

## SIMCOL: UNA HERRAMIENTA PARA SIMULAR MODELOS DE REDES DE COLAS

Federico R. Echavarría R.  
Departamento de Ingeniería Industrial  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de Los Andes  
Apartado Aéreo 4976, Bogotá

Fernando Palacios Gómez  
Departamento de Ingeniería Industrial  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de Los Andes  
Apartado Aéreo 4976, Bogotá

### RESUMEN

El propósito de este documento es presentar un programa desarrollado para simular sistemas que se pueden modelar como redes de colas abiertas o cerradas. Dicho programa permite definir las características de la red con base en el número y tipos de clientes, en los centros de servicio y en los arcos. Los clientes son definidos de manera global. Los centros de servicio pueden ser de recurso activo o pasivo. Los centros de servicio activo pueden tener las siguientes disciplinas: Fifo, Lifo, Aleatorio, Fifo con Preferencia y sin Interrupción, Fifo con Preferencia y con Interrupción, LCFSPR, PS, RR con Interrupción y con Preferencia, RR sin Interrupción y con Preferencia, RR sin Interrupción y sin Preferencia. Los arcos definen el paso de los clientes de un centro a otro, el cual se hace de acuerdo con unas probabilidades de salto o ramificación y puede o no tener duración. Para definir la duración de un servicio, la duración del viaje de propagación entre dos nodos y el lapso entre llegadas de dos clientes (este último para redes abiertas) se pueden utilizar las siguientes distribuciones: Constante, Uniforme, Normal, Exponencial, Erlang, Hypoexponencial, Hiperexponencial, Discreta Diseñada Por El Usuario y Red Exponencial.

El programa funciona bajo el método de próximo evento y está escrito en lenguaje Fortran, utilizando la versión del computador personal de la IBM.

## INTRODUCCION

La importancia de la simulación en el mundo actual es ampliamente reconocida. Según Pritsker (5,p.5), en los países desarrollados la simulación y los métodos estadísticos son las técnicas de Investigación de Operaciones y Administración más utilizadas por la industria y el gobierno. Dentro de las múltiples ventajas de la simulación, la más importante es su gran generalidad. Además un simulador, como laboratorio de experimentación, presenta las siguientes ventajas con respecto a la experimentación directa:

- Si el sistema propuesto no está implementado actualmente, las alternativas se pueden evaluar sin la necesidad de construir el sistema.

- Si el sistema ya está implementado, las diferentes alternativas pueden ser evaluadas sin perturbar el sistema. Esto es importante ya que en muchos casos la experimentación directa es costosa, insegura y toma mucho tiempo.

En particular, este trabajo presenta un simulador de sistemas que se pueden modelar como redes de colas, el cual ha sido llamado SIMCOL. Al desarrollar esta herramienta, siempre se tuvieron los siguientes objetivos en mente: facilidad de uso tanto en la entrada de datos (configuración de la red) como en la consulta de resultados y razonables facilidades para la detección de errores.

Aunque existen métodos analíticos y heurísticos que en la mayoría de los casos son más eficientes que la simulación, esta última presenta las siguientes ventajas sobre los primeros:

- Para evaluar una red de colas mediante métodos analíticos y heurísticos se requiere una profundidad teórica mayor que la que se requiere para evaluarla con un simulador.

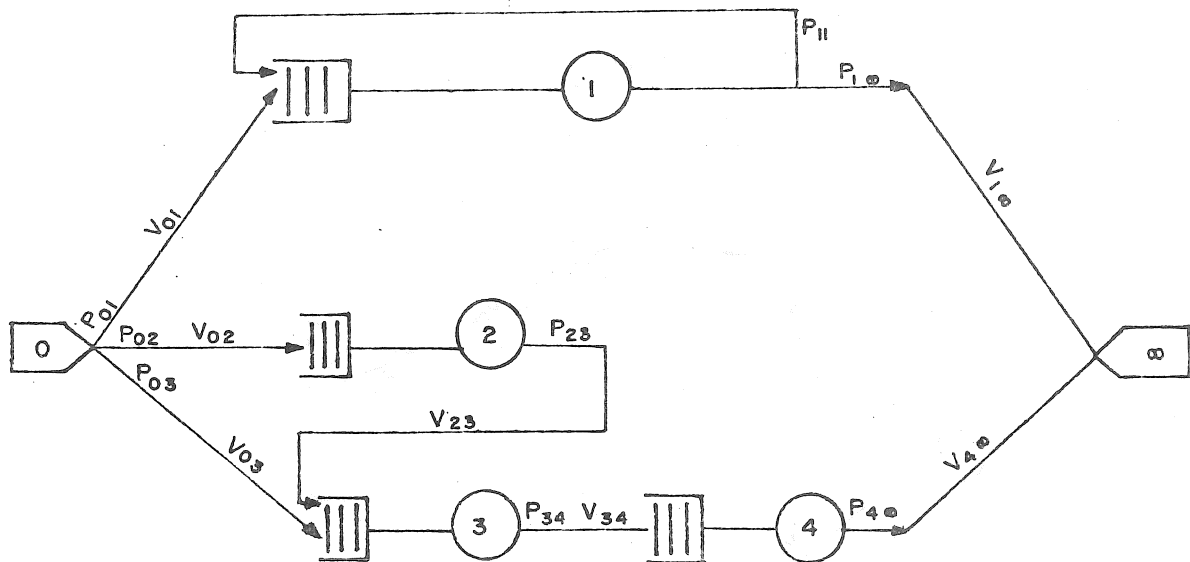
- Los métodos analíticos existentes en algunos casos son bastante más difíciles de emplear y no son tan generales como la simulación.

## 1. DESCRIPCION GENERAL

El programa SIMCOL es una herramienta mediante la cual se pueden simular modelos de redes de colas con ciertas características.

Una red de colas esta constituida por centros de servicio, clientes y arcos. Los centros de servicio están caracterizados por la disciplina de servicio, el número de recursos del centro, la capacidad del centro y el tiempo o duración del servicio. Los clientes viajan a través de los centros en busca de un servicio. El paso de los clientes de un centro a otro, el cual puede tener o no duración, se hace a través de un arco y de acuerdo a unas probabilidades de salto o ramificación. El programa simula dos tipos de modelos en general: modelos de redes de colas abiertas y cerradas.

# RED ABIERTA



donde:



Fuente externa



Salida de la red



Centro de servicio

$P_{ij}$

Probabilidades de ramificación entre el centro  $i$  y  $j$

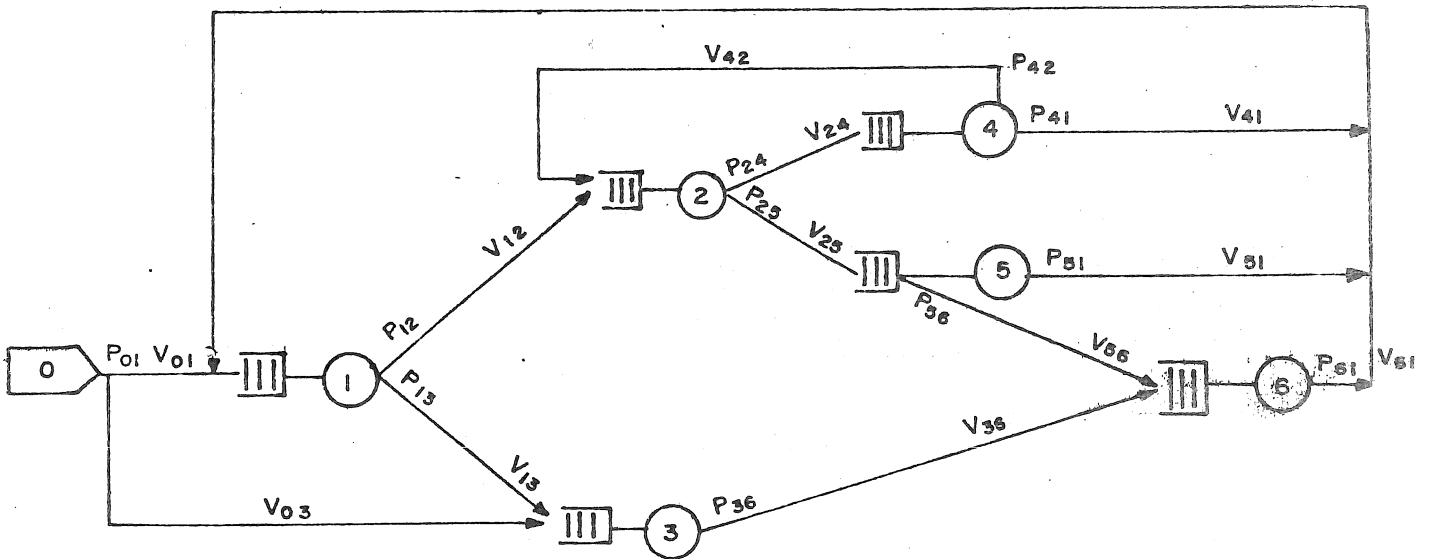
$V_{ij}$

Propagación o viaje entre el centro  $i$  y  $j$

Figura 1-1

# RED CERRADA

N Clientes en la red



donde:



Fuente interna donde son colocados todos los clientes al principio de la simulación.



Centro de servicio

$P_{ij}$

Probabilidades de ramificación entre el centro  $i$  y  $j$

$V_{ij}$

Propagación o viaje entre el centro  $i$  y  $j$

Figura 1-2

Los modelos de redes de colas abiertas se caracterizan por el hecho de que los clientes son creados mediante una fuente externa, viajan a través de la red y finalmente salen en algún lugar de esta (figura 1-1).

Por otro lado, los modelos de colas de redes cerradas se caracterizan porque los clientes no entran ni salen de la red, sino que permanecen en ella indefinidamente. De lo anterior se deduce que la red mantiene una población constante de clientes a través del tiempo (figura 1-2).

Mediante el simulador SIMCOL se pueden obtener los siguientes parámetros en cada uno de los centros de la red, tanto para los clientes en general como para los tipos de clientes en particular:

- Thruput o número de personas que completaron el servicio por unidad de tiempo.
- Media y varianza del número de clientes en el centro.
- Tiempo promedio de los clientes en el centro.
- Media y varianza del número de clientes en cola.
- Tiempo promedio de los clientes en la cola.
- Media y varianza del número de servidores activos o utilización de los servidores del centro de servicio.
- Histograma del número de clientes en el centro. Para obtener dicho histograma, el usuario debe especificar el número de celdas, el límite superior de la primera celda y el tamaño de cada celda.

Es importante anotar que las medias y las varianzas mencionadas anteriormente son con respecto al tiempo (time averages) y son calculadas mediante las siguientes fórmulas:

$$\hat{x}_T = \frac{\int_0^T x(t) dt}{T}$$

$$\hat{s}_T^2 = \frac{\int_0^T x^2(t) dt}{T} - \hat{x}_T^2$$

donde:

$\bar{x}_T$  : media  
 $\hat{s}_T^2$  : varianza  
 $x(t)$ : curva en función del tiempo  
 $T$  : duración total de la(s)  
simulacion(es).

Además para redes abiertas el programa calcula los siguientes parámetros para la red en general, tanto para los clientes en general como para los distintos tipos de clientes en particular:

- Thruput o número de clientes por unidad de tiempo que completaron su viaje a través de la red.
- Tiempo promedio de permanencia de los clientes en la red.
- Histograma del tiempo promedio de los clientes en la red. Para obtener este histograma, el usuario debe especificar el número de celdas del histograma, el límite superior de la primera celda y el ancho o intervalo de tiempo de cada celda.

## 1.1. Elementos Constitutivos de una Red

### 1.1.1. Clientes

Una red de colas puede tener diferentes tipos de clientes. Los tipos de clientes se diferencian unos de otros mediante ciertas propiedades, las cuales son fijas a través de la red. Estas propiedades son con respecto a las disciplinas y a las distribuciones de servicio, a las probabilidades de ramificación y a la duración de propagación entre centros de servicio. Además, para redes abiertas estas características incluyen la distribución del tiempo entre llegadas de clientes de un mismo tipo a la red, y para redes cerradas la población total de cada tipo en la red.

### 1.1.2. Centros de Servicio

Un centro de servicio tiene dos componentes: una cola y un conjunto de recursos. Una cola es un grupo de clientes que esperan o reciben un servicio. Dependiendo del tipo de recurso que posean los centros de servicio estos se dividen en activos o pasivos.

#### 1.1.2.1. Centros de Recurso Activo

Se caracterizan primordialmente por el hecho de que la duración del servicio depende directamente del recurso. El recurso de un centro activo es lo que normalmente se denomina servidor. Además, el recurso está ligado al centro y no al cliente, es decir, una vez finalizado el servicio en dicho centro, el cliente pierde el recurso y sale del centro.

En los centros de recurso activo los clientes son servidos de acuerdo a una disciplina. SIMCOL tiene a disposición del usuario las siguientes disciplinas:

#### 1.1.2.1.1. Fifo

Bajo esta disciplina, los clientes son servidos en orden de llegada al centro.

#### 1.1.2.1.2. Lifo

Bajo esta disciplina, el último cliente en llegar es el primero en ser servido. Por lo tanto, al terminar un servicio, si hay clientes en la cola, el próximo en ser atendido es el último en haber llegado al centro.

#### 1.1.2.1.3. Aleatorio

Al terminar un servicio, si hay clientes en la cola, el servidor escoge un cliente de ésta aleatoriamente para ser el siguiente en ser atendido. La escogencia se hace de manera que todos los clientes en la cola tengan la misma probabilidad de ser escogidos.

Es importante anotar que en las tres disciplinas anteriores no existe interrupción, es decir, una vez asignado un servidor a un cliente, este último es atendido en su totalidad.

#### 1.1.2.1.4. Fifo Con Preferencia y Sin Interrupción

En esta disciplina los clientes son organizados en subcolas de acuerdo a una prioridad, la cual es propia de cada tipo de cliente (figura 1.1.2.1-1). Dentro de cada subcola, los clientes son organizados de acuerdo a la disciplina Fifo. Al finalizar un servicio, el primer cliente de la subcola no vacía con mayor prioridad es servido.

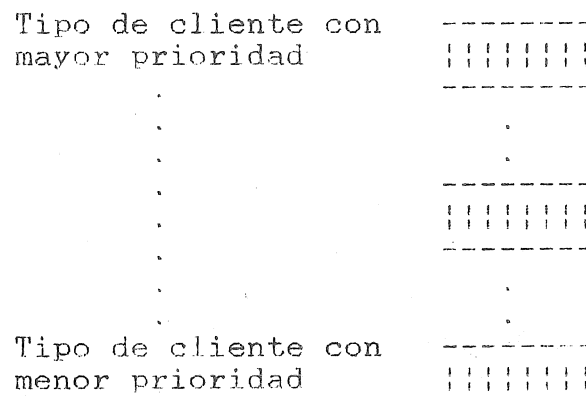


Figura 1.1.2.1-1

#### 1.1.2.1.5. Fifo Con Preferencia y Con Interrupción

Esta disciplina tiene las mismas características que la disciplina anterior (Fifo Con Preferencia y Sin Interrupción). Sin embargo, cuando llega a la red un cliente de mayor prioridad que alguno de los que están siendo servidos en ese momento, éste interrumpe al

cliente con la menor prioridad, el cual vuelve a la cabeza de la cola, y el de mayor prioridad empieza a ser atendido. Si existen dos o más clientes con la menor prioridad y que están siendo servidos, el último cliente que entró a ser servido, es el que es interrumpido.

#### 1.1.2.1.6. LCFSPR

En esta disciplina, en todo momento los clientes que están siendo servidos son los últimos  $n$  en arribar al centro de servicio, donde  $n$  es el número de servidores. Además, al terminar un servicio, si hay clientes en la cola, el próximo en ser atendido es el último, de aquellos que están en la cola, en haber llegado al centro. Por lo tanto, esta disciplina es equivalente a una Lifo con interrupción, donde la mayor prioridad la tiene el último cliente en llegar al centro.

#### 1.1.2.1.7. PS(Process Sharing)

Bajo esta disciplina, todos los clientes del centro de servicio son atendidos simultáneamente. Esta disciplina es equivalente a que los servidores se desdoblaran en tantos servidores como clientes en el centro, disminuyéndose su eficiencia proporcionalmente. Sin embargo, cuando el número de servidores es mayor que el número de clientes en el centro, la eficiencia de los servidores permanece invariable. Para determinar la duración del tiempo de servicio se utiliza la siguiente formula:

$$D = L * X / \text{MIN}(L, K)$$

donde:

- L: Número de personas en el centro de servicio.
- K: Número de servidores.
- X: Duración del servicio si se le asignara un servidor al cliente
- D: Duración del servicio si en el centro hay  $K$  servidores atendiendo a  $L$  clientes.

Es importante anotar que para el caso en que el número de personas en el centro sea menor o igual al número de servidores ( $L \leq K$ ) se da que  $D=X$ .

#### 1.1.2.1.8. RR(Round Robin) Con Interrupción y Con Preferencia

Esta disciplina tiene las mismas características que la disciplina número 5 (Fifo Con Preferencia y Con Interrupción). Sin embargo, para cada clase o tipo de cliente, se establece un tope en la duración de cada servicio, el cual se llama "time slice" o "lapso" de servicio. Por lo tanto, al finalizar un servicio, si el cliente ha completado su servicio requerido, éste sale del centro, de lo contrario vuelve al final de su respectiva subcola. Además, el próximo cliente en ser servido después de dicha terminación es la



cabeza de la subcola no vacía con mayor prioridad.

#### 1.1.2.1.9. RR Sin Interrupción y Con Preferencia

Esta disciplina tiene las mismas características que la disciplina anterior (RR Con Interrupción y Con Preferencia) a excepción del hecho de que un servicio nunca es interrumpido al llegar un cliente de mayor prioridad.

#### 1.1.2.1.10. RR Sin Interrupción y Sin Preferencia

Esta disciplina tiene las mismas características que la disciplina anterior (RR Sin Interrupción y Con Preferencia) a excepción del hecho de que los clientes son organizados en la cola de acuerdo a la disciplina Fifo.

#### 1.1.2.2. Centros de Recurso Pasivo

Estos centros de servicio se caracterizan primordialmente por el hecho de que la duración de la utilización del recurso no depende directamente del recurso asignado en ese centro, sino de los recursos activos de los centros por los cuales pasa el cliente entre el momento de asignación y liberación del recurso pasivo. De lo anterior se deduce que el recurso pasivo, aunque es asignado en un centro de servicio específico, se liga al cliente durante su viaje a través de otros centros de servicio entre los momentos de asignación y liberación de dicho recurso. Otra característica importante de los centros de recurso pasivo es el hecho de que un cliente puede requerir uno o más recursos pasivos; a diferencia del activo en el cual se requiere máximo un recurso para lograr el servicio.

En la cola de los centros de recurso pasivo, los clientes son organizados de acuerdo a la disciplina Fifo, y allí estarán todos aquellos clientes para los cuales su requerimiento de recurso es mayor que la cantidad de recurso disponible en ese momento.

Para mayor ilustración, a continuación se presentan dos ejemplos de recurso activo y pasivo. El primer ejemplo es en el área de sistemas de computación (Figura 1.1.2.2-1). En dichos sistemas el CPU es un recurso activo y la memoria es un recurso pasivo. Al llegar un job (cliente) a dicho sistema, éste debe primero obtener memoria para luego ser procesado en el CPU. La duración del job en el CPU depende de este último directamente, en cambio el tiempo que el job mantiene la memoria asignada no depende de ésta sino del CPU (recurso activo del centro a través del cual viaja el job entre los momentos de asignación y liberación del recurso pasivo).

El segundo ejemplo es en el área de administración hospitalaria y específicamente en el manejo de un centro de urgencias (figura 1.1.2.2-2). En dicho sistema el recurso activo son los doctores y el recurso pasivo son las salas de operación. Así, al llegar un paciente que requiera operación, el doctor no podrá hacerlo hasta que no haya disponible una sala. El tiempo que permanece ocupada la sala no depende de ésta directamente, sino de la relación doctor-

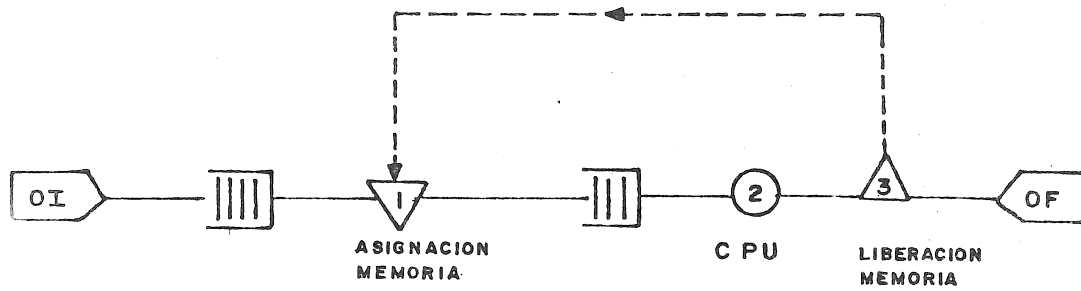


Figura 1.1.2.2-1

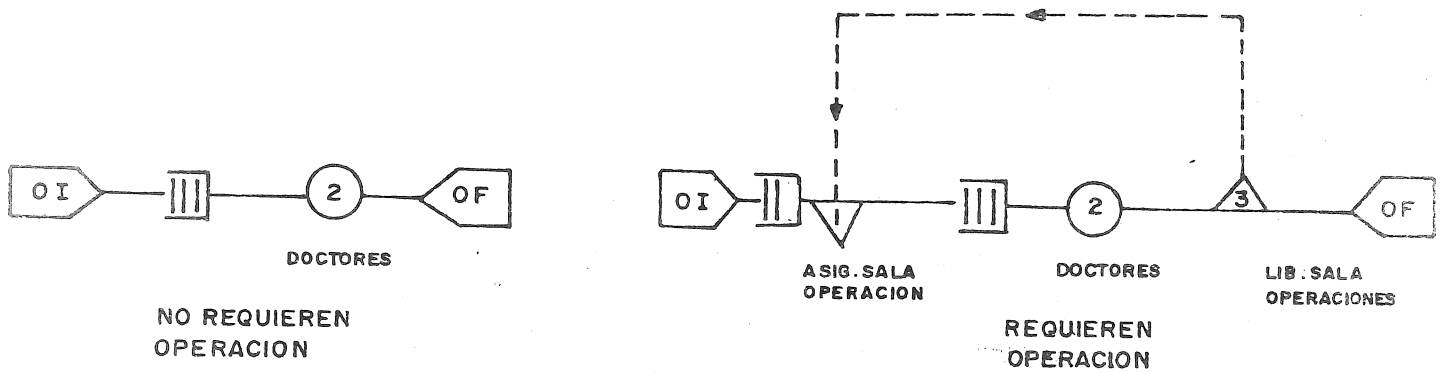


Figura 1.1.2.2-2

paciente. Por otro lado, aquellos tipos de pacientes que no requieran operación recorrerán el trayecto 0I-2-0F.

### 1.1.3. Topología De La Red

Se define como la manera en que se intercomunican los diferentes centros de servicio en una red. El programa SIMCOL permite definir la topología de las redes por tipo de cliente, en las cuales éstos saltan de un centro o nodo a otro de acuerdo a unas probabilidades que se denominan probabilidades de ramificación o de salto. Además de estas probabilidades, el programa permite al usuario asignarle una duración a ese salto, el cual se denomina viaje de propagación entre centros de servicio. El ejemplo más típico de este viaje de propagación es una banda transportadora en un proceso de producción, y es equivalente a un centro de servicio con infinitos servidores.

Es importante anotar que para la definición de la topología de la red, la fuente de creación (para ambos tipos de redes) es considerada como un nodo desde el cual los clientes pueden saltar hacia otros centros de servicio, pero no pueden saltar desde otros centros hacia ésta. Por otro lado, para redes abiertas, el punto de salida de la red es considerado como un nodo hacia el cual los clientes pueden saltar desde otros centros de servicio, pero no pueden saltar de éste hacia otros centros de servicio.

### 1.1.4. Distribuciones de Probabilidad

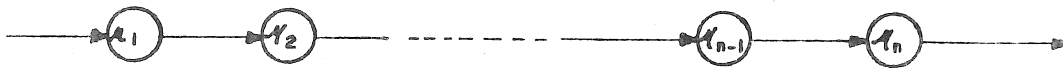
Para terminar la explicación de los elementos constitutivos de una red, sólo falta añadir que la duración de un servicio, la duración del viaje de propagación entre dos nodos y el lapso entre llegadas de dos clientes (este último para redes abiertas) son definidos mediante una distribución de probabilidad. SIMCOL pone a disposición del usuario las siguientes distribuciones: Constante, Uniforme, Normal, Exponencial, Erlang, Hypoexponencial, Hiperexponencial, Discreta Diseñada Por El Usuario y Red Exponencial.

La mayoría de estas distribuciones son conocidas en el medio en el que se trabaja, por lo tanto sólo se explicarán aquellas sobre las cuales existe poca bibliografía, las cuales son:

- Hypoexponencial: Se define como  $n$  exponenciales en serie y se representa de acuerdo a la figura 1.1-1.
- Hiperexponencial: Se define como  $n$  exponenciales en paralelo y se representa de acuerdo a la figura 1.1-2.
- Red Exponencial: Una red exponencial de  $n$  etapas se puede representar de acuerdo a la figura 1.1-3.

Además, para facilidad del usuario se añadió un caso especial de la distribución constante para especificar la duración del viaje de propagación entre nodos. Ese caso especial es la distribución con duración igual a cero o sin duración.

# HYPOEXPONENCIAL

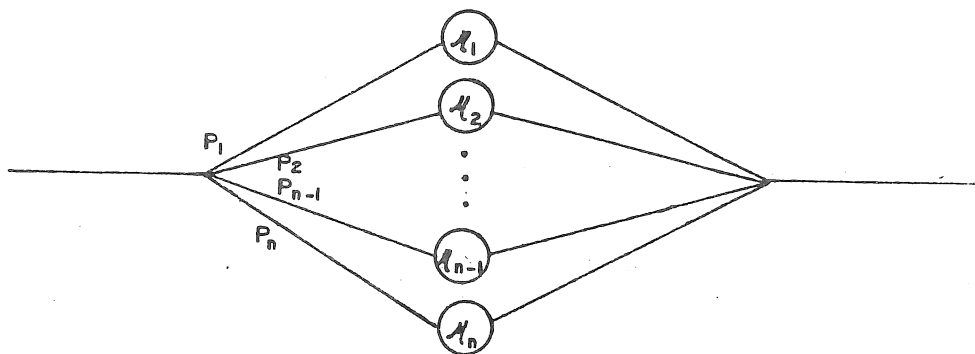


donde:

$\mu_i$ : Media de la exponencial asociada con la etapa  $i$

Figura 1.1-1

# HIPEREXPONENCIAL



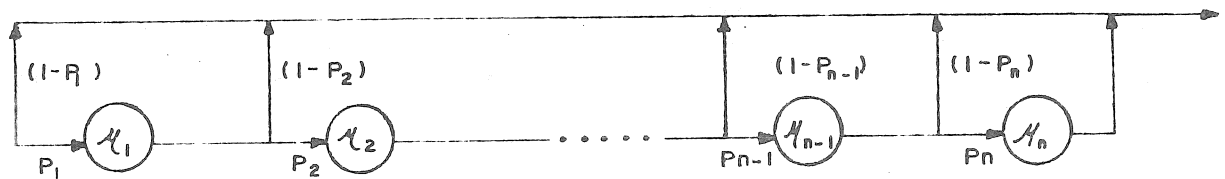
donde:

$P_i$ : Probabilidad de ocurrencia de la exponencial  $i$

$\mu_i$ : Media de la exponencial asociada con la etapa  $i$

Figura 1.1-2

# RED EXPONENCIAL



donde:

$P_i$ : Probabilidad de entrar a la exponencial número  $i$ .

$\mu_i$ : Media de la exponencial asociada con la etapa  $i$

Figura 1.1-3

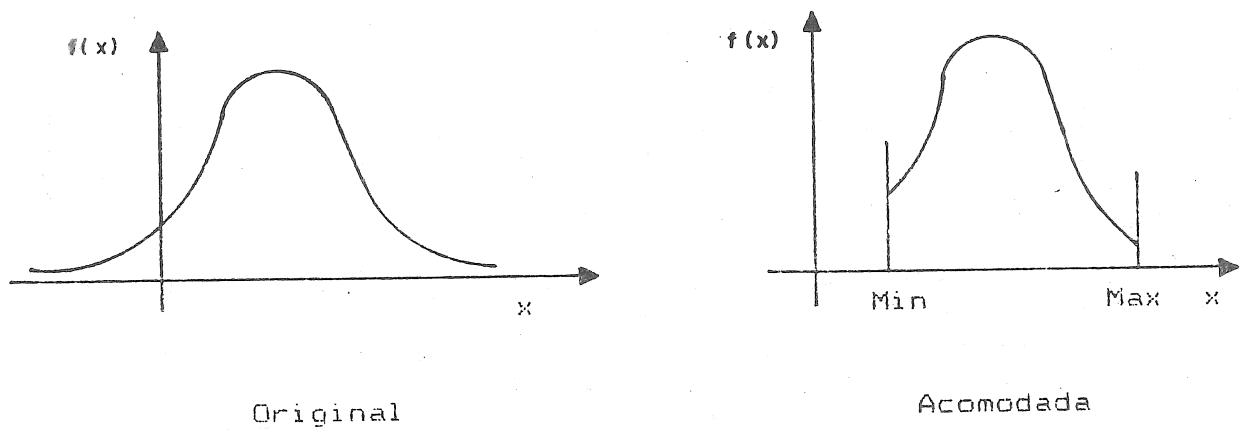


Figura 1.1-4

#### 1.1.4.1. Tipo de Truncación

Es importante anotar que todas las distribuciones, a excepción de la constante, la uniforme y la discreta, son acomodadas entre un máximo y un mínimo, establecidos por el usuario, de la siguiente manera: si el valor obtenido de la distribución es menor que el mínimo, el programa devuelve el mínimo; y si el valor es mayor que el máximo, el programa devuelve el máximo. El menor valor posible de ese mínimo es cero y el mayor valor posible de ese máximo es infinito. En la figura 1.1.4. se muestra una distribución en su forma original y en su forma acomodada.

#### 1.2. Explicación Del Programa SIMCOL

El programa SIMCOL es gobernado por el método de simulación llamado próximo evento. Bajo este método, el reloj del tiempo simulado avanza en cada oportunidad una cantidad igual a la que hay hasta que ocurre el próximo evento.

Este proceso de avance del reloj ocurre hasta que al menos uno de los dos siguientes eventos tiene lugar:

- El tiempo del próximo evento es mayor que el tiempo de duración de la simulación.
- El número de clientes que salen de la red alcanza un número dado, el cual es especificado por el usuario, si la red es abierta; si la red es cerrada, la simulación termina cuando el número de clientes servidos en un nodo, especificado por el usuario, alcanza un valor dado, el cual también es especificado por el usuario.

Para terminar esta breve explicación del programa SIMCOL, es importante mencionar que el programa fue escrito en lenguaje FORTRAN, utilizando la versión del computador personal de la IBM.

#### 2. EJEMPLO

El propósito de esta sección es presentar un ejemplo de una red de colas cerrada con recurso pasivo y los resultados obtenidos mediante SIMCOL. En la figura 3.2.1-1 se muestra el dibujo de la red de este ejemplo. Esta red cerrada es un modelo de un sistema de computación en el cual hay 10 usuarios en igual número de terminales. Dadas las propiedades de estos clientes, estos se han agrupado en dos grupos: tipo de cliente 1 y 2, con 7 y 3 clientes respectivamente. En este sistema, cada usuario piensa por un momento, teclea el comando y espera la respuesta. Una vez recibida la respuesta, el usuario repite este ciclo. El tiempo para pensar y teclear tiene una distribución exponencial con media 3 segundos para el tipo de cliente 1 y 3.5 segundos para el tipo de cliente 2. Cada comando requiere en promedio 10 ciclos de proceso CPU-I/O. Para poder entrar a dichos ciclos de proceso CPU-I/O, debe haber una asignación de 1 o 2 particiones de memoria para los tipos de clientes 1 y 2 respectivamente, de las 6 particiones de memoria que hay inicialmente. La disciplina del CPU es PS y tiene una tasa de servicio exponencial con media 50 y 70 ms. (milisegundos) para los

tipos de clientes 1 y 2 respectivamente. Cada disco o dispositivo I/O es escogido con una probabilidad igual a .5 y tiene una disciplina Fifo. La tasa de servicio de cada disco es exponencial con media 60 y 30 ms. para los tipos 1 y 2 respectivamente. Esta red se simuló durante 111741 milisegundos.

### 3. CONCLUSIONES

Un simulador de redes de colas que sea al mismo tiempo de amplio alcance y fácil de usar es un aporte importante al proceso de difusión de métodos de análisis con una amplia aplicabilidad en diversos campos tales como sistemas de computación, telecomunicaciones, producción, etc.

### 4. Bibliografía

- 4.1. Barkakati, N. (1986). TCL-A FORTRAN-Based Pointer Threaded Command Language for Simulation. SIMULATION 46:4, 160-163.
- 4.2. Clark, R. (1985). A Pseudorandom Number Generator. SIMULATION. 45:5, 252-255.
- 4.3. Hooper, J. (1986). Strategy-related Characteristics of Discrete Event Languages and Models. SIMULATION 46:4, 153-159.
- 4.4. Kleijnen, J. (1986). Selecting Random Number Seeds in Practice. SIMULATION 47:1, 15-17.
- 4.5. Pritsker, A. (1984). Introduction to Simulation and SLAM II. West Lafayette: System Publishing Corporation.
- 4.6. Torn, A. (1985). Simulation Nets, a Simulation Modeling and Validation Tool. SIMULATION 45:2, 71-75.
- 4.7. Sauer, C y Chandy, M. (1981). Computer Systems Performance Modeling. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, Inc.
- 4.8. Zuñiga, M. (1984). Modelos de Redes de Colas: Análisis y Programación de Métodos Aproximados de Solución. Bogotá: Universidad de Los Andes.

EJEMPLO: RED CERRADA CON RECURSO PASIVO

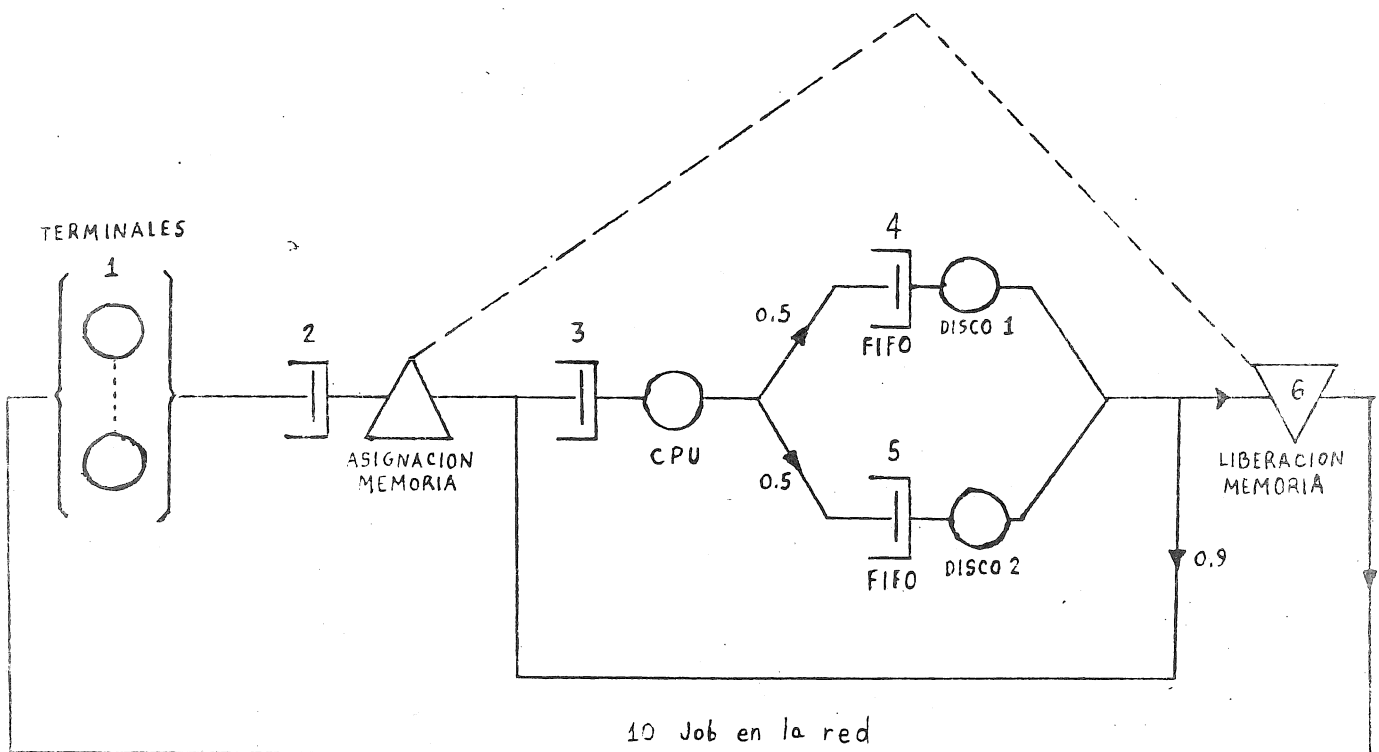


FIGURA 2 - 1



# ESTADISTICAS DE LOS CENTROS DE SERVICIO

CENTRO DE SERVICIO NUMERO 1 (FIFO) CLIENTES EN GENERAL

THRUPUT .16306E-02

|         | LONGITUD   |            | TIEMPO     |
|---------|------------|------------|------------|
|         | MEDIA      | VARIANZA   | PROMEDIO   |
| SISTRMA | .50199E+01 | .43708E+01 | .30695E+04 |
| COLA    | .00000E+00 | .00000E+00 | .00000E+00 |

|                      | MEDIA      | VARIANZA   |
|----------------------|------------|------------|
| NUMERO DE SERVIDORES |            |            |
| ACTIVOS              | .50199E+01 | .43708E+01 |

## HISTOGRAMA DEL NUMERO DE CLIENTES EN EL CENTRO

| FRECUENCIA RELATIVA | FRECUENCIA ACUMULADA | LIMITE SUPERIOR DE LA CELDA | 0          | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 |
|---------------------|----------------------|-----------------------------|------------|----|----|----|----|-----|
|                     |                      |                             | +          | +  | +  | +  | +  | +   |
| .0053               | .0053                | .00000E+00                  | +          |    |    |    |    | +   |
| .0321               | .0374                | .10000E+01                  | ++C        |    |    |    |    | +   |
| .0823               | .1197                | .20000E+01                  | ++++ C     |    |    |    |    | +   |
| .1320               | .2517                | .30000E+01                  | +++++ C    |    |    |    |    | +   |
| .7483               | 1.0000               | INFINITO                    | +++++***** |    |    |    |    | C   |
|                     |                      |                             | +          | +  | +  | +  | +  | +   |
|                     |                      |                             | 0          | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 |

CENTRO DE SERVICIO NUMERO 1 (FIFO) TIPO DE CLIENTE NUMERO 1

THRUPUT .12046E-02

|         | LONGITUD   |            | TIEMPO     |
|---------|------------|------------|------------|
|         | MEDIA      | VARIANZA   | PROMEDIO   |
| SISTEMA | .36112E+01 | .25123E+01 | .29906E+04 |
| COLA    | .00000E+00 | .00000E+00 | .00000E+00 |

|                      | MEDIA      | VARIANZA   |
|----------------------|------------|------------|
| NUMERO DE SERVIDORES |            |            |
| ACTIVOS              | .36112E+01 | .25123E+01 |

CENTRO DE SERVICIO NUMERO 1 TIPO DE CLIENTE NUMERO 2

THRUPUT .42599E-03

|         | LONGITUD   |            | TIEMPO     |
|---------|------------|------------|------------|
|         | MEDIA      | VARIANZA   | PROMEDIO   |
| SISTEMA | .14087E+01 | .95320E+00 | .32926E+04 |
| COLA    | .00000E+00 | .00000E+00 | .00000E+00 |

|                      | MEDIA      | VARIANZA   |
|----------------------|------------|------------|
| NUMERO DE SERVIDORES |            |            |
| ACTIVOS              | .14087E+01 | .95320E+00 |

CENTRO DE SERVICIO NUMERO 2 (ASIG. REC. PAS.) CLIENTES EN GENERAL

THRUPUT .16297E-02

|      |            |            |            |
|------|------------|------------|------------|
|      | LONGITUD   |            | TIEMPO     |
|      | MEDIA      | VARIANZA   | PROMEDIO   |
| COLA | .10493E+01 | .16179E+01 | .64379E+03 |

|                              |            |            |
|------------------------------|------------|------------|
|                              | MEDIA      | VARIANZA   |
| NUMERO DE SERVIDORES ACTIVOS | .50142E+01 | .21218E+01 |

HISTOGRAMA DEL NUMERO DE CLIENTES EN EL CENTRO

| FRECUENCIA RELATIVA | FRECUENCIA ACUMULADA | LIMITE SUPERIOR DE LA CELDA | 0      | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 |
|---------------------|----------------------|-----------------------------|--------|----|----|----|----|-----|
|                     |                      |                             | +      | +  | +  | +  | +  | +   |
| .4823               | .4823                | .00000E+00                  | *****C |    |    |    |    | +   |
| .2054               | .6877                | .10000E+01                  | *****  |    |    | C  |    | +   |
| .1605               | .8482                | .20000E+01                  | *****  |    |    |    | C  | +   |
| .0998               | .9480                | .30000E+01                  | *****  |    |    |    |    | C + |
| .0520               | 1.0000               | INFINITO                    | ***    |    |    |    |    | C   |
|                     |                      |                             | +      | +  | +  | +  | +  | +   |
|                     |                      |                             | 0      | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 |

CENTRO DE SERVICIO NUMERO 2 (ASIG. REC. PAS.) TIPO DE CLIENTE NUMERO 1

THRUPUT .12037E-02

|      |            |            |            |
|------|------------|------------|------------|
|      | LONGITUD   |            | TIEMPO     |
|      | MEDIA      | VARIANZA   | PROMEDIO   |
| COLA | .54138E+00 | .86936E+00 | .44967E+03 |

|                              |            |            |
|------------------------------|------------|------------|
|                              | MEDIA      | VARIANZA   |
| NUMERO DE SERVIDORES ACTIVOS | .28474E+01 | .15233E+01 |

CENTRO DE SERVICIO NUMERO 2 (ASIG. REC. PAS.) TIPO DE CLIENTE NUMERO 2

THRUPUT .42599E-03

|      |            |            |            |
|------|------------|------------|------------|
|      | LONGITUD   |            | TIEMPO     |
|      | MEDIA      | VARIANZA   | PROMEDIO   |
| COLA | .50790E+00 | .50139E+00 | .11923E+04 |

|                              |            |            |
|------------------------------|------------|------------|
|                              | MEDIA      | VARIANZA   |
| NUMERO DE SERVIDORES ACTIVOS | .21668E+01 | .16759E+01 |

CENTRO DE SERVICIO NUMERO 3 (PS) CLIENTES EN GENERAL

THRUPUT .15945E-01

|                         | LONGITUD   |            | TIEMPO     |
|-------------------------|------------|------------|------------|
|                         | MEDIA      | VARIANZA   | PROMEDIO   |
| SISTEMA                 | .26174E+01 | .22028E+01 | .16415E+03 |
| NUMERO DE<br>SERVIDORES |            |            |            |
| ACTIVOS                 | .89313E+00 | .95445E-01 |            |

HISTOGRAMA DEL NUMERO DE CLIENTES EN EL CENTRO

| FRECUENCIA<br>RELATIVA | FRECUENCIA<br>ACUMULADA | LIMITE SUPERIOR<br>DE LA CELDA | 0      | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 |
|------------------------|-------------------------|--------------------------------|--------|----|----|----|----|-----|
|                        |                         |                                | +      | +  | +  | +  | +  | +   |
| .1069                  | .1069                   | .00000E+00                     | *****C |    |    |    |    | +   |
| .1446                  | .2515                   | .10000E+01                     | *****C |    |    |    |    | +   |
| .1920                  | .4435                   | .20000E+01                     | *****C |    |    |    |    | +   |
| .2332                  | .6766                   | .30000E+01                     | *****C |    |    |    |    | +   |
| .3234                  | 1.0000                  | INFINITO                       | *****C |    |    |    |    | C   |
|                        |                         |                                | +      | +  | +  | +  | +  | +   |
|                        |                         |                                | 0      | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 |

CENTRO DE SERVICIO NUMERO 3 (PS) TIPO DE CLIENTE NUMERO 1

THRUPUT .11759E-01

|                         | LONGITUD   |            | TIEMPO     |
|-------------------------|------------|------------|------------|
|                         | MEDIA      | VARIANZA   | PROMEDIO   |
| SISTEMA                 | .17893E+01 | .16405E+01 | .15216E+03 |
| NUMERO DE<br>SERVIDORES |            |            |            |
| ACTIVOS                 | .59199E+00 | .11619E+00 |            |

CENTRO DE SERVICIO NUMERO 3 (PS) TIPO DE CLIENTE NUMERO 2

THRUPUT .41856E-02

|                         | LONGITUD   |            | TIEMPO     |
|-------------------------|------------|------------|------------|
|                         | MEDIA      | VARIANZA   | PROMEDIO   |
| SISTEMA                 | .82812E+00 | .48163E+00 | .19785E+03 |
| NUMERO DE<br>SERVIDORES |            |            |            |
| ACTIVOS                 | .30115E+00 | .85113E-01 |            |

CENTRO DE SERVICIO NUMERO 4 (PIFO) CLIENTES EN GENERAL

THRUPUT .80006E-02

|         | LONGITUD   |            | TIEMPO     |
|---------|------------|------------|------------|
|         | MEDIA      | VARIANZA   | PROMEDIO   |
| SISTEMA | .65052E+00 | .93600E+00 | .81304E+02 |
| COLA    | .24096E+00 | .40963E+00 | .30118E+02 |

| NUMERO DE<br>SERVIDORES<br>ACTIVOS | MEDIA      | VARIANZA   |
|------------------------------------|------------|------------|
|                                    | .40956E+00 | .24182E+00 |

HISTOGRAMA DEL NUMERO DE CLIENTES EN EL CENTRO

| FRECUENCIA<br>RELATIVA | FRECUENCIA<br>ACUMULADA | LIMITE SUPERIOR<br>DE LA CELDA | 0 | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 |
|------------------------|-------------------------|--------------------------------|---|----|----|----|----|-----|
| .5904                  | .5904                   | .00000E+00                     | + | +  | +  | +  | +  | +   |
| .2517                  | .8421                   | .10000E+01                     | + | +  | +  | +  | +  | +   |
| .0995                  | .9416                   | .20000E+01                     | + | +  | +  | +  | +  | +   |
| .0391                  | .9807                   | .30000E+01                     | + | +  | +  | +  | +  | +   |
| .0193                  | 1.0000                  | INFINITO                       | + | +  | +  | +  | +  | +   |

CENTRO DE SERVICIO NUMERO 4 (PIFO) TIPO DE CLIENTE NUMERO 1

THRUPUT .59226E-02

|         | LONGITUD   |            | TIEMPO     |
|---------|------------|------------|------------|
|         | MEDIA      | VARIANZA   | PROMEDIO   |
| SISTEMA | .52381E+00 | .67861E+00 | .88435E+02 |
| COLA    | .17505E+00 | .26268E+00 | .29557E+02 |

| NUMERO DE<br>SERVIDORES<br>ACTIVOS | MEDIA      | VARIANZA   |
|------------------------------------|------------|------------|
|                                    | .34875E+00 | .22712E+00 |

CENTRO DE SERVICIO NUMERO 4 (PIFO) TIPO DE CLIENTE NUMERO 2

THRUPUT .20780E-02

|         | LONGITUD   |            | TIEMPO     |
|---------|------------|------------|------------|
|         | MEDIA      | VARIANZA   | PROMEDIO   |
| SISTEMA | .12672E+00 | .12313E+00 | .60979E+02 |
| COLA    | .65910E-01 | .67078E-01 | .31718E+02 |

| NUMERO DE<br>SERVIDORES<br>ACTIVOS | MEDIA      | VARIANZA   |
|------------------------------------|------------|------------|
|                                    | .60805E-01 | .57108E-01 |

CENTRO DE SERVICIO NUMERO 5 (FIPO) CLIENTES EN GENERAL

THRUPUT .79407E-02

|                                    | LONGITUD   |            | TIEMPO     |
|------------------------------------|------------|------------|------------|
|                                    | MEDIA      | VARIANZA   | PROMEDIO   |
| SISTEMA                            | .66292E+00 | .93365E+00 | .83444E+02 |
| COLA                               | .24657E+00 | .40284E+00 | .31012E+02 |
| NUMERO DE<br>SERVIDORES<br>ACTIVOS | MEDIA      | VARIANZA   |            |
|                                    | .41635E+00 | .24300E+00 |            |

HISTOGRAMA DEL NUMERO DE CLIENTES EN EL CENTRO

| FRECUENCIA<br>RELATIVA | FRECUENCIA<br>ACUMULADA | LIMITE SUPERIOR<br>DE LA CELDA | 0 | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 |
|------------------------|-------------------------|--------------------------------|---|----|----|----|----|-----|
|                        |                         |                                | + | +  | +  | +  | +  | +   |
| .5837                  | .5837                   | .00000E+00                     | + | +  | +  | +  | +  | +   |
| .2520                  | .8356                   | .10000E+01                     | + | +  | +  | +  | +  | +   |
| .1047                  | .9403                   | .20000E+01                     | + | +  | +  | +  | +  | +   |
| .0410                  | .9813                   | .30000E+01                     | + | +  | +  | +  | +  | +   |
| .0187                  | 1.0000                  | INFINITO                       | + | +  | +  | +  | +  | +   |
|                        |                         |                                | + | +  | +  | +  | +  | +   |
|                        |                         |                                | 0 | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 |

CENTRO DE SERVICIO NUMERO 5 (FIPO) TIPO DE CLIENTE NUMERO 1

THRUPUT 58340E-02

|                                    | LONGITUD   |            | TIEMPO     |
|------------------------------------|------------|------------|------------|
|                                    | MEDIA      | VARIANZA   | PROMEDIO   |
| SISTEMA                            | .53435E+00 | .68345E+00 | .91562E+02 |
| COLA                               | .18155E+00 | .26627E+00 | .31089E+02 |
| NUMERO DE<br>SERVIDORES<br>ACTIVOS | MEDIA      | VARIANZA   |            |
|                                    | .35280E+00 | .22833E+00 |            |

CENTRO DE SERVICIO NUMERO 5 (FIPO) TIPO DE CLIENTE NUMERO 2

THRUPUT .21067E-02

|                                    | LONGITUD   |            | TIEMPO     |
|------------------------------------|------------|------------|------------|
|                                    | MEDIA      | VARIANZA   | PROMEDIO   |
| SISTEMA                            | .12857E+00 | .12771E+00 | .60964E+02 |
| COLA                               | .65020E-01 | .67718E-01 | .30799E+02 |
| NUMERO DE<br>SERVIDORES<br>ACTIVOS | MEDIA      | VARIANZA   |            |
|                                    | .63549E-01 | .59510E-01 |            |

CENTRO DE SERVICIO NUMERO 6 (LIB. REC. PAS.)      CLIENTES EN GENERAL

THRUPUT    .16252E-02

CENTRO DE SERVICIO NUMERO 6 (LIB. REC. PAS.)      TIPO DE CLIENTE NUMERO    1

THRUPUT    .12001E-02

CENTRO DE SERVICIO NUMERO 6 (LIB. REC. PAS.)      TIPO DE CLIENTE NUMERO    2

THRUPUT    .42509E-03

TABLA 2-1