a todas las personas que de alguna u otra manera han estado presentes en mi caminar hacia el cumplimiento de esta meta.

Francisco Pereira Contreras.

INDICE

TEMA	PAG.
INTRODUCCIÓN	3
OBJETIVOS	5
OBJETIVO GENERAL:	5
OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	5
ALCANCES	5
LIMITACIONES	6
CAPÍTULO I	7
MARCO TEÓRICO	7
1.1 INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES	7
1.1.1 Orígenes:	7
1.1.2 Definición:	7
1.1.3 Importancia:	7
1.2 TEORÍA DE COLAS	8
1.2.1 Definición	8
1.2.2 Estructuras típicas de Colas.	8
1.2.3 Características y Componentes de un Sistema de Colas	8
1.3 SIMULACIÓN	12
1.3.1 Introducción:	12
1.3.2 Definición:	12
1.3.3 Etapas del proceso de simulación:	13
1.3.4 Ventajas:	15
1.3.5 Desventajas:	15
1.3.6 Tipos de simulación y toma de decisión	15
CAPITULO II	17
DEFINICIÓN DEL SISTEMA	17
2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
2.2 PLANTEAMIENTO DE LA SOLUCIÓN	18
2.2.1 Descripción del proceso de atención de las colas que se forman en los bancos	19
2.2.2 Vista de Planta de las instalaciones del Banco de Comercio Agencia España.	21
CAPITULO III	22
METODOLOGÍA	22

3.1 INVESTIGACIÓN DE CAMPO	22
3.1.1 Introducción	22
3.1.2 Objetivos	22
3.1.3 Universo	22
3.1.4 Determinación de la muestra	23
3.1.5 Recursos	23
3.1.6 Recolección de los datos	23
3.1.6.1 Descripción de Formularios	24
3.1.7 Corrección de datos	25
CAPÍTULO IV	26
ESTUDIO DE LOS DATOS RECOLECTADOS	26
4.1 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN	26
CAPÍTULO V	31
FORMULACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO	31
5.1 DEFINICIÓN DE MODELO	31
5.1.1 Selección y Evaluación del sistema de colas	31
5.2 FORMULACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO:	34
5.3 RESOLUCIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO	37
CAPÍTULO VI	47
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SIMULADOR	47
6. 1 DEFINICIÓN	47
6. 2 CARACTERÍSTICAS	47
6. 3 REQUERIMIENTOS DE HARDWARE	48
6. 4 REQUERIMIENTOS DE SOFTWARE	48
6. 5 BREVE DESCRIPCION DE LA BASE DE DATOS	48
6. 6 DESCRIPCION DEL SISTEMA Y PANTALLAS	51
<i>Datos de Origen Importados de Excel</i>	55
<i>Pantalla de Simulación</i>	60
<i>Barra de Menú Principal</i>	61
<i>Opciones Adicionales</i>	65
6. 7 VALIDACION	67
6. 8 EXPERIMENTACION	67
6. 9 INTERPRETACION DE RESULTADOS	68
6. 10 DIAGRAMA DE PROCESOS DEL SISTEMA	70
CAPÍTULO VII	71
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	71
<i>Conclusiones</i>	71
<i>Recomendaciones</i>	73
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74
ANEXOS	75

INTRODUCCIÓN

Los problemas que existen en las entidades encargadas de proporcionar alguna clase de servicio, son por lo general ocasionados por la escasa capacidad para lograr proporcionar el servicio a todas las personas que lo soliciten, ocasionándole a éstas muchos inconvenientes (pérdida de tiempo, largas esperas, etc.) Es por esto que en los últimos tiempos se ha tratado de satisfacer estas demandas de servicio mediante el estudio de los procesos de atención, llegando a concluir en la mayoría de los casos, que lo necesario para ello es una buena política de atención y planeamiento de las instalaciones, con el fin de suavizar los efectos de dichos inconvenientes.

El presente trabajo pretende ser una solución a dichos problemas. Ya que en éste, se abordan conceptos tales como tiempos de llegadas, tiempos de atención, tiempos de salidas. Y algunos parámetros considerados importantes para manipularlos, como:

- ✓ Tiempos promedios de espera en el sistema.
- ✓ Números promedios de clientes en el sistema.
- ✓ Probabilidad de que un cliente que llega tenga que esperar, etc.

Para llevar a cabo dicha solución se plantea el presente documento basado en el estudio real del comportamiento de la línea de espera en una Institución del Sistema Bancario (Banco de Comercio). El cual proporciona las bases necesarias para desarrollar la *Herramienta de Simulación para el Análisis y estudio de una Cola Múltiples Servidores Aplicada a una Entidad Bancaria*.

Con los resultados generados por la herramienta, se presentarán soluciones operativas, que contribuyan a realizar cambios en los procedimientos de este tipo de instituciones con el fin de mejorar el servicio y a la vez obtener beneficios económicos, proponiendo opciones tales como: ventanillas externas, cajeros automáticos, salón VIP, etc.

El presente documento tiene la siguiente estructura:

Capítulo I:

Marco teórico: en éste se aborda la importancia de la investigación de operaciones para el estudio de las colas. Profundizando luego en su definición, características y elementos para proporcionar una solución mediante la técnica de simulación.

Capítulo II:

Definición del Sistema: Se da el Planteamiento del problema y se define la solución.

Capítulo III.

Metodología: La Investigación de Campo, se realizó mediante el método de la observación.

Capítulo IV.

Estudio de los Datos Recolectados: Procesamiento de la Información e Interpretación de resultados.

Capítulo V:

Formulación del Modelo Matemático a Utilizar: Definición, formulación y solución. Realizándose mediante series de potencia de McLaurin y método de Gauss para solución de matrices.

Capítulo VI:

Diseño e implementación del Simulador: Se presenta definición, características y una breve descripción de lo que será el simulador, como parte introductoria que concluirá en la última etapa del proyecto de Tesis.

Capítulo VII:

Conclusiones y Recomendaciones: Se desglosan los detalles, observaciones y soluciones obtenidas del diseño de la herramienta de simulación.

Bibliografía : Van escritas todas las herramientas bibliográficas que fueron utilizadas.

Anexos : Engloban una serie de documentos que le sirven de apoyo para la comprensión de algunos temas específicos, así como parte del estudio de campo realizado.

Manual del Usuario: Es todo un documento en donde se detalla paso a paso el uso de la herramienta de simulación.

Manual del Programador: Se da toda una explicación de la base de datos utilizada, procedimientos, funciones etc. y el código fuente del sistema.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

- ↵ Desarrollo de una herramienta de simulación para el análisis y estudio de una cola múltiples servidores aplicado a una entidad bancaria para resolver problemas tanto de estadía en el sistema como de servicio.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- ↵ Estimar tiempos promedios de llegada, espera en cola y atención de los servidores.
- ↵ Minimizar los tiempos promedio de espera y optimizar recursos de la entidad bancaria.

ALCANCES

- ↵ Se proporcionarán gráficos en base a los tiempos promedio de llegada, atención. Así como también de las velocidades de llegada y de salida del sistema.
- ↵ La herramienta manejará la cantidad de servidores necesarios para determinados parámetros ingresados por la persona encargada de realizar el estudio de dicha sucursal bancaria.
- ↵ Se utilizará animación visual de la generación y tráfico de la cola.
- ↵ Se validarán los parámetros de inicio para la simulación.
- ↵ El simulador podrá ser ejecutado bajo ambiente Windows y su diseño se hará en el lenguaje de programación Microsoft Visual Basic 6.0.
- ↵ La herramienta contará con la opción de impresión de resultados y gráficos, donde se observaran horarios pico o cuellos de botella.
- ↵ Incluirá la opción de guardar parámetros, procesos y resultados.
- ↵ Para llegar a obtener resultados más reales se tomarán en cuenta los diferentes tipos de transacciones realizadas por los clientes. Por ejemplo: depósitos, retiros, pagos de servicios, remesas, pago de planillas, cobro de cheques etc.

LIMITACIONES

- ↪ El requerimiento mínimo de Hardware y Software es:
 - Procesador Pentium II de 233 MHz mínimo
 - 64 MB de memoria RAM.
 - Sistema operativo Windows 98 como mínimo.

- ↪ El Sistema podrá ser óptimo en tanto se utilice la plataforma donde fue creado de lo contrario tendrán que instalarse herramientas adicionales para su ejecución eficiente.
- ↪ No se tomarán en cuenta servidores externos, ni servidor para única transacción.
- ↪ No podrá exceder el número de servidores propuestos.
- ↪ Una vez iniciado un proceso de simulación, el sistema no permitirá realizar ninguna otra simulación.
- ↪ No podrá ser utilizada esta herramienta para otra institución que tenga un sistema de una cola múltiples servidores sin antes hacer cambios, pertinentes para cada situación.
- ↪ Los tiempos de ocio del servidor (Actividades no laborales y necesidades fisiológicas), no serán un parámetro a considerar en el análisis para el simulador.
- ↪ No se tomaran en cuenta los autobancos ni cajeros automáticos ya que estas aplicaciones no pertenece al tipo de sistema de cola en estudio de una cola múltiples servidores y por ende el análisis y estudio es diferente.
- ↪ En cuanto a las deserciones, no se podrán cuantificar ni tipificar las transacciones, debido a que se estaría invadiendo la privacidad del cliente lo cual resulta incomodo y molesto para el mismo.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES

1.1.1 Orígenes:

Las raíces de la investigación de operaciones se remontan a muchas décadas, cuando se hicieron los primeros intentos para emplear el método científico en la administración de una empresa.

Muchas de las herramientas características de la investigación de operaciones, como programación lineal, programación dinámica, líneas de espera y teoría de inventarios, fueron desarrolladas casi por completo antes del término de la década de 1950. Desde entonces, esta disciplina se ha desarrollado con rapidez. Para manejar de una manera efectiva los complejos problemas inherentes a esta disciplina, por lo general se requiere un gran número de cálculos. Llevarlos a cabo a mano puede resultar casi imposible. Por lo tanto, el desarrollo de la computadora con su capacidad para realizar cálculos aritméticos, miles o tal vez millones de veces más rápido que los seres humanos, fue una gran ayuda para la investigación de operaciones.

1.1.2 Definición:

La investigación de operaciones (IO) aspira a determinar el mejor curso de acción (óptimo) de un problema de decisión con la restricción de recursos limitados. El termino investigación de operaciones muy a menudo esta asociado con la aplicación de técnicas matemáticas para representarse por medio de un modelo y analizar problemas de decisión.

1.1.3 Importancia:

Esta disciplina tiene gran importancia desde el punto de vista de la toma de decisiones, ya que los modelos son representaciones de la vida real y que al resolverlos proporcionan la información necesaria para llevar a cabo la mejor alternativa, a fin de optimizar los recursos escasos en beneficio de quien los utilice.

1.2 TEORÍA DE COLAS

1.2.1 Definición

La Teoría de colas o de líneas de espera, es una colección de modelos matemáticos que describen estos sistemas. Los modelos sirven para encontrar el comportamiento de la longitud promedio de la línea (Cola) y el tiempo de espera promedio para un sistema dado. Precisamente se pueden describir como "sistemas de procesamiento", pues es mas amplio.

La idea principal es determinar qué capacidad o tasa de servicio proporciona el balance correcto. Esto no es sencillo, ya que las llegadas de clientes son aleatorias, es decir, no se sabe con exactitud en que momento llegarán los clientes. En cuanto a la duración del tiempo de servicio, se puede decir que es variable y depende de la cantidad y el tipo de transacciones que el cliente se disponga a realizar.

1.2.2 Estructuras típicas de Colas.

Las llegadas pueden ser personas, cartas, carros, ensambles intermedios en una fábrica, productos en general, etc. Y su esquema Simple se representa en la Figura 1:

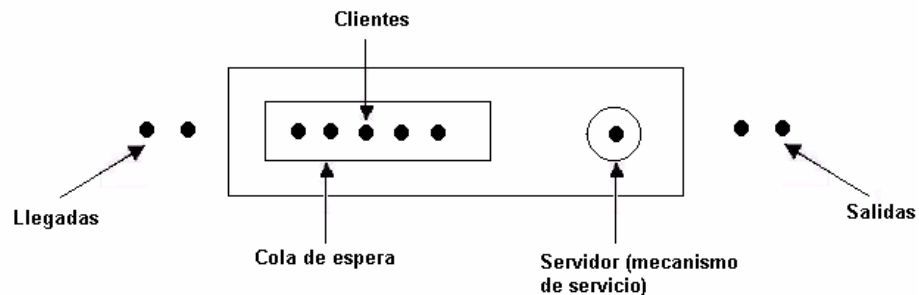


Figura 1.2.2.1 - Sistema de colas

1.2.3 Características y Componentes de un Sistema de Colas

El análisis de un sistema de colas se realiza empleando técnicas y/o conceptos estadísticos, matemáticos y de economía.

Estas técnicas dependen de la clase de sistema al cual pertenece un problema de colas. "Hay tantos tipos de sistemas como tantas combinaciones posibles de tipos de componentes"

En el siguiente esquema (Figura 1.2.3.1) se representa los componente básicos de un sistema de colas:

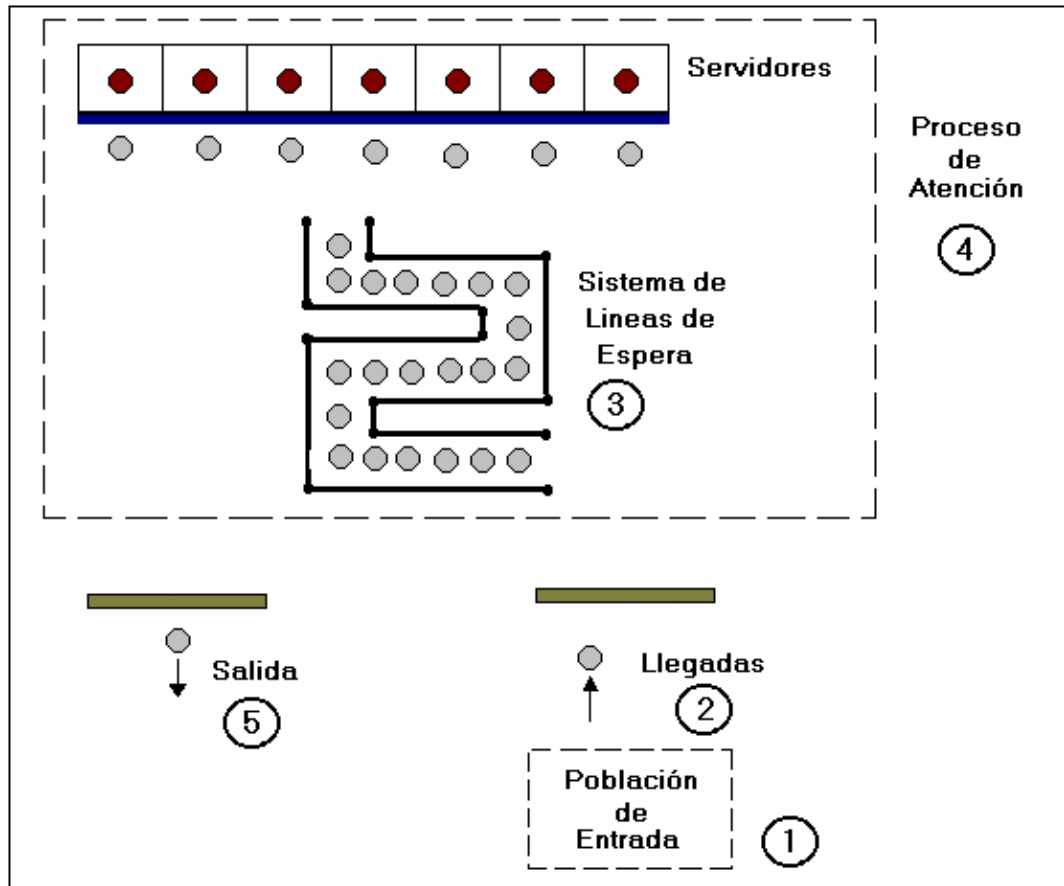


Figura 1.2.3.1: Componentes de un Sistema de Cola

1) *Población de entrada.*- También llamada Capacidad del Sistema. Es el número máximo de clientes potenciales que pueden solicitar el servicio. Si un cliente llega y el sistema está lleno por haberse colmado su capacidad, se le negará la entrada, es decir, no recibirá el servicio. Si el sistema no tiene límite, se dice que la población es infinita.

2) *Llegadas.*- Es el número de clientes que ingresan al sistema. Estas son reguladas por la población que alimenta al sistema (finita o infinita) y en general, estas llegadas serán de forma aleatoria.

Las características mas importantes del proceso de llegadas son el “Tiempo entre llegadas”(es el tiempo que transcurre entre un cliente y otro sucesivo que llegan a demandar el servicio.) y el “número de llegadas”.

Existen básicamente 2 clases de tiempo entre llegadas:

- Determinístico.- Tiempo en el cual los clientes sucesivos llegan en un mismo intervalo de *tiempo fijo y conocido*.
- Probabilístico.- Tiempo en el cual el tiempo entre llegadas sucesivas *es incierto y variable*.

Respecto al número de llegadas, cuando la distribución de tiempos entre llegadas es exponencial, la distribución para el número de llegadas es una distribución de Poisson.

3) *Sistemas de Líneas de Espera*.- La mayoría de los sistemas de servicios están ideados de tal manera que el promedio de la capacidad de servicio instalada, sea mayor que el promedio de llegadas para ser servidas. Pero aún con este exceso de capacidad de servicio se forman colas, ya que en un momento determinado la demanda por un servicio llega a ser demasiado grande para la capacidad de prestación del mismo.

La cola que se forma mientras se espera el servicio puede suponerse infinita cuando puede extenderse tanto como se quiera. Si hay una sala de espera o equivalente, la línea es finita y depende de la capacidad de esa sala. Se asume que si alguien llega y encuentra la sala llena se retira y no recibirá el servicio.

Una característica importante relacionada al sistema de Líneas de espera es la “**Disciplina de la cola**”, o sea la *forma* en que los clientes *esperan* para ser atendidos o la forma como se elige a los clientes de la línea de espera para dar inicio al servicio.

Algunas formas de disciplina de la cola son:

- PEPS(Primero en entrar, primero en salir; o FCFS).- Los clientes son atendidos en el orden en que van llegando a la fila. Es la disciplina más común y en apariencia justa.
- UEPS(Ultimo en entrar, primero en salir; o LCFS).- El cliente que ha llegado mas recientemente es el primero en ser atendido.
- SIRO (servicio en orden aleatorio).
- Selección de PRIORIDAD.- Los clientes son atendidos por prioridades.

Tanto los sistemas de cola como las disciplinas de la misma, involucran costos asociados a ellas, los cuales pudieran considerarse¹ .

¹ Ver Anexo [1]

4) *Proceso de Servicio*.- Tiene que ver con el diseño de la instalación y la ejecución del servicio. Las configuraciones que pueden darse en los sistemas de líneas de espera son:

- Una Cola un Servidor (sistema de canal sencillo o en serie).
- Una cola, servidores múltiples en paralelo.
- Filas múltiples servidores múltiples, con opción a cambio de cola.
- Una fila, servidores múltiples en serie.
- Múltiples filas un solo servidor.

En cualquiera de los casos todos los servidores "ofrecen el mismo servicio"

5) *Salida*.- Ocurre cuando las personas se retiran del sistema después de haber recibido el servicio. O se retiran también, aquellos clientes que consideran que el tiempo de espera es demasiado largo.

Para aplicar las técnicas apropiadas, se debe identificar las características del sistema de colas. La clasificación se realiza empleando letras y/o símbolos (notación de Kendall)²

Ejemplos de sistemas de líneas de espera.

En la siguiente tabla se muestran algunos ejemplos de varios sistemas de colas.

<i>Sistema</i>	<i>Llegadas</i>	<i>Cola</i>	<i>Mecanismo de Servicio</i>
Supermercados	Clientes	Colas en Caja	Cajeros
Bancos	Clientes	Colas en Caja	Cajeros
Aeropuerto	Pasajeros	Sala de espera	Avión
Compañía telefónica	Números marcados	Llamadas	Conmutador
Panadería	Clientes	Clientes con números	Vendedor
Oficina de correos	Cartas	Buzón	Empleados del correos
Hospital	Pacientes	Personas enfermas	Hospital

Tabla1 - Ejemplos de sistemas de colas (aplicaciones)

² Ver Anexo [2]

1.3 SIMULACIÓN

1.3.1 Introducción:

La simulación moderna, tuvo su principio en el muestreo de modelos estadísticos. Con ésta técnica, se utilizan las muestras estadísticas para hacer modelos que se acerquen al universo que las provee.

La simulación se ha puesto recientemente en práctica en numerosas disciplinas científicas, para describir la construcción de modelos. Los modelos representan la realidad, la simulación la imita. La simulación implica siempre la manipulación de un modelo de manera que produzca una imagen dinámica de la realidad.

Normalmente la simulación incluye grandes volúmenes de cálculo, por lo que a inicios de siglo resultaba poco práctica; pero con el advenimiento de la computadora de alta velocidad, a principios de 1950, la situación tomó otro significado, ya que surgió la posibilidad de experimentar con modelos matemáticos en una computadora, describiendo algún sistema de interés.

En los últimos años la simulación en computadora se ha usado grandemente como una forma de analizar el comportamiento de sistemas complejos.

1.3.2 Definición:

La definición aplicable actualmente a la simulación es la que define a ésta como una técnica numérica utilizada para efectuar ensayos con ciertos tipos de modelos matemáticos que describen el comportamiento de un sistema complejo, en una computadora digital y durante períodos extensos.

Existen tantos conceptos de simulación como autores de los mismos, para citar algunos casos:

“Simulación es una técnica numérica para conducir experimentos en una computadora digital. Estos experimentos comprenden ciertos tipos de relaciones matemáticas y lógicas, las cuales son necesarias para describir el comportamiento y la estructura de sistemas complejos del mundo real a través de largos períodos de tiempo”.

Thomas H. Naylor

“Simulación es una técnica numérica para realizar experimentos en una computadora digital. Estos experimentos involucran ciertos tipos de modelos matemáticos y lógicos que describen el comportamiento de sistemas de negocios, económicos, sociales, biológicos, físicos o químicos a través de largos periodos de tiempo”

H. Maisel y G. Gnugnoli

“Simulación es el proceso de diseñar y desarrollar un modelo computarizado de un sistema o proceso y conducir experimentos con este modelo con el propósito de entender el comportamiento del sistema o evaluar varias estrategias con las cuales se puede operar el sistema”.

Robert E. Shannon

Un sistema de Simulación puede ser aplicado por diferentes ramas, entre ellas: Ingeniería, Finanzas, Matemáticas, etc.

1.3.3 Etapas del proceso de simulación:

Se ha escrito mucho acerca de los pasos necesarios para realizar un estudio de simulación. Sin embargo, la mayoría de los autores opinan que los pasos necesarios para llevar a cabo un experimento de simulación son:

- **Definición del sistema.** Para tener una definición exacta del sistema que se desea simular, es necesario hacer primeramente un análisis preliminar del mismo, con el fin de determinar la interacción del sistema con otros sistemas, las restricciones del sistema, las variables que interactúan dentro del sistema y sus interrelaciones, las medidas de efectividad que se van a utilizar para definir y estudiar el sistema y los resultados que se esperan obtener del estudio.
- **Formulación del modelo** Una vez que están definidos con exactitud los resultados que se esperan obtener del estudio, el siguiente paso es definir y construir el modelo con el cual se obtendrán los resultados deseados. En la formulación del modelo es necesario definir todas las variables que forman parte de él, sus relaciones lógicas y los diagramas de flujo que describan en forma completa al modelo.
- **Colección de datos.** Es posible que la facilidad de obtención de algunos datos o la dificultad de conseguir otros, pueda influenciar el desarrollo y formulación del modelo.

Por consiguiente, es muy importante que se definan con claridad y exactitud los datos que el modelo va a requerir para producir los resultados deseados.

- **Implementación del modelo en la computadora.** Con el modelo definido, el siguiente paso es decidir en cual lenguaje de programación o interfaz de usuario se procesarán los datos y se obtendrán los resultados deseados.

- **Validación.** Una de las principales etapas de un estudio de simulación es la validación. A través de esta etapa es posible detallar deficiencias en la formulación del modelo o en los datos alimentados al modelo. Las formas más comunes de validar un modelo son:
 1. La opinión de expertos sobre los resultados de la simulación.
 2. La exactitud con que se predicen datos históricos.
 3. La exactitud en la predicción del futuro.
 4. La comprobación de falla del modelo de simulación al utilizar datos que hacen fallar al sistema real.
 5. La aceptación y confianza en el modelo de la persona que hará uso de los resultados que arroje el experimento de simulación

- **Experimentación.** La experimentación con el modelo se realiza después de que éste ha sido validado. La experimentación consiste en generar los datos deseados y en realizar análisis de sensibilidad de los índices requeridos.

- **Interpretación.** En esta etapa del estudio, se interpretan los resultados que arroja la simulación y en base a esto se toma una decisión. Es obvio que los resultados que se obtienen de un estudio de simulación ayudan a soportar decisiones del tipo semi-estructurado, es decir, la computadora en sí no toma la decisión, sino que la información que proporciona ayuda a tomar mejores decisiones y por consiguiente obtener mejores resultados.

- **Documentación.** Dos tipos de documentación son requeridos para hacer un mejor uso del modelo de simulación. La primera se refiere a la documentación de tipo técnico, es decir, a la documentación que el departamento de Procesamiento de Datos debe tener del modelo. La segunda se refiere al manual del usuario, con el cual se facilita la interacción y el uso del modelo desarrollado, a través de una computadora.

1.3.4 Ventajas:

- Permite analizar el posible comportamiento de cualquier sistema para así poder tomar decisiones con respecto a los resultados obtenidos.
- Permite analizar sistemas de alta complejidad o mayor detalle.
- Los sistemas reales con elementos estocásticos son de difícil estudio matemático y la simulación puede ser el único tipo de investigación posible.
- Puede ser usado repetidamente una vez que el modelo ha sido construido.

1.3.5 Desventajas:

- Más de una corrida computacional (diferentes escenarios) para encontrar soluciones, si se desea acercarse a la realidad.
- Aproximación de la realidad, no es exacta.

1.3.6 Tipos de simulación y toma de decisión

La simulación del comportamiento de elementos como personas, maquinas o materiales y de sus interacciones es muy útil para estudiar y tomar decisiones sobre el sistema, se propone analizar el comportamiento de los sistemas discretos que no se pueden analizar con herramientas tradicionales de tipo matemático (por ejemplo. Teoría de las colas) al fin de tomar decisiones para mejorar el servicio.

Se centra en el estudio de sistemas complejos que no se pueden o que no es económicamente rentable simular en la realidad, existen algunos tipos de simulación, entre ellos están:

Simulación Predictiva:

Lo que interesa en este tipo de simulación son los resultados absolutos finales, se determinan promedios e intervalos de confianza de una corrida de simulación con valores específicos en las variables de decisión. Este tipo de simulación se puede utilizar para realizar pronósticos, por lo que es necesario contar con datos históricos de entrada confiables, se utiliza en procesos de decisiones que se repiten.

Simulación Comparativa:

En la simulación comparativa se determina cuando una opción es mejor que otra. Se debe especificar detalladamente que significado tiene la palabra "mejor", para definir cuales serán los datos de salida a comparar. Mejor significa mantener las colas lo mas cortas posibles o es un compromiso entre tiempo de servicio, largo de cola y costo por servidor? Si los objetivos no son claros, se proveerá de un rango variado de resultados, que le permitan al usuario definir a posteriori la importancia relativa de cada uno de ellos. Si los resultados o los datos de salida son claros se puede usar técnicas de hipótesis estadística de los resultados. Se puede usar para tomar decisiones casuales o repetitivas, utilizar datos de entrada y salidas confiables.

Simulación Investigativa:

La simulación Investigativa indica factores que afectan el flujo de entidades en el sistema pero no requiere de respuestas precisas, por lo que la calidad de los datos de entrada no es crítica.

CAPITULO II

DEFINICIÓN DEL SISTEMA

2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El Problema consiste en las largas colas de espera que tiene que pasar los usuarios de las entidades bancarias cuando tienen que realizar una o varias transacciones.

Se ha creado un plan de acción para enfrentar este problema, el cual consiste en el estudio de la línea de espera de una entidad bancaria. Analizándose en particular la clasificación *Una Cola Múltiples Servidores* (Figura 2.1.1)

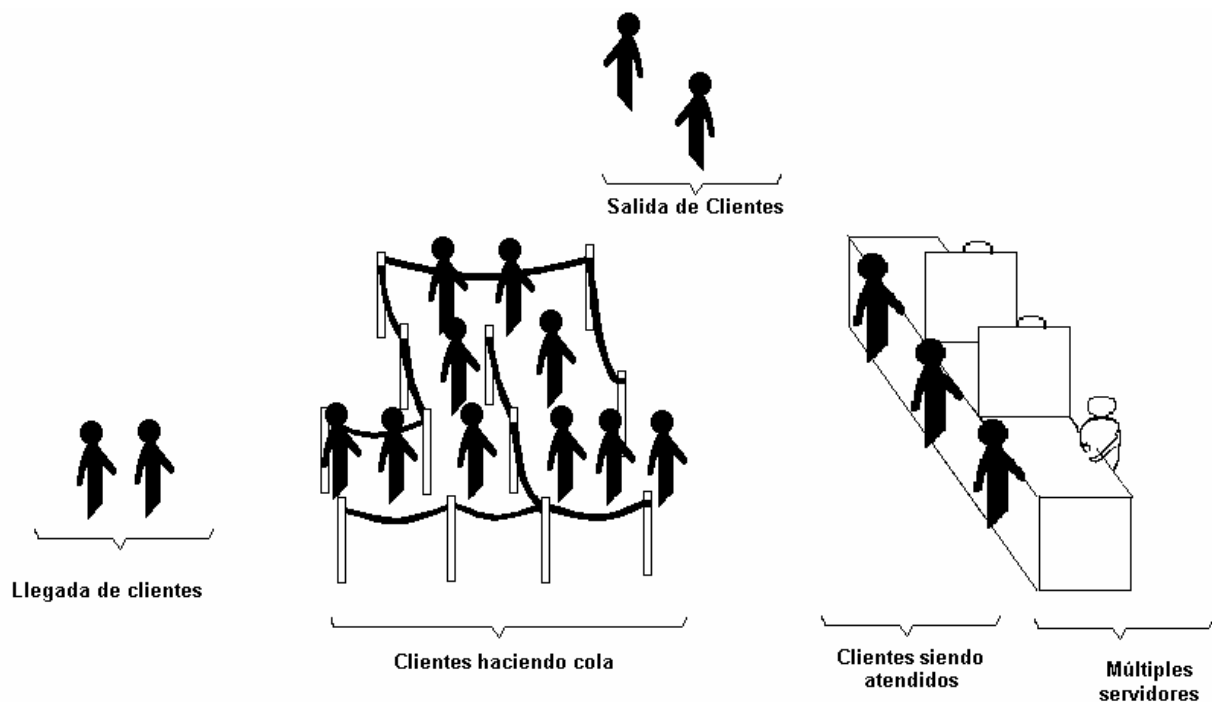


Figura 2.1.1 - Una fila múltiples servidores en una entidad bancaria

En el Banco de Comercio, Agencia España de San Salvador; se realizó el estudio en el período comprendido entre el 26 de Mayo al 5 de Julio de 2003, en el cual se recopiláron los datos necesarios para determinar cuales son todas las variables que intervienen en el sistema y que deben ser tomadas en cuenta.

2.2 PLANTEAMIENTO DE LA SOLUCIÓN

Las entidades bancarias, al igual que todo tipo de empresas necesitan tomar decisiones que involucren un mínimo riesgo para ellas.

En función de las necesidades observadas en el sector bancario se planteará una solución utilizando la técnica de simulación, ya que la experimentación con sistemas reales, en la mayoría de los casos implica tiempo, costos elevados e inconvenientes para los clientes.

Si se desea considerar todas las características que configuran el sistema, existe entonces una gran cantidad de variables, análisis y problemas, que requieren un complejo trabajo, que puede minimizarse si se dispone de un modelo mecanizado que permita simular por medio de una serie de situaciones, el sistema real y que no implicarían mayor riesgo para el mismo.

Es necesario plantear alternativas de solución a problemas de análisis, predicciones y control para mejorar el funcionamiento general del sistema de línea de espera. Para ello se realizará un estudio de campo, posteriormente se procesarán y analizarán los datos para luego definir el modelo matemático que se adecue a dicho sistema, con la finalidad de lograr obtener la ecuación matemática que lo representa en su comportamiento real, de esta forma se tendrá la información adecuada para la creación de un Sistema Simulador.

Una herramienta como lo es el simulador para el análisis del proceso de colas en una entidad bancaria realiza comparaciones entre simulaciones, lo cual es necesario para observar como se comporta la cola con diferentes parámetros.

Pero una solución al problema de la espera consiste no solo en minimizar el tiempo que los clientes pasan en el sistema, sino también en relacionar el costo de proveer servidores adicionales y el costo de demorar o no prestar el servicio, logrando de esta forma minimizar los costos de aquellos que solicitan el servicio y de quienes lo prestan. Todo este análisis sin esta herramienta sería tedioso y difícil.

Con los resultados generados por la herramienta, se presentarán soluciones operativas, que contribuyan a realizar cambios en los procedimientos de este tipo de instituciones con el fin de mejorar el servicio y a la vez obtener beneficios económicos, proponiendo opciones tales como: ventanillas externas, cajeros automáticos, salón VIP, etc.

2.2.1 Descripción del proceso de atención de las colas que se forman en los bancos

Para visualizar el proceso antes mencionado se presenta a continuación un diagrama de flujo y esquemático (Figura 2.2.1.1) que ayudará a los clientes en su proceso de realización de la transacción dentro del sistema.

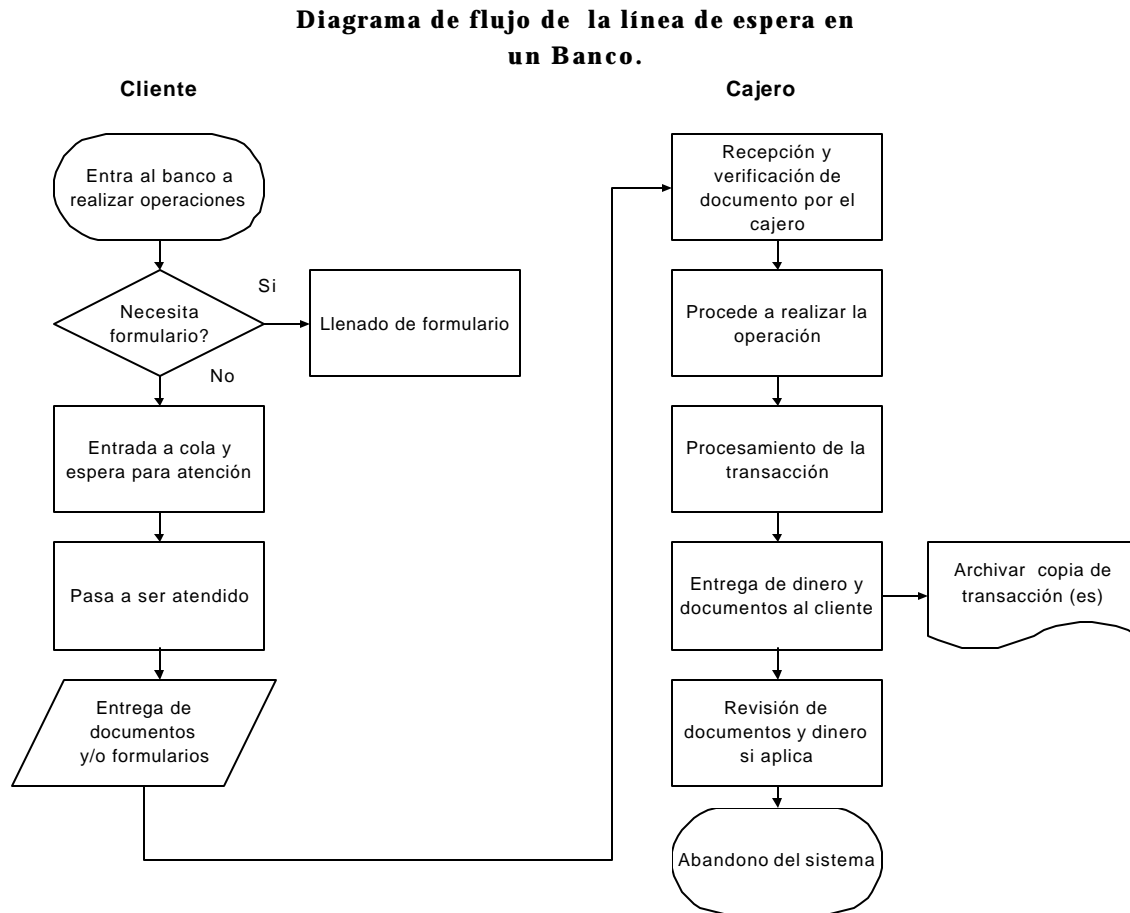


Diagrama de flujo

Explicación del diagrama de flujo:

El servicio se inicia cuando el usuario entra a la agencia y se dirige al mostrador de formularios. Llena su (s) formulario (s) y luego busca la entrada a la cola para llegar a los cajeros.

Se inicia el tiempo de espera del cliente en la cola. Cuando llega al final de la cola y uno de los cajeros se encuentra libre el cliente pasa a ser atendido, presentándole al cajero sus documentos o formulario respectivo, quien verifica la información necesaria para dicha transacción, por ejemplo el número de cuenta, nombre de la cuenta, etc. Luego de la verificación se procede al procesamiento de la información en el sistema.

Adicionalmente el cajero sella los formularios necesarios y guarda una copia de la transacción realizada en su archivo provisional y en su caja por medio del sistema de cómputo.

El cliente toma sus comprobantes, revisa el efectivo en caso de recibirlo, toma sus documentos personales y sale del área de atención, dirigiéndose a la salida, dando por terminado el proceso.

Diagrama Esquemático del proceso de transacciones bancarias:

El cliente arriba al sistema y es sometido a un procedimiento de seguridad.

Si el cliente necesita llenar algún formulario se acerca a un mostrador y llena el formulario correspondiente.

Inician al final de la línea de espera las personas que ya llenaron su formulario o aquellas que no lo necesitan.

Ambas con la finalidad de recibir servicio.

Serán atendidas las personas en cualquier estación de servicio que se encuentre disponible en el momento que ellos son los primeros en la cola.

Al finalizar el proceso de atención, las personas pasan a retirarse del sistema. O se retiran también, aquellos clientes que consideran que el tiempo de espera es demasiado largo (Deserciones).

Se representa en forma gráfica en la figura 2.2.1.2 :

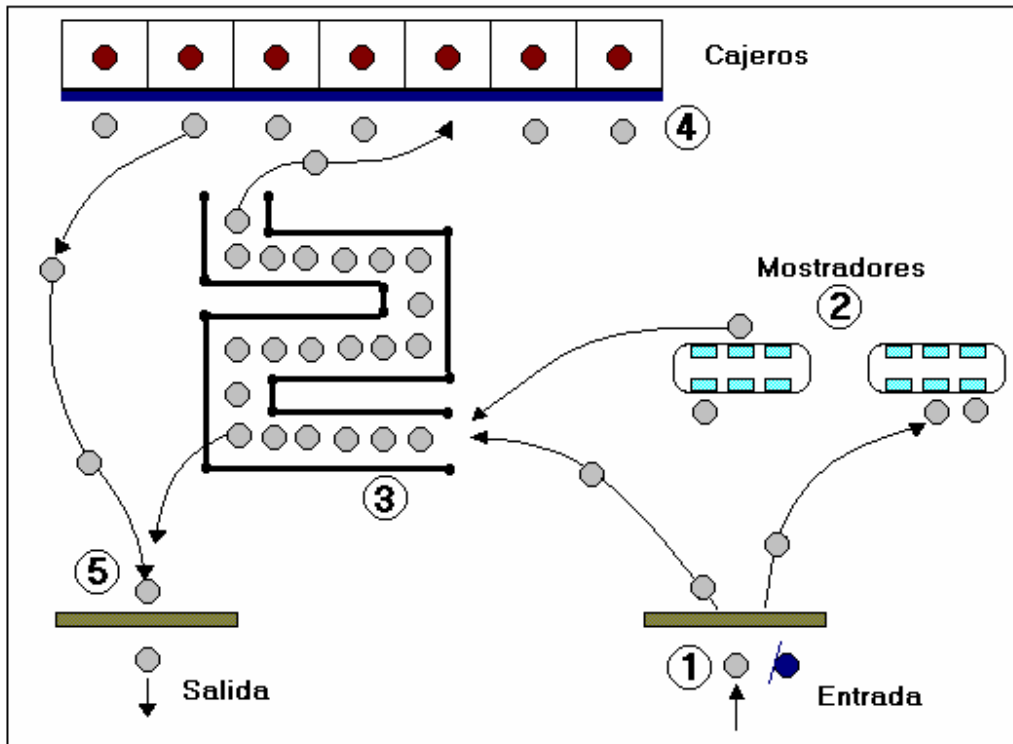
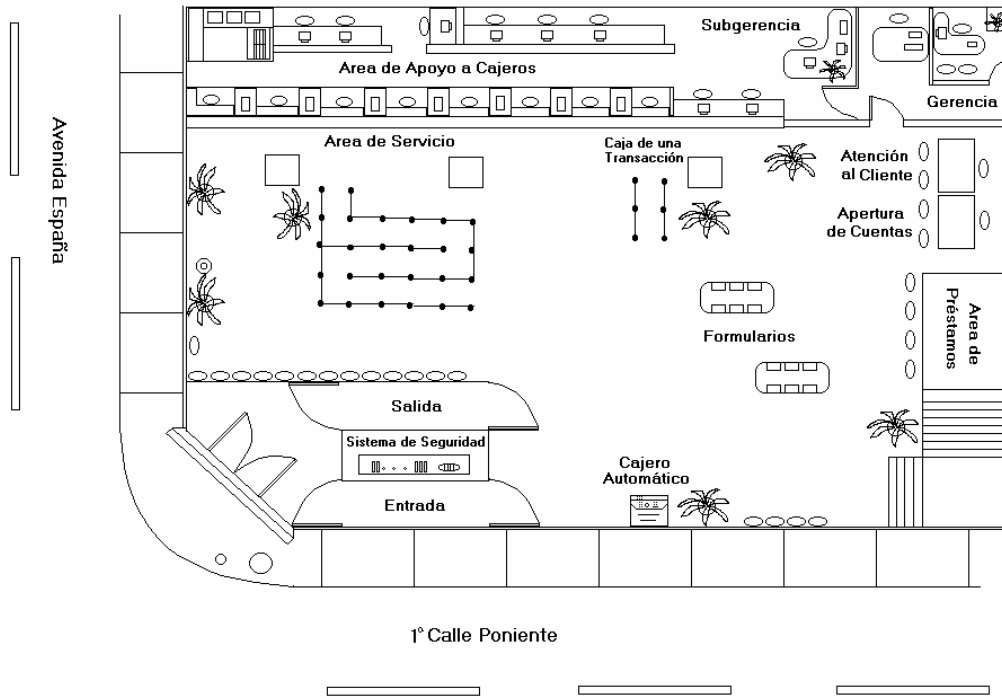


Figura 2.2.1.2: Flujo de llegadas, atención y salida de los clientes.

2.2.2 Vista de Planta de las instalaciones del Banco de Comercio Agencia España.



CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1 INVESTIGACIÓN DE CAMPO

3.1.1 Introducción

Se hizo necesario realizar una investigación de campo que sirva para el establecimiento de la situación actual.

Dentro de esta investigación se estableció un universo que fue analizado posteriormente con el fin de cumplir con los alcances y objetivos, estableciendo el tamaño de la muestra que se investigó para obtener las características representativas del sistema de una cola múltiples servidores, así como su completo funcionamiento para solucionar problemas tales como la manipulación de tiempos de cola y de servicio.

3.1.2 Objetivos

La investigación de campo proporcionó información necesaria que permitió conocer el funcionamiento de una línea de espera con múltiples servidores, sentando la base para el establecimiento de la situación actual y posteriormente la creación del modelo general computarizado, tratando de alcanzar los objetivos siguientes:

- a) Recolectar la información indispensable que permita conocer el funcionamiento y comportamiento de la cola en un banco.
- b) Obtener tiempos promedios de llegada y salida de los clientes.
- c) Calcular tiempos promedios de servicio con respecto a la cantidad y los tipos de transacciones realizadas por los clientes.
- d) Determinar la cantidad de usuarios por unidad de tiempo que llegan, son atendidos y salen del sistema.

3.1.3 Universo

El universo esta constituido por todas aquellas entidades bancarias que poseen sistemas de una cola múltiples servidores

3.1.4 Determinación de la muestra

Para hacer posible este estudio se procedió a gestionar los permisos necesarios en varias entidades bancarias dentro de las cuales podría realizarse la investigación de campo, obteniéndose una respuesta favorable con el Banco de Comercio cuyo directivo nos asignara la Agencia España ubicada entre 1ª calle Poniente y Av. España, San Salvador.

Con el aval de las autoridades de la oficina central se explicó a los jefes de agencia cual sería el sistema de trabajo. Este consistió en observar al público dentro de las instalaciones de la agencia, tomar el tiempo de llegada y salida de la cola, tiempo por transacción y atención de los clientes.

Se tomó una muestra total de todos los clientes que llegaron a solicitar el servicio a dicha agencia. La demanda de clientes es atendida por 6 cajeros a tiempo completo.

El proceso de recolección de información se realizó en el período del 26 Mayo al 16 de Junio y del 30 de Junio al 5 de Julio, con un horario de 8:30 AM a 5:00 PM, de lunes a viernes, (cubriendo intervalos de almuerzo) y sábado de 8:30 AM a 12:00 PM.

3.1.5 Recursos.

Para la medición de los tiempos se utilizaron:

- ✓ Relojes digitales, los cuales muestran en pantalla hora, minutos y segundos.
- ✓ Tablas de madera aglomeradas tamaño carta con clip incorporado.
- ✓ Formularios de toma de tiempos.
- ✓ Papelería en general.

3.1.6 Recolección de los datos.

Con el apoyo de los elementos antes mencionados los datos fueron obtenidos utilizando el método de observación dentro de la agencia.

Formulario para la recolección de tiempo de servicio por transacción.

FORMULARIO PARA LA RECOLECCION DEL TIEMPO DE SERVICIO POR TRANSACCION													
EMPRESA:		Banco de Comercio Agencia España								FECHA: / /03			
OBSERVADOR:										HORA INICIO			
Caja #:										Pagina #:			
TIPO DE TRANSACCIONES													
1	Retiro Cuenta Ahorro							8	Apertura de Cuentas				
2	Deposito Cuenta Ahorro							9	Abono a Prestamos				
3	Cheque Cuenta Corriente							10	Abono a Tarjeta de Credito				
4	Deposito Cuenta Corriente (Remesa)							11	Devolución de Renta				
5	Pago de Colectores							12	Cambio de Moneda				
6	Pago de Colegiaturas							13	Pago de subsidio (ISSS)				
7	Pago de Remesas Familiares							14	Actualizacion de Libreta de ahorro				
#	TIEMPO INICIAL			TIEMPO FINAL			TRANSACCIONES					OBSERVACIONES	
	H	M	S	H	M	S	1	2	3	4	5		
1													
2													
3													
4													

1-Representa el número correlativo de llegada de los clientes a la cola (de 1 a 40 por hoja).

2-Se componen en Horas (H), Minutos (M) y Segundos (S).

3-Especifica el tipo de transacción detallada a continuación del encabezado.

4-Observaciones tales como cantidad de transacciones de un mismo tipo, transacciones no contempladas, etc.

3.1.7 Corrección de datos

Al finalizar la toma de datos diario se procedía a la tabulación y corrección de los datos en formato electrónico mediante Excel, es decir se procedía a digitar la información recolectada y verificar la concordancia de los tiempos de salida de cola y los tiempos de llegada a ser atendido, con la finalidad de minimizar errores.

Al iniciar la observación diaria, se verificaba la sincronía de los cronómetros, se distribuían los observadores de tal forma que la toma de datos en cola fuese constante, asignando un observador para dos cajeros.

CAPÍTULO IV

ESTUDIO DE LOS DATOS RECOLECTADOS

4.1 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Un adecuado análisis de resultados obtenidos, en el procesamiento de la información, proporcionará las bases para el establecimiento de conclusiones y sus respectivas recomendaciones y resultados referentes a la situación actual del sistema de líneas de espera en estudio. Es necesario definir los pasos a seguir en el análisis de la información, entre los cuales tenemos:

- ✓ Efectuar un estudio de la información procesada.
- ✓ Ordenar los datos.
- ✓ Presentarla en tablas.
- ✓ Cálculos estadísticos y promedios.

El procesamiento de la información incluye todas las formas de extraer características y comportamientos cuantificables, de tal manera que se tenga una amplia visión de los parámetros que determinan la naturaleza de los sistemas de líneas de espera. Esta etapa es necesaria puesto que los datos recolectados en los formularios no son utilizables directamente, ya que se necesita conocer tiempos promedios.

Al tener los datos procesados y clasificados se obtuvieron las tablas que a continuación se presentan, tomando como ejemplo el día 30 de Junio ,tanto para la línea de espera como para recibir el servicio.

Cantidad de Personas que entran y Salen de la cola.

Se ha determinado la cantidad de personas que llegan a formar parte de la línea de espera en intervalos de una hora, así como también, personas que desertan de la cola como se puede ver en la tabla 1.

HORA	Personas que entran a la cola	Personas que salen de la cola	Deserciones
08:37 am - 09:00 am	47	36	0
09:00 am - 10:00 am	100	89	1
10:00 am - 11:00 am	81	65	3
11:00 am - 12:00 am	63	75	4
12:00 pm - 01:00 pm	89	76	2
01:00 pm - 02:00 pm	81	93	4
02:00 pm - 03:00 pm	80	39	3
03:00 pm - 04:00 pm	61	48	13
04:00 pm - 05:00 pm	55	67	6
05:00 pm - 05:21 pm	3	36	0
TOTAL :	660	624	36

Tabla1: Cantidad de Personas que entran y Salen de la cola

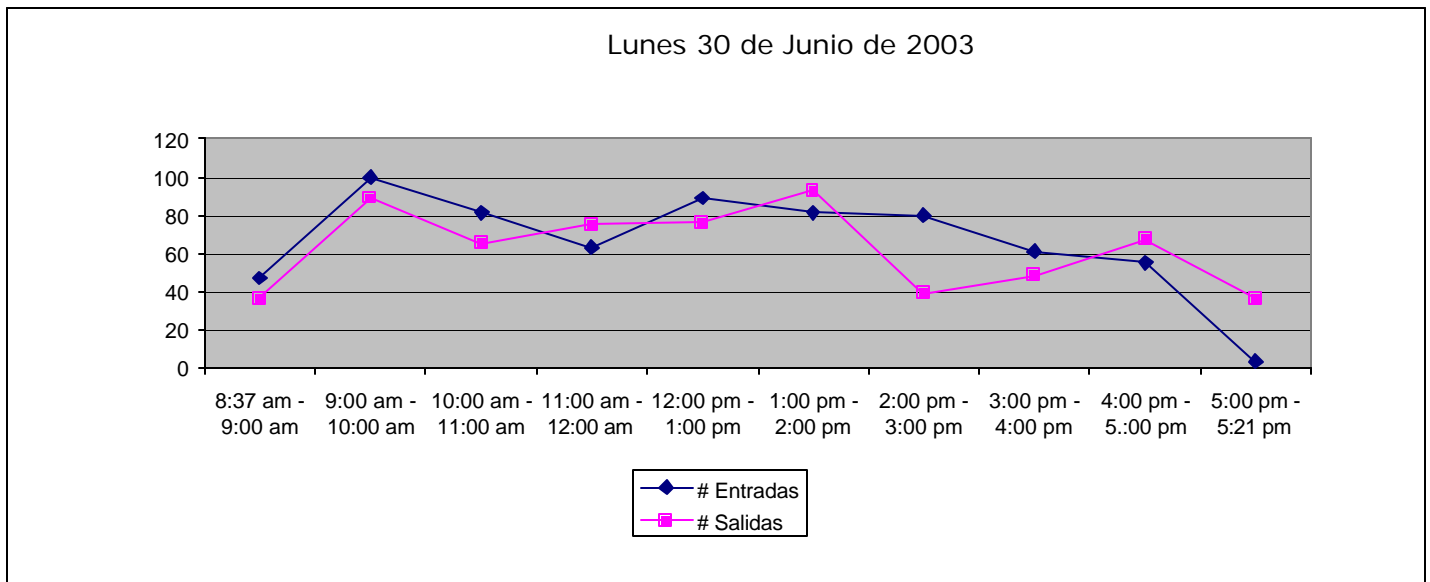
En base a los tipos de deserciones se pudieron detectar los siguientes:

- ✓ Deserción total de la entidad bancaria sin realizar sus transacciones.
- ✓ Deserción de la línea de espera común, hacia la cola de la caja de una sola transacción.
- ✓ Desertar de la línea de espera común, para realizar la transacción en el cajero automático dentro del banco.
- ✓ Personas que son retiradas de la línea de espera común, cuando se hace corte diario para pagos de colegiaturas, pagos de servicios y pagos de subsidios por parte del Seguro Social.
- ✓ Deserción de personas que se dirigen hacia atención al cliente y luego se retiran del banco.

De igual forma se obtuvo un análisis detallado para cada uno de los días, ejemplificándose a continuación con el día 30 de Junio:

Tipo de Deserción	Cantidad
Deserción Total	5
Deserción a Caja de una Transacción	24
Deserción al Cajero Automático	3
Deserción a Atención al Cliente	0
Deserción por corte de transacción	4
Total de Deserciones del día:	36

Presentándose a continuación gráficamente los resultados de la tabla de tiempos de entrada y salida para el mismo día:



Al analizar la gráfica anterior se observa como se da el movimiento de personas dentro del sistema de Una cola con Múltiples servidores, pudiendo comprobar que el sistema es bastante estable en cuanto que la cantidad de personas que pasan a formar la cola, son la misma cantidad de personas que salen justificándose la cantidad de personas que abandonaron la cola (desertaron) por ejemplo en el intervalo de las 3:00 pm a 4:00 pm, ya que como se observa entraban más personas de las que podían ser atendidas, ocasionando que la cola creciera mucho y las personas decidieran desertar de ella.

Tiempo promedio entre llegadas y salidas consecutivas en la cola.

Para tener una mejor perspectiva de cada cuanto tiempo una persona pasa a formar parte de la cola y de cada cuanto tiempo sale alguien de la cola para recibir servicio, se presenta a continuación un análisis en valores de tiempo promedios de entradas y salidas en intervalos de cada hora.

HORA	Promedio Entradas	Promedio Salidas
08:37 am - 09:00 am	0:00:28	0:00:38
09:00 am - 10:00 am	0:00:36	0:00:40
10:00 am - 11:00 am	0:00:44	0:00:55
11:00 am - 12:00 am	0:00:58	0:00:48
12:00 pm - 01:00 pm	0:00:41	0:00:47
01:00 pm - 02:00 pm	0:00:45	0:00:45
02:00 pm - 03:00 pm	0:00:45	0:01:07
03:00 pm - 04:00 pm	0:00:50	0:01:16
04:00 pm - 05:00 pm	0:01:16	0:00:54
05:00 pm - 05:21 pm	0:07:59	0:00:46

Tomando por ejemplo el intervalo de 09:00 a 10:00am, de la tabla anterior, se tiene que cada 36 Seg en promedio, una persona inicia su proceso en la línea de espera para realizar sus transacciones y que cada 40 seg. alguien abandona la cola para recibir servicio.

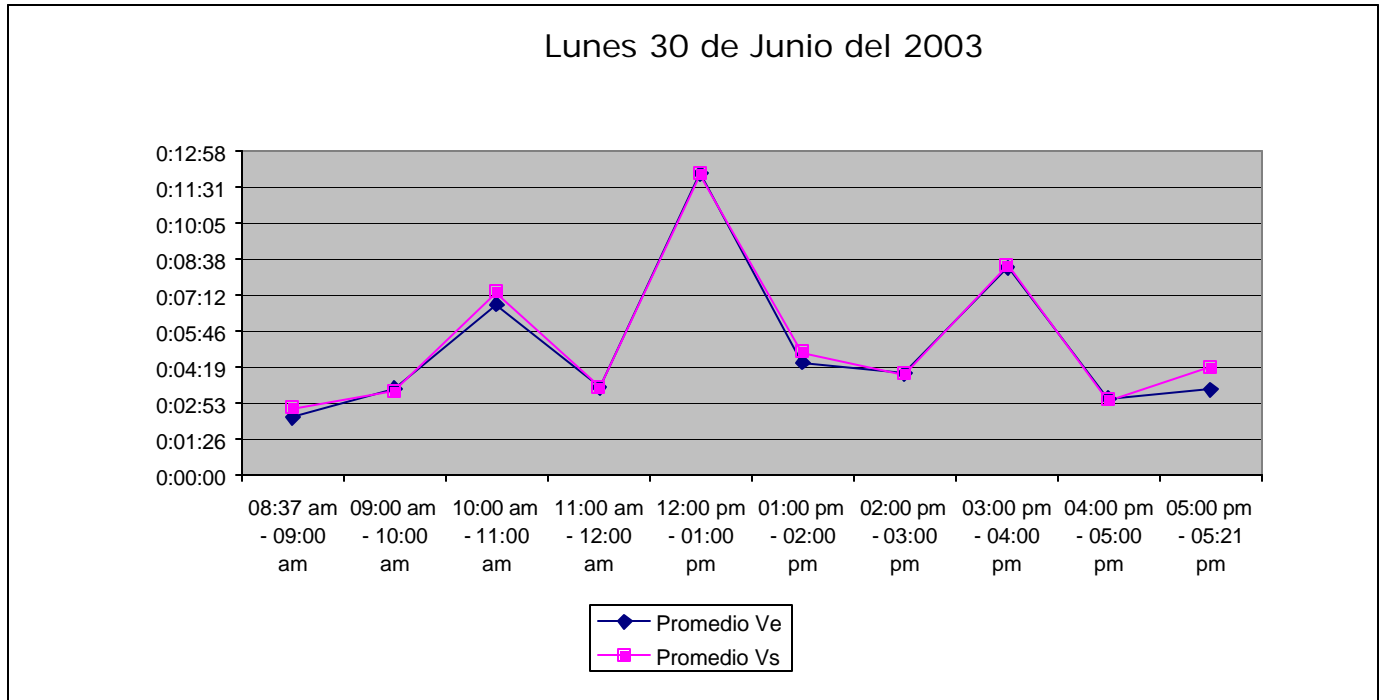
Promedio de Velocidades de Entrada y salida de los clientes para recibir atención.

Los promedios de las velocidades de entrada y salida de los clientes para recibir atención, es importante dentro del presente estudio, puesto que representa la velocidad promedio en que las personas salen de la cola para dirigirse hacia cualquiera de los cajeros que en ese momento se encuentren en disposición de otorgar el servicio, así como también se presenta la velocidad con la que las personas salen del área de servicio. Convirtiéndose esta información, en uno de los parámetros más importantes para observar el movimiento del sistema (Cola- Servidores). A continuación se presenta como ejemplo la tabla y gráfica para el día 30 de Junio de 2003.

ATENCIÓN DE CAJEROS JUNIO 30		
Promedio de Velocidades de entrada y salida		
HORA	Promedio Ve	Promedio Vs
08:37 am - 09:00 am	0:02:18	0:02:40
09:00 am - 10:00 am	0:03:29	0:03:22
10:00 am - 11:00 am	0:06:50	0:07:21
11:00 am - 12:00 am	0:03:31	0:03:32
12:00 pm - 01:00 pm	0:12:06	0:12:02
01:00 pm - 02:00 pm	0:04:32	0:04:56
02:00 pm - 03:00 pm	0:04:05	0:04:03
03:00 pm - 04:00 pm	0:08:19	0:08:25
04:00 pm - 05:00 pm	0:03:06	0:02:59
05:00 pm - 05:21 pm	0:03:27	0:04:19

En la tabla anterior se puede observar lo antes expuesto: si tomamos la hora de las 9:00 a 10:00am podemos ver que en ese intervalo de tiempo, cada 3 minutos con 29 segundos una persona pasa a ser atendida y cada 3 minutos con 22 segundos una persona sale del área de servicio luego de realizar su(s) transacción(es).

Y gráficamente se representan estos valores así:



Para observar a detalle el comportamiento de la línea de espera y los servidores por día puede ver el Anexo 7⁴ de este documento.

⁴ Análisis de campo

CAPÍTULO V

FORMULACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO

Para lograr una simulación eficaz de un sistema, se debe plantear un modelo matemático adecuado, el cual será la base de dicha simulación.

5.1 DEFINICIÓN DE MODELO.

Un modelo es la interpretación explícita de lo que uno entiende de una situación, o tan solo ideas acerca de esa situación. Puede expresarse en matemáticas, símbolos o palabras, pero en esencia es una descripción de entidades, procesos o atributos y las relaciones entre ellos, lo más importante es que debe ser útil.

5.1.1 Selección y Evaluación del sistema de colas.

La aplicación de la teoría de colas con el fin de seleccionar el modelo⁵ apropiado de líneas de espera, en la práctica, implica 2 aspectos principales:

- 1.- Selección del modelo matemático adecuado, con objeto de determinar las medidas del **desempeño** del sistema.
- 2.- Implantación de un modelo de decisión basado en las medidas de desempeño del sistema con el fin de diseñar la **instalación** de servicio

La SELECCIÓN del modelo para analizar una línea de espera, sea analítico o por simulación, está determinado principalmente por las **distribuciones de los tiempos de llegada y los tiempo de servicio**. En la práctica estas distribuciones se determinan observando las líneas de espera durante su operación y registrando los datos correspondientes. Entonces: ¿Cuándo observar el sistema?, y ¿Cómo registrar los datos?

¿Cuándo Observar?

Se observa el sistema cuando esta funcionando "normalmente", esto cuando cada una de sus partes esta maniobrando. Para un investigador "conservador" será correcto observar y recopilar los datos durante los "periodos de mayor actividad", que corresponde a los momentos de congestión en los sistemas de colas; por lo

⁵ Anexo [3]

que el sistema debe diseñarse para tomar en cuenta esas condiciones extremas: Mayores tasas de llegadas (mayor número de clientes / unidad de tiempo).

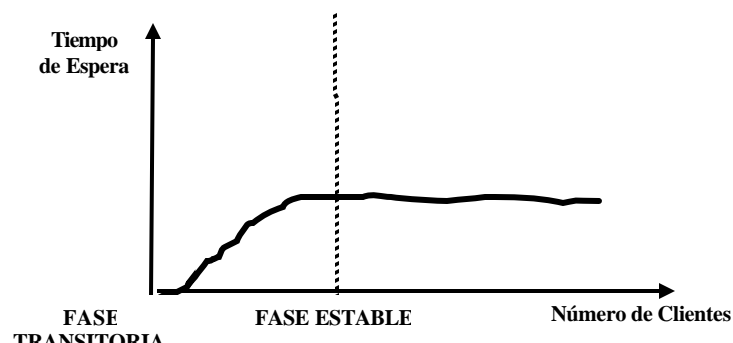
Otra alternativa para observar, es simplemente cuando el sistema está en su “comportamiento o fase estable”. Cuando un proceso complejo y aleatorio comienza, tal como una línea de espera, como en el caso de un banco cuando abre, aparece un período de tiempo durante el cual las condiciones que prevalecen están influenciadas por el estado inicial del sistema.

Esta fase “de transición” es reemplazada gradualmente por el estado “estable”, en el que emergen los patrones estables, aún cuando el sistema esté influenciado por efectos aleatorios, generando fluctuaciones en la longitud de la cola y otras cantidades relacionadas.

Los informes que se generan a partir del Análisis de colas se basan en la presunción que el sistema está funcionando en condición estable. Entre otras cosas, esto implica que los diversos componentes indicados en la sección anterior actúan de manera constante durante todo el tiempo.

A menos que se trabaje con un modelo “autolimitado”, en el que tanto la sala de espera como la población de llegada es finita, se debe tener mucho cuidado, al ingresar los datos de los componentes, que la tasa de llegadas sea menor que la tasa de servicio (que es el número de servidores multiplicado por el tiempo medio de servicio de cada uno).

Si los clientes arriban más rápido que lo que el sistema puede atender, la cola va a crecer y crecer, y nunca podrá alcanzar el estado estable. Esto, por supuesto, es una situación teórica. En la práctica pueden ocurrir cosas distintas. Tal vez la tasa de llegada vaya disminuyendo, porque los posibles clientes no se quedan a esperar, o la tasa de servicio se incrementa gracias a que el personal trabaja más aprisa, o se abren nuevos servidores. Pero sea lo que sea, los supuestos del modelo dejan de ser válidos. Como las fórmulas en las que se basan los modelos suponen un estado estable, no se deben ingresar parámetros que violen dichos supuestos. Cualquier sistema de colas pasa por 2 fases básicas: *La fase transitoria y la fase estable.*



¿Cómo Registrar los Datos?

La recolección de datos relativos a llegadas y salidas se puede efectuar utilizando uno de dos métodos:

Método 1.- Medir el tiempo entre llegadas (o salidas) sucesivas para determinar los tiempos entre arribos (o servicio). Se busca analizar las distribuciones de los tiempos entre arribos o servicios

Método 2.- Contar el número de llegadas (o salidas) durante una unidad de tiempo seleccionada (por ejemplo, una hora). Se busca analizar las distribuciones del número de llegadas o salidas.

La información deberá resumirse en una forma adecuada para luego determinar la distribución asociada: Elaboración de un histograma de frecuencias, gráfica de la distribución empírica, prueba de bondad de ajuste. El tiempo está asociado a la distribución exponencial y el número de llegadas a la Poisson. Si no es así, puede ser necesario buscar otros métodos de análisis para completar el estudio: La simulación es muy adecuada para investigar situaciones de "mal comportamiento" en filas que no se pueden analizar por medio de los modelos teóricos estándar de líneas de espera.

Es por eso que se recurre a hacer uso de algunos indicadores de rendimiento que ayudaron al análisis de los datos recolectados, de la siguiente forma:

Si: λ = Número promedio de llegadas por unidad de tiempo (tasa de llegadas)

μ = Número promedio de clientes atendidos por unidad de tiempo en un canal (tasa de servicio)

Se cumple:

$$\text{a) } \frac{W_s}{\text{Tiempo Promedio en el sistema}} = \frac{W_q}{\text{Tiempo promedio de espera}} + \frac{1}{m \cdot \text{Tiempo promedio de servicio}}$$

$$\text{b) } \frac{L_s}{\text{\# Promedio de clientes en el sistema}} = \lambda \cdot \frac{W_s}{\text{\# Promedio de llegadas por unidad de tiempo en el sistema}}$$

$$\text{c) } \frac{L_q}{\text{\# Promedio de clientes en la cola}} = \lambda \cdot \frac{W_q}{\text{\# Promedio de llegadas por unidad de tiempo en la cola}}$$

En donde se pueden especificar análisis como las siguientes, separadas en dos tipos:

1) Las que tiene que ver con el tiempo:

W_s = Tiempo promedio en el sistema

W_q = Tiempo promedio de espera (en cola)

2) Y los que tienen que ver con el número de clientes:

L_s = Número promedio de clientes en el sistema

L_q = Número promedio de clientes en la cola

P_w = Probabilidad de que un cliente que llega tenga que esperar (ningún cajero vacío)

P_n = Probabilidad de que existan “n” clientes en el sistema $n = 0, 1, 2, 3, \dots$

P_0 = Probabilidad de que no hayan clientes en el sistema

P_d = Probabilidad de negación de servicio, o probabilidad de que un cliente que llega no pueda entrar al sistema debido que la “cola está llena”

5.2 FORMULACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO:

Al tomar en cuenta los valores obtenidos en el estudio de campo realizado en el Banco de Comercio y analizar los datos obtenidos se observó lo siguiente:

- a) El comportamiento de la Línea de espera queda en función del Tiempo y del día.
- b) La Velocidades de salida en la línea de espera dependen de la cantidad de servidores y su rapidez de atención, las cuales tiene que ver con las cantidades de transacciones y con los tipos de transacciones que realice el cliente.
- c) Quedando funciones que dependen de tiempo, día, cantidad de transacciones y tipos.

Por tanto se hace necesario plantear el problema y la solución mediante el uso de dos recursos matemáticos como lo son:

- ✓ La Serie de Potencias de Mclaurin.
- ✓ Método de Gauss para la resolución de matrices.

Para establecer la solución del problema y hacer una simulación muy parecida a la realidad, el modelo matemático que nos ayuda a representar la situación planteada es mediante la serie de potencias de Mclaurin⁶ que son representaciones de funciones que tienen derivadas de todos los ordenes, es decir, funciones que son infinitamente diferenciables, dando como resultado varias ecuaciones de funciones continuas representadas por medio de polinomios alrededor de un punto en concreto, es decir :

Si $f(x)$ es analítica en x_0 , en un círculo abierto $|x - x_0| < r_0$ entonces se presenta en así :

$$f(x) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{f^{(n)}(x_0)}{n!} (x - x_0)^n = f(x_0) + \frac{f'(x_0)}{1!} (x - x_0) + \frac{f''(x_0)}{2!} (x - x_0)^2 + \dots$$

en un cierto intervalo abierto centrado en $x_0 = 0$, la serie suele denominarse serie de Mclaurin de $f(x)$. Dando como resultado:

$$f(x) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{f^{(n)}(0)}{n!} x^n = f(0) + f'(0)x + \frac{f''(0)}{2!} x^2 + \dots + \frac{f^{(n)}(0)}{n!} x^n + \dots$$

y es llamada *Forma general de la Serie de Mclaurin*.

Siendo que esta serie nos permite representar funciones por medio de polinomios y observando las graficas resultantes del estudio de campo⁷ realizado se plantearon las siguientes ecuaciones haciendo uso de las series de Mclaurin, para la línea de espera.

Forma general:

$$f(x) = V(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3 + \dots + a_n t^n$$

$$f(x,y) = V(t, d) = a_0 + b_{j,1} d_1 + b_{j+1,1} d_1^2 + \dots + b_{j+n,1} d_1^{15}$$

Forma Específica:

- ✓ Velocidades en función de las Horas de Servicio (9:00am a 5:00pm)

$$V_e(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3 + a_4 t^4 + \dots + a_9 t^9 \quad (\text{Ec1})$$

$$V_s(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3 + a_4 t^4 + \dots + a_9 t^9 \quad (\text{Ec2})$$

⁶ Ver Anexo [5]

⁷ Ver Anexo [7]

En donde:

Ve(t): Representa la Velocidad de Entrada en la cola en función de la variable de tiempo.

Vs(t): Representa la Velocidad de Salida en la en función de la variable de tiempo.

a₀ ...a₈ : Coeficientes de la función. (Valores Desconocidos)

t ... t⁸ : Tiempos en las cuales se tomaron las muestras. (de 8am a 5pm).

✓ Velocidades de Entrad y Salida en función de los Días de Servicio (1a 15)

$$V(t, d) = a_{(0...8)} = b_{0,0} + b_{1,0} d_1^1 + b_{2,0} d_1^2 + \dots + b_{9,0} d_1^{15} \quad (\text{Ec3})$$

En donde:

a_(0...8): Valor de los coeficientes dados por la resolución de la ecuación anterior.

b₀....b₁₄: Coeficientes de la ecuación

d₀....d₁₄: día al que pertenece la medición (Numérico 1-15)

Se observa de lo anterior, que la función a evaluarse varia dependiendo de la hora y de del día en que se tomo la muestra por consiguiente, si se tiene el comportamiento del sistema para las horas durante el día, se planteará una ecuación por cada día a esa hora.

Entonces se deben de encontrar los coeficientes que satisfagan la igualdad planteada, en la (Ec3), siendo muy conveniente el método de Gauss⁸ para la resolución de las ecuaciones.

En donde habrá coeficientes desde **a₀** hasta **a₈** para cada una de las horas y un día en específico los cuales hacen cumplir la función anteriormente planteada.

Observando a su vez que tanto la ecuación Ec1 y Ec2 quedan de orden 9 y la Ecuación Ec3 de orden 15, tomadas así para una mejor aproximación de los coeficientes a encontrarse.

⁸ Ver Anexos [5]

5.3 RESOLUCIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO.

Mediante Mclaurin se obtiene un modelo matemático que servirá para la simulación real con los datos obtenidos de la información recolectada y para ello se utiliza la eliminación del método de Gauss⁹

Es así como para encontrar el comportamiento del sistema, se desglosan a continuación el primer sistema de ecuaciones lineales tanto para velocidades de entra como salida:

$$V_e = V_s = f(V) = \begin{cases} V_0 = a_0 + a_{10}t + a_{20}t^2 + a_{30}t^3 + a_{40}t^4 + \dots + a_{90}t^9 \\ V_1 = a_1 + a_{11}t + a_{21}t^2 + a_{31}t^3 + a_{41}t^4 + \dots + a_{91}t^9 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ V_9 = a_9 + a_{19}t + a_{29}t^2 + a_{39}t^3 + a_{49}t^4 + \dots + a_{99}t^9 \end{cases} \quad (Ec1a)$$

Resolviendo por matrices el sistema de n ecuaciones lineales con n incógnitas, se plantea lo anterior como:

$$\begin{pmatrix} 1 & t & t^2 & t^3 & t^4 & + \dots & + t^9 \\ & 1 & 1 & 1 & 1 & & 1 \\ 1 & t & t^2 & t^3 & t^4 & + \dots & + t^9 \\ & 2 & 2 & 2 & 2 & & 2 \\ 1 & t & t^2 & t^3 & t^4 & + \dots & + t^9 \\ & 3 & 3 & 3 & 3 & & 3 \\ \cdot & & & & & & \cdot \\ \cdot & & & & & & \cdot \\ \cdot & & & & & & \cdot \\ 1 & t & t^2 & t^3 & t^4 & + \dots & + t^9 \\ & 17 & 17 & 17 & 17 & & 17 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ a_9 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_0 \\ V_1 \\ V_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ V_9 \end{pmatrix} \quad (Ec2a)$$

⁹ Ver anexo [5.1]

Denotando que resultan las matrices de “t”, “a” y “V” de forma que la ecuación se reduce simplemente a:

$$f(V) = \sum_{n=0}^n a_n t^n$$

Se utiliza la regla de Kramer de los determinantes para resolver el sistema de m ecuaciones lineales con n incógnitas si y solo si $t \neq 0$. y como “t” representa la matriz de los coeficientes en (Ec2a).

En el programa, se hace uso del método de Gauss en dos partes del modelo matemático, una cuando se buscan los coeficientes de a_0 a a_9 que satisfagan la igualdad planteada de los cuales se podrá saber por medio de la misma, el comportamiento de la línea de espera y el servicio en una hora determinada. Sirviendo como validación la comparación de las graficas obtenidas con los datos reales tomados en la investigación de campo y la que se obtiene del desarrollo del método de Gauss.

En la segunda parte después de obtener dichos coeficientes, los cuales son almacenados, se utilizan para producir una segunda función como la siguiente:

$$V(t,d) = a_0 + b_{0,0} + b_{1,0} d_1^1 + b_{2,0} d_1^2 + b_{3,0} d_1^3 + b_{4,0} d_1^4 + \dots + b_{14,0} d_1^{14}$$

En donde:

$a_{(0..9)}$: Valor de los coeficientes dados por la resolución de la ecuación anterior.

b_0, \dots, b_{14} : Coeficientes de la ecuación

d_1, \dots, d_{15} : día al que pertenece la medición (Numérico 1-15)

Esta función representa el comportamiento de cada una de los coeficientes que anteriormente se han encontrado en cada uno de las horas y los días, por lo tanto el segundo sistema de ecuaciones lineales es de la siguiente forma:

En donde:

El coeficiente a_0 es igual al coeficiente encontrado en la Ecuación (Ec2a) pro el método de Gauss. Y así sucesivamente para todos los $a_{0..8}$.

El b_0 encontrado del coeficiente a_0 en el día 1, y así para cada $b_{0..14}$ para los 15 días de análisis, en donde se toman Ecuaciones de grado nueve para hacer una mejor aproximación, y llegar a la ecuación resultante que nos dará la solución de la formula para la simulación.

A continuación se plantean la solución por el método de Gauss mediante su representación en pseudo-código, algoritmo y parte del programa que resuelve la situación anteriormente.

Seudo código del Método de Gauss

Inicio:

Entrada: arreglo **a**

Salida: arreglo **k**

Función principal:

establecer los coeficientes del arreglo **a[i][j]**

hacer variable *índice* igual a cero

mientras *índice* <= n-2 hacer

 triangulación (a, n, *índice*)

incrementar *índice* en uno

sustitución (a, n, k)

imprimir resultados

Triangulación (a, n, índice):

hacer *renglón* igual a *índice* + 1

mientras *renglón* <= n-1

 hacer *escala* igual a $(-a[renglón][índice]) / (a[índice][índice])$

 hacer **a**[*renglón*][*índice*] igual a cero

 hacer *columna* igual a *índice* + 1

mientras *columna* <= n

sumar $a[\text{índice}][\text{columna}] * \text{escala } a$
 $a[\text{renglón}][\text{columna}]$
incrementar *columna* en 1
incrementar *renglón* en 1

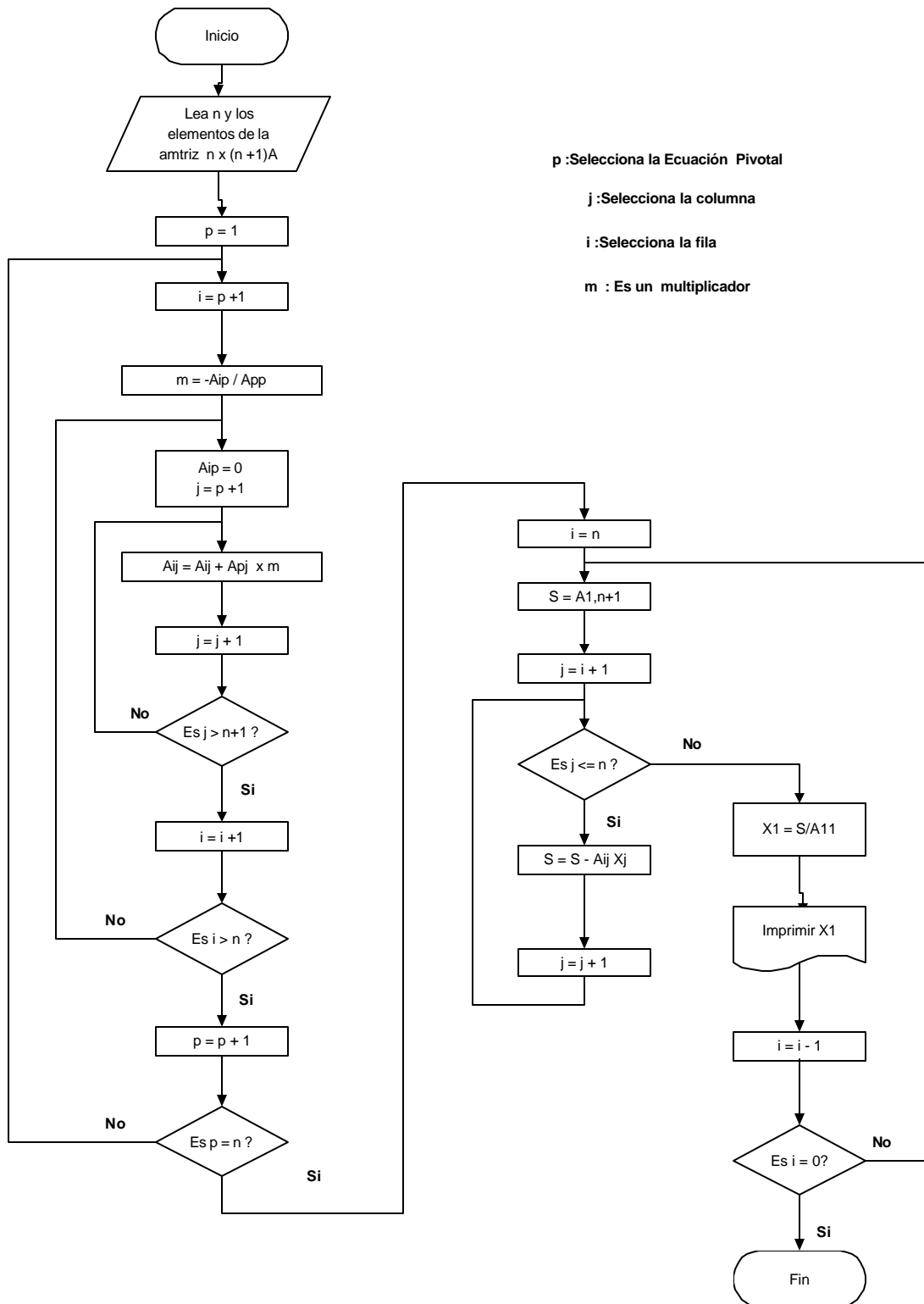
Sustitución (a, n, k):

hacer $k[n-1]$ igual a $a[n-1][n]/a[n-1][n-1]$
hacer *renglón* igual a $n-2$
mientras *renglón* ≥ 0
 hacer *columna* igual a $n-1$
 mientras *columna* \geq *renglón* + 1
 restar $k[\text{columna}] * a[\text{renglón}][\text{columna}]$ **de**
 $a[\text{renglón}][n]$
 restar 1 **de** *columna*
 hacer $k[\text{renglón}]$ igual a $a[\text{renglón}][n]/a[\text{renglón}][\text{columna}]$
 restar 1 **de** *renglón*

Fin

Diagrama de Flujo:

Diagrama de Flujo para Resolver Matrices por eliminación Gaussiana
Para sistemas de Ecuaciones del tipo $Ax = b$ de "m" ecuaciones con "n" incógnitas



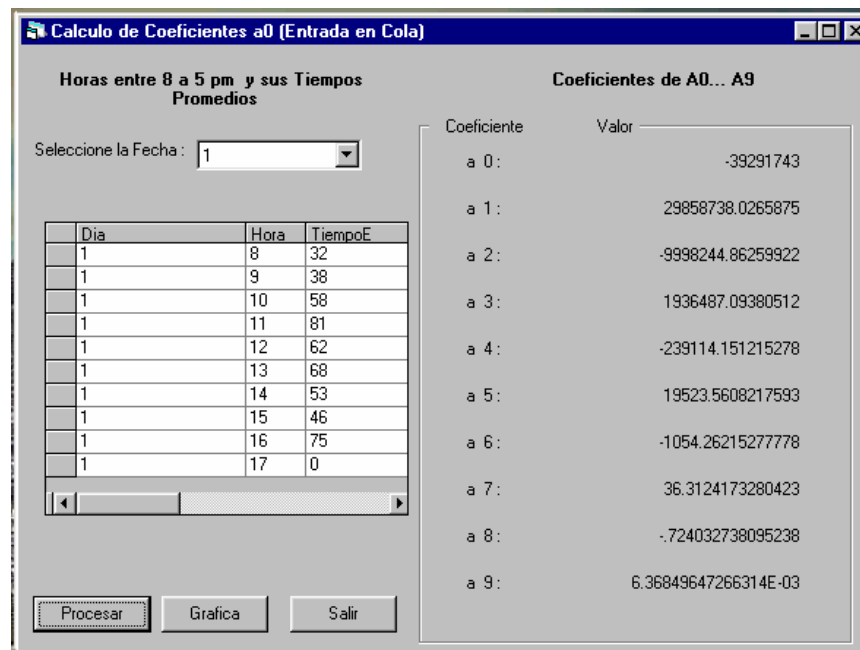
Programa (parte que trabaja con el calculo de los coeficientes):

Sección de programa en Visual Basic 6 que ayuda a los calcular los coeficientes para la determinación de las Ecuaciones del tipo $f(t) = a_n t^n$ y $F(t, d) = a_0 = b_n d^n$.

```
Private Sub CmdProcesar_Click()
    Dim K(1 To 10) As Double
    Dim a(1 To 10, 1 To 10) As Double
    Adodc1.Recordset.MoveFirst
    For I = 1 To 10
        M = Val(DataGrid1.Columns(1).Value)
        For J = 1 To 10
            If J = 1 Then
                a(I, J) = 1
            Else
                a(I, J) = a(I, J - 1) * M
            End If
        Next
        K(I) = Val(DataGrid1.Columns(2).Value)
        Adodc1.Recordset.MoveNext
    Next
    For I = 1 To 10
        For J = 1 To 10
            If I <> J Then
                M = a(J, I) / a(I, I)
                For l = 1 To 10
                    a(J, l) = a(J, l) - M * a(I, l)
                Next
                K(J) = K(J) - M * K(I)
            End If
        Next
    Next
    For I = 1 To 10
        K(I) = K(I) / a(I, I)
        Label4(I - 1).Caption = Str(K(I))
    Next
    CmdGraficar.Enabled = True 'Grafica los términos encontrados
```

End Sub

Es así como resultan los siguientes valores en los coeficientes a_0 del cálculo obtenido por Gauss. Visualizados en el entorno de Visual Basic.



Es por eso la utilidad de la tabulación y almacenamiento de los distintos coeficientes que a lo largo del proceso se han encontrado, para obtener un modelo matemático.

Para el mejor manejo de los datos se tabulara de la siguiente manera:

Hora	CoficienteA	Valor
8	A ₀	-39291743.
9	A ₁	29858738.0265875
10	A ₂	-9998244.86259922
11	A ₃	1936487.09380512
12	A ₄	-239114.151215278
13	A ₅	19523.5608217593
14	A ₆	-1054.26215277778
15	A ₇	36.3124173280423
16	A ₈	0.00636849647266314
17	A ₉	-0.724032738095238

Los cuales son almacenados en una tabla diseñada en Access'2000, porque serán utilizados luego por la triangulación o simultaneo de las ecuaciones mediante Gauss, para encontrar los coeficientes b₀ ...₉ planteándose la situación luego para la Ecu4. de la siguiente forma:

$$a(0...9)=b_0 +b_1 d_1^1 +.....+b_n d_1^9$$

En donde:

a(0...9): Valor de los coeficientes dados por la resolución de la ecuación anterior.

b0.....b14: Coeficientes de la ecuación a encontrarse

d1.....d15: día al que pertenece la medición (Numérico 1-15)

La resolución de la ecuación implica aplicar el método de Gauss anterior solamente que en este caso la matriz es de grado 9 y tenemos como siempre los coeficientes b_{0...9} como incógnitas , conociendo las a(0..9) y los d *(1...15) .

Al resolver la ecuación, y encontrar los coeficientes que satisfacen la igualdad planteada, se puede tabular los datos de la siguiente manera:

Día	Coeficiente a	Coeficiente b	Valor b
1	A0	B0	-3.12038532642E+11
.			.
.			.
.			.
15	A0	B15	b

Por lo tanto quedan definidos los valores de los coeficientes $b_{0..9}$ en función del tiempo y del día a utilizarse para la simulación, del comportamiento del sistema en un aproximación similar a la realidad .

CAPÍTULO VI

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SIMULADOR

6.1 DEFINICIÓN.

Herramienta diseñada para la simulación del proceso de análisis de una cola y múltiples servidores, basándose en parámetros como tiempos promedio de llegadas y salidas de la línea de espera, tiempos promedios de transacciones, deserciones y casos especiales.

6. 2 CARACTERÍSTICAS.

- ↪ Interfaz totalmente gráfica, diseñada en el Lenguaje de Programación Microsoft Visual Basic 6.0.
- ↪ La información referente al simulador se almacena en una base de datos diseñada en Microsoft Access 2000.
- ↪ Representación visual de la generación y tráfico del proceso de colas.
- ↪ Permite comparar simulaciones con diferentes parámetros para tomar decisiones en base a los resultados obtenidos.
- ↪ Incluye un Menú Principal con las siguientes opciones :
 - ✓ Generación de gráficos en base a los tiempos promedio de llegada, salida y de atención.
 - ✓ Impresión de resultados y gráficos.
 - ✓ Guardar parámetros, procesos y resultados.
 - ✓ Establecer prioridad de atención a un cliente que califique dentro de los siguientes casos: personas de la tercera edad, mujeres embarazadas y discapacitados.
 - ✓ Generación de Reportes
- ↪ Se cuenta con una opción de ayuda dentro del simulador para su mejor utilización, así como la descripción de las opciones antes expuestas.
- ↪ Mediante las simulaciones y generación de resultados se pueden determinar soluciones operativas, que contribuirán a realizar cambios en los procedimientos de este tipo de instituciones con el fin de mejorar el servicio y a la vez obtener beneficios económicos.

6.3 REQUERIMIENTOS DE HARDWARE.

Mínimo		Recomendado	
<i>Procesador</i>	Pentium II de 233Hz	<i>Procesador</i>	Pentium III de 500Hz
<i>RAM</i>	64Mb	<i>RAM</i>	128Mb
<i>Video</i>	8Mb	<i>Video</i>	16Mb
<i>CD-ROM</i>	24x	<i>CD-ROM</i>	32x
<i>Color</i>	Verdadero 24 bits	<i>Color</i>	Verdadero 32 bits
<i>Disco Duro</i>	4Gb	<i>Disco Duro</i>	10Gb

6.4 REQUERIMIENTOS DE SOFTWARE.

- ☞ Sistema operativo mínimo Windows 98.
- ☞ Lenguaje de Programación Microsoft Visual Basic 6.0.
- ☞ Microsoft Access '2000.
- ☞ Resolución de la pantalla debe establecerse en 1024 x 768, píxeles.

6.5 BREVE DESCRIPCIÓN DE LA BASE DE DATOS.

Nombre de la Base de Datos: *VeVsSimuColas.mdb*

La base de datos contiene principalmente la información requerida para realizar la simulación, almacenando todos los parámetros en las tablas denominadas EntCola, SalCola y PromTrans las cuales contienen los tiempos promedios obtenidos en la investigación de campo.

En la figura 6.5.1 se observan las relaciones entre las tablas que componen la base de datos.

- ✓ Cajeros: Almacena el numero de caja donde se ubica cada cajero que se encuentra en servicio.
- ✓ CajerosPosicion: Almacena el numero de cajeros que se encuentran en servicio para cada simulación.
- ✓ CajerosTiemposES: Guarda la hora de entrada y salida de cada persona, tanto en cola como en servicio.
- ✓ CajerosTransacciones: Almacena el tipo y cantidad de transacciones realizadas por un cajero.
- ✓ ClienteAtendido: Se utiliza para guardar un cliente determinado en el sistema.
- ✓ Horas: Guarda cada una de las fracciones de las horas de servicio utilizadas en el sistema.
- ✓ PromediosAdicionales: Para el cálculo de promedios generados
- ✓ PromediosVEntCola: Guarda los promedios de Entrada y salida de la cola en el sistema.
- ✓ _PromediosCola: Se almacenan los promedios generados durante la simulación en la cola.
- ✓ _PromediosServicio: Se almacenan los promedios generados para la simulación de la atención.
- ✓ GeneraciónEncabezado: Se guardaran los resultados de cada simulación.

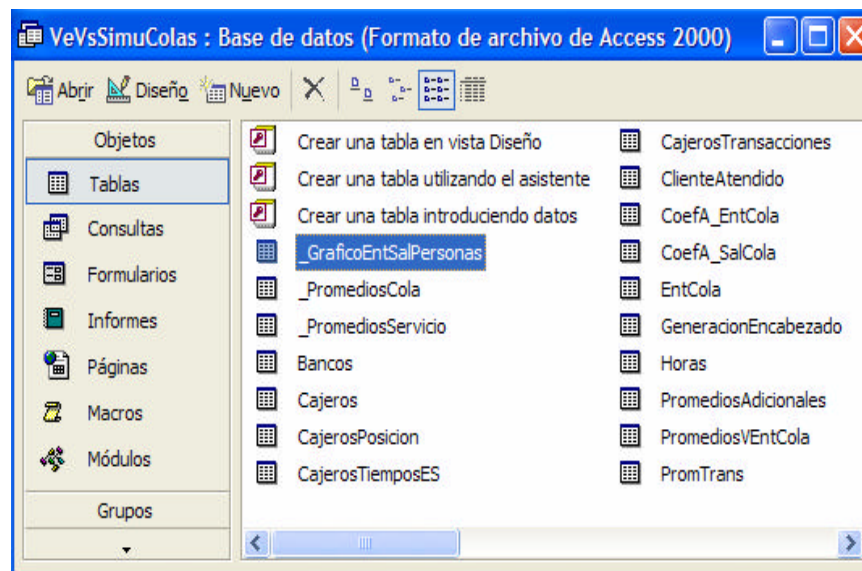


Figura 6.5.2 Tablas de VeVsSimuColas.

En la Figura 6.5.3, se observa el diseño de una de las tablas así como la información que contiene.

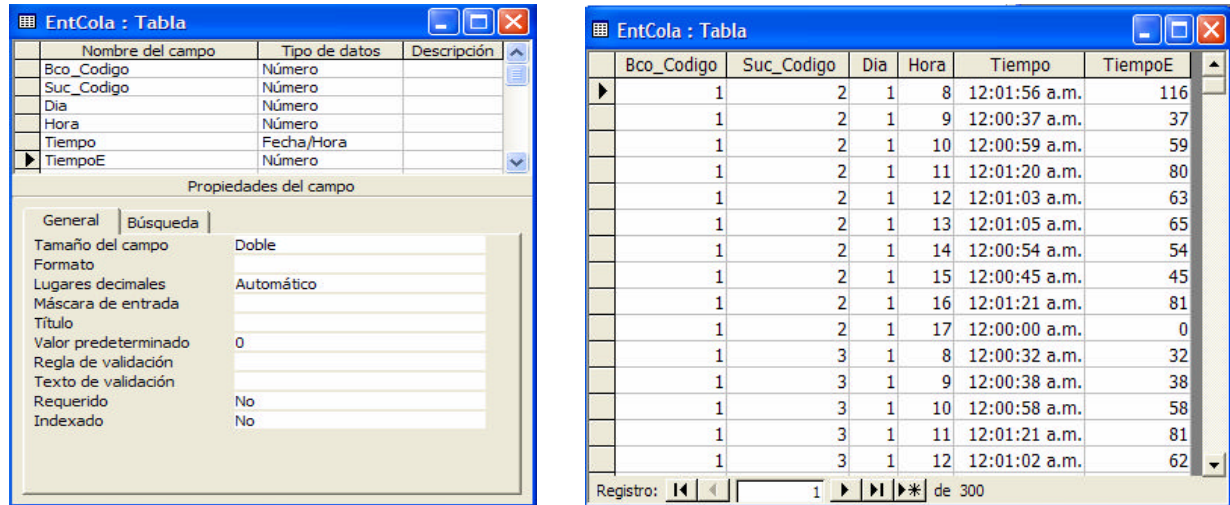



Figura 6.5.3 Tabla: EntCola

6. 6 DESCRIPCION DEL SISTEMA Y PANTALLAS.

Nombre del sistema :	Simulation Bank Queue (SimuBQ)
Versión :	2.003
Logotipo:	

SimuBQ es una herramienta diseñada para el análisis y estudio del comportamiento de la línea de espera en una entidad Bancaria, con la cual puede obtener resultados que le servirán para analizar y sacar conclusiones, orientadas a minimizar tiempos de espera en cola y servicio.

Antes de empezar a utilizar **SimuBQ**, existen áreas con las que deberá familiarizarse, como por ejemplo la introducción de los datos o su importación mediante hojas electrónicas de Excel en un formato específico, su uso, manipulación, generación de resultados y los tipos de reportes que el **SimuBQ** genera.

A continuación se dará una breve descripción de las pantallas que integran a **SimuBQ**.

SimuBQ, presenta como pantalla de inicio la observada en la figura 6.6.1.



Figura 6.6.1. Pantalla de Inicio del Simulador.

Para comenzar a utilizar **SimuBQ** es necesario especificar el nombre del banco y la sucursal donde se realizará la simulación, así como también definir los datos de origen, los cuales corresponden a los tiempos promedios obtenidos en el estudio de campo.

Una vez presentada la pantalla de inicio del simulador, sigue la pantalla de “Selección del Banco y Sucursal” (Figura 6.6.2)

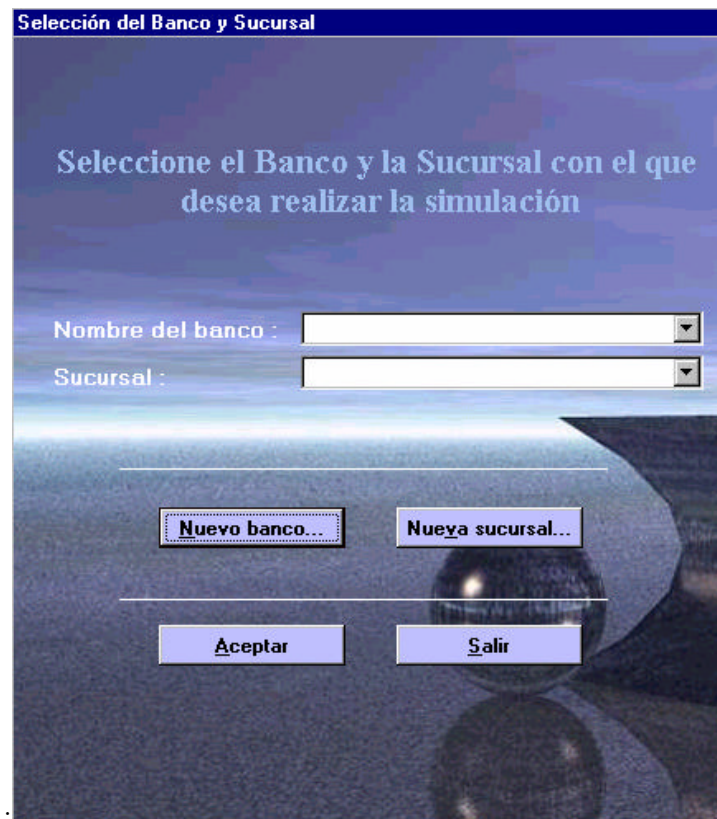


Figura 6.6.2. Pantalla de Selección del Banco y sucursal.

En dicha pantalla se cuenta con las siguientes opciones:

- ✓ Nombre del Banco: Contiene la lista de bancos a escoger para realizar la simulación.
- ✓ Sucursal: Contiene la lista de sucursales de los distintos bancos, es decir, al escoger el banco aparece una lista de las sucursales del mismo.
- ✓ Nuevo Banco: Proporciona la posibilidad de introducir un nuevo banco desplegando la pantalla de la figura 6.6.3.
- ✓ Nueva Sucursal: Presenta la opción de introducir una nueva sucursal bancaria, ya sea para un banco existente o para uno nuevo, utilizando la pantalla de la figura 6.6.3.
- ✓ Aceptar: Al seleccionar el banco y la sucursal y presionar el botón aceptar continúa la simulación en la pantalla Análisis de Datos, figura 6.6.7.

Figura 6.6.3. Pantalla Crear Banco y Creando Sucursal.

SimuBQ puede ser utilizado por cualquier institución bancaria del país y en la pantalla de la figura 6.6.3 se ingresan los datos correspondientes a la sucursal bancaria en la que se desea utilizar la herramienta de simulación. Al ingresar el nombre de la institución bancaria, es necesario ingresar también el nombre de una sucursal de dicha entidad.

En el caso que el mismo banco necesite utilizar el simulador en otra de sus sucursales, lo podrá hacer siempre y cuando haya realizado un estudio de campo para esa sucursal.

Los datos del estudio de campo antes mencionado, pueden ser introducidos directamente desde el simulador, llenando los formularios COLAS y TRANSACCIONES, de la pantalla de la figura 6.6.3, presionando el botón de opción siguiente al completar cada uno de estos; o creando un archivo de datos origen importándolos desde Excel.

Datos de Origen Importados de Excel

Mediante el estudio de campo antes mencionado (realizado como mínimo en un período de un mes) se determinan los resultados siguientes:

- ↵ Tiempos promedios de entrada en cola.
- ↵ Tiempos promedios de salida de cola.
- ↵ Tiempos promedios por transacción.

Al recopilar estos datos deben guardarse en un libro de Excel (no importando el nombre del archivo) que contenga 3 hojas electrónicas, **con los siguientes nombres**:

- Hoja 1, EntCola: contiene la información de entrada en cola.
- Hoja 2, SalCola: contiene la información de la salida de cola.
- Hoja 3, Transacciones: contiene la información de las transacciones que se realizan en la entidad.

El orden y la forma de llenar las hojas de Excel, es el que se presenta en la tabla 1:

Columna Hoja	A	B	C
EntCola	Día	Hora	Tiempo
SalCola	Día	Hora	Tiempo
Transacciones	Nombre	Promedios	Porcentaje

Tabla 1. Hojas y llenado necesario para Datos Origen.

Ejemplo del llenado de las hojas electrónicas que contienen la información recopilada en la investigación de campo como se observa en las figuras 6.6.4, 6.6.5 y 6.6.6 .

Hojas:

EntCola (Tiempos Promedios introducidos en mm:ss de Entrada en Cola)

SalCola (Tiempos Promedios introducidos en mm:ss de Salidas en cola)

EntCola

	A	B	C
1	Dia	Hora	TiempoE
2	1	8	01:56
3	1	9	00:37
4	1	10	00:59
5	1	11	01:20
6	1	12	01:03
7	1	13	01:05
8	1	14	00:54
9	1	15	00:45
10	1	16	01:21
11	1	17	00:00
12	2	8	02:08
13	2	9	00:39
14	2	10	00:47
15	2	11	00:51

SalCola

	A	B	C
1	Dia	Hora	TiempoS
2	1	8	02:51
3	1	9	00:56
4	1	10	01:09
5	1	11	01:09
6	1	12	01:03
7	1	13	00:51
8	1	14	00:51
9	1	15	00:48
10	1	16	01:04
11	1	17	01:40
12	2	8	02:51
13	2	9	00:40
14	2	10	00:56
15	2	11	00:50

Figura 6.6.4 y 6.6.5. Hojas EntCola y SalCola

colafinaldoc

	A	B	C
1	Nombre	Promedios	Porcentaje
2	RETIRO CUENTA DE AHORRO	00:02:33	20
3	DEPOSITO CUENTA DE AHORRO	00:02:23	9
4	CHEQUE CUENTA CORRIENTE	00:02:36	19
5	DEPOSITO CUENTA CORRIENTE (REMESA)	00:03:12	7
6	PAGO DE COLECOTRES (LUZ, AGUA, TEL, CABLE, CEL)	00:01:51	9
7	PAGO DE COLEGIATURAS (UNIVERSIDAD Y COLEGIOS)	00:01:48	7
8	PAGO DE REMESAS FAMILIARES	00:03:12	3
9	APERTURA DE CUENTAS	00:02:22	1
10	ABONO A PRESTAMOS	00:03:10	5
11	ABONO A TARJETA DE CRÉDITO	00:02:11	3
12	DEVOLUCIÓN DE RENTA	00:02:39	7
13	CAMBIO DE MONEDA	00:01:24	7
14	PAGO DE SUBSIDIO (ISSS)	00:02:57	2
15	ACTUALIZACIÓN DE LIBRETA DE AHORRO	00:01:24	2
16			

Figura 6.6.6. Hoja Transacciones.

¿Cómo llenar las tablas anteriores con la información recopilada en la investigación de campo?

Para la Figuras 6.6.4 y 6.6.5 :

- ↪ Columna Dia: representa cada uno de los días en los que se realizó el estudio de campo (los cuales pueden ir desde 1 a 30 días).
- ↪ La columna Hora : representa las horas laborales en formato de 24h.
- ↪ La columna Tiempo: debe llenarse con el tiempo promedio en que una persona entra a la cola estableciendo un formato de columna, en minutos y segundos (mm:ss).
- ↪ En la Hoja SalCola sus tres columnas se llenan de la misma forma que en la hoja EntCola.

Figura 6.6.6:

- ↪ Columna Nombre: se deben introducir los nombres de las transacciones que se realizan en la entidad bancaria.
- ↪ Columna Promedios: se debe introducir los tiempos promedio en los cuales se realiza dicha transacción por los cajeros en un formato de columna, de minutos y segundos (mm:ss).
- ↪ Columna Porcentajes : Se debe introducir los porcentajes o frecuencias en las cuales se realiza dicha transacción. Los cuales en suma de todas no debe exceder de un 100% , con un formato numérico de columna.

Importante : El nombre del archivo de Excel que contiene esta información no está preestablecido, pero podría ser el nombre de la sucursal a la que se refieren los datos.

En cambio para cada una de las hojas electrónicas dentro del libro, es indispensable que se llenen y se nombren como se explicó anteriormente.

Habiéndose seleccionado un banco y su correspondiente sucursal ya existentes dentro del sistema o introducidos los Datos Origen de un nuevo banco con su respectiva sucursal y presionándose el botón aceptar pasamos a la pantalla de Análisis de Datos que se presenta en la figura 7:



Figura 6.6.7. Pantalla Análisis de Datos.

En la Pantalla de Análisis de Datos figura 6.6.7, existen las opciones siguientes:

- ↪ El botón Sí: Continúa la simulación en la pantalla Simulación-Inicio, figura 6.6.8.
- ↪ El botón No: Permite cambiar los datos concernientes a la investigación de campo realizada para la Entidad Bancaria y Sucursal que se hubiera seleccionado, llenando formularios similares a los de la figura 6.6.3 y siguiendo los mismos procedimientos.
- ↪ El botón Cancelar: Nos lleva hasta la pantalla de la figura 6.6.2 para iniciar todo el proceso.



Figura 6.6.8. Pantalla Simulación-Inicio.

En ésta pantalla de la figura 6.6.8 se presentan las siguientes opciones:

- ↪ El botón Si: Continúa la simulación en la pantalla Simulación-Parámetros, figura 9.
- ↪ El botón No: nos regresa a la pantalla de la figura 2 para iniciar todo el proceso.



Figura 6.6.9. Pantalla Simulación-Parámetros.

En la pantalla de Simulación – Parámetros (figura 6.6.9) se presentan las siguientes opciones:

- ↪ Día: Permite seleccionar de un calendario el día y mes en el cual se desea realizar la simulación.
- ↪ Hora inicial: Determina la hora en que se iniciará la simulación (Desde 8:00am a 5:00pm en formato 24h).
- ↪ Hora final: Determina la hora ñeque se detendrá la simulación para la fecha seleccionada (Desde las 9:00am a 5:00pm).
- ↪ Cantidad de servidores: Permite establecer la cantidad de cajeros con los que se desea realizar la simulación (Desde 1 hasta 15 cajeros).
- ↪ Perfil de transacciones: Puede seleccionar los datos dependiendo de la frecuencia de transacciones con la cual trabaja cada entidad bancaria, o puede seleccionar ninguna.
- ↪ Iniciar: Continúa la simulación en la pantalla de la figura 6.6.10.

- ↪ **Cerrar:** Traslada la simulación a la pantalla de la figura 6.6.2 para iniciar nuevamente todo el proceso.

Pantalla de Simulación



Figura 6.6.10. Pantalla Simulación.

En la pantalla Simulación (figura 6.6.10), se muestra de una forma gráfica la generación de la línea de espera, su tráfico y la atención de los cajeros hacia los clientes.

Existe la posibilidad (Seleccionando la opción mostrar información) de visualizar también la información de los parámetros con los cuales se está llevando a cabo la simulación, el tiempo transcurrido de simulación, la cantidad de personas que están ingresando a la línea de espera, así como también los que han sido atendidos.

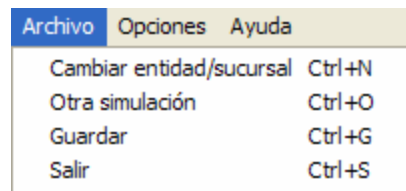
Dentro la pantalla de simulación existen también las siguientes opciones: Adicionar Cajero y Eliminar Cajero, ambos en tiempo de ejecución, es decir durante de la simulación. Puede medirse también el tiempo que se tarda una persona dentro del sistema (desde su llegada, el tiempo de espera en cola, hasta ser atendida). Este tiempo es determinado al dar un clic en el botón Tiempo en sistema de un cliente.

Puede también ejemplificarse o presentarse en una forma visual los casos especiales que son atendidos por los cajeros, por ejemplo: personas de la tercera edad, discapacitados, embarazadas, etc. Al igual que pueden observarse las deserciones que ocurren durante el proceso.

Barra de Menú Principal

Dentro de la barra del menú principal en la pantalla de la figura 6.6.10 se encuentran las siguientes opciones:

Archivo:

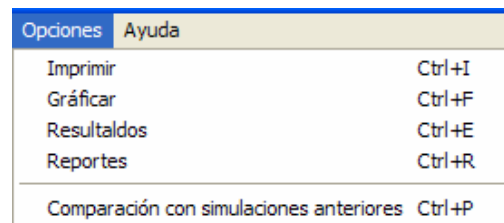


Archivo	Opciones	Ayuda
Cambiar entidad/sucursal		Ctrl+N
Otra simulación		Ctrl+O
Guardar		Ctrl+G
Salir		Ctrl+S

Figura 6.6.11. Menú Archivo.

- ↪ Cambiar entidad/sucursal: Retorna a la pantalla en la figura 6.6.2.
- ↪ Guardar: Guarda los resultados de la simulación actual para futuras comparaciones.
- ↪ Otra simulación : Se muestran las comparaciones para distintas simulaciones realizadas en un mismo día.
- ↪ Salir: Si no se han guardado los resultados de la simulación, aparece un mensaje con la pregunta si desea guardarlos, si la respuesta es afirmativa, guarda dichos resultados y cierra el simulador, si la respuesta es negativa cierra totalmente el sistema sin guardar los resultados.

Opciones:



Opciones	Ayuda
Imprimir	Ctrl+I
Gráficar	Ctrl+F
Resultados	Ctrl+E
Reportes	Ctrl+R
Comparación con simulaciones anteriores	Ctrl+P

Figura 6.6.12. Menú Opciones.

- ↪ Imprimir: Muestra una vista preliminar de los resultados de la simulación actual en una hoja de reporte, para luego ser impresos.
- ↪ Graficar: Dentro la opción graficar se despliega la siguiente ventana:

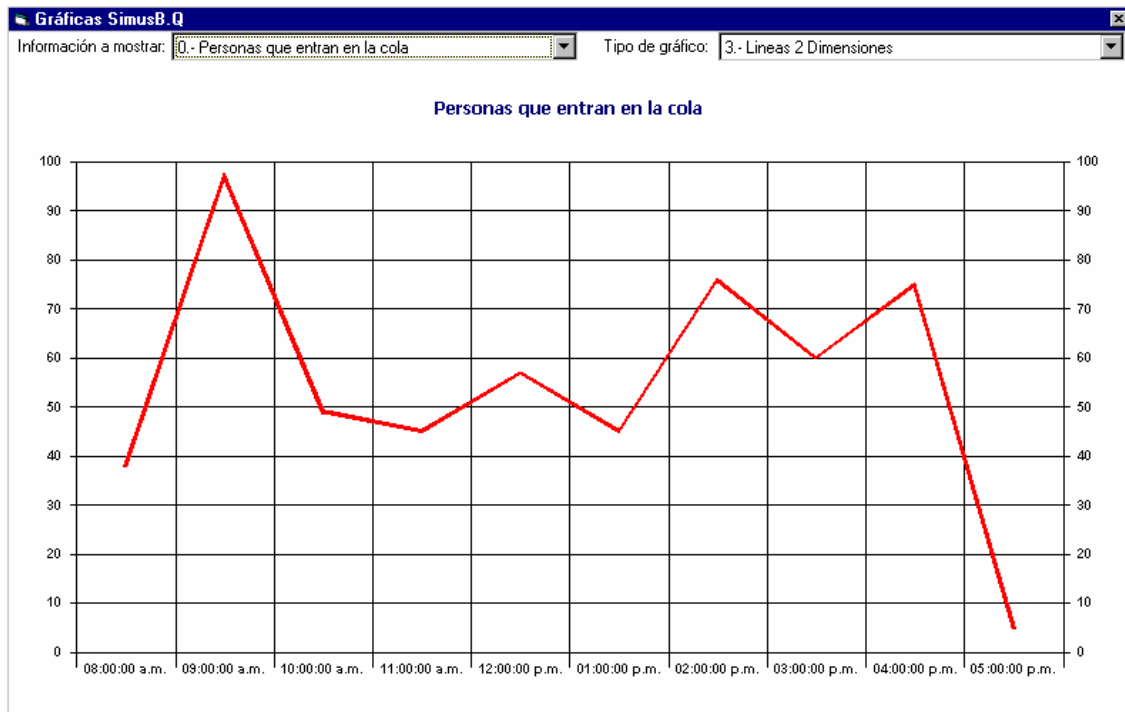


Figura 6.6.13. Pantalla de Gráficos

En la cual se puede especificar que datos o resultados que se desea graficar, entre los siguientes:

- ☞ Personas que entran en la cola.
- ☞ Personas que salen de la cola.
- ☞ Tiempos promedios de atención de entrada a servicio en rangos de hora.
- ☞ Tiempos promedios de atención de salida a servicio en rangos de hora.
- ☞ Porcentajes de cantidad de Transacciones Realizadas .

Puede seleccionarse también el tipo de gráfica con la que se desee representar los resultados a graficar, estos son:

- ☞ Área
- ☞ Columnas .
- ☞ Barras .
- ☞ Pastel .
- ☞ Líneas .

- ☞ Resultados: En la figura 6.6.14 se muestran los resultados generados de la simulación actual, los parámetros introducidos al inicio de dicha simulación. Dentro de esta pantalla se pueden realizar las operaciones de imprimir, guardar y emitir reportes.



Figura 6.6.14. Pantalla Resultados.

↳ Reportes: Dentro de esta opción podemos escoger el tipo de reporte que se necesita generar, como se presenta en la figura 6.6.15:

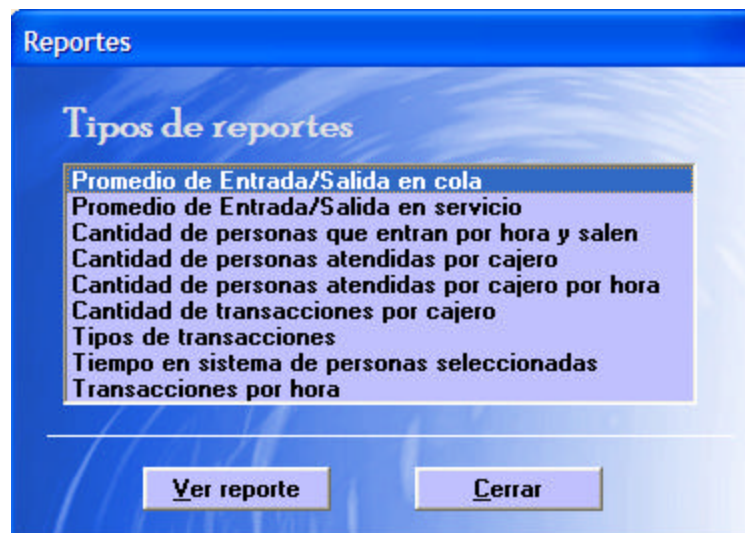


Figura 6.6.15. Pantalla Reportes.

↪ Comparación con simulaciones anteriores: Esta opción permite hacer comparaciones entre la simulación actual y cualquier otra simulación realizada anteriormente, como resultado muestra una pantalla como la representada en la figura 6.6.16.

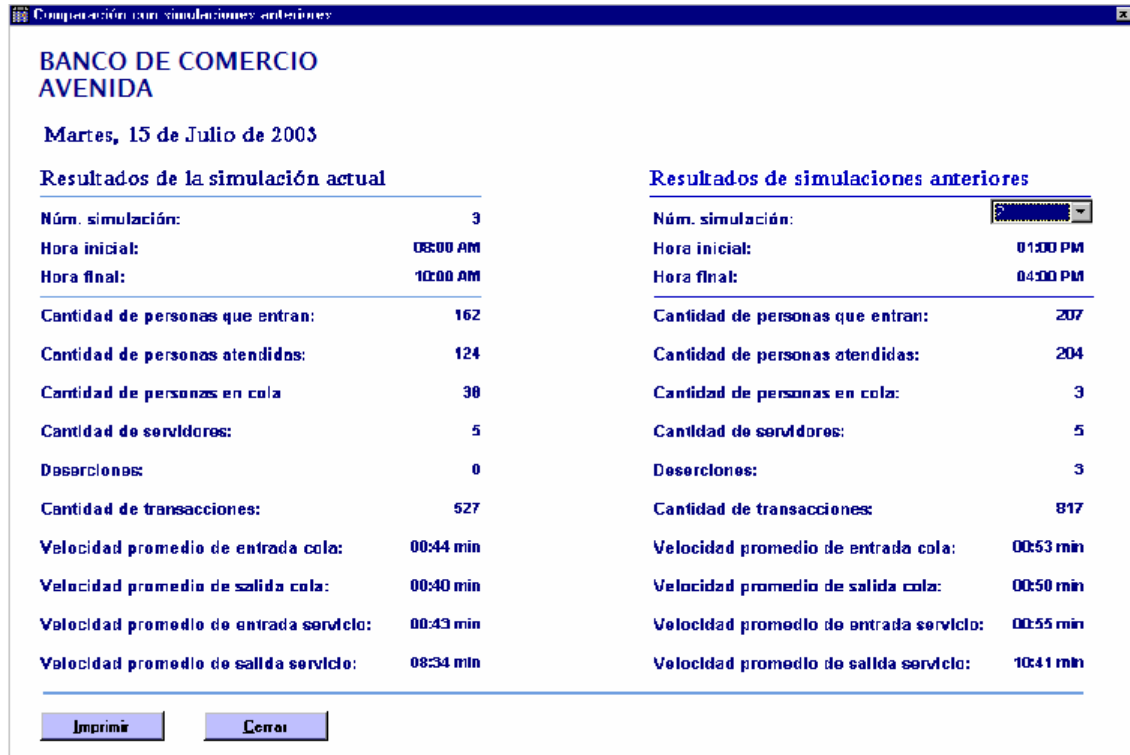


Figura 6.6.16. Comparación Resultados.

Ayuda:

- ✓ Ayuda : Presenta el contenido de [SimuBQ](#)
- ✓ Acerca de [SimuBQ](#): Muestra el nombre, versión y diseñadores del mismo.

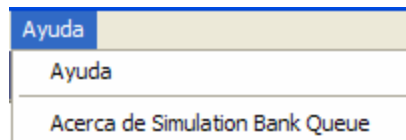


Figura 6.6.17. Menú Ayuda.

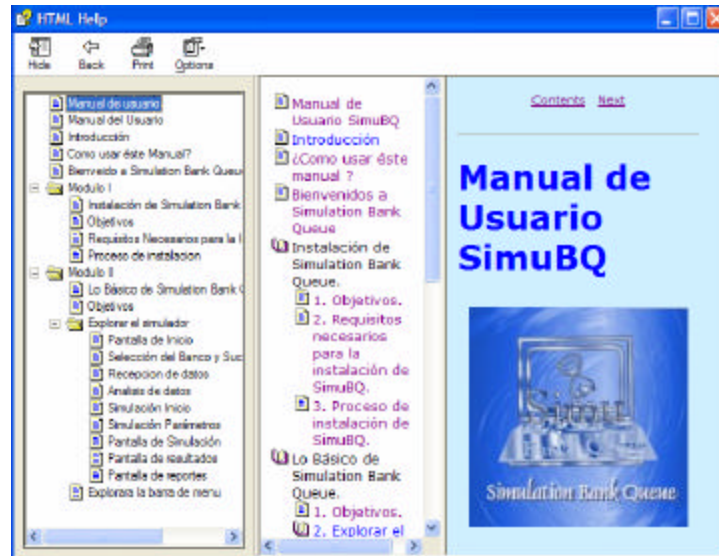


Figura 6.6.19. Menú Ayuda: Opción Ayuda

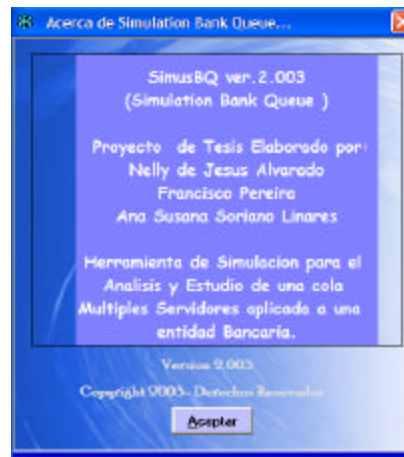


Figura 6.6.18. Menú Ayuda: Opción Acerca de...

Opciones Adicionales.

Están representadas por una serie de botones, que se encuentran al pie de la pantalla de simulación (figura 6.6.10), cada uno descrito a continuación:

- ✓ Tiempo en Sistema de un Cliente: Esta opción nos permite tomar el tiempo completo que un cliente se lleva, desde que ingresa a la línea de espera, pasa a ser atendido y sale del sistema.

Tiempo en sistema de un cliente

- ✓ Casos Especiales Simulación: Para efectos de visualizar la simulación, se toman en cuenta los casos especiales, como lo son: Tercera Edad, Embarazadas e Inválidos.

Casos Especiales Simulacion

- ✓ Adicionar Cajero: En algún momento, durante la ejecución de la simulación se podrá adicionar otro cajero, hasta con un máximo de 15.

Adicionar cajero

- ✓ Retirar Cajero: En algún momento, durante la ejecución de la simulación se podrá n retirar cajeros. (el simulador puede quedarse con cero cajeros, esto puede suceder cuando el sistema interno de recolección y procesado de información de la entidad bancaria presente alguna complicación).

Retirar cajero

- ✓ Deserciones: En el momento que desee podrá simular la deserción de una persona dentro de la cola que la abandona completamente sin recibir el servicio, observándose en forma visual durante la simulación del servicio.

Deserciones

Adicionalmente a las opciones anteriores, [SimuBQ](#) cuenta con área donde se muestran las opciones siguientes:

- ✓ Graficar.
- ✓ Reportes.
- ✓ Resultados.
- ✓ Cambiar entidad/sucursal
- ✓ Comparaciones
- ✓ Otra Simulación.
- ✓ Salir.

Todas estas opciones están consideradas dentro de la barra de menú principal que ya fueron explicadas anteriormente.

6. 7 VALIDACIÓN.

Al establecer las variables que intervienen en el modelo matemático y al implementarlas en el lenguaje de programación establecido (Microsoft Visual Basic 60), se observó que la exactitud de aproximación con la cual trabaja el lenguaje afecta considerablemente los valores de los coeficientes b , y al no obtener la precisión necesaria mediante este proceso, se optó por no utilizarlos dentro del diseño del sistema, lo cual no afecta la simulación, debido a que cuando se realiza una simulación uno de los parámetros a considerar es el día.

6. 8 EXPERIMENTACIÓN.

El análisis de sensibilidad está diseñado para brindarle al usuario la oportunidad de estudiar el efecto de cambios discretos en algunas variables que intervienen en la simulación generando una serie de alternativas para la configuración y comportamiento del sistema.

Inicialmente el análisis de sensibilidad proporciona una pantalla de selección de datos, que engloba los cambios generales que se pueden hacer en el sistema como los son:

- ↳ Los datos origen. (Tablas Entrada/Salida Cola y transacciones)
- ↳ Los parámetros iniciales (Día, Hora de Inicio, Hora de Fin y Cantidad de Servidores)

El cambio en condiciones iniciales implica el cambio de los datos Origen al realizar una nueva simulación, ya sea mediante la digitación o exportación de los mismos.

El cambio de parámetros iniciales como por ejemplo en la cantidad de servidores (aumentándolos o disminuyéndolos), se refleja en el incremento o disminución del tiempo en que se le presta servicio a un cliente, o bien, en el aumento del tiempo de espera de clientes atendidos en la unidad de tiempo. (tasa de servicio) o salida de la cola.

Al concluir este análisis, se hace la simulación según los parámetros iniciales introducidos, obteniendo los resultados del análisis en la pantalla de Resultados Generados.

6. 9 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

El sistema toma los resultados de la simulación y los presenta en la ventana de mostrar información o mediante el formulario de Resultados Generados, dando la oportunidad de generar comparaciones con otras simulaciones anteriores (Si es que las hubo), generación de reportes, graficas, impresión, o guardado de la información generada por la simulación.

Dentro de estos resultados se pueden generar los siguientes reportes :

- ↳ Promedio de Entrada/Salida en cola: presenta los valores promedios de entrada y salida de cola en cada hora de simulación.
- ↳ Promedio de Entrada/Salida en servicio: presenta los valores promedios en que entra y sale una persona de recibir el servicio.
- ↳ Cantidad de personas que entran por hora y Salen: presenta detalladamente para cada persona que ingresa al banco (en el lapso de una hora), el tiempo que la persona permaneció en la cola, el tiempo que se tardó el cajero en realizarle las transacciones así como el tiempo total de la persona en el sistema.
- ↳ Cantidad de personas atendidas por cajero: presenta la cantidad de personas que atiende cada cajero durante la simulación.
- ↳ Cantidad de personas atendidas por cajero por hora: presenta un detalle de las personas que atiende cada cajero en cada hora de la simulación.
- ↳ Transacciones por cajero: presenta en una forma detallada el tipo y cantidad de transacciones que cada cajero realiza para cada hora de la simulación.

- ↳ Tipos de transacciones: son las transacciones que se realizan en un determinado banco, con los tiempos promedios en que se realizan (es igual para todas las sucursales de un mismo banco).
- ↳ Tiempos en el sistema de persona seleccionada: presenta el tiempo en el sistema de una persona en particular (realizada en tiempo de simulación).
- ↳ Transacciones por hora: presenta todas las transacciones que se realizan en una sucursal por hora sin importa que cajero las realice.
- ↳ Transacciones por cajero detallado: mediante este tipo de reporte se puede analizar la eficiencia de los cajeros.

Y gráficas como las siguientes :

- ↳ Personas que Entran /Salen de la cola.
- ↳ Tiempos promedios de atención de entrada a servicio en rangos de horas.
- ↳ Tiempos promedios de atención de salida a servicio en rangos de horas.
- ↳ Porcentajes de cantidad de Transacciones Realizadas.

Con los resultados anteriores puede hacer los respectivos análisis para tomar decisiones o conclusiones que le sirvan o ayuden a minimizar los tiempos de espera en cola y atención

6. 10 DIAGRAMA DE PROCESOS DEL SISTEMA .

El diagrama de los procesos del sistema se presenta en la figura 6.10.1

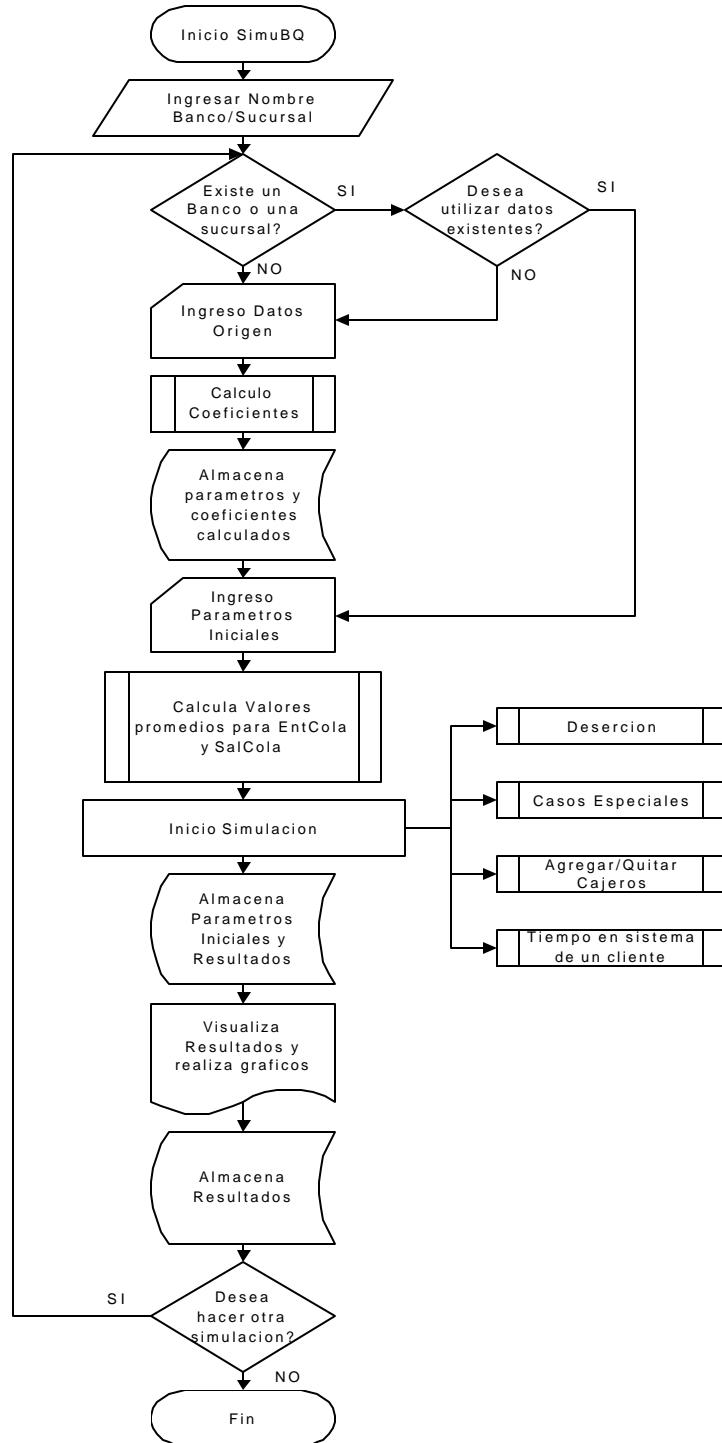


Figura 6.10.1. Diagrama de Procesos

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones.

- ✓ La observación del fenómeno de las largas colas que se forman en los bancos, inició la necesidad de crear una herramienta de simulación, para el análisis y estudio de una cola con múltiples servidores aplicado a una entidad bancaria, un tema tan interesante y poco explorado fue el empuje inicial para desarrollar la elaboración de la presente tesis.
- ✓ Para el planteamiento de soluciones en este tipo de problemas se hace indispensable la utilización de herramientas orientadas a proporcionar los métodos matemáticos adecuados, considerando importante para ello la Investigación de Operaciones, Teoría de Colas y Simulación.
- ✓ La investigación de campo proporcionó la información necesaria, para establecer el modelo matemático a seguir en el planteamiento de soluciones que se apegaran a la realidad, de acuerdo a la obtención de tiempos de espera en cola, servicio, cantidad y tipos de transacciones .
- ✓ De acuerdo a los datos obtenidos en el estudio de campo se determinaron características del comportamiento del sistema por lo tanto se concluye que la línea de espera depende del día, hora y cantidad de cajeros trabajando; el tiempo de servicio depende de la cantidad de transacciones y tipo de las mismas, además de la rapidez de atención de cada cajero.
- ✓ Este tipo de herramientas implica el uso de modelos matemáticos adecuados, con el objeto de determinar las medidas de desempeño del sistema, recurriendo para ello a las Series de Potencias de McLaurin y el Método de Gauss-Jordan para la solución de matrices.
- ✓ **SimuBQ** es un programa de simulación diseñado para observar el comportamiento de una línea de espera con múltiples servidores aplicado a una entidad bancaria, con la finalidad de simular el proceso de entrada/salida de la cola y tiempos de servicios.

- ✓ Una herramienta como **SimuBQ** puede asistir a numerosas entidades bancarias en sus estudios del comportamiento de la línea de espera, permitiéndoles tomar decisiones estratégicas de forma confiable, rápida y sin los costos que incurrirían en la experimentación de campo.
- ✓ Con los resultados que se determinan al finalizar una simulación en particular, la persona que ejecute el sistema puede tomar decisiones que ayuden a minimizar los tiempos de espera en cola y atención.
- ✓ **SimuBQ** permite la visualización del proceso de las líneas de espera y atención de los cajeros de un día completo en un tiempo considerablemente pequeño.
- ✓ La simulación permite realizar pruebas y mediciones que de otro modo deberían realizarse en el campo, manejando tiempos promedios de entrada/salida en cola, de entrada/salida de servicio y de transacciones. Además de contar con personal capacitado realizando dichas tareas, en muchos casos por días o semanas continuas.
- ✓ Puede ser utilizada en bancos o sucursales en donde su perfil o características de funcionamiento sean parecidas o similares. (situación geográfica e infraestructura).
- ✓ Este sistema puede ser ejecutado por cualquier persona solamente leyendo el manual de usuario, no necesariamente tiene que tener conocimientos de computación.

Recomendaciones.

- ✓ Las instituciones bancarias deben de contar con una caja de única transacción para poder disminuir la afluencia de clientes en la línea de espera, para aquellos casos que el cliente solamente vaya a realizar una operación.
- ✓ La implementación de ventanillas externas para el pago único de servicios tales como, pago de agua, luz, teléfono, cable, tarjetas de crédito y colegiaturas.
- ✓ La ventanilla VIP, en donde se le de un trato preferencial a clientes que lleguen a solicitar el servicio más de una vez al día.
- ✓ Las entidades bancarias deben de hacer publicidad para dar a conocer en detalle servicios que ayuden a disminuir la cantidad de personas dentro de las instalaciones del banco como lo son por ejemplo:
 - Cajeros automáticos.
 - Servicios por Internet.
 - Servicios vía telefónica.
 - Servicios empresariales.
- ✓ La implementación de cajeros automáticos dentro o fuera de las instalaciones del banco, contribuirán a la disminución de la cola que se forme dentro de las instalaciones, entre las operaciones que pueden realizarse son: pagos de servicios, consultas de cuentas, retiros de cuentas de ahorros y tarjetas de crédito, entre otras.
- ✓ La asistencia en línea mediante la Red electrónica (Internet), contribuye a que existan menos personas en la línea de espera, debido a que en ella se pueden hacer transferencias, pagos de servicios, reservas de cheque, verificación de estados de cuenta, pagos de planillas, solicitud de créditos entre otros.
- ✓ Dentro de los servicios vía telefónica pueden realizarse operaciones como verificación de cheques, reserva de cheque y consultas de remesas a cuentas.
- ✓ La eficiencia del personal (Cajeros) en la realización de operaciones, así como la cordialidad hacia sus clientes contribuirá en gran medida a que el servicio prestado sea, rápido y eficiente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Roland E. Larson y Robert P. Hostetler., *CALCULO Y GEOMETRIA ANALITICA* 3era. Edición. México: McGraw-Hill, 1989.
2. Dennis G. Zill., *ECUACIONES DIFERENCIALES CON APLICACIONES*, 2da.Edición. México: Grupo Editoria, Iberoamérica, 1997
3. A. Balfour y W.T. Beveridge., *ANÁLISIS NUMERICO BASICO CON FORTRAN*, 2da.Edición. España: Cia. Editorial Continental S.A de C.V. 1982
4. Raúl Coss Bu., *SIMULACIÓN UN ENFOQUE PRACTICO*. 1era.Edición. México: Editorial Limusa S.A de C.V., 1982
5. A.Kaufmann., *LOS FENÓMENOS DE ESPERA, TEORIA Y APLICACIONES*. 1era Edición. México: Compañía Editorial S.A de C.V., 1964.
6. Naylor, Balinfy, Burdick, kong Chu., *TÉCNICAS DE SIMULACIÓN EN COMPUTADORA*, 1era Edición. México: Editorial Limosa. 1971.

[1] <http://usuarios.lycos.es/manuelnando/apuntesgauss.htm>

Tema: Sistemas de Ecuaciones Lineales. Método de Gauss

[2] http://soko.com.ar/matem/matematica/Integrales_ej.htm

Tema: Polinomio de Taylor y Mclaurin. Teórico.

[3] <http://www.industrial.uson.mx/materias/m5153/simnet2ppt/>

Tema : Simulación.

[4] <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/artes/37736/Cap11/EXPSIM.PPT>

Tema : Simulación.



ANEXOS

Manual del Usuario

Manual del Programador