

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA**

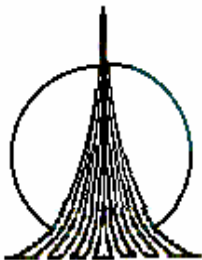
**ELABORACIÓN DE UNA HOJA DE CÁLCULO PARA EL  
ANÁLISIS Y PLANEACIÓN DE SISTEMAS DE FILAS  
UTILIZANDO TRES MODELOS DE COLAS**

**TESINA**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
QUÍMICO FARMACÉUTICO BIÓLOGO**

**PRESENTA:  
FERNANDO AGUILAR URBANO**

**ASESOR:  
QFB. ROCÍO RAMÍREZ HERNÁNDEZ**



**OCTUBRE 2005**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## AGRADECIMIENTOS

### *A mis padres:*

*Gracias Padres por ser mis primeros maestros en el arte de la vida, guiándome con sabiduría en tiempos difíciles, por enseñarme la dignidad que proporciona el trabajo, la satisfacción que nace del esfuerzo y por dejarme crecer respetando y apoyando mis decisiones.*

*Gracias por estar conmigo hoy y siempre.*

### *A la UNAM:*

*Por ser la casa donde se sustenta mi desarrollo profesional y humano además de ser responsable de la sensibilización y crecimiento en otras áreas del conocimiento, la cultura y la sociedad, conformando con ello las herramientas que me permitirán ser útil a mi país y a mis ideales.*

### *A mis maestros y amigos:*

*Por todo el apoyo académico y moral brindado en esta etapa de mi vida pero principalmente por enseñarme a caminar hacia mis metas. Un agradecimiento especial a **Diego E. Villanueva H.** Por todas las lecciones de vida que hemos compartido y a **Maryfer López H.** Por el amor y la fe que ha depositado en mi..*

## *Espejo*

*Soy quien vive en mí, mas no quien me invento  
siento lo que pienso y no pienso lo que debo sentir  
soy feliz por ser y no triste por lo que nunca seré  
soy alegre por lo que me rodea y no por lo que poseo  
soy un loco por comparación, pero no por carecer de razón.  
soy cuidadoso por enseñanza y no por naturaleza  
soy...*

*porque tengo razones para ser.*

*Fernando Aguilar Urbano.*

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
I. ANTECEDENTES TEÓRICOS.....	2
A. Teoría de líneas de espera (TLE).....	2
1. Origen.....	2
2. Modelo de formación de líneas de espera.....	2
3. Objetivos de la TLE.....	3
B. Sistemas de líneas de espera.....	4
1. Características Generales.....	4
a) Población de clientes.....	5
b) El proceso de llegada.....	5
c) El proceso de filas.....	6
d) La disciplina de la línea.....	7
e) El proceso de servicio.....	7
2. Clasificación de los modelos de líneas de espera.....	8
3. Medidas de rendimiento.....	9
4. Sistema de líneas de espera M/M/1.....	11
5. Sistema de líneas de espera M/M/C.....	12
6. Sistema de líneas de espera M/D/1.....	13
7. Comparación entre modelos.....	14
8. Elección del modelo.....	14
C. Los programas de computadoras.....	14
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
III. OBJETIVOS.....	17
IV. METODOLOGÍA.....	18
V. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	20
A. Características generales.....	20
1. Hoja Inicio.....	21
2. Hoja MM1.....	22
3. Hoja MMC.....	23

4. Hoja MD1.....	24
5. Hoja costos.....	25
6. Hoja "selecmod" y "carac" .....	26
7. Protección.....	27
8. Retos.....	27
9. La copia.....	29
10. Utilidad.....	29
VI. CONCLUSIONES.....	30
VII. SUGERENCIAS.....	30
VIII. REFERENCIAS .....	31
IX. ANEXO 1.....	32

## INTRODUCCIÓN

Las filas de espera o colas son un aspecto de la vida moderna que nos encontramos continuamente en nuestras actividades diarias. En el supermercado, accediendo al metro, en los bancos, etc. Dentro de la Industria Farmacéutica también encontramos continuamente la necesidad de hacer fila para acceder a algún servicio. Por ejemplo, una muestra debe esperar a ser analizada debido a la existencia de un único equipo de análisis, en estos casos se debe tomar una decisión acerca de cómo optimizar el uso del equipo o bien si es conveniente la adquisición de un nuevo equipo. Es aquí donde la **Teoría de Líneas de Espera (TLE)** nos puede ayudar a decidir.

Las filas son un aspecto que difícilmente podemos eliminar, desde el punto de vista del cliente, sería muy bueno llegar a recibir el servicio sin tener que hacer fila, en realidad esto no sucede con facilidad ya que un servicio con un nivel de atención que permita la eliminación de la fila resulta costoso y el aprovechamiento de los recursos es pobre. Desde el punto de vista administrativo se debe encontrar un equilibrio donde los costos de operación sean los menores posibles y el nivel de atención sea aceptable.

La TLE es una colección de modelos matemáticos que describen sistemas de líneas de espera particulares o sistemas de colas. Los modelos sirven para encontrar el comportamiento de estado estable, como la longitud promedio de la línea y el tiempo de espera promedio para un sistema dado. Esta información, junto con los costos pertinentes, se usa, entonces, para determinar la capacidad de servicio apropiada.

El conocimiento de TLE representa una herramienta administrativa útil en la toma de decisiones. Sin embargo para su utilización se requiere de tiempo para la aplicación de fórmulas y cálculos. Como alternativa a este inconveniente existen programas (estadísticos) de computadora capaces de resolver modelos de colas, pero tienen costos altos.

La resolución de problemas de filas comunes es posible en programas de cálculo como *Microsoft Excel 2000* para sistemas Windows 98 en adelante, que prácticamente están disponible casi en cualquier lugar.

Por lo que en este trabajo se presenta una alternativa para la construcción y utilización de una hoja de cálculo elaborada en *Microsoft Excel 2000*. Esta hoja de cálculo se basa en la aplicación de modelos matemáticos de la TLE, la cual permite dar solución a problemas de colas comunes, con la ventaja de minimizar el tiempo de cálculo, reduciéndolo solo al necesario para la inserción de datos y a la interpretación del resultado por parte del tomador de decisiones a un costo prácticamente nulo.

## **I. ANTECEDENTES TEÓRICOS.**

### **A. Teoría de Líneas de espera (TLE).**

#### **1. Origen.**

El origen de la **Teoría de Líneas de Espera (TLE)** está en el esfuerzo de Agner Karup Erlang (Dinamarca, 1878 - 1929) en 1909 para analizar la congestión de tráfico telefónico con el objetivo de cumplir la demanda incierta de servicios en el sistema telefónico de Copenhague. Sus investigaciones acabaron en una nueva teoría denominada "Teoría de líneas de espera".

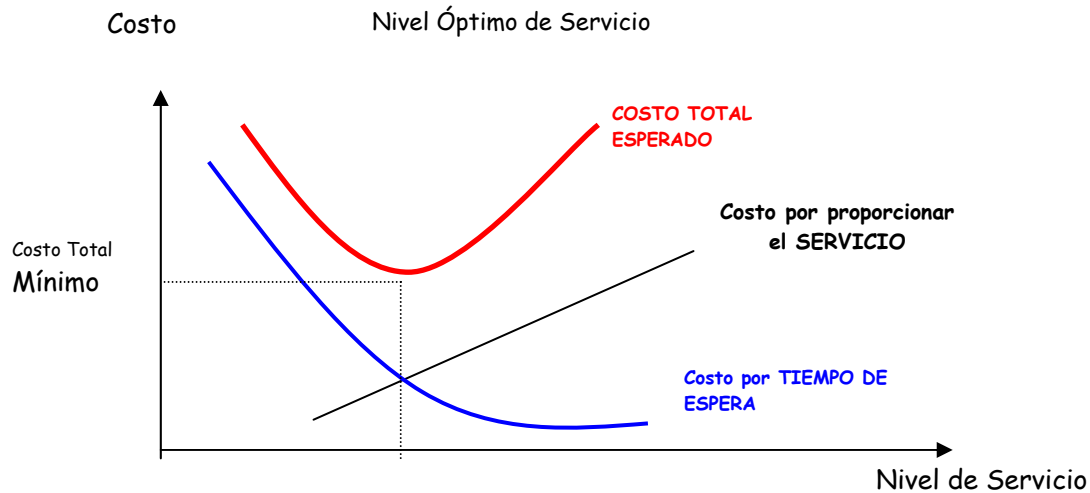
#### **2. Modelo de formación de líneas de espera.**

En los problemas de formación de líneas de espera, a menudo se habla de clientes, tales como personas que esperan la desocupación de líneas telefónicas, la espera de máquinas para ser reparadas, los aviones que esperan aterrizar y estaciones de servicios, tales como mesas en un restaurante, operarios en un taller de reparación, pistas en un aeropuerto, etc. Los problemas de formación de colas a menudo contienen una velocidad variable de llegada de clientes que requieren cierto tipo de servicio, y una velocidad variable de prestación del servicio en la estación de servicio.

Cuando se habla de líneas de espera, se refieren a las creadas por clientes o por las estaciones de servicio. Los clientes pueden esperar en cola simplemente porque los medios existentes son inadecuados para satisfacer la demanda de servicio; en este caso, la cola tiende a ser explosiva, es decir, a ser cada vez más larga a medida que transcurre el tiempo. Las estaciones de servicio pueden estar esperando porque los medios existentes son excesivos en relación con la demanda de los clientes; en este caso, las estaciones de servicio podrían permanecer desocupadas la mayor parte del tiempo. Los clientes pueden esperar temporalmente, aunque las instalaciones de servicio sean adecuadas, porque los clientes llegados anteriormente están siendo atendidos. Las estaciones de servicio pueden encontrar temporal cuando, aunque las instalaciones sean adecuadas a largo plazo, haya una escasez ocasional de demanda debido a un hecho temporal. Estos dos últimos casos tipifican una situación equilibrada que tiende constantemente hacia el equilibrio, o una situación estable.

En la TLE, generalmente se llama sistema a un grupo de unidades físicas, integradas de tal modo que pueden operar al unísono con una serie de operaciones organizadas. La teoría de la formación de colas busca una solución al problema de la espera prediciendo primero el comportamiento del sistema. Pero una solución al problema de la espera consiste en no solo en minimizar el tiempo que los clientes pasan en el sistema, sino también en minimizar los costos totales de aquellos que solicitan el servicio y de quienes lo prestan.<sup>1</sup>

La TLE incluye el estudio matemático de las líneas de espera o "colas" y provee un gran número de modelos matemáticos para describirlas.



**Figura 1.** Equilibrio entre costo de espera y costo de servicio.

Se debe lograr un balance económico entre el costo del servicio y el costo asociado a la espera por ese servicio (Figura 1), aquí hay que tomar en cuenta que para tasas bajas de servicio, se experimentan largas filas y costos de espera muy altos. Conforme aumenta el servicio disminuyen los costos de espera, pero aumenta el costo de servicio y el costo total disminuye, sin embargo, finalmente se llega a un punto de disminución en el rendimiento. Entonces el propósito es encontrar el balance adecuado para que el costo total sea el mínimo.<sup>2</sup>

La TLE en sí no resuelve este problema, sólo proporciona información para la toma de decisiones.

### 3. Objetivos de la TLE.

Los objetivos de la TLE consisten en:

- Identificar el nivel óptimo de la capacidad del sistema que minimiza el coste global del mismo.
- Evaluar el impacto que las posibles alternativas de modificación de la capacidad del sistema tendrían en el coste total del mismo.
- Establecer un balance equilibrado (“óptimo”) entre las consideraciones cuantitativas de costes y las cualitativas de servicio.



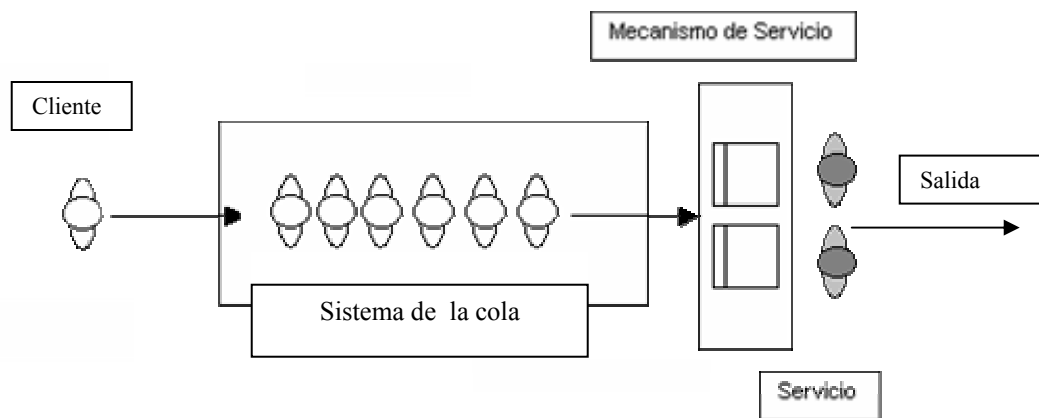
## B. Sistemas de líneas de espera.

### 1. Características generales.

Las siguientes características se aplican a los sistemas de colas (Fig. 2):

- Una población de clientes, que es el conjunto de los clientes posibles.
- Un proceso de llegada, que es la forma en que llegan los clientes de esa población
- Un proceso de colas, que está conformado por la manera que los clientes esperan para ser atendidos y la disciplina de colas, que es la forma en que son elegidos para proporcionarles el servicio.
- Un proceso de servicios, que es la forma y la rapidez con la que es atendido el cliente
- Proceso de salida, que son de dos tipos:
  - a. Los elementos abandonan completamente el sistema después de ser atendidos, lo que tiene como resultado un sistema de colas de un paso. Por ejemplo los clientes de un banco esperan en una sola fila, son atendidos por uno de los tres cajeros y, después de que son atendidos abandonan el sistema.
  - b. Los productos, ya que son procesados en una estación de trabajo, son trasladados a alguna otra parte para someterlos a otro tipo de proceso, lo que tiene como resultado una red de colas<sup>3</sup>

En el presente trabajo solamente se considerarán sistemas de un paso. Se necesitan diferentes análisis matemáticos para cada uno de estos dos tipos de procesos de salida.



**Figura 2.** Características de un sistema de filas.

### a) La población de clientes.

Al tomar en cuenta la base de clientes, la principal preocupación es el tamaño de la población. Para problemas como los de un banco o un supermercado, en donde el número de clientes potenciales es bastante grande (cientos de miles), el tamaño de la población se considera, para fines prácticos, como si fuera infinita.

Al contrario, considere una fábrica que tiene cuatro máquinas, que a menudo se descomponen y requieren servicio de reparación en un taller especializado. En este caso, es de solamente cuatro. El análisis de poblaciones finitas (es decir de tamaño limitado) es más complicado que el análisis en donde la base de población se considera infinita.<sup>4</sup>

### b) El proceso de llegada.

El proceso de llegada es la forma en que los clientes llegan a solicitar un servicio. La característica más importante del proceso es el tiempo entre llegadas, que es la cantidad de tiempo entre dos llegadas sucesivas. Este lapso es importante porque mientras menor sea el intervalo de tiempo, con más frecuencia llegan los clientes, lo que aumenta la demanda de servidores disponibles.<sup>1</sup>

Existen dos clases básicas de tiempo entre llegadas:

*Determinístico*, en el cual clientes sucesivos llegan en un mismo intervalo de tiempo, fijo y conocido. Un ejemplo clásico es el de una línea de ensamble, en donde los artículos llegan a una estación en intervalos invariables de tiempo (conocido como ciclos de tiempo).

*Probabilístico*, en el cual el tiempo entre llegadas sucesivas es incierto y variable. Los tiempos entre llegadas probabilísticos se describen mediante una distribución de probabilidad.

En el caso probabilístico, la determinación de la distribución real, a menudo, resulta difícil. Sin embargo, la distribución exponencial, ha probado ser confiable en muchos de los problemas prácticos. La función de densidad, para una distribución exponencial depende de un parámetro, digamos  $\lambda$  (letra griega lambda), y está dada por:

$$f(t) = (1/\lambda) e^{-\lambda t}$$

Donde:

$\lambda$  = Número promedio de llegadas en una unidad de tiempo.<sup>4</sup>

Con una cantidad T de tiempo usted puede hacer uso de la función de densidad para calcular la probabilidad de que el siguiente cliente llegue dentro de las siguientes T unidades a partir de la llegada anterior, de la siguiente manera:

$$P(\text{tiempo entre llegadas} \leq T) = 1 - e^{-\lambda t}$$

### c) El proceso de filas.

Parte del proceso de filas tiene que ver con la forma en que los clientes esperan para ser atendidos. Los clientes pueden esperar en una sola fila, como en un banco, éste es un sistema de colas de una sola línea (Fig. 3). Al contrario, los clientes pueden elegir una de varias filas en las que deben esperar para ser atendidos, como en las cajas cobradoras de un supermercado, éste es un sistema de colas de líneas múltiples (Fig. 3).

Otra característica del proceso de colas es el número de espacios de espera en cada fila, es decir, el número de clientes que pueden esperar (o que esperarán) para ser atendidos en cada línea. En algunos casos, como en un banco, ese número es bastante grande y no significa ningún problema práctico, pues para cuestiones de análisis la cantidad de espacio de espera se considera infinita. En contraste, un sistema telefónico puede mantener un número finito de llamadas (es decir limitado), después del cual las llamadas subsecuentes no tienen acceso al sistema. Las condiciones de espacio de espera infinito y finito requieren análisis matemáticos diferentes.<sup>5</sup>

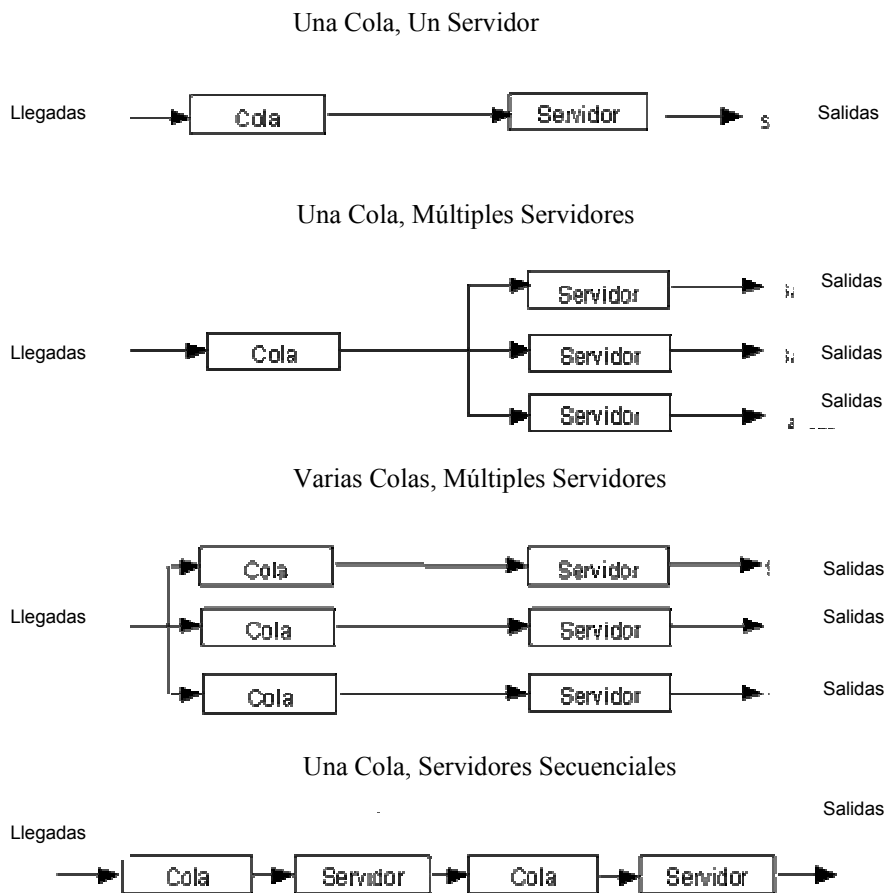


Figura 3. Tipos de sistemas de líneas de espera

#### **d) La disciplina de la línea.**

Otra característica del proceso de colas es la disciplina de cola, es decir la forma en que los clientes que esperan son seleccionados para ser atendidos. A continuación presentamos algunas de las formas más comunes.

Primero en entrar, primero en salir (PEPS). Los clientes son atendidos en el orden en que van llegando a la fila. Los clientes de un banco y de un supermercado son atendidos de esa manera.

Último en entrar, primero en salir (VEPS). El cliente que ha llegado más recientemente es el primero en ser atendido. Un ejemplo de esta disciplina se da en un proceso de producción en el que los productos llegan a una estación de trabajo y son apilados uno encima del otro. El trabajador elige, para su procesamiento, el producto que está encima de la pila, que fue el último que llegó para ser procesado o para brindarle un servicio.

Selección de prioridad. A cada cliente que llega se le da una prioridad y se le elige según ésta para brindarle el servicio. Un ejemplo de esta disciplina son los pacientes que llegan a la sala de urgencias de un hospital. Mientras más severo sea el caso, mayor será la prioridad del cliente.<sup>6</sup>

#### **e) El proceso de servicio.**

El proceso de servicio define cómo son atendidos los clientes. En algunos casos, puede existir más de una estación en el sistema en el cual se proporcione el servicio requerido. Los bancos y los supermercados (Fig. 2), de nuevo, son buenos ejemplos de lo anterior. Cada ventanilla y cada registradora son estaciones que proporcionan el mismo servicio. A tales estructuras se les conoce como sistemas de colas de canal múltiple. En dichos sistemas, los servidores pueden ser idénticos, en el sentido en que proporcionan la misma clase de servicio con igual rapidez, o pueden no ser idénticos. Por ejemplo, si todos los cajeros de un banco tienen la misma experiencia, pueden considerarse como idénticos.

Al contrario de un sistema de canal múltiple, que considera un proceso de producción con una estación de trabajo que proporciona el servicio requerido. Todos los productos deben pasar por esa estación de trabajo; en este caso se trata de un sistema de colas de canal sencillo. Es importante hacer notar que incluso en un sistema de canal sencillo pueden existir muchos servidores que, juntos, llevan a cabo la tarea necesaria. Por ejemplo, un negocio de lavado a mano de automóviles que es una sola estación, puede tener dos empleados que trabajan en un auto de manera simultánea.

Otra característica del proceso de servicio es el número de clientes atendidos al mismo tiempo en una estación. En los bancos y en los supermercados (sistema de canal sencillo), solamente un cliente es atendido a la vez. Por el contrario, los pasajeros que esperan en una parada de autobús son atendidos en grupo, según la capacidad del autobús que llegue.<sup>1</sup>

Otra característica más de un proceso de servicio es si se permite o no la prioridad, esto es ¿puede un servidor detener el proceso con el cliente que está atendiendo

para dar lugar a un cliente que acaba de llegar? Por ejemplo, en una sala de urgencia, la prioridad se presenta cuando un médico, que está atendiendo un caso que no es crítico es llamado a atender un caso más crítico. Cualquiera que sea el proceso de servicio, es necesario tener una idea de cuánto tiempo se requiere para llevar a cabo el servicio. Esta cantidad es importante debido a que cuanto más dure el servicio, más tendrán que esperar los clientes que llegan. Como en el caso del proceso de llegada, este tiempo puede ser determinístico o probabilística. Con un tiempo de servicio determinístico, cada cliente requiere precisamente de la misma cantidad conocida de tiempo para ser atendido. Con un tiempo de servicio probabilística, cada cliente requiere una cantidad distinta e incierta de tiempo de servicio. Los tiempos de servicio probabilísticas se describen matemáticamente mediante una distribución de probabilidad. En la práctica resulta difícil determinar cuál es la distribución real, sin embargo, una distribución que ha resultado confiable en muchas aplicaciones, es la distribución exponencial. En este caso, su función de densidad depende de un parámetro, esta dada por:

$$s(t) = (1/\mu) e^{-\mu t}$$

Donde:

$\mu$  = número promedio de clientes atendidos por unidad de tiempo, de modo que:

$1/\mu$  = tiempo promedio invertido en atender a un cliente.

En general, el tiempo de servicio puede seguir cualquier distribución, pero, antes de que pueda analizar el sistema, usted necesita identificar dicha distribución.

## 2. Clasificaciones de los modelos de líneas de espera.

Como se mencionó, para aplicar las técnicas matemáticas apropiadas, se debe identificar las características de un sistema de colas, basado en la población de clientes y en los procesos de llegada, de filas y de servicio. El método de clasificación pertenece a un sistema de colas en el que el tamaño de la población de clientes es infinita, los clientes que llegan esperan en una sola fila y el espacio de espera en cada línea es efectivamente infinito.<sup>7</sup>

En este modelo, los siguientes símbolos describen las características del sistema.

➤ **Para el proceso de llegada.** Este símbolo describe la distribución de tiempo entre llegadas, que es uno de los siguientes:

**D** para denotar que el tiempo entre llegadas es determinístico.

**M** para denotar que los tiempos entre llegadas son probabilístico y siguen una distribución exponencial.

**G** para denotar que los tiempos entre llegadas son probabilísticos y siguen una distribución general diferente a la exponencial.

- **Para el proceso de servicio.** Este describe la distribución de tiempos de servicio, que es uno de los siguientes:

**D** para describir un tiempo de servicio determinístico.

**M** para denotar que los tiempos de servicio son probabilísticos y siguen una distribución exponencial

**G** para denotar que los tiempos de servicio son probabilísticos y siguen una distribución diferente a la exponencial.

- **Para el proceso de filas.** Este número **C**, representa cuántas estaciones o canales paralelos existen en el sistema. (Se supone los servidores idénticos en su rapidez de servicio).

Cuando la espera y/o el tamaño de la población de clientes es finito, los dos siguientes símbolos adicionales se incluyen para indicar estas limitaciones:

Un número **K**, que representa el número máximo de clientes que pueda estar en el sistema en cualquier momento, es decir, en servicio o en espera en la fila. Este número es igual al de estaciones paralelas más el número total de clientes para ser atendidos.

Un número **L** que representa el número total de clientes de la población.

### 3. Medidas de rendimiento.

El último objetivo de la TLE consiste en responder cuestiones administrativas pertenecientes al diseño y a la operación de un sistema de líneas de espera. El gerente de un banco puede querer decidir si programa tres o cuatro cajeros durante la hora de almuerzo. En una estructura de producción, el administrador puede desear evaluar el impacto de la compra de una nueva máquina que pueda procesar los productos con más rapidez.

Cualquier sistema de líneas de espera pasa por dos fases básicas. Cuando se abre el servicio, no hay nadie en el sistema, de modo que el primer cliente es atendido de forma inmediata. Conforme van llegando más clientes, lentamente se va formando la cola y la cantidad de tiempo que tienen que esperar se empieza a aumentar. A medida que avanza el día, el sistema llega a una condición en la que el efecto de la falta inicial de clientes ha sido eliminado y el tiempo de espera de cada cliente ha alcanzado niveles bastante estables.<sup>8</sup>

Existen muchas medidas de rendimiento diferentes que se utilizan para evaluar un sistema de colas en estado estable, algunas de las cuales se describen más adelante. Para diseñar y poner en operación un sistema de líneas de espera, por lo general, los administradores se preocupan por el nivel de servicio que recibe un cliente, así como el uso apropiado de las instalaciones de servicio de la empresa. Algunas de las medidas que se utilizan para evaluar el rendimiento surgen de hacerse las siguientes preguntas:<sup>2</sup>

- Preguntas relacionadas con el tiempo, centradas en el cliente, como:

¿Cuál es el tiempo promedio que un cliente recién llegado tiene que esperar en la fila antes de ser atendido?. La medida de rendimiento asociada es el tiempo promedio de espera, representado con  $W_q$ .

¿Cuál es el tiempo que un cliente invierte en el sistema entero, incluyendo el tiempo de espera y el de servicio?. La medida de rendimiento asociada es el tiempo promedio en el sistema, denotado con  $W$ .

- Preguntas cuantitativas relacionadas al número de cliente, como:

En promedio ¿cuántos clientes están esperando en la cola para ser atendidos?. La medida de rendimiento asociada es la longitud media de la cola, representada con  $L_q$ .

¿Cuál es el número promedio de clientes en el sistema?. La medida de rendimiento asociada es el número medio en el sistema, representado con  $L$ .

Preguntas probabilísticas que implican tanto a los clientes como a los servidores, por ejemplo:

¿Cuál es la probabilidad de que un cliente tenga que esperar a ser atendido?. La medida de rendimiento asociada es la probabilidad de bloqueo, que se representa por  $p_w$ .

En cualquier tiempo particular, ¿cuál es la probabilidad de que un servidor esté ocupado?. La medida de rendimiento asociada es la utilización, denotada con  $U$ . Esta medida indica también la fracción de tiempo que un servidor esta ocupado.

¿Cuál es la probabilidad de que existan  $n$  clientes en el sistema?. La medida de rendimiento asociada se obtiene calculando la probabilidad  $P_0$  de que no haya clientes en el sistema, la probabilidad  $P_i$  de que haya un cliente en el sistema, y así sucesivamente. Esto tiene como resultado la distribución de probabilidad de estado, representada por  $P_n$ ,  $n=0,1,\dots$

Si el espacio de espera es finito, ¿Cuál es la probabilidad de que la cola esté llena y que un cliente que llega no sea atendido?. La medida de rendimiento asociada es la probabilidad de negación del servicio, representada por  $P_d$ .

- Preguntas relacionadas con los costos, como:

¿Cuál es el costo por unidad de tiempo por operar el sistema?

¿Cuántas estaciones de trabajo se necesitan para lograr mayor efectividad en los costos?

El cálculo específico de estas medidas de rendimiento depende de la clase de sistema de colas. Algunas de estas medidas están relacionadas entre sí. Conocer el valor de una medida le permite encontrar el valor de una medida relacionada.<sup>9</sup>

#### 4. Sistema de líneas de espera M/M/1.

De acuerdo con los criterios mencionados para la clasificación de modelos de líneas de espera, el nombre "M/M/1" significa que el sistema depende de un tiempo de llegadas probabilístico que sigue una distribución exponencial (M), un tiempo de servicio probabilístico que sigue una distribución exponencial (M) y solo una estación de servicio (C = 1).

Un sistema de líneas de espera (M/M/1) consiste en:

- Una población de clientes infinita.
- Un proceso de llegada en que los clientes se presentan de acuerdo con un proceso de Poisson con una tasa promedio de  $\lambda$  clientes por unidad de tiempo.
- Un proceso de colas que consiste en una sola línea de espera de capacidad infinita, con una disciplina de entrada, de primero en entrar primero en salir (PEPS).
- Un proceso de servicio que consiste en un solo servidor que atiende a los clientes de acuerdo a una distribución exponencial con un promedio de  $\mu$  clientes por unidad de tiempo.<sup>2</sup>

Para que el sistema alcance un nivel estable, la tasa de servicio  $\mu$ , debe ser mayor que la tasa de llegadas  $\lambda$ , si este no fuera el caso, la cola del sistema continuaría creciendo debido a que en promedio el número de clientes que llegan, superaría al número de clientes que pueden ser atendidos.

**Tabla 1.** Fórmulas para calcular las medidas de rendimiento para el modelo M/M/1<sup>10</sup>.

<i><b>MEDIDA DE RENDIMIENTO</b></i>	<i><b>FÓRMULA GENERAL</b></i>
Número promedio en la fila.	$L_q = p^2 / (1-p)$
Tiempo promedio de espera en la fila.	$W^q = L^q / \lambda$
Tiempo promedio de espera en el sistema.	$W = W_q + (1/\mu)$
Número promedio en el sistema.	$L = \lambda * W$
Probabilidad de que no haya clientes en el sistema.	$P_0 = 1 - P$
Probabilidad de que un cliente que llega tenga que esperar.	$P_w = 1 - P_0 = p$
Probabilidad de que haya $n$ clientes en el sistema.	$P_n = P^n * P_0$
Utilización.	$U = p$



## 5. Sistema de líneas de espera M/M/C.

De acuerdo con los criterios mencionados para la clasificación de modelos de líneas de espera, el nombre "M/M/C" significa que el sistema depende de un tiempo de llegadas probabilístico que sigue una distribución exponencial (M), un tiempo de servicio probabilístico que sigue una distribución exponencial (M) y cualquier número de estaciones de servicio (C = cualquier número de estaciones idénticas de servicio).

Un sistema de líneas de espera (M/M/C) consiste en:

- Una población de clientes infinita.
- Un proceso de llegada en que los clientes se presentan de acuerdo con un proceso de Poisson con una tasa promedio de  $\lambda$  clientes por unidad de tiempo.
- Un proceso de colas que consiste en una sola línea de espera de capacidad infinita, con una disciplina de entrada de primero en entrar primero en salir (PEPS).
- Un proceso de servicio con  $c$  servidores idénticos, cada uno de los cuales atiende a los clientes de acuerdo una distribución exponencial, con una cantidad promedio de  $\mu$  clientes por unidad de tiempo.<sup>2</sup>
- 

Las fórmulas para calcular las medidas de rendimiento en este modelo se resumen a continuación:<sup>11</sup>

$M$  = Número de canales abiertos

$\lambda$  = Tasa promedio de arribo

$\mu$  = Tasa promedio de servicio en cada canal

$P_0$  = Probabilidad de que existan CERO personas o unidades en el sistema :

$$P_0 = \frac{1}{\left[ \sum_{n=0}^{M-1} \frac{1}{n!} \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^n \right] + \frac{1}{M!} \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^M \frac{M\mu}{M\mu - \lambda}} \text{ para } M\mu > \lambda$$

$L_s$  = Número promedio de personas o unidades en el sistema :

$$L_s = \frac{\lambda \mu \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^M}{(M-1)! (M\mu - \lambda)^2} P_0 + \frac{\lambda}{\mu}$$

$W_s$  = Tiempo promedio que una unidad permanece en el sistema,

(en la cola y siendo servida (atendida) :

$$W_s = \frac{\mu \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^M}{(M-1)! (M\mu - \lambda)^2} P_0 + \frac{1}{\mu} = \frac{L_s}{\lambda}$$

$L_q$  = Número promedio de personas o unidades en la línea o cola, en espera de servicio :

$$L_q = L_s - \frac{\lambda}{\mu} = L_s - \rho$$

$W_q$  = Tiempo promedio que una persona o unidad se

tarda en la cola esperando por servicio :

$$W_q = W_s - \frac{1}{\mu} = \frac{L_q}{\lambda}$$

## 6. Sistema de líneas de espera M/D/1.

De acuerdo con los criterios mencionados para la clasificación de modelos de líneas de espera, el nombre "M/D/1" significa que el sistema depende de un tiempo de llegadas probabilístico que sigue una distribución exponencial (M), un tiempo de servicio constante (D) y solo una estación de servicio (C = 1).

Un sistema de líneas de espera (M/D/1) consiste en:

- Una población de clientes infinita.
- Un proceso de llegada en que los clientes se presentan de acuerdo con un proceso de Poisson con una tasa promedio de  $\lambda$  clientes por unidad de tiempo.
- Un proceso de colas que consiste en una sola línea de espera de capacidad infinita, con una disciplina de entrada de primero en entrar primero en salir (PEPS).
- Un proceso de servicio que consiste en solo servidor que atiende a los clientes de acuerdo a tiempo definido y constante de  $\mu$  clientes por unidad de tiempo.<sup>2</sup>

**Tabla 2.** Fórmulas para calcular las medidas de rendimiento en el modelo M/D/1<sup>13</sup>.

<b>MEDIDA DE RENDIMIENTO</b>	<b>FÓRMULA GENERAL</b>
Número promedio en la fila.	$L_q = \lambda^2 / 2\mu(\mu - \lambda)$ <sup>12</sup>
Tiempo promedio de espera en la fila.	$W^q = \lambda / (2\mu * (\mu - \lambda))$
Tiempo promedio de espera en el sistema.	$W = W_q + (1/\mu)$
Número promedio en el sistema.	$L = L_q + \lambda/\mu$
Probabilidad de que no haya clientes en el sistema.	$P_0 = 1 - P$
Probabilidad de que un cliente que llega tenga que esperar.	$P_w = 1 - P_0 = p$
Probabilidad de que haya n clientes en el sistema.	$P_n = P^n * P_0$
Utilización.	$U = p$

## 7. Comparación entre modelos.

En la tabla 3 se presentan las similitudes y diferencias de los modelos de líneas de espera disponibles.

**Tabla 3.** Similitudes y diferencias de los modelos de líneas de espera.<sup>14</sup>

MODELO	NOMBRE	Nº DE CANALES	Nº DE FASES	PATRÓN DE ARRIBO	PATRÓN DE SERVICIO	TAMAÑO DE LA POBLACIÓN	DISCIPLINA DE COLA
A	SIMPLE M/M/1	UNO	UNA	POISSON	EXPONENCIAL	INFINITA	PEPS
B	MULTI-CANAL M/M/S	MULTI-CANAL	UNA	POISSON	EXPONENCIAL	INFINITA	PEPS
C	SERVICIO CONSTANTE (M/D/1)	UNO	UNA	POISSON	CONSTANTE	INFINITA	PEPS

## 8. Elección del modelo.

Existe una gran cantidad de modelos debido a la gran cantidad de variables que pueden existir en un sistema de filas. A pesar de que el objetivo es calcular varias medidas de rendimiento, estas medidas están restringidas a un número limitado de modelos<sup>15</sup>.

Para la elección del modelo es conveniente que revise las características de cada modelo disponible, en caso de que no se adapte a ninguno de los modelos es conveniente que realice alguno de los siguientes pasos:

1. Obtener un paquete de cómputo que sea capaz de analizar su modelo.
2. Localizar las fórmulas adecuadas en algún libro especializado en teorías de colas aunque esto no es siempre posible.
3. Hacer suposiciones acerca de su problema que le permita aproximarlos con uno de los modelos de colas que están disponibles.<sup>16</sup>

### C. Los programas de computadora.

En la actualidad existen programas estadísticos que resuelven sistemas de colas como lo son "STORM" o " QSB" y debido a que son programas estadísticos con otras funciones complejas que para fines de pequeñas organizaciones resultarían poco útiles. La adquisición de ellos debe ser analizada.

En hojas de cálculo como *Microsoft Excel 2000* (Fig. 4) los datos y las fórmulas necesarios se introducen en formularios tabulares (hojas de cálculo u hojas de

trabajo), y se utilizan para analizar, controlar, planificar o evaluar el impacto de los cambios reales o propuestos sobre una estrategia económica. Los programas de hoja de cálculo usan filas, columnas y celdas. Cada celda puede contener texto, datos numéricos o una fórmula que use valores existentes en otras celdas para hacer un cálculo determinado. Para facilitar los cálculos, estos programas incluyen funciones incorporadas que realizan operaciones estándar. Dependiendo del programa, una sola hoja de cálculo puede contener miles o millones de celdas. Algunos programas de hoja de cálculo permiten también vincular una hoja de cálculo a otra que contenga información relacionada y pueden actualizar de forma automática los datos de las hojas vinculadas. Los programas de hoja de cálculo se pueden utilizar para crear y ordenar bases de datos. Los programas de hoja de cálculo cuentan por lo general con capacidades gráficas para imprimir sus resultados. También proporcionan un buen número de opciones de formato tanto para las páginas y el texto impreso como para los valores numéricos y las leyendas de los gráficos.

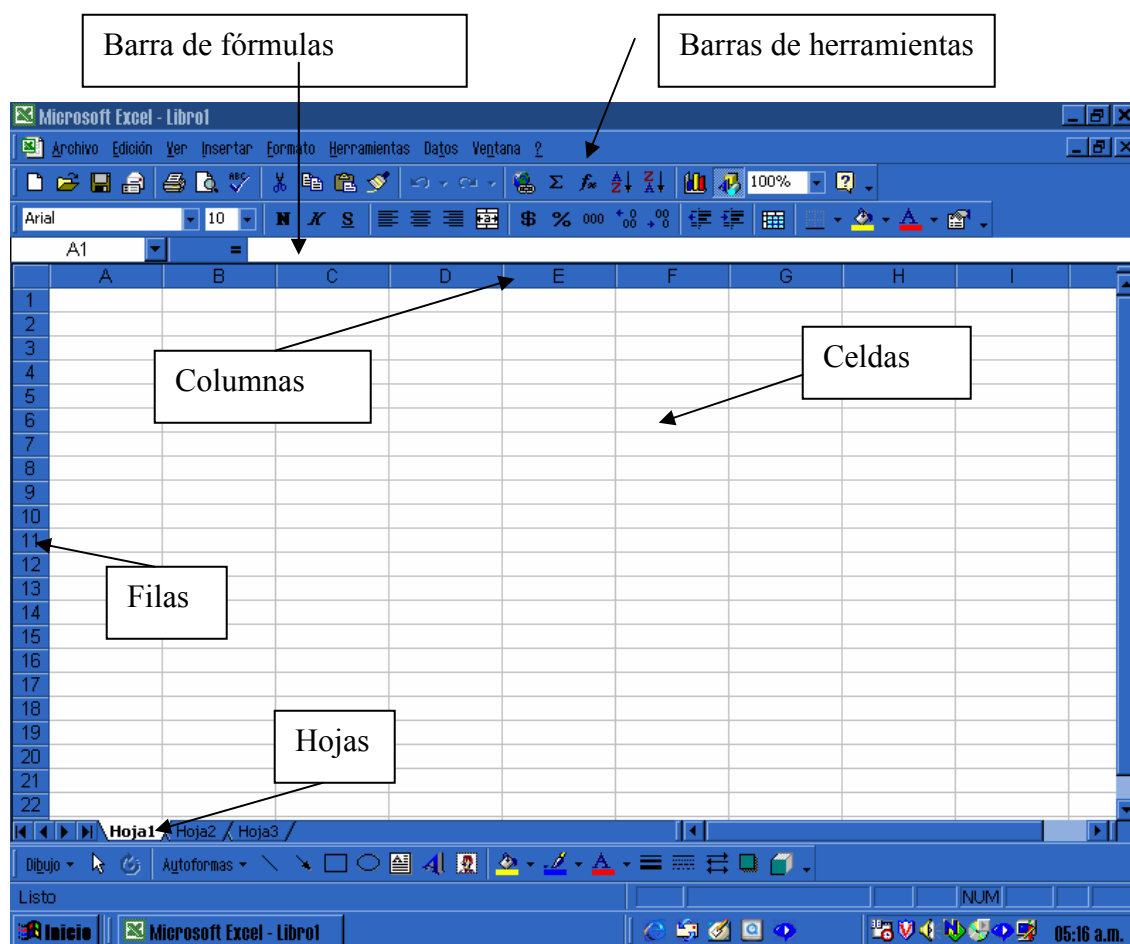


Figura 4. Aspecto general de una hoja de cálculo de *Microsoft Excel 2000*.

## **II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

La teoría de líneas de espera es una herramienta que ha sido descrita por muchos autores y no es un tema desconocido por aquellos que se dedican a lidiar con problemas de administración, sin embargo como se ha mencionado antes, en nuestra área, no estamos exentos de lidiar con cuestiones administrativas. El QFB recién egresado o con poca experiencia en la industria tiene un distanciamiento considerable con el área de administración, siendo esta un recurso de toma de decisiones. Existen muchas herramientas administrativas que se pueden aprender y desarrollar, una de ellas es la ya mencionada teoría de colas, la cual puede ayudarnos a resolver problemas en cuanto a optimización de recursos y calidad de servicios. De esta manera es posible crear una herramienta para resolver problemas de modelos de líneas de espera a un bajo costo y con la certeza de que será confiable.

Con lo antes expuesto este trabajo propone la elaboración de una hoja de cálculo que sirva para resolver problemas de modelos de filas comunes, pretendiendo que sea una herramienta accesible, útil, de bajo costo y fácil de utilizar.

### III. OBJETIVOS.

#### **General:**

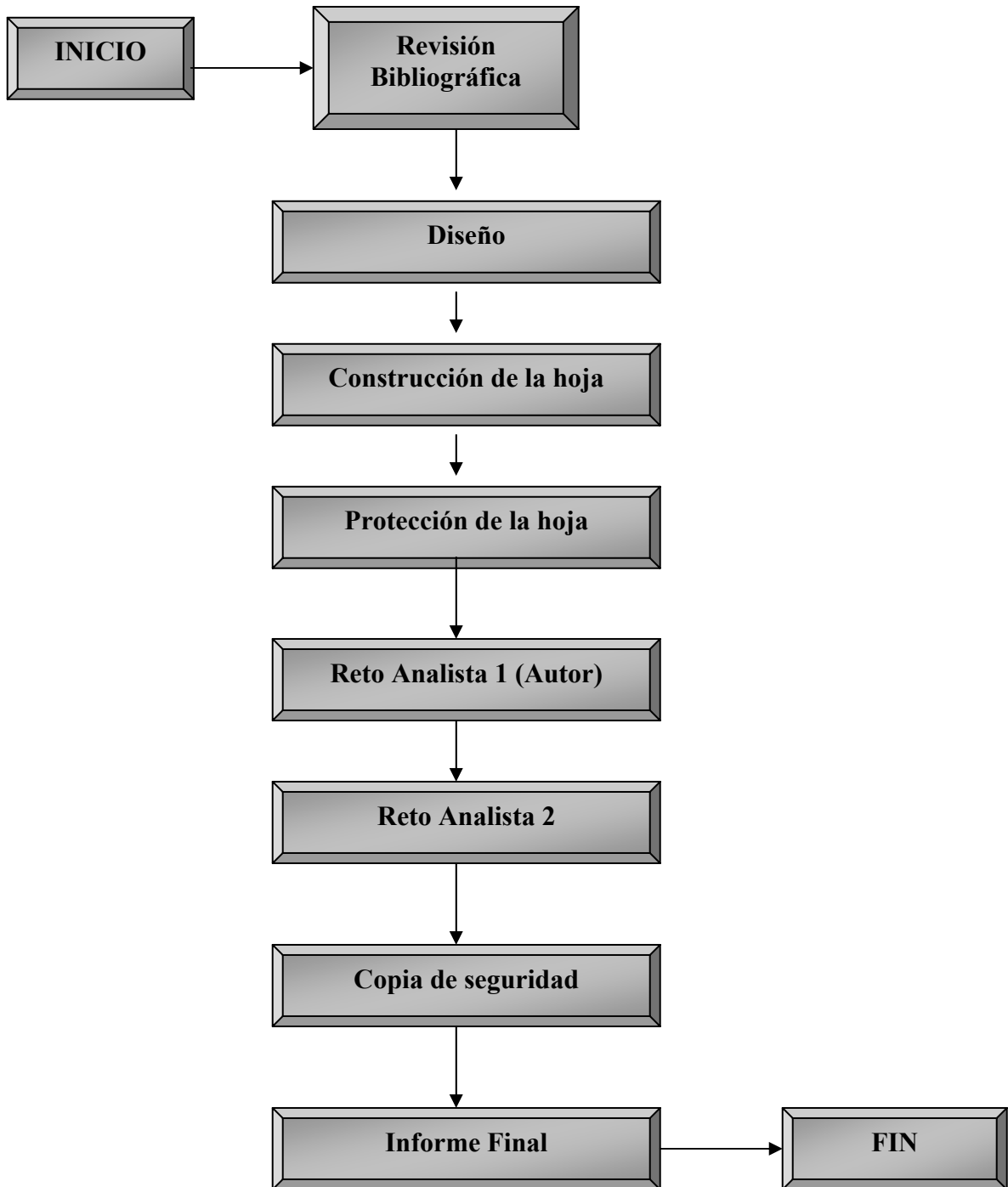
- Elaborar una hoja de cálculo en *Microsoft Excel 2000* capaz de resolver problemas para tres modelos de líneas de espera comunes.

#### **Particulares:**

- Conocer los modelos matemáticos que se aplican a los sistemas de líneas de espera comunes.
- Aplicar los modelos matemáticos a una hoja de cálculo para su uso práctico.
- Comprobar la utilidad y la confiabilidad de la hoja de cálculo realizada.

#### IV. METODOLOGÍA.

La metodología utilizada se describe en el siguiente diagrama de bloques.



## METODOLOGÍA

**Revisión bibliográfica.** Se revisaron los conceptos fundamentales de la teoría de las colas, incluyendo las fórmulas matemáticas que se utilizaron como base para el diseño y la construcción de la hoja de cálculo.

**Diseño.** Se planeó la estructura básica de la hoja de cálculo, el diseño abarcó la adaptación de las fórmulas matemáticas al lenguaje de *Microsoft Excel*, la distribución de los componentes de la hoja, la interrelación entre los componentes y la presentación final.

**Construcción de la hoja de cálculo.** Se llevó a cabo mediante la introducción de fórmulas, tablas, hipervínculos y formatos para cada uno de los componentes. Esta tarea se realizó de acuerdo a los criterios establecidos en el diseño.

**Protección de la hoja.** La hoja fue protegida por contraseña para evitar que las partes operativas de la hoja (fórmulas, tablas, etc.) puedan ser modificadas por el usuario. Las celdas que no fueron protegidas corresponden a los sitios donde el usuario tiene que colocar sus datos.

**Reto Analista 1.** El autor de la hoja de cálculo realizó pruebas para verificar la funcionalidad y la confiabilidad de la hoja terminada. El reto 1 consistió en insertar datos de sistemas de filas ya reportadas y contrastar los resultados obtenidos en la hoja de cálculo con los reportados por programas estadísticos como "STORM" y "QSB".

**Reto Analista 2.** Una vez superado el reto 1, la hoja de cálculo terminada fue entregada a un segundo analista, el cual insertó datos de sistemas de filas ya reportadas y contrastó los resultados obtenidos en la hoja de cálculo con los reportados por programas estadísticos como "STORM" y "QSB". También se realizó un cuestionario al analista 2 para obtener información acerca de la facilidad de manejo y la utilidad de la hoja.



## V. RESULTADOS Y ANÁLISIS.

### A. Características Generales.

La hoja de cálculo terminada se encuentra en el disco anexo a este trabajo, sin embargo a continuación se describen las principales características de la hoja, posteriormente se describirán los resultados de protección, reto 1 y reto 2.

El resultado obtenido se describe como un libro de Microsoft Excel que consta de 7 hojas de cálculo de las cuales 3 se utilizan como complementos de presentación e información adicional, 3 de las restantes enteramente están destinadas al cálculo de parámetros de rendimiento para cada uno de los tres modelos de colas disponibles y una más esta destinada para realizar cálculos de costos (Tabla 4).

**Tabla 4.** Componentes de la hoja de cálculo realizada.

	<i><b>Título</b></i>	<i><b>Función</b></i>
1	Inicio	Hoja de inicio. Muestra los vínculos a los modelos disponibles para entrar a ellos.
2	MM1	Calcula los parámetros de rendimiento para el modelo M/M/1.
3	MMC	Calcula los parámetros de rendimiento para el modelo M/M/C
4	MD1	Calcula los parámetros de rendimiento para el modelo M/D/1.
5	Costos	Calcula costos por nivel de servicio y por concepto de espera.
6	Selecmo	Contiene recomendaciones para la correcta selección de modelos.
7	Carac	Contiene las principales características de cada modelo, útil para elegir el modelo adecuado.

La hoja esta diseñada con apariencia de página Web con la intención de que su manejo sea más sencillo por medio de hipervínculos para poder pasar de una sección a otra.

A continuación se describe brevemente cada una de las secciones que componen la hoja de cálculo.

## 1. Inicio.

La hoja "inicio" (Fig. 5) es la presentación de la hoja de cálculo, se despliega al abrir el documento. Muestra algunos datos generales y contiene los hipervínculos que conducen al usuario a la hoja de información general de los modelos disponibles, también conduce al usuario a cada uno de los modelos de colas disponibles y finalmente también presenta un hipervínculo que dirige al usuario a la hoja de información en caso de no saber como elegir el modelo que requiere. En la hoja "inicio" no realiza ningún cálculo.

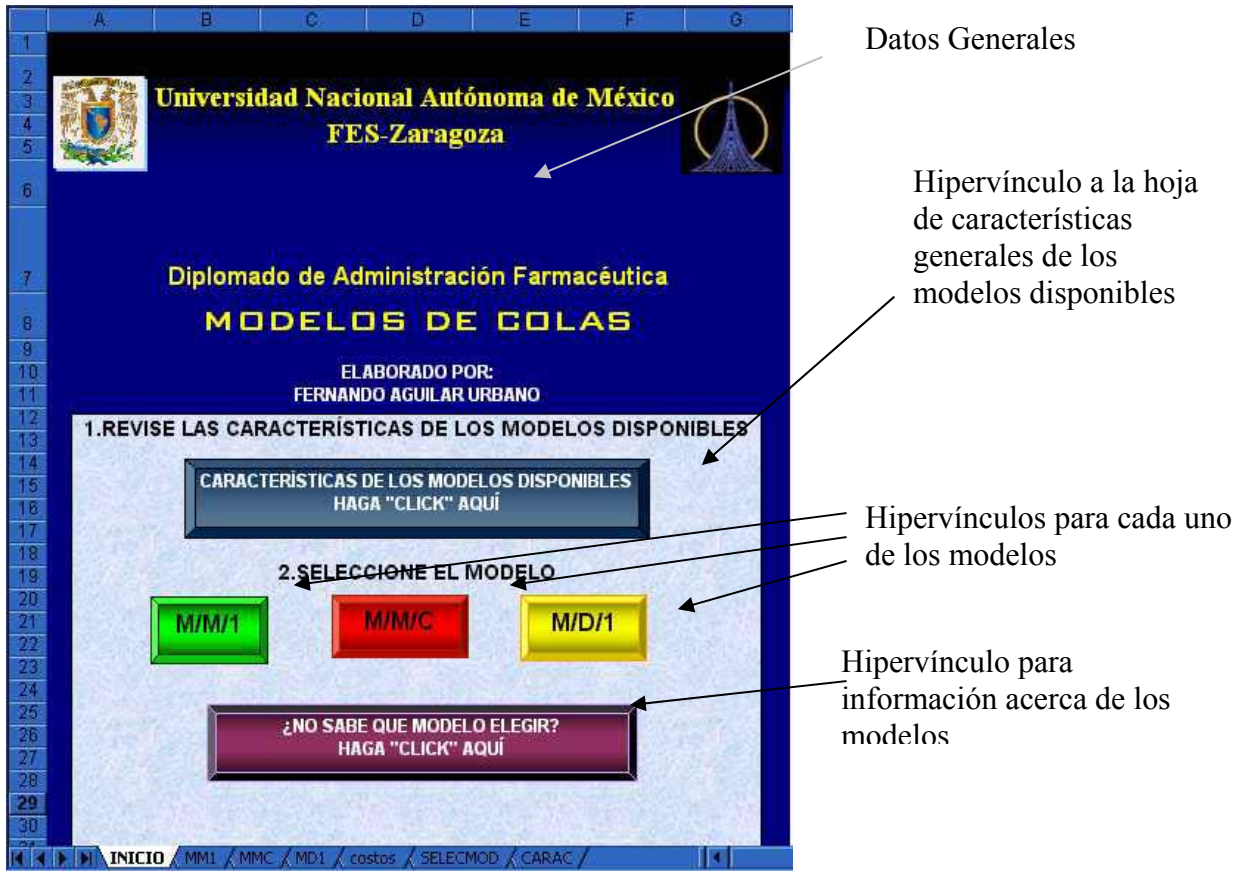


Figura 5. Características de la hoja "inicio"

## 2. Hoja M/M/1.

Esta hoja se utiliza cuando el sistema de filas reúne las siguientes características:

- Una población de clientes infinita.
- Un proceso de llegada en la que los clientes se presentan de acuerdo con un proceso de Poisson con una tasa promedio de  $\lambda$  clientes por unidad de tiempo.
- Un proceso de colas que consiste en una sola línea de espera de capacidad infinita, con una disciplina de entrada, de primero en entrar primero en salir (PEPS).
- Un proceso de servicio que consiste en un solo servidor que atiende a los clientes de acuerdo a una distribución exponencial con un promedio de  $\mu$  clientes por unidad de tiempo.

Se puede llegar a esta hoja por medio del hipervínculo "M/M/1" de la hoja de inicio. La hoja M/M/1(Fig. 6) calcula todos los parámetros relacionados con el modelo M/M/1 por medio de la aplicación de las fórmulas de la tabla 1. Para el cálculo de los parámetros las celdas están interrelacionadas ampliamente ya que el cálculo de algunos parámetros depende del resultado de otros, teniendo así un efecto "cascada". Esta hoja cuenta además con hipervínculos que conducen al usuario a la hoja "inicio" o bien a la hoja "costos".

La tabla de cálculo de probabilidad es útil hasta cuando  $n$  es igual a 500, un numero mayor requiere de programación. Si el sistema no es estable ( $\lambda > \mu$ ) la situación no puede ser viable debido a que no funcionaría un sistema en donde el número de llegadas supere la capacidad de atención del sistema, entonces, la hoja mostrará números negativos y una advertencia en color rojo que indica que se deben colocar datos correctos.

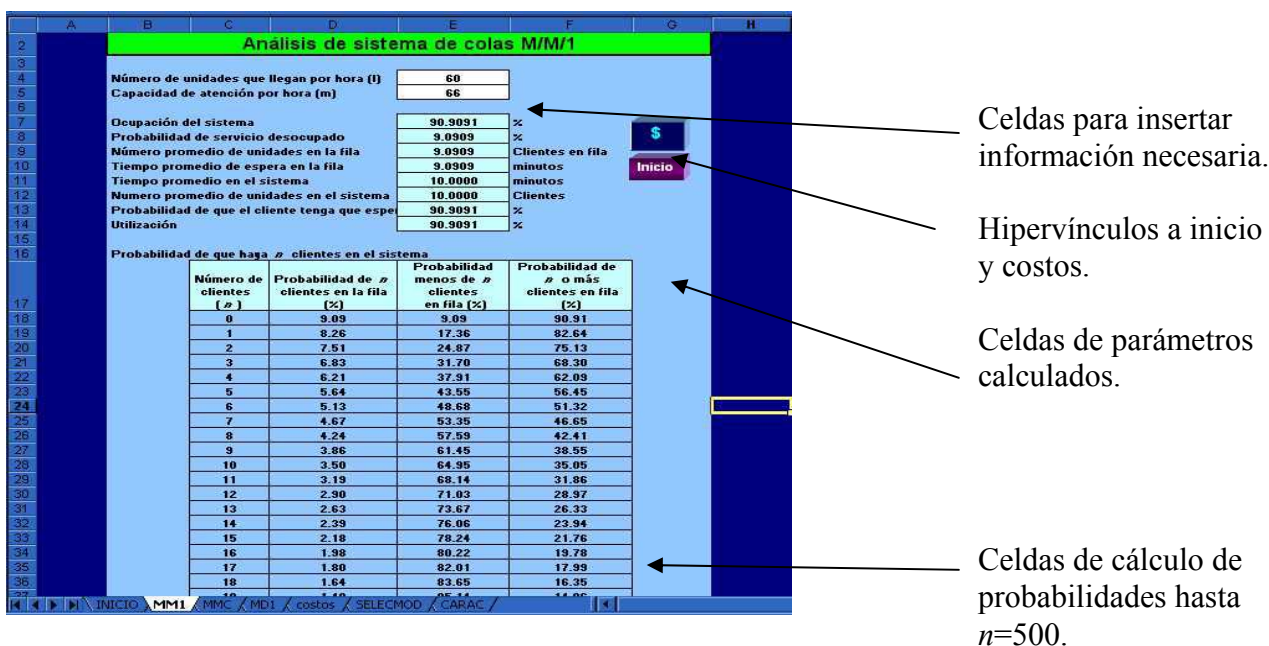


Figura 6. Características generales de la hoja M/M/1.

### 3. Hoja M/M/C.

Esta hoja se utiliza cuando el sistema de filas reúne las siguientes características:

- Una población de clientes infinita.
- Un proceso de llegada en la que los clientes se presentan de acuerdo con un proceso de Poisson con una tasa promedio de  $\lambda$  clientes por unidad de tiempo.
- Un proceso de colas que consiste en una sola línea de espera de capacidad infinita, con una disciplina de entrada de primero en entrar primero en salir (PEPS).
- Un proceso de servicio con  $c$  servidores idénticos, cada uno de los cuales atiende a los clientes de acuerdo una distribución exponencial, con una cantidad promedio de  $\mu$  clientes por unidad de tiempo.

El acceso a la hoja M/M/C (Fig. 7) se logra mediante el hipervínculo de la hoja de inicio. Esta hoja calcula todos los parámetros relacionados con el modelo M/M/C por medio de la aplicación de las fórmulas de este modelo, además cuenta con tablas ocultas para el cálculo de sumatorias y factoriales. Fue necesario el uso de funciones condicionales para detener las sumatorias dependientes del número de estaciones del sistema. Cuenta además con hipervínculos que conducen al usuario a la hoja "inicio" o bien a la hoja "costos".

La tabla de cálculo de probabilidad es útil hasta cuando  $n$  es igual a 500, un número mayor requiere de programación. Si el sistema no es estable ( $\lambda > \mu$ ) la situación no puede ser viable debido a que no funcionaría un sistema en donde el número de llegadas supere la capacidad de atención del sistema, entonces, la hoja mostrará números negativos y una advertencia en color rojo que indica que se deben colocar datos correctos.

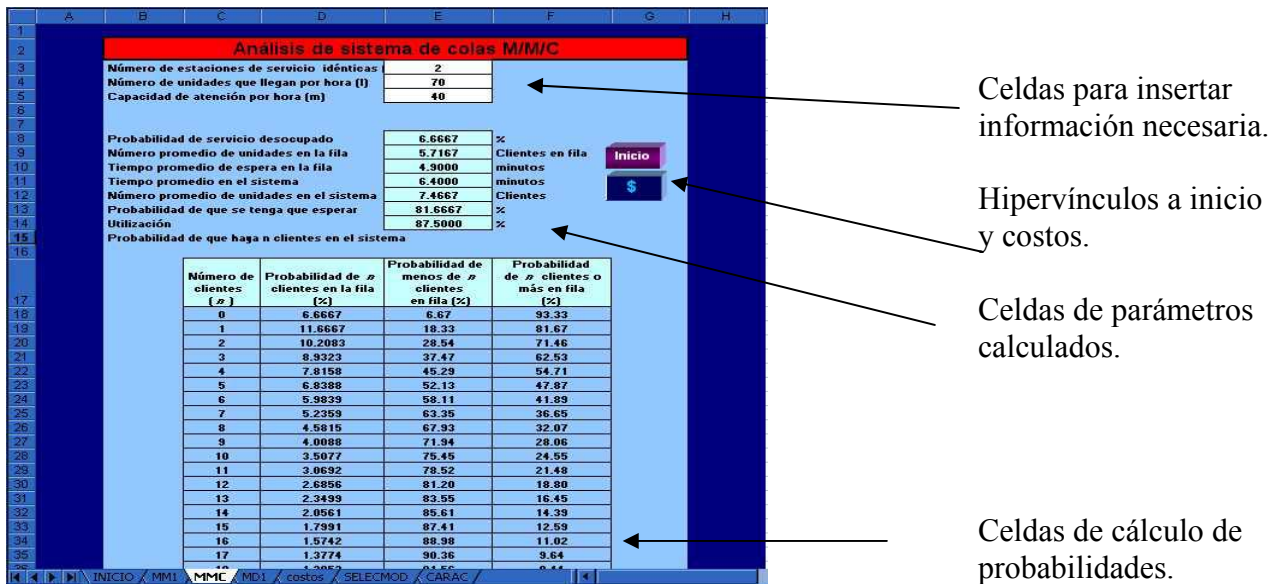


Figura 7. Características generales de la hoja M/M/C.

#### 4. Hoja M/D/1.

Esta hoja se utiliza cuando el sistema de filas reúne las siguientes características:

- Una población de clientes infinita.
- Un proceso de llegada en la que los clientes se presentan de acuerdo con un proceso de Poisson con una tasa promedio de  $\lambda$  clientes por unidad de tiempo.
- Un proceso de colas que consiste en una sola línea de espera de capacidad infinita, con una disciplina de entrada de primero en entrar primero en salir (PEPS).
- Un proceso de servicio que consiste en solo servidor que atiende a los clientes de acuerdo a tiempo definido y constante de  $\mu$  clientes por unidad de tiempo.

La hoja M/D/1 (Fig. 8) Calcula todos los parámetros relacionados con el modelo M/D/1 por medio de las fórmulas de la tabla 2. Para el cálculo de los parámetros la hoja cuenta con fórmulas y tablas ocultas. Cuenta además con hipervínculos que conducen al usuario a la hoja "inicio" o bien a la hoja "costos."

La tabla de cálculo de probabilidad es útil hasta cuando  $n$  es igual a 500, un número mayor requiere de programación. Si el sistema no es estable ( $\lambda > \mu$ ) la situación no puede ser viable debido a que no funcionaría un sistema en donde el número de llegadas supere la capacidad de atención del sistema, entonces, la hoja mostrará números negativos y una advertencia en color rojo que indica que se deben colocar datos correctos.

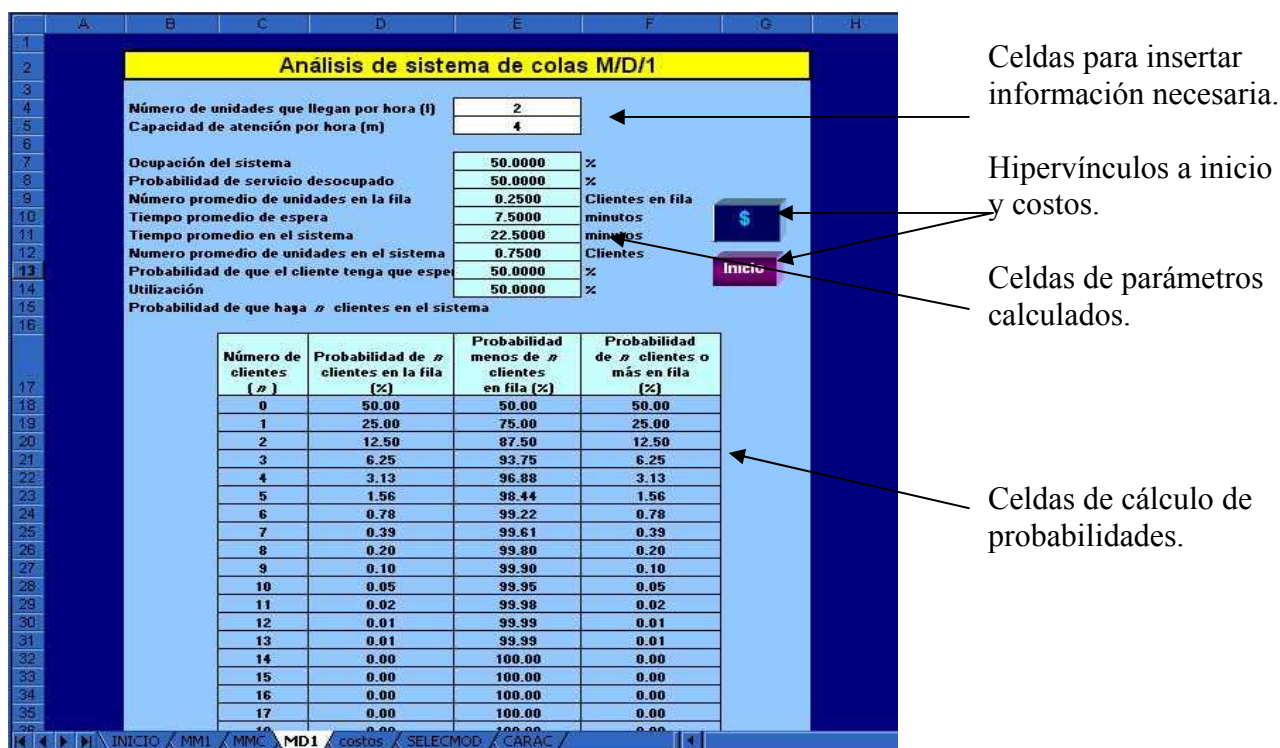


Figura 8. Características generales de la hoja M/D/1.



## 5. Hoja de costos.

La hoja "costos" (Fig. 9) realiza los cálculos de acuerdo al nivel de servicio y por espera. Esta hoja funciona mediante operaciones simples en base al costo que ingresa el usuario y los resultados obtenidos en la hoja del modelo que se está estudiando, además cuenta con hipervínculos que conducen al usuario de regreso a la hoja del modelo o a la hoja "inicio".

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data:

ANALISIS DE COSTOS	
<b>MM/1</b>	
Costos	
Costo de operación por hora	300
Costo de espera por hora	125
Costos totales	
Operación	300
Por espera	1250
<b>Total</b>	<b>1550</b>
<b>MM/C</b>	
Costos	
Costo de operación por estación por hora	10
Costo de espera por hora	12
Número de estaciones	2
Costos totales	
Operación	20
Espera	89.6
<b>total</b>	<b>109.6</b>
<b>MD/1</b>	
Costos	
Costo de operación por hora	50
Costo de espera por hora	100
Costos totales	
Operación	50
Por espera	75
<b>Total</b>	<b>1050</b>

Annotations in the image:

- Hipervínculos a inicio o a los modelos correspondientes (pointing to the 'Inicio' button).
- Celdas de inserción de datos necesarios. (pointing to the input fields for costs and stations).
- Celdas de resultados (pointing to the 'Total' cells).

Figura 9. Características generales de la hoja "costos"

## 6. Secciones informativas "selecmo" y "carac"

Brindan información adicional para el auxilio en la selección de modelos.

El acceso a la hoja "Selecmo" (Fig. 10) se puede realizar desde el hipervínculo de la hoja de inicio. Contiene las recomendaciones necesarias para la correcta selección de los modelos.

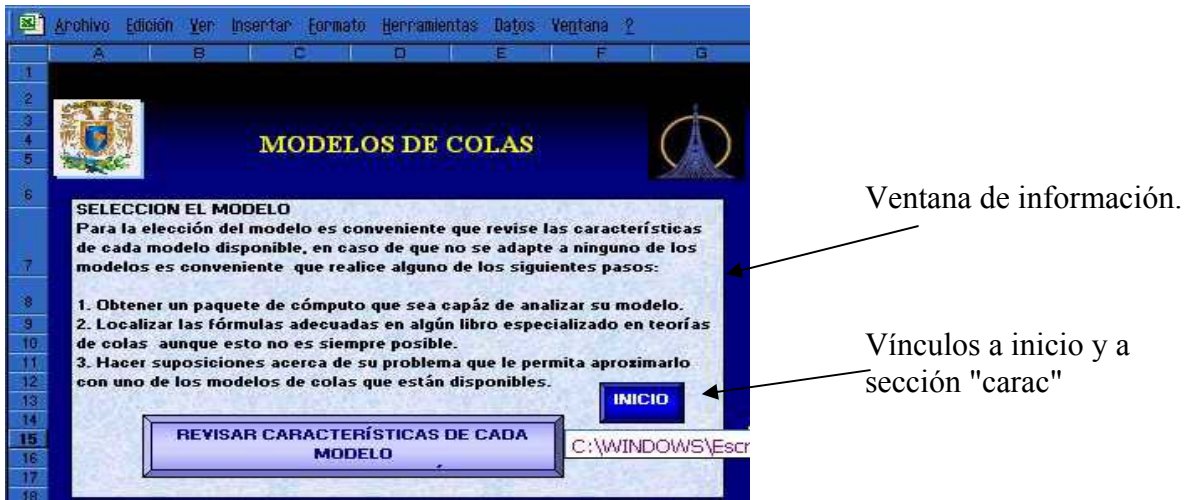


Figura 10. Características generales de la hoja "selecmo".

A la hoja "carac" se puede ingresar desde la hoja de inicio o bien desde la hoja "selecmo" (Fig. 11). Contiene las características generales de cada modelo disponible, así como su definición y su representación gráfica. Es indispensable para la correcta elección del modelo a utilizar.

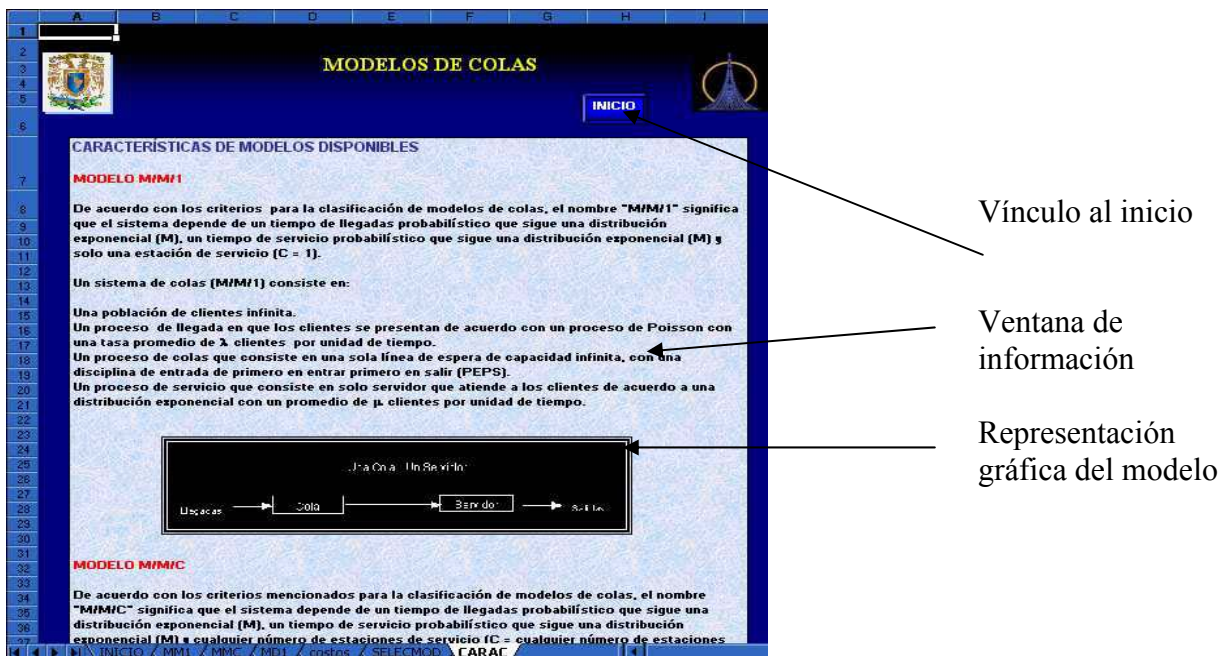


Figura 11. Características generales de la hoja "carac".

## 7. Protección.

Par el funcionamiento óptimo de la hoja de cálculo fue necesario la utilización de un número considerable de fórmulas y algunas tablas, que por fines prácticos, permanecen ocultos en la versión final. También fue necesario en muchas de las fórmulas utilizadas hacer referencias a otras celdas para que los datos se actualicen automáticamente al cambiar alguno, es por ello que todos los componentes fueron protegidos por contraseña, permitiendo únicamente al usuario manipular las celdas donde se introducen los datos necesarios. El archivo también fue protegido para evitar que sea borrado del disco flexible mediante la activación del seguro del disco, de esta manera se evita la pérdida del archivo accidentalmente

Como resultado de la protección se obtienen hojas seguras que no permiten que sus componentes sean modificados, de esta manera se asegura el correcto funcionamiento de la hoja y brinda al usuario confianza a momento de utilizar la hoja.

## 8. Reto.

Al concluir la elaboración de esta hoja de cálculo, fue sometida a un proceso de prueba para asegurar que no existieran errores que pudieran incidir en los resultados.

Este proceso de prueba, consistió en introducir datos de problemas ya reportados (Thierauf R.1984), de este modo los resultados pudieron ser comparados, y revisar si existían fallas, pues una diferencia significativa al contrastar los resultados podían generar un indicador.

La prueba de primer reto fue concluida satisfactoriamente; bajo estas condiciones se analizaron varios problemas de sistemas de líneas de espera, en la tabla 5, se muestran los resultados obtenidos por la hoja de cálculo comparados con los del programa "STORM" (Thierauf R.1984).

**Tabla 5.** Resultados comparativos de la hoja de cálculo y el programa "STORM"

<i>Parámetro Modelo MMI</i>	<i>Hoja de cálculo</i>	<i>Programa "STORM"</i>
Número promedio en la fila	9.090 clientes	9.090clientes
Tiempo promedio de espera en la fila	9.090 minutos	9.090minutos
Tiempo promedio de espera en el sistema	10.000 minutos	10.025minutos
Número promedio en el sistema	10.001 clientes	10 clientes
Probabilidad de que no haya clientes en el sistema	9.090 %	9.0900%
Probabilidad de que un cliente que llega tenga que esperar	90.910%	90.900%
Utilización	90.910%	90.900%



Se puede observar que los resultados obtenidos en la hoja de cálculo son comparables con los de un programa estadístico.

La prueba se realizó para los tres modelos de colas de la hoja de cálculo, obteniendo resultados satisfactorios para cada caso probado. Por lo anterior se procedió al segundo reto por un segundo analista.

El segundo analista repitió el proceso del reto 1 utilizando otros reportes de modelos analizados con programas estadísticos, uno de los resultados comparativos se muestran en la tabla 6.

**Tabla 6.** Resultados comparativos de la hoja de cálculo y el programa "QSB".

<i>Parámetro Modelo MMC</i>	<i>Hoja de cálculo</i>	<i>Programa "QSB"</i>
Número promedio en la fila	5.715 clientes	5.716 clientes
Tiempo promedio de espera en la fila	4.900 minutos	4.860 minutos
Tiempo promedio de espera en el sistema	6.400 minutos	6.360 minutos
Número promedio en el sistema	7.466 clientes	7.466 clientes
Probabilidad de que no haya clientes en el sistema	6.666 %	6.666 %
Probabilidad de que un cliente que llega tenga que esperar	81.666 %	81.666 %
Utilización	87.500 %	87.500 %

Como se presenta, bajo la manipulación del segundo analista en condiciones de reto los resultados son satisfactorios para los tres modelos de la hoja.

El analista 2 además de haber probado la hoja de cálculo se sometió a unas preguntas (Anexo 1) para determinar posibles inconformidades al usar la hoja de cálculo.

El analista 2 expresó que resulta fácil trabajar con la hoja de cálculo, que es práctica debido a su formato y que es muy rápido el cálculo, mencionó también que se puede desplazar muy bien de una sección a otra. Sugirió que se ampliara al número de modelos disponibles y se colocara más información acerca de la teoría de colas.

Como respuesta a los comentarios del analista es posible tratar de agregar más modelos, pero como ya se ha expresado en el marco teórico son muy complejos así que de no poder incluir más modelos podríamos incluir una parte de simulación para situaciones más complejas. En cuanto la información adicional que solicita se propone una introducción muy breve ya que no debemos olvidar que es una hoja de cálculo y no es recomendable saturar la hoja con información. Sin embargo al momento de escribir este

trabajo no se aplicaron estas modificaciones ya que requiere de regresar nuevamente a la etapa de diseño lo cual requiere de tiempo.

### **9. La copia.**

Se realizaron 2 copias de seguridad para evitar la pérdida de la hoja por una posible falla, por su tamaño el archivo de la hoja de cálculo es fácil de guardar en cualquier unidad de almacenamiento.

### **10. Utilidad.**

La hoja de cálculo realizada es una herramienta que se puede utilizar como auxiliar en la toma de decisiones acerca de un problema de líneas de espera o bien como una herramienta de planeación que se puede aplicar a servicios, equipos, estaciones de trabajo, etapas de un proceso, etc. Es ideal para ayudar a determinar la cantidad de recursos que se deben emplear para satisfacer las necesidades en sistemas de filas, así como para determinar el mejor nivel de servicio posible al más bajo costo. También ayuda a conocer el aprovechamiento de los recursos en términos de porcentaje, y puede simular diferentes alternativas de solución, de tal forma que nos permite comparar los resultados en cada escenario y elegir el mejor. Se puede aplicar cuando en el sistema de filas se tiene un costo de espera y se debe equilibrar con el costo de operación, determina los tiempos de espera y el número promedio de unidades que esperan en fila.

En general es una herramienta con cientos de aplicaciones, con la ayuda de esta herramienta es posible, por ejemplo: determinar el número de equipos de análisis en un laboratorio en función del número y frecuencia de llegada de las muestras, también se podría determinar el número de personal de mantenimiento que se debe contratar para mantener un nivel de servicio óptimo. Y así como estos, hay cientos de situaciones a los que se puede aplicar esta herramienta administrativa.

La hoja de cálculo no pretende dar la solución a un problema pero si proporcionar los elementos necesarios al personal de toma de decisiones para elegir de forma conciente y justificada la solución óptima.

## VI. CONCLUSIONES

Los objetivos se cumplieron ya que fue posible la construcción de una herramienta que nos permite hacer cálculos para el diseño y análisis de problemas de sistemas de filas comunes, específicamente fue posible realizar una hoja de cálculo en *Microsoft Excel 2000* que nos permite realizar el análisis de los modelos de una sola fila con una estación de servicio (M/M/1), modelos de una fila con múltiples estaciones de servicio (M/M/C) y el modelo de una fila con una estación de servicio cuando los tiempos de atención están bien definidos y son constantes (M/D/1).

La hoja de cálculo tiene como principal finalidad el cálculo de parámetros para el análisis y el diseño de sistemas de filas, no pretende ser una fuente de información teórica acerca del tema por lo que adquirir un mayor conocimiento acerca de la teoría de colas involucra que el usuario seleccione y consulte la información en otras fuentes.

La hoja de cálculo obtenida cumple con las expectativas ya que resultó ser una hoja con una utilidad potencial considerable, además de ser barata, fácil de manejar y sobre todo confiable. Es accesible y requiere de instrucción mínima para su uso por lo que es útil a muchos niveles para la toma de decisiones y se puede aplicar a cualquier problema que se ajuste a los modelos disponibles.

## VII. SUGERENCIAS.

La utilidad de la hoja podría ampliarse si se incluyeran más modelos de líneas de espera, si la complejidad de estos modelos adicionales representa una dificultad, podrían sustituirse por una hoja de simulación para aplicarla a sistemas de filas más complejos.

Realizar un estudio más amplio en lo que se refiere a facilidad de manejo para el usuario, se sugiere que se proporcione la hoja de cálculo a un número más grande de personas que la puedan aplicar a situaciones reales y al igual que se hizo con el analista 2 registrar sus comentarios o sugerencias así como verificar su utilidad, esto por supuesto, necesitaría un diseño de experimento adecuado.

Agregar paulatinamente más herramientas administrativas y generar una hoja de cálculo muy completa, no solo para la solución de sistemas de filas, también para otros aspectos relacionados con la planeación.

## VIII. REFERENCIAS

1. Davis KR. Modelos cuantitativos para Administración. 2a. ed. México: Grupo editorial panamericana; 1990.
2. Thierauf R. Toma de decisiones por medio de investigación de operaciones. México: Limusa; 1984.
3. Moskowitz H, Wright GP. Investigación de Operaciones. México: Prentice\_Hall Hispanoamericana S.A; 1991.
4. Matur K, Solow D. Investigación de operaciones. México: Prentice Hall Hispanoamericana; 1996.
5. Anderson DR, Sweeney J, Williams TA. Introducción a los Modelos Cuantitativos para Administración. México: Grupo Editorial Iberoamérica; 1993.
6. Certo S. Administración Moderna. 2a. ed. México: Mc Graw Hill; 1993.
7. Arbonas ME. Optimización Industrial (I): Distribución de los recursos. México: Marcombo S.A; 1989.
8. Cox DR. Queues. USA (NY): Wiley; 1961.
9. Arbonas ME Optimización Industrial (II): Programación de recursos. México: Marcombo S.A; 1989.
10. Taha H. Investigación de operaciones México: Alfaomega; 1995
11. Gross D. Fundamentals of queueing theory. USA (NY): Wiley; 1974.
12. Buffa E. Operations Management: Problems and Models. Cuba: Edición Revolucionaria; 1968.
13. Saaty TL. Elements of queueing theory whit aplicaciones. 3a. ed. USA: Mc graw Hill; 1961.
14. Wagner HM. Principles of operation research. 2a. Ed. USA: Prentice Hall; 1975.
15. Trujillo J, Batista A. Métodos Económicos-Matemáticos 2a. ed. Cuba: Editorial ISPJAE; 1986.
16. Vicens E. Métodos Cuantitativos. 2a. Ed. España: Universidad de valencia; 1997

## IX. ANEXO 1.

### Cuestionario para la evaluación de la hoja de cálculo "Modelos de colas"

**Analista 2.**

**Nombre:**

**Fecha:**

<b>PREGUNTA</b>	<b>SI</b>	<b>NO</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
1. ¿La hoja de cálculo te parece útil?			
2. ¿Se entiende el contenido?			
3. ¿Contiene información suficiente?			
4. ¿La información que contiene es adecuada?			
5. ¿Hubo diferencias entre los resultados reportados y los obtenidos con la hoja de cálculo?			
6. ¿Es fácil de usar?			
7. ¿El formato es práctico?			
8. ¿La aplicarías en algún aspecto relacionado con tu profesión?			
9. ¿Crees que hace falta algo?			
10. ¿Tuviste algún problema durante su uso?			

#### **Comentarios Adicionales.**

---

---

---

---

---