

**DISEÑO Y ELABORACIÓN DE GUÍAS DE SIMULACIÓN PARA LA
ASIGNATURA SISTEMAS DE ESPERA**

HAROLD ANDREY VÁSQUEZ SUAREZ

**FUNDACIÓN UNIVERSITARIA SAN MARTÍN
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
BOGOTÁ, COLOMBIA
2009, II**

**DISEÑO Y ELABORACIÓN DE GUÍAS DE SIMULACIÓN PARA LA
ASIGNATURA SISTEMAS DE ESPERA**

**HAROLD ANDREY VÁSQUEZ SUAREZ
051095
HAROLD869@HOTMAIL.COM**

MONOGRAFÍA DE GRADO

**ASESOR TÉCNICO
JORGE ARÉVALO ALDANA
REDES AD HOC**

**FUNDACIÓN UNIVERSITARIA SAN MARTÍN
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
BOGOTÁ
2009 II**

Nota de aceptación

JORGE ARÉVALO ALDANA
Asesor

Diego Díaz Muñoz
Jurado 1

Hans Igor López Chavez
Jurado 2

Bogotá 24 de noviembre de 2009

A las personas que estuvieron pendientes de todo mi desarrollo profesional y personal, dedico este proyecto como muestra de mi afecto y agradecimiento por todo su tiempo: Mis padres, que son mi todo para llegar a ser lo que soy, a mi novia Juliet Barrera, que soporto mi vida como estudiante de Ingeniería, a mis hermanas por hacerme reír cuando no podía y a DIOS por estar siempre junto a mí.

AGRADECIMIENTOS

A todas las personas interesadas en que se llevara a cabo este proyecto y que por su dedicación junto con la mía se logro en buen término: Ing. Jorge Aldana, Ing. Hans López e Ing. Diego Díaz

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	18
1. PROBLEMA	19
2. JUSTIFICACIÓN	20
3. OBJETIVOS	21
3.1 OBJETIVO GENERAL	21
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
4. MARCO REFERENCIAL	22
4.1 ANTECEDENTES	22
4.2 MARCO CONCEPTUAL	24
4.2.1 Experimento de sistemas	24
4.2.2 Evento	24
4.2.3 Experimento aleatorio (Lozano, 2006)	24
4.2.4 Espacio muestral (Hwei, 1997)	25
4.2.5 Variable aleatoria	25
4.2.6 Distribución de probabilidad de una V.A. (C., 2006)	25
4.2.7 Distribuciones	27
4.2.8 Proceso estocástico (Hwei, 1997)	29
4.2.9 Cadenas de Márkov (Angel, 2003)	29

4.2.10	Modelamiento de tráfico	30
4.2.11	Retardos	30
4.2.12	Teoría de colas	31
4.3	MARCO TEÓRICO	33
4.3.1	Entidades generadoras (Mathworks, 2008a)	33
4.3.2	Bloque Atributos (Attribute Block)	38
4.3.3	Bloque - Cola FIFO	39
4.3.4	Bloque – Un Servidor (Single Server)	42
4.3.5	Bloque-N-Servidores	45
4.3.6	Bloque-Subsistema de configuración	46
4.3.7	Bloque – Entidad Receptora	47
4.3.8	Bloque Inicio de Reloj	47
4.3.9	Bloque Lector de Tiempo	49
4.3.10	Bloque Función Atributo	50
4.3.11	Bloque Exportar al Área de Trabajo	51
4.3.12	Bloque Switch de Salida	52
4.3.13	Bloque Unión de rutas (nodo)	53
4.3.14	Bloques Ir a- Arriba de	54
4.3.15	Bloque Generador-Llamado de Función	56
4.4	ESTADO DEL ARTE	56

4.4.1	Opnet	57
4.4.2	Ns-2	57
4.5	LIMITACIONES Y ALCANCES	57
5.	DISEÑO METODOLÓGICO	59
6.	DESARROLLO	61
6.1	USO DE SIMEVENTS EN LAS GUÍAS	61
6.1.1	Errores	62
6.1.2	Para facilitar el trabajo en SimEvents	63
6.2	GUÍA DE LABORATORIO N° 1	64
6.2.1	Configuración de los bloques	64
6.2.2	Simulación	64
6.2.3	Sobre la guía	65
6.3	GUÍA DE LABORATORIO 2	66
6.3.1	Configuración de los bloques	66
6.3.2	Simulación	67
6.3.3	Sobre la guía	67
6.4	GUÍA DE LABORATORIO 3.1	68
6.4.1	Simulación	68
6.4.2	Configuración de los bloques	68
6.5	GUÍA DE LABORATORIO 3.2	70

6.5.1	Configuración de los bloques	70
6.5.2	Simulación	70
6.6	GUÍA DE LABORATORIO 3.3	75
6.6.1	Configuración de los bloques	75
6.6.2	Simulación	75
6.7	GUÍA DE LABORATORIO 3.4	76
6.7.1	Configuración de los bloques	77
6.7.2	Simulación	77
6.8	GUÍA DE LABORATORIO 4	81
6.8.1	Configuración de los Bloques	81
6.8.2	Simulación	82
6.9	GUÍA DE LABORATORIO 5	90
6.9.1	Configuración de los Bloques	90
6.9.2	Simulación	90
6.10	GUÍA DE SIMULACIÓN 6	96
6.10.1	Configuración de los Bloques	97
6.10.2	Simulación	97
6.11	GUÍA DE LABORATORIO 1 - FUENTES DE TRÁFICO	101
6.12	GUÍA DE LABORATORIO 2 – FUENTE BASADA EN UNA TRAZA	106
6.13	GUÍA DE LABORATORIO 3.1 – COLA M/M/1/ ∞ / ∞	108

6.14	GUÍA DE LABORATORIO 3.2 – COLA M/M/1/K/∞	110
6.15	GUÍA DE LABORATORIO 3.3 – COLA M/M/1/K/K	113
6.16	GUÍA DE LABORATORIO 3.4 – COLA M/M/K/∞/∞	115
6.17	GUÍA DE LABORATORIO 4 – REDES DE COLAS ABIERTAS	118
6.18	GUÍA DE LABORATORIO 5 – REDES DE COLAS CERRADAS	123
6.19	GUÍA DE LABORATORIO 6 – ALGORITMOS DE ENRUTAMIENTO	128
7.	CONCLUSIONES	130
8.	RECOMENDACIONES	132
	GLOSARIO	133
	BIBLIOGRAFÍA	135

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. V.A. X con su probabilidad	26
Tabla 2. Notación para la clasificación del tipo de colas	33
Tabla 3. Estadística general de captura de trazas	67
Tabla 4 Guía No 3.1 Sistema de Cola M/M/1/∞/∞ ,	69
Tabla 5. Ejercicio 1 de la Guía 1, Probabilidades de bloqueo	74
Tabla 6. Para hallar los parámetros de Interés en la cola M/M/K/K/∞ .	76
Tabla 7. Parámetros del ejercicio de prueba	78
Tabla 8. Tabla de simulación de la Guía 3.4, experimento para comprobar	80
Tabla 9. Ejercicio propuesto completar tabla con un sistema Erlang C	81
Tabla 10. Ejercicio Guía No. 4 Comprobación de las rutas a partir de un vector	86
Tabla 11. Parámetros de para la simulación de comprobación en la red	88
Tabla 12. Parámetros iniciales para comprobar que el esquema de la figura 72.	93
Tabla 13. Red de Cola Cerrada Guía No 4 Ejercicio 2	94
Tabla 14. Caudales de la red, Guía No 5 Ejercicio 3	95
Tabla 15. Datos simulados durante las pruebas	101
Tabla 16. Datos de las pruebas para una distribución constante	102
Tabla 17 Datos de las pruebas para una distribución uniforme	103
Tabla 18. Tiempos para cada uno de los arribos.	104
Tabla 19. Comparación tiempo medio entre arribos teóricos con los simulados.	105
Tabla 20. Función de distribución de probabilidad en una variable X	105

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Diagrama de flujo de un algoritmo de simulación de eventos	23
Figura 2. Gráfica de comparación entre tiempo simulado y cantidad simulada.	23
Figura 3. Función de distribución acumulativa de la tabla 1	26
Figura 4. Función de Distribución de Probabilidad Exponencial para diferentes	28
Figura 5. Configuración típica de una cola (C., 2006)	33
Figura 6. Bloque Funcional-Entidad generadora basada en eventos	34
Figura 7. Generación de entidades	34
Figura 8. Bloque Funcional-Entidad generadora basado en tiempo	35
Figura 9. Generador de entidades (Tiempo continuo)	37
Figura 10. Estadísticas de entidad generadora	37
Figura 11. Bloque Funcional – Atributos	38
Figura 12. Coloca atributos a la entidad entrante	39
Figura 13. Bloque Funcional Cola FIFO	39
Figura 14. Capacidad de la cola	40
Figura 15. Tiempo fuera para las entidades	41
Figura 16. Configuración puertos de estadística	41
Figura 17. Bloque Funcional – Un servidor	42
Figura 18. Configuración Básica del servidor	42
Figura 19. Configuración de atributos de prioridad	43
Figura 20. Tiempo fuera de entidad.	43
Figura 21. Configuración de puertos estadísticos	44
Figura 22. Bloque Funcional N-Servidores	45
Figura 23. Configuración Básica de N-Servidores	45
Figura 24. Bloque Funcional-Subsistema	46
Figura 25. Bloque Funcional – Entidad Receptora	47
Figura 26. Ventana de Configuración – Entidad Receptora	47
Figura 27. Bloque Funcional-Inicio de Tiempo	47
Figura 28. Parámetros Básicos de configuración Inicio de Reloj	48

Figura 29. Bloque funcional Lector de Tiempo	49
Figura 30. Configuración Básica de Lector de Tiempo	49
Figura 31. Bloque Funcional-Función Atributo	50
Figura 32. Configuración Embebida	50
Figura 33. Bloque Funcional –Exportar señal	51
Figura 34. Configuración básica Exportar señal al área de trabajo.	51
Figura 35. Bloque Funcional Switch de Salida	52
Figura 36. Configuración Básica Switch de Salida	53
Figura 37. Bloque Funcional Unión de rutas (nodo)	53
Figura 38. Configuración Básica Unión de rutas.	54
Figura 39. Bloques Funcionales Ir a (Goto) y Arriba de (From)	54
Figura 40. Configuración Básica Ir A (Goto)	55
Figura 41. Configuración Básica Viene De (From)	55
Figura 42. Bloque Funcional Generador -Llamado de Función	56
Figura 43. Configuración Básica Generador Llamado de Función	56
Figura 44. Interfaz de Trabajo de SimEvents	62
Figura 45. Diagnóstico de la simulación Manejo de Errores	63
Figura 46. Esquema Guía No 1	65
Figura 47. Gráfica obtenida con una fuente constante	65
Figura 48. Implementación de una traza en Matlab	67
Figura 49. Esquema sobre Simevents de una cola $M/M/1/\infty/\infty$,	68
Figura 50. Esquema Propuesto Guía 3.1 Ejercicio 2 Proponer un sistema	70
Figura 51. Esquema para cola $M/M/1/K/\infty$	71
Figura 52. Comparación de colas con y sin bloqueo	72
Figura 53. Sistemas de colas con bloqueo, esquema 1.	73
Figura 54. Calculador de porcentaje	74
Figura 55. Esquema de simulación de una cola $M/M/K/K/\infty$.	75
Figura 56. Esquema para la cola $M/M/K/\infty/\infty$,	77
Figura 57. Similitud entre el Tiempo de espera por usuario y el Número	79
Figura 58. Medidor de Tráfico en 10 Erlang a 7 seg.	80
Figura 59. Medidor de Usuarios en los Servidores a 7 seg.	81

Figura 60. Redes de Colas Abiertas Modelo A	82
Figura 61. Calculador de porcentaje de ruta para redes de Colas Abiertas	82
Figura 62. Esquema Subsistema Bloque Asignación de Probabilidades.	83
Figura 63. Configuración Creador de Atributos para el Subsistema Asignación	84
Figura 64. Error en subsistema Asignación de Probabilidades debido Servidor.	85
Figura 65. Diagrama de una Red de Colas Sencilla Guía No 4 ejercicio 3	86
Figura 66. Esquema de la red presentado en la Figura 70. Guía No 4 ejercicio 3	87
Figura 67. Gráfica a partir de la simulación de la Figura 70 con los parámetros.	89
Figura 68. Diagramas de Redes de colas Abiertas Guía 4, Ejercicio 3	89
Figura 69. Generador Instantáneo de Paquetes	90
Figura 70. Resultado de la Simulación de una Red de Cola Cerrada Guía 5	91
Figura 71. Diagrama de una red de Colas Cerradas	91
Figura 72. Esquema del Diagrama de la Figura 75 Red de Colas Cerradas	92
Figura 73. Grafica del retardo de la Red sin la selección de reinicio	93
Figura 74. Retardo de una Red de colas cerrada (Prueba).	93
Figura 75. Configuración Subsistema Calculador de Caudal	94
Figura 76. Conexión adecuada del Subsistema Calculador de Caudal	94
Figura 77. Caudales en Segundos de casa una de las Rutas	95
Figura 78. Diagramas de Simulación de colas cerradas, Guía No 4 Ejercicio 3	96
Figura 79. Simulación de una cola abierta, Guía N 4	97
Figura 80. Gráfica para el primer vector de enrutamiento	98
Figura 81. Gráfica del segundo vector de enrutamiento	99
Figura 82. Gráfica del tercer vector de enrutamiento	99
Figura 83. Gráfica del cuarto vector de Enrutamiento	100
Figura 84. Gráfica del quinto vector de enrutamiento	100
Figura 85. Gráficas arrojadas según la Guía 1, Ejercicio 1	102
Figura 86. Gráfica de la segunda prueba Guía 1, Ejercicio 1	102
Figura 87. Gráfica provocada por errores voluntarios Guía 1, Ejercicio 2	103
Figura 88. Tiempo de arribos de una fuente exponencial con λ de 100	104
Figura 89. Interfaz de captura de paquetes según la tarjeta de red.	107
Figura 90. Esquema para hallar el Tiempo Promedio de Un Usuario en Cola	110

Figura 91. Bloqueo para el primer parámetro de la Tabla	111
Figura 92. Bloqueo para la segunda cola.	112
Figura 93 Calculador de tráfico simulado	112
Figura 94. Calculador tiempo promedio de un usuario en cola	113
Figura 95. Acercamiento del porcentaje bloqueado debido al primer parámetro	114
Figura 96. Medidor de Tráfico debido al primer parámetro de la tabla	116
Figura 97. Gráfica de Tiempo de Espera para el primer valor del tiempo	116
Figura 98. Probabilidad de espera para un usuario en un sistema Erlang C	117
Figura 99. Usuarios en los servidores	117
Figura 100. Número de usuarios en Línea de Espera	118
Figura 101. Porcentaje de usuarios debido a la a una red de dos colas	119
Figura 102. Retardo debido a 4 colas, primera fila	120
Figura 103 Retardos para el segundo enlace	121
Figura 104. Retardos debidos a la segunda fila de la tabla	121
Figura 105. Retardos debido al tercer parámetro de la tabla	121
Figura 106. A partir de vector de probabilidad [1/2 1/2]	122
Figura 107. Esquema de simulación red de Cola Abierta A	122
Figura 108. Número de usuarios en línea de espera	123
Figura 109. Número de usuarios creados instantáneamente.	123
Figura 110, Para un $N = 11$	124
Figura 111 Tamaño de la cola para $N = 11$	124
Figura 112. Número de paquetes insertados en la red para debido a la fila	125
Figura 113. Implementación del diagrama para conocer el caudal de la red	126
Figura 114. Retardos debido a la red de la Figura 115 debido a la primera.	126
Figura 115. Retardo debido a la segunda red	127
Figura 116. Caudales ocasionados por una red de colas cerradas $\mu = 1$ y $N = 50$	127
Figura 117. Caudales ocasionados por una red de colas cerradas $\mu = 1$ y $N = 50$	128
Figura 118. Red de colas Cerradas algoritmo de enrutamiento	129

LISTA DE ANEXOS

	pág.
ANEXO A FORMATO GUÍA DE SIMULACIÓN	137
ANEXO B GUÍAS DE SIMULACIÓN	139

RESUMEN

Buscando solucionar la falta de interés de los estudiantes por asistir a la clase sistemas de espera y ahora respondiendo a la necesidad que para el nuevo programa de ingeniería de telecomunicaciones es una asignatura obligatoria, surge como idea la implementación de una herramienta de apoyo que permita hacer una clase más versátil en cuanto a contenido y desarrollo.

Este proyecto consiste en la implementación de 6 guías de simulación para la asignatura Sistemas de Espera sobre la herramienta Simevents; el proceso de creación de estas guías va de acuerdo al contenido programático de la misma y en el nivel académico que se busca con la implementación de estas, iniciando por el reconocimiento de los requerimientos para hacer las prácticas sin ninguna confusión lo cual principalmente consiste en hacer una introducción a la herramienta de simulación; respondiendo preguntas de cómo funciona, qué se puede hacer, su interfaz, la descripción detallada de los bloques implementados durante las prácticas, entre otros, lo descrito anteriormente está compilado en un manual.

La metodología propuesta para las guías consiste en que primero el maestro que dicte la cátedra, dará a conocer el tema y después propone la guía respectiva a este para que sea desarrollada. Claramente el profesor no está sujeto a las guías, pudiendo proponer ejercicios sobre estas, retroalimentando el trabajo y haciendo una mayor proyección según su cátedra.

Todos los tópicos que se ven en la materia sistemas de espera fueron implementadas sobre SimEvents, desde el comportamiento de una fuente de tráfico basada en una distribución específica hasta una cola con un alto grado de dificultad como una cola cerrada con varios nodos de red, esto permite inferir que la herramienta cumple con las expectativas sobre en cuanto diseño se trata y que el empalme con la asignatura se va realizar con todo el contenido programático.

Un agregado que se va a manejar es el planteamiento de escenarios que se presentan en la vida real del ingeniero, como por ejemplo la Guía N 6 habla sobre los algoritmos de enrutamiento, no antes vistos durante la cátedra donde se puede interactuar con el sistema y responder preguntas como por ejemplo si se cae un enlace ¿cuál es el mejor vector de enrutamiento? o ¿disminuir el retardo es la mejor opción para optimizar el rendimiento de la red?, cuestiones que serán más fácilmente despejadas a partir de estas guías.

INTRODUCCIÓN

Sistemas de Espera es una cátedra la cual es un eje fundamental en el entendimiento de las redes de telecomunicaciones. En el transcurso de esta se observan varios factores que son decisivos en el diseño de las redes actualmente: la caracterización del tráfico, el tamaño de la línea de espera, la cantidad de servidores, el tipo de caudal, son algunos de los más sobresalientes, todo con el fin de encontrar una optimización en todos los niveles tanto para usuario como por quien ofrece los servicios en una red. Originalmente las redes eran caracterizadas bajo un modelo de tráfico de tipo Poisson, donde esta se adaptaba de manera ideal a unas ecuaciones que interpretaban el comportamiento bajo ciertas condiciones, pero debido a cambio en los usuarios, los diferentes servicios que se ofrecen como la alta transferencia de datos, el tipo de datos, las aplicaciones, las tecnologías, entre otros, este tráfico que ya estaba caracterizado por un modelo matemático ya ha entrado a reevaluarse (Cuenca 2000).

La cátedra inicialmente aporta los conocimientos sobre los modelos como se han desarrollado hasta hace algunos años, como por ejemplo para centrales telefónicas conmutadas donde antes no existía la línea de espera, y los usuarios debían entrar a la suerte de marcar cuando el sistema fuera liberado por algún otro usuario; pasando por algunos más complejos como sistema Erlang C, donde se agregó líneas de espera a estos servidores para que de una u otra forma el servicio fuera justo.

Las herramientas de simulación son importantes para hacer un mejor análisis de resultados de los sistemas sin necesidad de hacer un completo estudio de campo para sacar conclusiones, pues permite cambiar parámetros y por ende observar el comportamiento cambiante en los sistemas. Partiendo de esto una herramienta de simulación en las cátedras es de mucha utilidad, SimEvents presenta una opción novedosa para simular sistemas de espera; desde la versión 2007 Mathworks observando la necesidad por que exista una plataforma que soporte este tipo de datos, implementa una librería que maneja los eventos (evento es considerado el cambio de estado en un sistema), de manera integrada.

Permitir que la clase Sistemas de Espera sea más dinámica para el estudiante es punto importante en la buena educación del futuro ingeniero, implementando herramientas de simulación se ha logrado un mejor desempeño de estos en los diferentes escenarios, ya que los prepara para situaciones reales y tal vez en otras que resulten inverosímiles pero útiles desde el punto de vista pedagógico.

1. PROBLEMA

En la cátedra de sistemas de espera y el grupo de interés de modelamiento de tráfico, se tratan temas como índices de calidad de servicio (QoS), tráfico, redes de colas, modelos de tráfico moderno, entre otros; todos necesarios e indispensables para la descripción cuantificada, comprensión del comportamiento y análisis de los sistemas (redes de colas).

En el aula de clase estos temas son desarrollados únicamente en la teoría haciendo que el estudiante no pueda interactuar de ninguna otra manera con los sistemas propuestos en la asignatura, tales como el comportamiento de colas con parámetros definidos en el diseño, que son objeto de contextos teóricos que buscan siempre mejorar y optimizar las soluciones.

El no tener una herramienta de simulación que sea un complemento en la asignatura limita la manera de ver esta, ya que impide hacer ejemplos de tráfico de gran envergadura pues realizarlos de manera escrita sería muy engorroso por la cantidad de variables manejadas. Otra limitante son los resultados, los cuales no son respaldados como sí lo son para otras asignaturas, citando algunos ejemplos claros serían: Taller de Circuitos, con el software de simulación Circuit Maker, Microcontroladores, con Proteus, Redes, con Config Maker, entre otros, que dan soporte y eje de comparación.

Es importante resaltar que en este caso las técnicas de simulación existen pero al ser temas de investigación, hasta ahora se están colocando a la mano de los estudiantes y su complejidad para manejarlas hace que el proceso se represente en pérdida de tiempo y de interés.

2. JUSTIFICACIÓN

El desarrollo de este proyecto constituye una herramienta de simulación para los estudiantes que buscan respaldar y demostrar sus soluciones de sistemas, con una confiabilidad semejante a la de Simulink y su plataforma Matlab.

Como Simevents es una herramienta recientemente lanzada al mercado, solo posee las guías brindadas por el fabricante y esto dificulta la aprehensión por parte de los estudiantes, se estaría generando un valor agregado con la nueva postulación, pues mejoraría el rendimiento de ellos en cátedras complejas como las citadas anteriormente, reduciendo al mismo tiempo el ausentismo y aplazamiento de las mismas por parte del cuerpo estudiantil en general.

Al desarrollar este proyecto, que termina en unas guías de simulación, el beneficio más contundente y veraz será para los estudiantes de Telecomunicaciones, que tendrán a la mano una herramienta de simulación la cual facilitará su actividad académica en el campo de las redes con ciertos parámetros de entrada; y más ahora que la asignatura Sistemas de Espera es un requisito en el nuevo pensum académico. Entonces lo que se espera es que la asignatura pase de ser netamente teórica y de bajo interés para los estudiantes a una que sea más dinámica con despliegue en temas que contribuyen al perfil profesional.

Es así como, tener la opción de modificar en simulación parámetros ingresados, se convierte en un punto a favor ampliando los ejes de comparación, como ajustar el tiempo de espera de usuario en cola o el tiempo de servicio, cambiar la distribución de la fuente o del servidor, y resolver inquietudes momentáneas dando una visión más lógica en los comportamientos de la red.

Al momento de entender el funcionamiento de la herramienta de simulación este conocimiento se representa en optimización de tiempo que se puede invertir para hacer actividades que competan al desarrollo integro del ingeniero.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar seis (6) guías de laboratorio de simulación y un manual basados en la herramienta Simevents, que sirvan como apoyo para la asignatura de Sistemas de Espera y al grupo de interés Modelamiento de Tráfico.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar los requerimientos específicos para cada guía
- Determinar las variables requeridas en Simevents para implementar fuentes (exponencial, uniforme y constante), sistemas (colas) y sondas (gráficos).
- Diseñar y elaborar la guía de fuentes exponenciales, uniforme y constante.
- Diseñar y elaborar la guía de fuente de tráfico basada en una traza.
- Diseñar y elaborar la guía de colas con servidores exponenciales ($M/M/1/\infty/\infty$, $M/M/1/K/\infty$, $M/M/K/K/\infty$, $M/M/K/\infty/\infty$).
- Diseñar y elaborar la guía de redes de colas abiertas.
- Diseñar y elaborar la guía de redes de colas cerradas.
- Diseñar y elaborar la guía de algoritmos de enrutamiento

4. MARCO REFERENCIAL

4.1 ANTECEDENTES

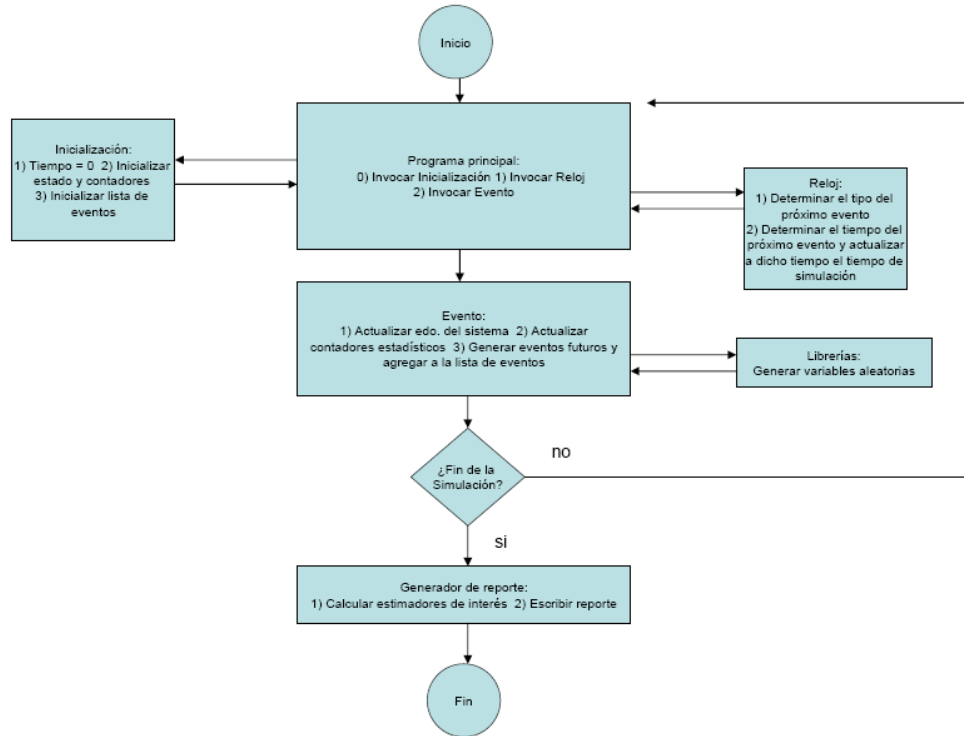
La simulación de eventos discretos tiene una gran trayectoria a lo largo de la historia. Si se estudia en un marco de referencias bibliográficas unos de los pioneros en plasmar técnicas que permitieran tener conceptos claros y entendibles sería Georges Fishman, en su libro “Principles of Discrete Event Simulation”, donde su enfoque está aplicado a procesos industriales en los cuales sus principios son análogos a los aplicados en telecomunicaciones en lo referente a los sistemas de colas. A partir de esto se han desarrollado aplicaciones de software de simulación que realiza eventos en tiempo discreto en lenguajes de bajo nivel como C, por ejemplo, en el cual se basa el programa Simulador comercial de eventos discretos (SMPL) y por pertenecer a este grupo de nivel de programación es uno de los más rápidos que se han diseñado. Sus funciones son dar resultados a un problema sencillo de transacciones realizadas en un sistema de una cola con un servidor cambiando los parámetros de tiempo de transacción como de servicio,(Campos 2008).

A medida que se iban mejorando las técnicas de programación todos las implementaciones se hacían más robustas. Después de la aparición de C++, se desarrollaron gran cantidad de simuladores independientes hasta algoritmos para realizarlos (ver figura 1) los cuales permitían al usuario optimizar de su programa para las necesidades requeridas por su problema, pero en medio de tantos programas se concibieron unos más elaborados para la implementación académica como lo es el Simulador Propio de Eventos Discretos (D.E.S.K.). La ventaja de DESK a comparación de sus antecesores es que puede simular casi en su totalidad eventos de tiempo discreto (exceptuando modelos auto-similares), desde modelos sencillos hasta diseños con gran número de clientes y estaciones de servicios sin tener que ingresar gran cantidad de parámetros, tan solo definir el comportamiento de las estaciones de servicio y su conexión, también se pueden definir distribuciones basadas en trazas si las que vienen incluidas no fueran adecuadas. Su velocidad en respuesta es muy superior en comparación a la de SMPL dando soporte a un total de simulación de 4.294.967.295 eventos. Siguiendo a esta versión de DESK se implementó otra con coma flotante que optimizó los tiempos de simulación (ver figura 2)(Aldana Julio de 2005).

Después de ser implementado un lenguaje de alto nivel, como java, es entendible que las herramientas existentes también se aplicarán a estas nuevas formas de programación; así pasó con DESK, que ahora se convierte en JDESK, un aplicativo web el cual se vuelve más versátil y fácil para usar al usuario con una interfaz gráfica mucho más llamativa y que permite hacer una rápida depuración de los modelos implementados, entre otras diferencias con su anterior versión,

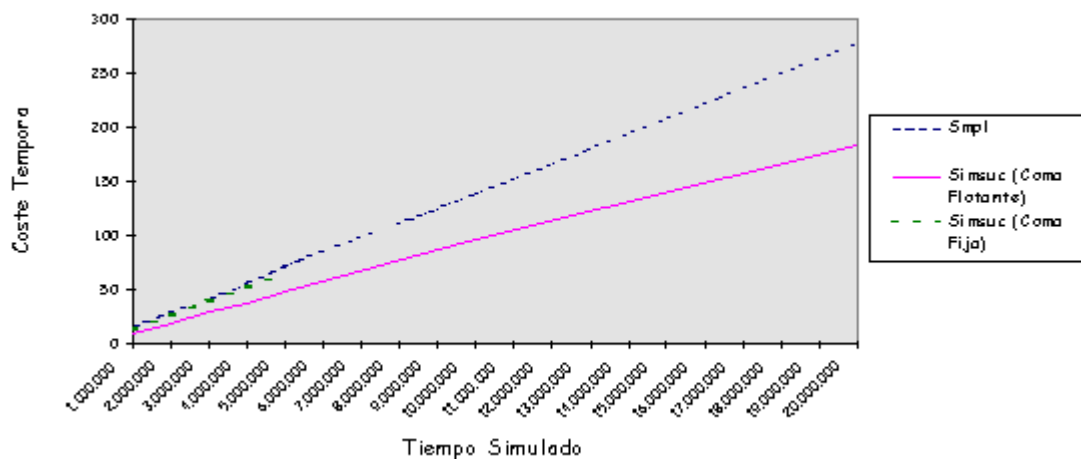
pero una de las más llamativas es la de simular eventos con la interacción de otros usuarios.(Campos 2008)

Figura 1. Diagrama de flujo de un algoritmo de simulación de eventos



(CAMPOS 2008)

Figura 2. Gráfica de comparación entre tiempo simulado y cantidad simulada.



(CAMPOS 2008)

4.2 MARCO CONCEPTUAL

4.2.1 Experimento de sistemas

Hay dos formas de experimentar con sistemas; ya sea en tiempo real o con un modelo del sistema. Los experimentos con modelos de sistemas se pueden dividir en dos formas: físicas y matemáticas. En la implementación de un sistema se utiliza el modelo matemático en el que una de sus variables es el tiempo discreto (o simulación de eventos discretos) lo que significa que los parámetros cambian en un conjunto numerable de puntos en el tiempo. La ventaja de aplicar este modelo es que se pueden tomar gran cantidad de eventos los cuales por ser discretos son cuantificables, también aplican a las distribuciones requeridas dependiendo el comportamiento de una variable como la exponencial, estándar, Poisson entre otras, pero lo más importante de simular por eventos es que se puede planificar el final de la simulación y se puede planificar una operación de un instante determinado de tiempo, permitiendo actuar y estudiar el modelo del sistema de forma más eficaz.

4.2.2 Evento

Un evento se presenta cuando hay un cambio en las variables de estado, esto da como resultado una actualización y nueva respuesta en el sistema, la contextualización de un evento para el proyecto significa la llegada de un cliente (nacimiento) o cliente atendido (muerte) (Campos 2008)

Los temas que se ven en la cátedra de sistemas de espera (redes de colas, procesos de arribos, etc.) se basan en la probabilidad de que un evento ocurra, es así que para entender los modelados de los sistemas es necesario tener claro algunos conceptos.

4.2.3 Experimento aleatorio (Lozano 2006)

Para que haya un experimento aleatorio tienen que cumplirse las siguientes condiciones:

- Que haya más de una probabilidad.
- Que sea completamente medible.
- Que sea realizable.

- Que las condiciones sean neutras de tal manera que el experimento pueda volver a repetirse.

4.2.4 Espacio muestral (Hwei 1997)

Sea S un conjunto de todos los posibles resultados en un experimento aleatorio

$$S = \{\text{conjunto de posibles resultados}\}.$$

Sea un experimento aleatorio lanzar un dado de 6 caras, el espacio muestral se define en el conjunto S

$$S = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$$

$$S = \{x/x \in \mathbb{N} \wedge 1 \leq x \leq 6\}$$

Como ya se definió un evento sucede cuando en un experimento aleatorio ocurra un resultado del espacio muestral; un ejemplo es: sea A el evento que el resultado del lanzamiento de un dado sea igual a 5.

4.2.5 Variable aleatoria

Una Variable Aleatoria (V.A.) es una función que asigna un valor numérico a cada suceso elemental del espacio muestral, es decir es una variable cuyo valor estará determinado por el resultado del experimento aleatorio. Se clasifican en dos tipos continua y discreta.

Discreta: se dice que una variable aleatoria X es discreta si se puede representar en un número finito o infinito, pero numerable, de posibles valores.

Continua: se dice que una variable aleatoria X es continua si puede tomar un número infinito (no numerable) de valores. (Angel 2003)

4.2.6 Distribución de probabilidad de una V.A. (C. 2006)

Se define una distribución de probabilidad para una variable aleatoria como la asignación de las probabilidades para cada uno de los posibles valores de la V.A., así que al ver dos tipos de V.A. se encuentra también las distribuciones para variables discretas y continuas.

- Distribución de Probabilidad para variables discretas

Para este caso particular la distribución de probabilidad es conocida como $F(x)$ en donde los valores de probabilidad se pueden representar en una función de distribución acumulativa, donde esta es creciente dando a cada uno de los valores posibles de V.A. una probabilidad igual a uno.

Ecuación 1. Función de Densidad de Probabilidad (FDP) para variables discretas

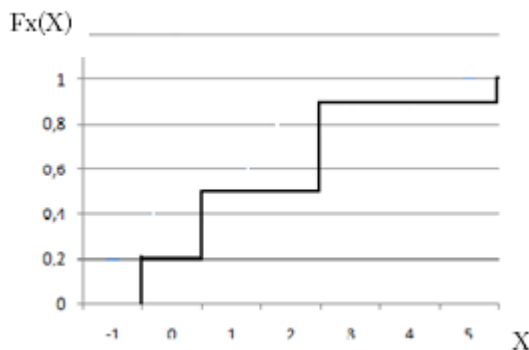
$$F(X) = P[X \leq x] = \sum_{k=-\infty}^x F(k)$$

En la Tabla 1 se presenta una función de probabilidad discreta de una variable aleatoria X , con su respectiva probabilidad de ocurrencia, y en la Figura 3 se muestra gráficamente la función de distribución acumulativa

Tabla 1. V.A. X con su probabilidad

X	$P[X=x]$
-1	0,2
5	0,1
2	0,4
0	0,3

Figura 3. Función de distribución acumulativa de la tabla 1



Entre las densidades de probabilidad discretas se encuentran: Poisson, Binomial, Uniforme, Hipergeométrica, entre otras.

- Distribución de Probabilidad para variables continuas

Por ser infinita en los intervalos que se toman de las probabilidades se expresa como la integral de la función de densidad.

Ecuación 2. Función de Densidad de Probabilidad (FDP) para variables continuas

$$F(X) = P[X \leq x] = \int_{-\infty}^x f(x)$$

Entre las densidades de probabilidad continua se encuentran: Normal, Exponencial, Uniforme, T-Student, Weibull.

4.2.7 Distribuciones

Para el modelado de los sistemas como las colas, es necesario tener claro algunas distribuciones.

- Distribución de Bernoulli (Aldana Julio de 2005)

Consiste en realizar un experimento aleatorio una sola vez y observar si cierto suceso ocurre o no, por lo general se describe la probabilidad p de que ocurra el evento (éxito) y $q=p-1$ que no ocurra (fracaso). Se pueden definir para una variable aleatoria (VA) X que puede tomar solo dos valores $X=0$ y $X=1$.

Uno de los ejemplos que más utilizan para caracterizar la distribución de Bernoulli es el lanzamiento de una moneda donde solo hay dos posibilidades: cara o sello.

Ecuación 3. Probabilidad de Bernoulli (experimento moneda)

$$X \equiv \text{número de caras obtenidas} = \begin{cases} 0, & p = \frac{1}{2} \\ 1, & q = \frac{1}{2} \end{cases}$$

- Distribución Binomial (Hwei 1997)

Basada en la distribución de Bernoulli el interés de esta distribución es el de realizar el experimento n veces observando el número de aciertos, la secuencia de experimentos debe ser independientes con una misma probabilidad (p) de éxito en cada uno de ellos.

Para este tipo de distribución se toma la V.A. como el número de veces que ocurra un evento, la función de probabilidad es:

Ecuación 4. Función de Distribución Binomial

$$b(x; n, p) = \binom{n}{x} p^x (1 - p)^{n-x}$$

- Distribución de Poisson (Lozano 2006)

Cuando la distribución Binomial posee una probabilidad P que tiende a cero y la cantidad de experimentos (n) es muy grande se dice que la distribución converge a la ecuación 5, esta es llamada distribución de Poisson

Ecuación 5. Función de Distribución de Poisson

$$p(x) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^x}{x!}, x = 0, 1, 2, \dots, \lambda > 0$$

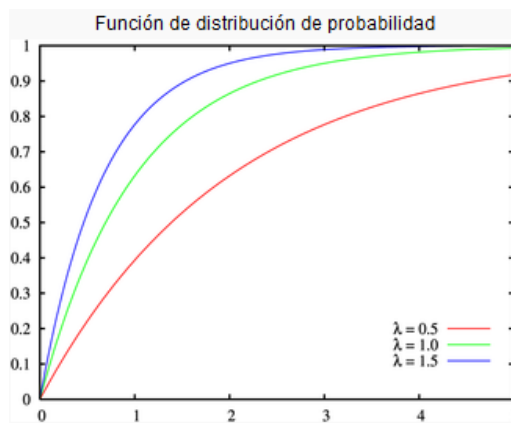
- Distribución exponencial (Lozano 2006)

Esta distribución describe los procesos en los que es de interés saber el tiempo hasta que ocurra un evento determinado, sabiendo que pueda ocurrir en cualquier momento t y el tiempo que ha pasado no va influir para que ocurra otro evento (independencia), está definida por la ecuación 6.

Ecuación 6. Función de Distribución Exponencial

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

Figura 4. Función de Distribución de Probabilidad Exponencial para diferentes valores de λ (Caudal)



(SÁNCHEZ 2008)

La función de Distribución de Probabilidad Exponencial permite hallar el tiempo entre arribos de los eventos consecutivos en proceso de conteo de Poisson.

4.2.8 Proceso estocástico (Hwei 1997)

Proceso estocástico se define como las variables aleatorias que surgen en un experimento aleatorio, las cuales cada una de ellas tiene una función de distribución de probabilidad.

Como definición matemática es en conjunto de V.A. X_t unidas por un índice t .

4.2.9 Cadenas de Márkov (Angel 2003)

Considerada como una serie de eventos, donde la ocurrencia de uno de ellos es totalmente dependiente al evento inmediatamente anterior, por tanto se dice que la cadena tiene memoria, haciendo que se condicionen las probabilidades de los eventos futuros, en términos matemáticos es un proceso estocástico discreto, el cual cumple la propiedad de Márkov (su estado actual posee información suficiente para el evento inmediatamente posterior), una cadena de Markov se puede representar con la secuencia X_1, X_2, X_3, \dots las cuales son variables aleatorias, con rango llamado espacio de estado, el valor de X_t concierne al proceso en el estado de tiempo t , así que por su condición de estados futuros se define con:

Ecuación 7. Cadena de Márkov (Probabilidades dependientes)

$$P(X_{t+1} = i_{t+1} | X_t = i_t, X_{t-1}, \dots, X_1 = i_1, X_0 = i_0) = P(X_{t+1} = i_{t+1} | X_t = i_t)$$

Estado: las condiciones en la cual se encuentra un ente o sucesos posibles.

Ensayos: Las ocurrencias repetidas de un evento que se estudia.

Probabilidades de transición: Se define con P_{ij} (probabilidad de pasar del estado i al j) donde representa la probabilidad de pasar de un estado actual al siguiente en un periodo o tiempo.

- Propiedades de las cadenas de Márkov (Angel 2003).

Las probabilidades de estados deben ser igual a uno, es decir.

$$S_1(t) + S_2(t) + \dots + S_n(t) = 1 \text{ para } n \text{ estados.}$$

Para cada fila de la matriz P se cumple: $p_{i1} + p_{i2} + \dots + p_{in} = 1$ para todo

$$i = 1, 2, \dots, n$$

Las transiciones de un período al siguiente se obtienen de la siguiente ecuación:

$$S(t) = S(t-1).P \quad \text{por lo tanto } S(t) = S(0).P^t$$

Si $S(t+1) = S(t)$ para $t \geq K$, Entonces se dice que el sistema se estabiliza o que los estados son estacionarios o estables. Esto implica que $S = S.P$, es decir el vector de estado estacionario sigue siendo igual después de la transición t .

4.2.10 Modelamiento de tráfico

Las telecomunicaciones se basan en la necesidad de compartir información utilizando los recursos existentes como la petición de canales y equipos, en el momento que todos estos se encuentran ocupados atendiendo otro usuario hay una pérdida de tiempo conocida como retardo mientras el recurso esté disponible nuevamente. La necesidad de compartir (demanda) estos recursos es de naturaleza estadística y se puede modelar con algún proceso estocástico existente. Este proceso, conjunto a otros modelos matemáticos, da variables que pasando por un análisis contribuyen a la planificación de los sistemas para optimizar los tiempos de uso de los recursos (Díaz 2005).

El modelamiento de tráfico busca dar una medida en unidades que estén bien definidas, determinando la relación existente entre calidad de servicio y la capacidad del sistema, dando como resultado una variable de gran utilidad para planificar la mejor inversión, el modelamiento se basa para este proyecto en el comportamiento de las colas.

La teoría de colas es un conjunto de modelos matemáticos que da el estudio de líneas de espera más conocidas como "colas" con relación a servidores dando como resultado el análisis de variables aleatorias como tiempos de espera en cola, en servidor entre otros.

4.2.11 Retardos

Los análisis de sistemas de telecomunicaciones se representan en retardos y bloqueos para un mensaje, esto significa que los usuarios ya sean paquetes, celdas o peticiones de conexión que siguen algún patrón de llegada (distribución), pasan un tiempo T en el sistema, en el cual es procesado y sacado del mismo. Bajo ciertas condiciones el sistema puede estar en estado de bloqueo (P_b), que se da por falta de recursos, este proceso lo representa la figura 5. Para el proceso de análisis son punto de referencia las siguientes medidas (C. 2006).

- Tiempo pasado en el sistema: T
- Número de usuarios en el sistema: N(t)
- Fracción de usuarios que al momento de arribar son rechazados porque el sistema está saturado, esta conocida como probabilidad de bloqueo: P_b(t)
- Número medio de usuarios/segundo que pasan a través del sistema: caudal (A(t)).
- Número de usuarios que son atendidos por el sistema D(t).

El número de usuarios del sistema en un instante t esta dado por:

Ecuación 8. Número de usuarios en un sistema (C. 2006)

$$N(t) = A(t) - D(t) - B(t)$$

4.2.12 Teoría de colas

El desarrollo de la ingeniería de teletráfico está dado por el trabajo del señor Agner Krarup Erlang cuyos estudios sobre el comportamiento de sistemas telefónicos llevo al desarrollo de los principales modelos que son fundamentales para el análisis de sistemas con recursos compartidos. En un ejemplo claro los usuarios solicitan un recurso en instantes aleatorios de tiempos utilizándolo en tiempos variables. Al momento que los recursos ya se encuentren en uso cuando el usuario lo solicite es posible que estos formen una línea de espera o “cola” aguardando que los recursos puedan ser nuevamente utilizados (C. 2006)

- Proceso de arribos

Los arribos de los usuarios se caracterizan por medio de un proceso de conteo de Poisson, que se define cumpliendo con los siguientes parámetros:

Arribos independientes; arribos uno a uno, no tiene memoria, $P[N=1]= \lambda t$, si t tiende a 0, $P[N=0]= 1-\lambda t$, si t tiende a ∞ .

Los intervalos de tiempo de arribo t₁, t₂,..., t_n, son variables aleatorias independientes con la misma distribución donde la velocidad de llegada al sistema está dada por la ecuación 9

Ecuación 9. Velocidad de llegada de un usuario (C. 2006)

$$\lambda = \frac{1}{E[\tau]}$$

- Tiempos de servicio

Los servidores son recursos de un sistema, los cuales son utilizados por la petición de un usuario, donde el tiempo en que el servidor se encuentra ocupado mientras atiende el cliente se define como tiempo de servicio, la velocidad máxima en la que un servidor puede atender a sus clientes se obtiene cuando el servidor está continuamente ocupado. En este caso, el tiempo medio entre las salidas de los usuarios es igual el tiempo medio de servicio, por tanto esta relación viene dada por (C. 2006)

Ecuación 10. Tiempo de servicio (C. 2006)

$$\mu = \frac{1}{E[X]}$$

- Clasificación de un sistema de colas (notación Kendall)

Los sistemas de colas se clasifican según unas características que son las siguientes:

- Patrón de llegada de un cliente.
- Distribución del tiempo de servicio
- Número de servidores
- Número máximo de mensajes en el sistema

En la Figura 5 se muestra la notación que se utiliza para representar la disciplina (tipo) de la cola.(C. 2006)

Figura 5. Configuración típica de una cola (C. 2006)



(ANGEL 2003)

Tabla 2. Notación para la clasificación del tipo de colas

Tiempo entre llegadas t	Tiempo de servicio X	Número de servidores	Número de usuarios
M = Markov	M = Markov	1 = un solo servidor	0 = no tiene línea de espera
D = determinista	D = determinista	K= # servidores	K = # usuarios
G = general	G = general	∞ = Infinitos servidores	∞ = Infinitos usuarios en cola
Velocidad de llegada: λ	Velocidad del servicio: μ		

4.3 MARCO TEÓRICO

4.3.1 Entidades generadoras (Mathworks 2008)

El significado de las Entidades en diferentes aplicaciones varía según el interés que presente en la simulación del evento discreto, un ejemplo de una entidad es la utilización de esta al representar los clientes en un sistema colas, o los paquetes, mensajes o encabezados para ser transmitidos.

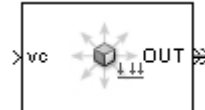
- Bloque – Generador Entidades Basada en Eventos (Event-Based Entity Generator)

Está diseñado para generar entidades cuando ocurren eventos de tipo específico que son los siguientes:

- Cada vez que SimEvents genera un evento en el tiempo (t_s).

- Cada vez que la señal tiene una entrada que sufre un cambio de nivel en uno (tr).
- Cada vez que la señal de entrada cambia su valor (vc).
- Cada vez que una señal genera una entrada llamada función (fcn).

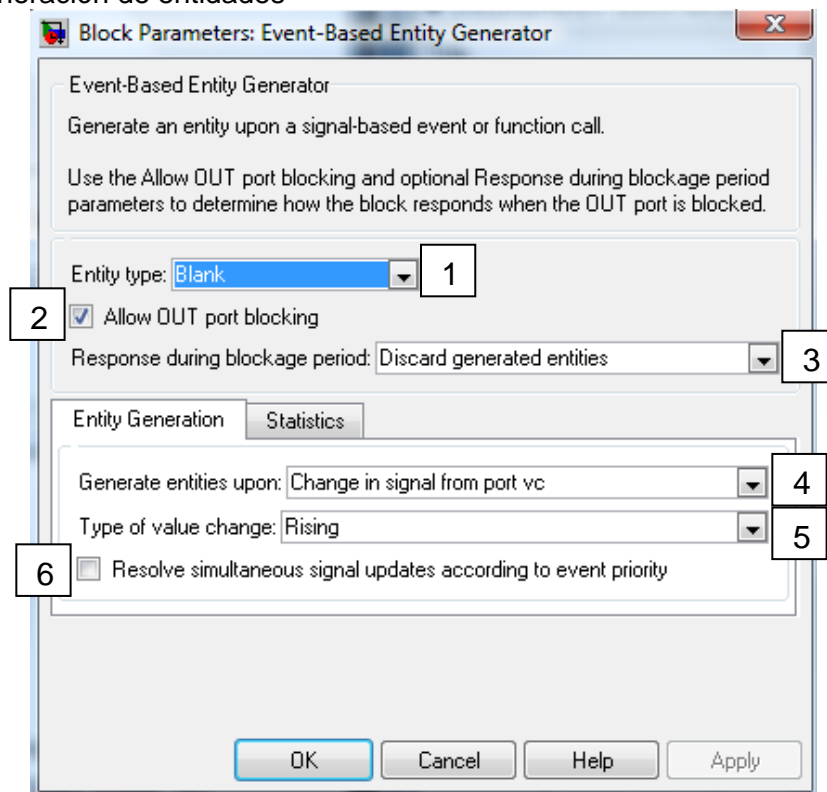
Figura 6. Bloque Funcional-Entidad generadora basada en eventos



(MATHWORKS 2008)

- Ventana de Configuración (Figura 7)

Figura 7. Generación de entidades



(MATHWORKS 2008)

1. Tipo de entidad: el tipo “Blanco” no incluye ningún tipo de atributos por el contrario el tipo “Estándar” incluye atributos llamados Prioridad y Contadores con valores por defecto de 10 y 0 respectivamente.

2. Si selecciona la opción, dará mensaje de error si se genera una entidad y el puerto está bloqueado.
3. Determina como responde el bloque si hay una obstrucción en la entidad generada.
 - Descarga de valor dependiendo del puerto de entrada.
 - Dependiendo de la prioridad del evento los resuelve descargando la señal.
 - Genera entidades dependiendo del tipo de puerto de entrada asignado.
4. Determina el cambio de valor dependiendo del puerto de entrada.
5. Dependiendo de la prioridad del evento los resuelve descargando la señal.
- Bloque - Generador de Entidades Basado en Tiempo (Time-Based Entity Generator).

Figura 8. Bloque Funcional-Entidad generadora basado en tiempo



(MATHWORKS 2008)

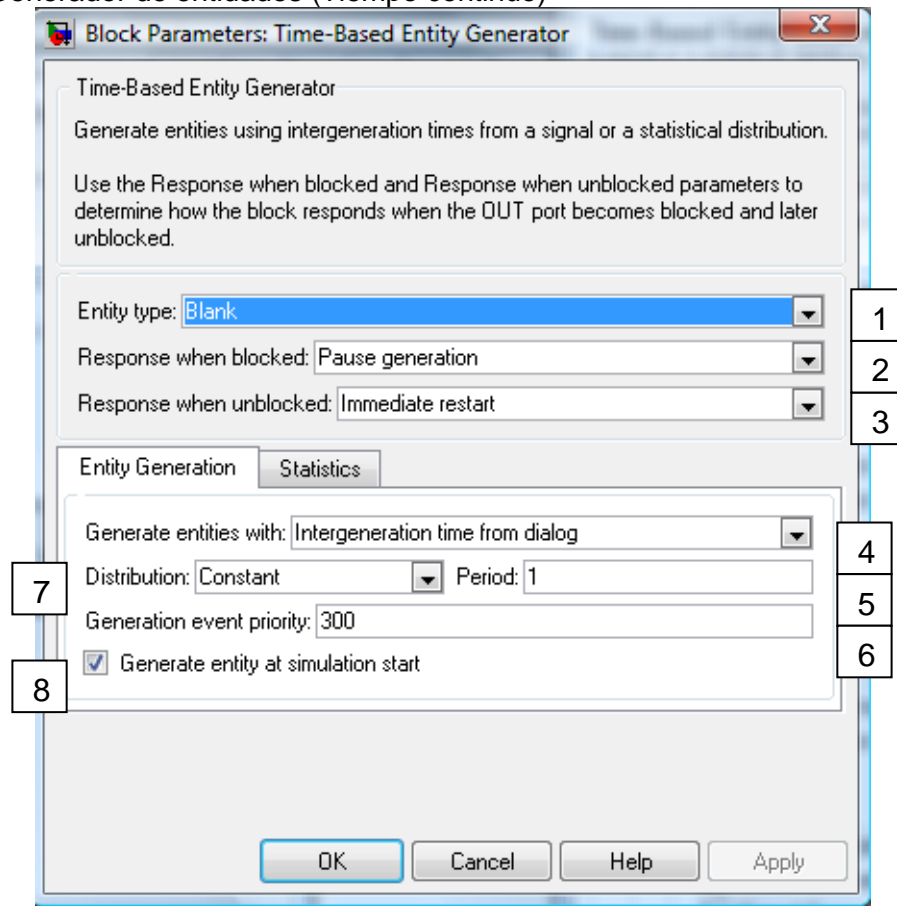
Genera entidades usando intergeneración de tiempos de una señal o de distribución estadística, la intergeneración de tiempos se define como el intervalo de tiempo entre los eventos de dos entidades sucesivas, las cuales se pueden seleccionar en la caja de opciones de dos maneras:

- Distribución que varía acorde a la selección que realice el usuario que puede ser: exponencial, uniforme o constante (estas vienen predeterminadas por el bloque funcional).
- Por medio de la utilización específica de una entrada, leyendo la simulación en el orden, primero la entrada y después generando la entidad. (del puerto t).

- Ventana de Configuración (Figura 9)
1. Tipo de entidad: el tipo “Blanco” no incluye atributos, el tipo “Estándar” incluye atributos llamados Prioridad y Contadores con valores por defecto de 10 y 0 respectivamente.
 2. Respuesta al bloqueo: Cuando hay un bloqueo en el puerto de salida hay dos formas de afrontarlo.
 - Generación en pausa: Detiene temporalmente la generación de entidades.
 - Error: Genera un mensaje de error si la entidad de llegada no está preparada para recibir la entidad generada.
 3. Respuesta al desbloqueo: Determina la acción para la puesta en marcha de la entidad después de un bloqueo.
 - Reinicio inmediato: Después que el bloque recibe la información que puede enviar la entidad está es enviada inmediatamente.
 - Retardo de Reinicio: Después que es habilitado para enviar la entidad, hace un tiempo de espera para realizar la acción.
 4. Generar entidades con: Determina donde el bloque consigue instrucciones sobre cuando generar entidades.
 - Intergeneración (creación de entidades) de tiempos automáticos: Genera las entidades con los parámetros adscritos en los numerales 5 y 7.
 - Intergeneración de tiempo a partir de puerto: Genera las entidades con los parámetros dados por el puerto de entrada t.
 5. Periodo: Este solo se muestra si el tipo de distribución (7) es constante y el parámetro 4.a.; cumpliendo periodos de n tiempo en segundos
 6. Prioridad en la generación de eventos: Se inscribe la prioridad del evento con respecto a otros que se encuentren en la simulación.

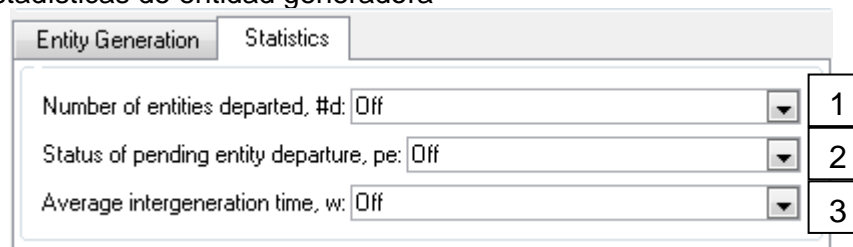
7. Distribución: Esta opción solo se activa si el parámetro 4.a. esta seleccionado, da la opción de tres tipos de distribución: constante, exponencial y uniforme.
8. Generar la entidad al comienzo de la simulación: al seleccionar este modo la generación de entidades se hace cuando inicie la simulación; en caso contrario, la segunda entidad se genera cuando hay respuesta del bloque de llegada.

Figura 9. Generador de entidades (Tiempo continuo)



(MATHWORKS 2008)

Figura 10. Estadísticas de entidad generadora

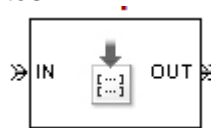


(MATHWORKS 2008)

- Ventana de Configuración (Figura 10)
1. Número de entidades de salida: controla la cantidad de entidades que han salido del bloque.
 2. Estado de entidad de salida de entidad pendiente: Controla el estado de la entidad que está pendiente en el puerto pe.
 3. Tiempo de intergeneración medio: Da el tiempo medio de la variable de distribución.

4.3.2 Bloque Atributos (Attribute Block)

Figura 11. Bloque Funcional – Atributos



(MATHWORKS 2008)

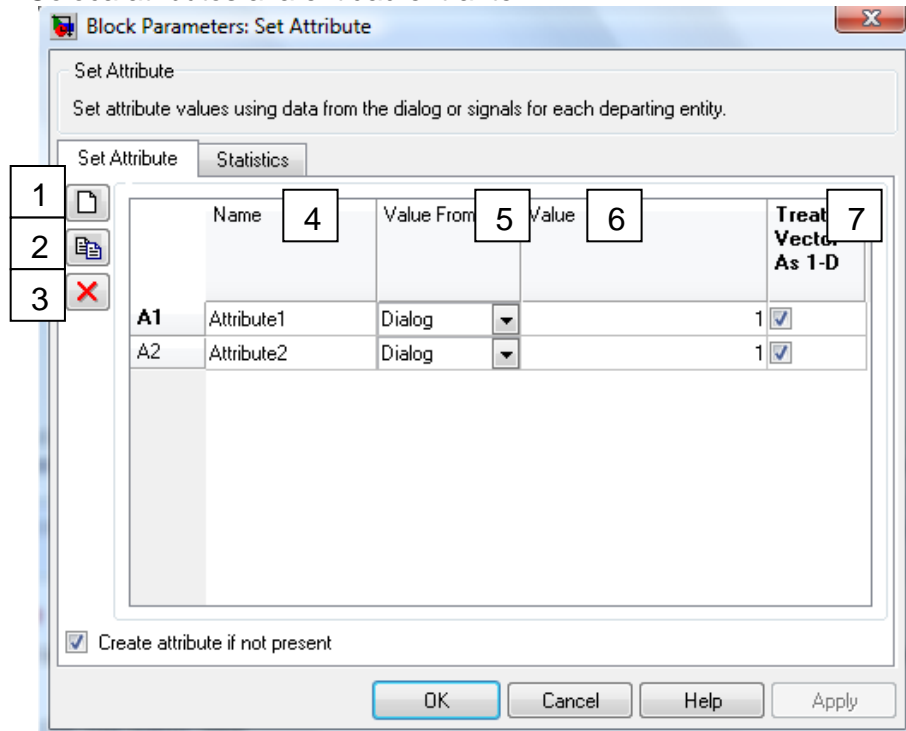
A las entidades se le pueden adicionar datos conocidos como atributos, se pueden definir los nombres y los valores de estos atributos; en el caso de una comunicación en una red si la entidad representa un paquete puede variar la longitud de este. Para cada atributo, las dimensiones deben ser constantes para todo el modelo.

- Ventana de configuración (Figura 12)
1. Oprima el botón para agregar un atributo
 2. Oprima el botón para copiar un atributo
 3. Oprima el botón si quiere cancelar un atributo
 4. Opción para darle nombre a la variable atributo
 5. Valor proveniente de:
 - Dialog: valor asignado por el numeral 6
 - Signal Port: obtendrá el atributo de una señal externa.

6. Le da el valor al atributo

7. El valor del atributo se caracteriza por la forma de vector 1-D

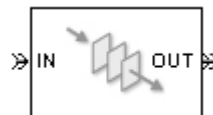
Figura 12. Coloca atributos a la entidad entrante



(MATHWORKS 2008)

4.3.3 Bloque - Cola FIFO

Figura 13. Bloque Funcional Cola FIFO



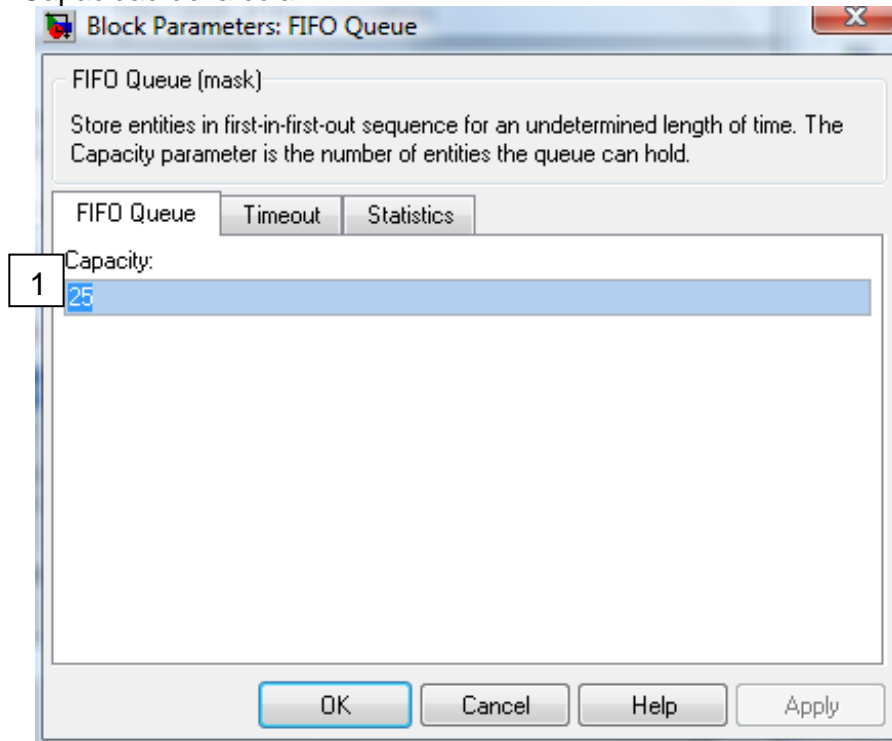
(MATHWORKS 2008)

Este bloque almacena hasta el valor de N las entidades que lleguen, N es el parámetro capacidad de cola, cumpliendo el concepto de cola FIFO, el primero que llega es el primero que sale.

En el caso que N sea igual a cero, la línea de espera procesará solo la entidad que arribe inmediatamente ya que este bloque no puede almacenar entidades.

- Ventana de configuración (Figura 14)
1. Capacidad de la cola: Determina la cantidad de entidades que pueden ser almacenadas a la vez, esta cantidad depende de la capacidad de memoria de la máquina en la que se esté desarrollando la simulación.

Figura 14. Capacidad de la cola

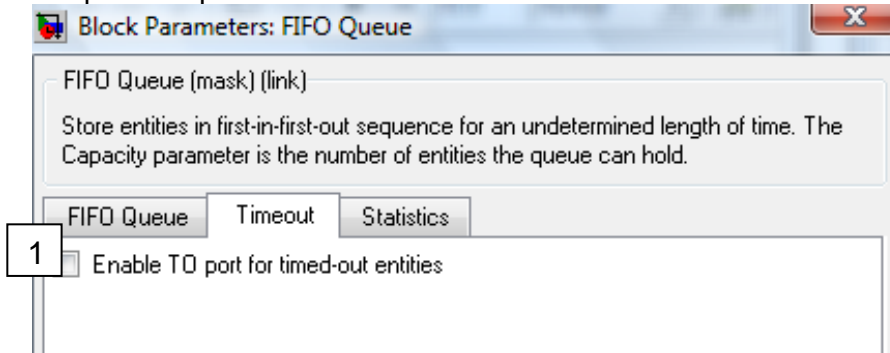


(MATHWORKS 2008)

- Ventana de Configuración (Figura 15)
1. Habilitar esta opción hace que una entidad que cumpla su tiempo en este bloque (time out) que no ha podido ser procesada salga por un puerto externo llamado (TO), al ser seleccionado se integra al bloque funcional una salida donde serán tomados estos datos por el bloque subsecuente a esta.
- Ventana de Configuración (Figura 16)
1. Número de entidades de salida: controla la cantidad de entidades que han salido del bloque.
 2. Número de entidades en cola: Controla el número de entidades en cola.

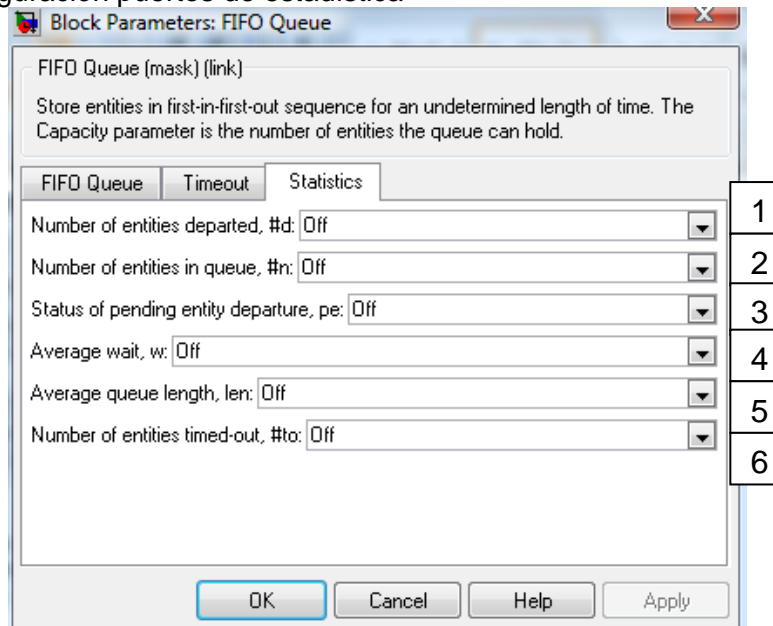
3. Estado de entidad de salida de entidad pendiente: Controla el estado de la entidad que está pendiente en el puerto pe.
4. Promedio de espera: Muestra el tiempo que espera que una entidad demora para salir.
5. Tamaño promedio de la cola: Muestra la cantidad de entidades promedio que están en la cola.
6. Número de entidades de tiempo fuera: Contabiliza cuantas entidades han cumplido su tiempo y por consiguiente han salido por el puerto TO.

Figura 15. Tiempo fuera para las entidades



(MATHWORKS 2008)

Figura 16. Configuración puertos de estadística



(MATHWORKS 2008)

4.3.4 Bloque – Un Servidor (Single Server)

Figura 17. Bloque Funcional – Un servidor

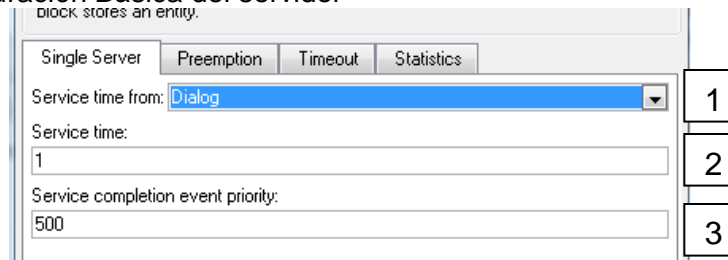


(MATHWORKS 2008)

Este bloque atiende una entidad por un periodo determinado de tiempo y luego parte por el puerto de salida (OUT), si el puerto está en estado de espera por que el bloque siguiente de llegada está ocupado, se puede seleccionar el atributo para que la entidad salga por el puerto TO, así evitar represamientos en el servicio. En las características del bloque se puede configurar el tiempo de servicio que esta dado en segundos.

- Ventana de configuración (Figura 18)
 1. Tiempo de servicio proveniente de: Selecciona de donde proviene el tiempo de servicio.
 - Dialogo: Controlado por los parámetros dispuesto en la ventana.
 - Señal de entrada puerto t: El tiempo de servicio es dado por una señal de entrada.
 2. Atributo: Controla el tiempo de servicio por el atributo de la entidad.
 3. Tiempo de servicio: Solo se habilita si en el numeral 1 se encuentra en Dialog; el tiempo de servicio se da en segundos.
 4. Prioridad de evento: Prioridad con respecto a otros eventos en la misma simulación.

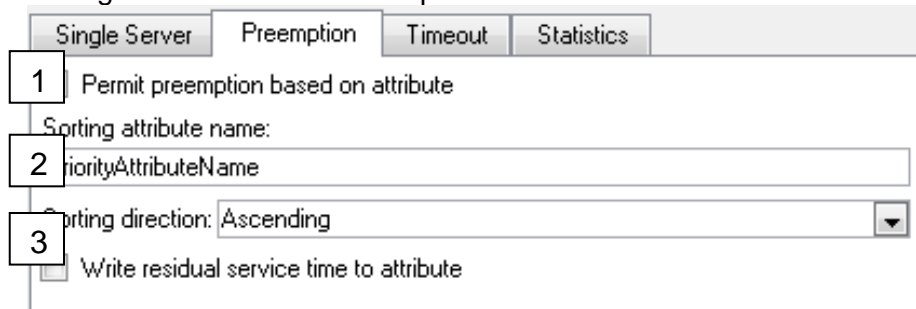
Figura 18. Configuración Básica del servidor



(MATHWORKS 2008)

- Ventana de Configuración (Figura 19)
 1. Permiso de prioridad basada en atributos: Si una entidad tiene una mayor prioridad que otra, esta reemplazará a la otra.
 2. Clasificación nombre de atributo: Se le asigna un nombre al atributo para que sea reconocido en el puerto P.
 3. Escribir tiempo residual de servicio al atributo: selecciona esta opción para colocar a la entidad el atributo sino ha sido priorizado.

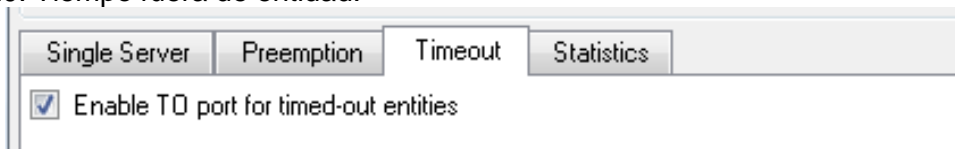
Figura 19. Configuración de atributos de prioridad



(MATHWORKS 2008)

- Ventana de Configuración (Figura 20)
 1. Al seleccionar esta opción se habilita que la entidad parta del bloque por el puerto TO si el puerto OUT estuviera estancado, después de cumplir el tiempo de servicio.

Figura 20. Tiempo fuera de entidad.

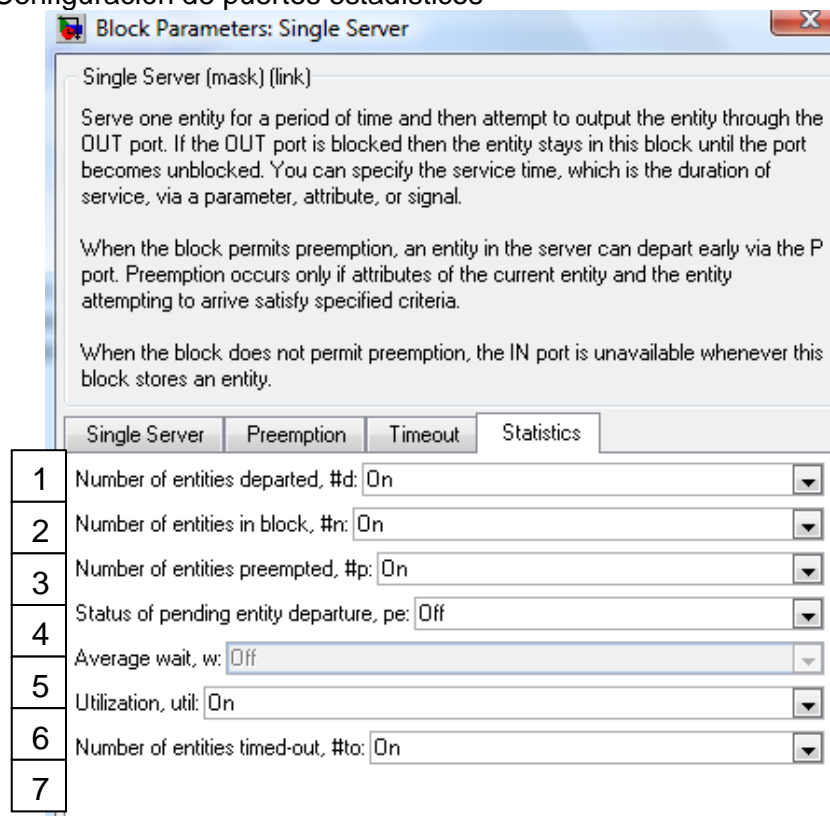


(MATHWORKS 2008)

- Ventana de Configuración (Figura 21)
 1. Número de entidades procesadas: al seleccionarla da una estadística de las entidades que han salido del bloque

2. Número de entidades en bloque: por ser de un solo servidor se encuentra en dos estados 1 y 0.
3. Número de entidades priorizadas: Muestra el número de entidades priorizadas con el atributo que salen por el puerto P.
4. Estado de la entidad: se coloca en 1 si la entidad ha sido procesada pero no ha podido salir del bloque por el bloque subsecuente a este que probablemente no puede recibir aún otra entidad.
5. Espera promedio: muestra el tiempo promedio en que es enviada la entidad de los puertos ya sea OUT o TO.
6. Utilización: Muestra el porcentaje de utilización del servidor, con valores entre 0 (0%) y 1(100%).
7. Número de entidades procesadas por el puerto TO: Muestra la cantidad de partidas que se han hecho por el puerto TO (Tiempo Fuera).

Figura 21. Configuración de puertos estadísticos



(MATHWORKS 2008)

4.3.5 Bloque-N-Servidores

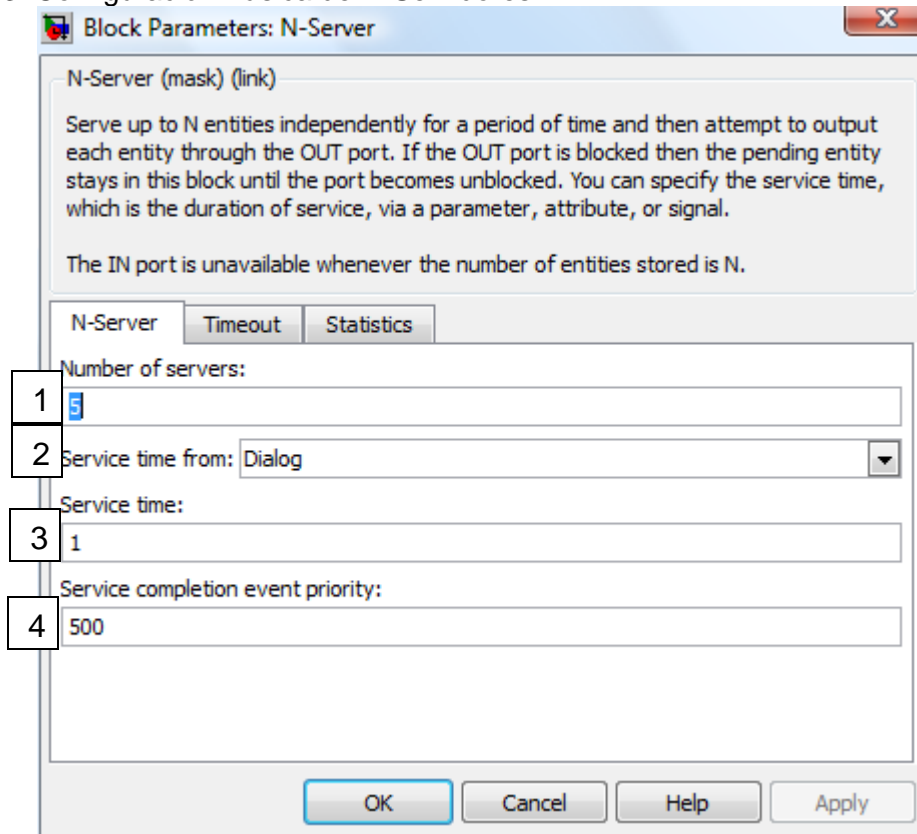
Figura 22. Bloque Funcional N-Servidores



(MATHWORKS 2008)

Este bloque permite sintetizar la cantidad de servidores permitiendo ingresar la cantidad de N servidores que se quieran simular, este es utilizado para la simulación de sistemas Erlang B (sistemas con muchos servidores).

Figura 23. Configuración Básica de N-Servidores



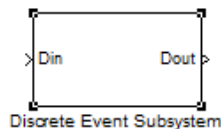
(MATHWORKS 2008)

- Ventana de Configuración (Figura 23)
1. Número de Servidores en el bloque: Se ingresa cuantos servidores va simular el bloque.

2. Tiempo de Servicio Proveniente de: Se configura para que el bloque conozca de donde debe tomar el tiempo de servicio para la atención del usuario, se puede configurar de la siguiente manera:
 - Dialog: Es dado por el mismo bloque con una distribución constante y se asigna en el punto 3.
 - From port: Al seleccionar esta opción en el desplegable el Bloque tendrá una entrada extra que dará la tasa de servicio con que va a servir todos los servidores.
3. Attribute: Esta opción toma la tasa de servicio de un atributo que venga en la entidad, el nombre del atributo debe ser igual al que tiene la entidad para no causar errores.
4. Prioridad de la entidad: al seleccionar esta opción si hay una obstrucción de entidades toma la que tenga una prioridad mayor.

4.3.6 Bloque-Subsistema de configuración

Figura 24. Bloque Funcional-Subsistema



(MATHWORKS 2008)

El Subsistema de configuración es de suma utilidad para ahorrar espacio en la interfaz de simulación, allí se pueden albergar gran cantidad de bloques de cualquier índole, los conectores que se utilizan como salida y entrada son los siguientes:



Conn: Este punto sirve como entrada o salida, solo sirve para que por el transiten entidades.



In: Sirve para que por el ingresen datos de tipo numérico únicamente.



Out: Por el solo parten datos de tipo numérico.

Nota: Dentro de un subsistema no puede ir una Sonda (Scope).

4.3.7 Bloque – Entidad Receptora

Figura 25. Bloque Funcional – Entidad Receptora

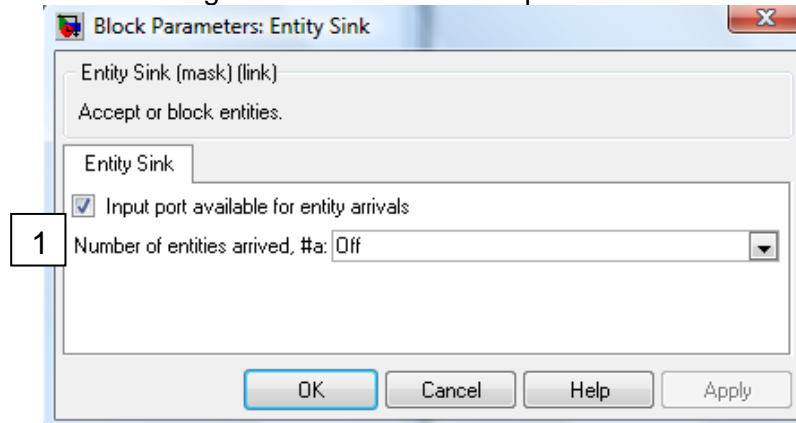


(MATHWORKS 2008)

- Ventana de Configuración (Figura 26)

Los parámetros de este bloque son sencillos de aplicar; al seleccionar la opción permite habilitar la recepción de entidades (así el diseño no generará errores), también cuenta con la opción de un puerto que hará conteo de las entidades que arriban durante la simulación.

Figura 26. Ventana de Configuración – Entidad Receptora



(MATHWORKS 2008)

4.3.8 Bloque Inicio de Reloj

Figura 27. Bloque Funcional-Inicio de Tiempo

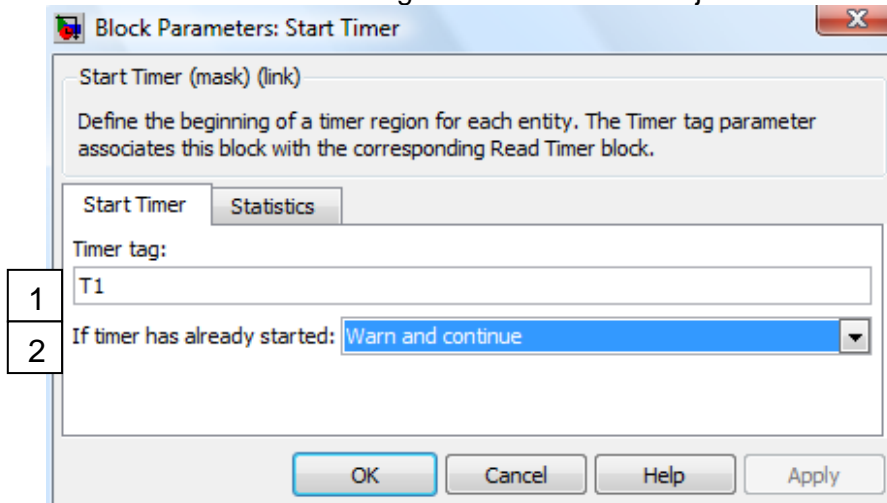


(MATHWORKS 2008)

Este bloque asigna a cada entidad entrante un tiempo de inicio que empieza en cero.

- Ventana de Configuración (Figura 28.)
1. Timer Tag: Funciona como un atributo que le agrega a la entidad, en donde se le asigna un tiempo con una variable que en el caso de la figura 28 es T1, pero puede variar por cualquier nombre, excepto que empiece por un valor numérico.
 2. Si el temporizador ya existe: Esta función es de suma importancia ya que dependiendo para que se esté trabajando será un problema sino se configura de la manera correcta:
 - Avisar y Continuar: Si la entidad ya tiene un tiempo con el mismo nombre de variable y pasa nuevamente por otro bloque Inicio de Tiempo, el bloque no reiniciará el tiempo y lo dejara continuar con una advertencia.
 - Continuar: No realiza ninguna acción.
 - Reiniciar: Esta función reinicia el temporizador de la entidad si pasa por un bloque Inicio de Tiempo desde que la entidad tenga el mismo nombre de variable que el bloque.

Figura 28. Parámetros Básicos de configuración Inicio de Reloj



(MATHWORKS 2008)

4.3.9 Bloque Lector de Tiempo

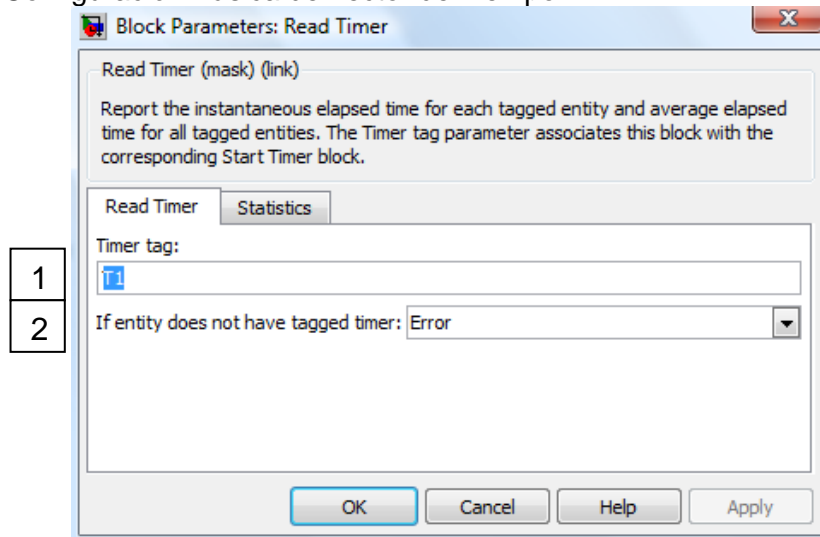
La función del bloque es leer el temporizador iniciado en la entidad dependiendo del nombre de la variable que tenga.

Figura 29. Bloque funcional Lector de Tiempo



(MATHWORKS 2008)

Figura 30. Configuración Básica de Lector de Tiempo



(MATHWORKS 2008)

- Ventana de Configuración (Figura 30)
 1. Timer Tag: Lee el temporizador que tiene la entidad desde que esta tenga el tiempo nombrado de la misma manera.
 2. Si la entidad no tiene el misma variable de tiempo: Se selecciona de que manera va actuar el bloque en el caso que llegara a faltar la variable temporizador en la entidad:
 - Error: Detiene la simulación arrojando un error.
 - Continuar: Si no existe una bandera tiempo sigue con la simulación sin ninguna advertencia al usuario.

4.3.10 Bloque Función Atributo

Figura 31. Bloque Funcional-Función Atributo



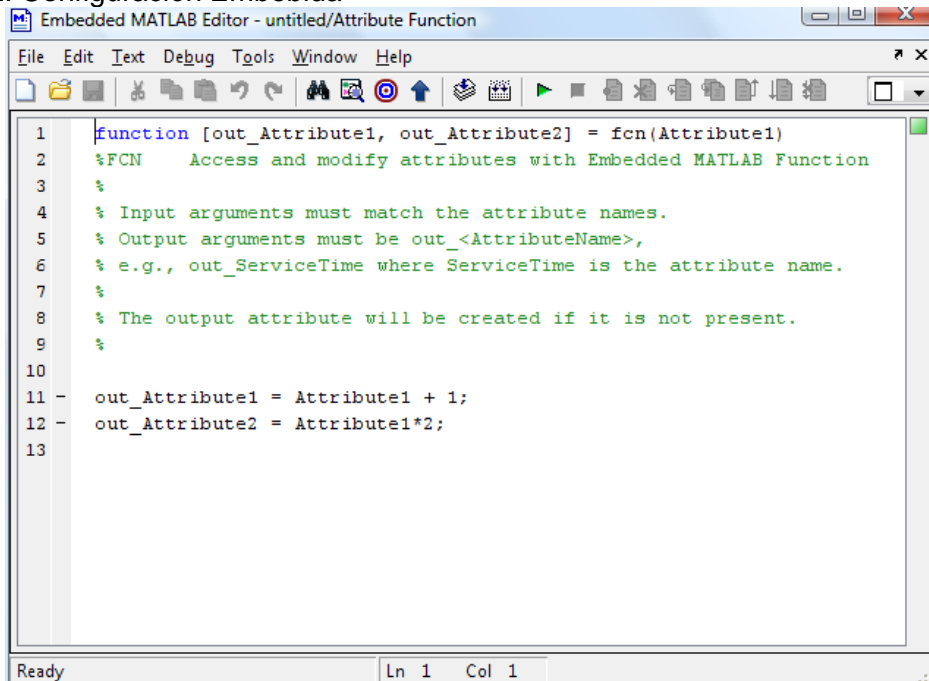
(MATHWORKS 2008)

Este bloque es de mucha utilidad ya que permite hacer una programación embebida sobre un atributo que tenga la entidad. Permitted manipular el atributo para cualquier fin.

Al hacer doble clic sobre el bloque aparecerá una ventana de configuración muy parecida a un m-file (archivo de programación de Matlab), como se muestra en la figura 32; el encabezado de la programación es de tipo function donde los atributos que ingresan por el bloque deben estar referenciados de la misma manera como salida, agregándole el prefijo Out_, por ejemplo si el atributo es Tasa la configuración queda de la siguiente manera:

```
Function [out_Tasa]=fcn(Tasa)
```

Figura 32. Configuración Embebida



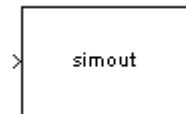
(MATHWORKS 2008)

En donde su la salida debe estar en función de el atributo que fue nombrado.

$out_Tasa = Tasa * 5$ % Cambio del valor del atributo Tasa multiplicándolo por 5

4.3.11 Bloque Exportar al Área de Trabajo

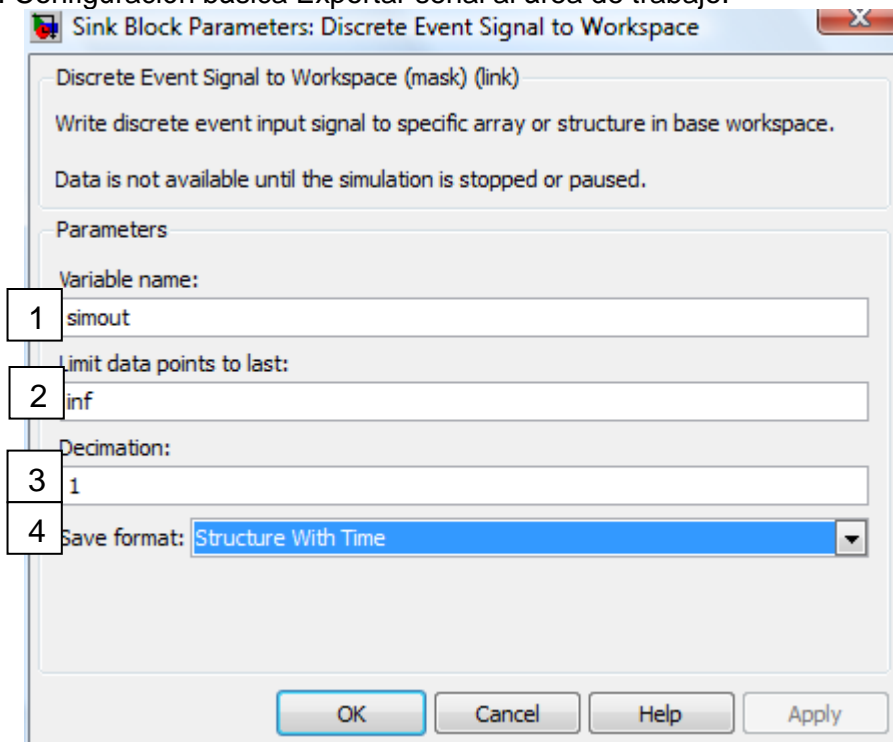
Figura 33. Bloque Funcional –Exportar señal



(MATHWORKS 2008)

La función de este bloque es que al momento justo de terminar la simulación sobre Simevents, exporta los datos donde el bloque fue conectado y los exporta al área de trabajo de Matlab como estructura o vector según haya seleccionado por el usuario, exporta principalmente dos datos: el tiempo en que ocurrió el evento y la magnitud de la señal de ese evento.

Figura 34. Configuración básica Exportar señal al área de trabajo.



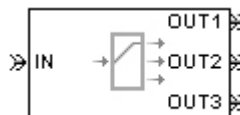
(MATHWORKS 2008)

- Ventana de configuración (Figura 34)

1. Nombre de la Variable: Nombre de la variable la cual va a ser exportada en el Área de Trabajo (WorkSpace).
2. Límite de puntos: Dependiendo el número que se ingrese en esta casilla toma una muestra N de datos y luego los exporta.
3. Cantidad de Decimales: Indica con cuantos decimales se van a exportar los datos.
4. Salvar con formato: Determina cual es el formato como van a ser exportados los datos al Área de Trabajo (Work Space), y las opciones son:
 - Estructura con Tiempo: Exporta la variable con formato estructura y tiempo, para tomar los datos en forma que puedan ser manipulados se realiza de la siguiente forma:
 - `times_values = [simout.time, simout.signals.values];`
 - Estructura: Exporta únicamente los datos obtenidos durante la simulación.
 - Vector: Exporta los datos en forma de vector, Tiempo y Datos.

4.3.12 Bloque Switch de Salida

Figura 35. Bloque Funcional Switch de Salida



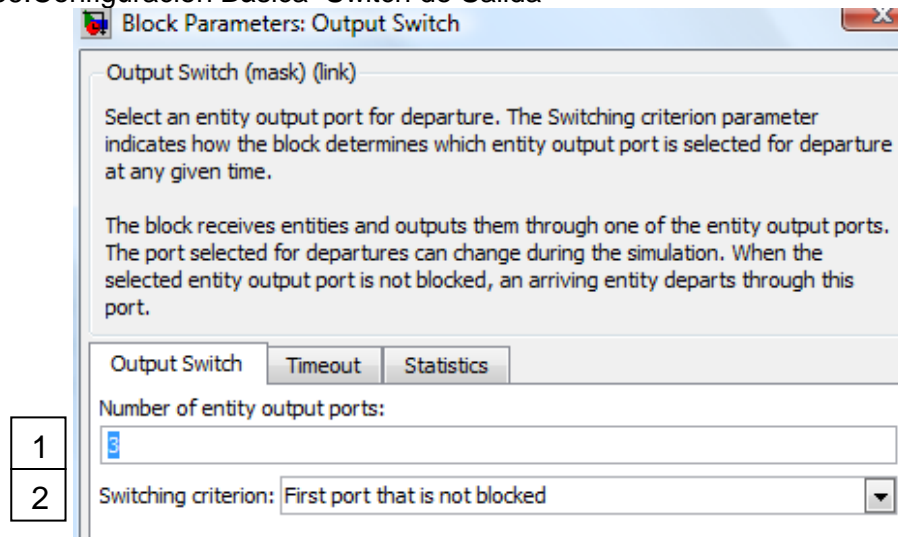
(MATHWORKS 2008)

Este bloque permite que las entidades que lleguen tomen un camino que está determinado según el usuario.

- Ventana de Configuración (Figura 36)
 1. Número de puertos de salida: Asigna el número de rutas por donde saldrían las entidades que ingresen al bloque por el puerto de entrada (IN).
 2. Criterio de selección de rutas: El criterio está definido en cuatro partes que son:

- Primer Puerto que no esté Bloqueado:
- Equiprobable: Todos los puertos tienen la misma probabilidad que las entidades tomen ese camino.
- De un Puerto Externo: Un puerto externo determinará la ruta que van a tomar las entidades.
- De un Atributo: Según el atributo que tenga la entidad determinará la ruta, el atributo debe ser un número entero y que no sea mayor al número de puertos.

Figura 36. Configuración Básica Switch de Salida

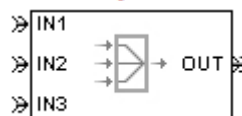


(MATHWORKS 2008)

4.3.13 Bloque Unión de rutas (nodo)

Este bloque permite unir N rutas, dependiendo de la cantidad de rutas que el usuario necesite y lo más importante de este bloque es determinar la entrada de las entidades sin dañar la distribución estadística de llegada evitando las colisiones o los bloqueos.

Figura 37. Bloque Funcional Unión de rutas (nodo)

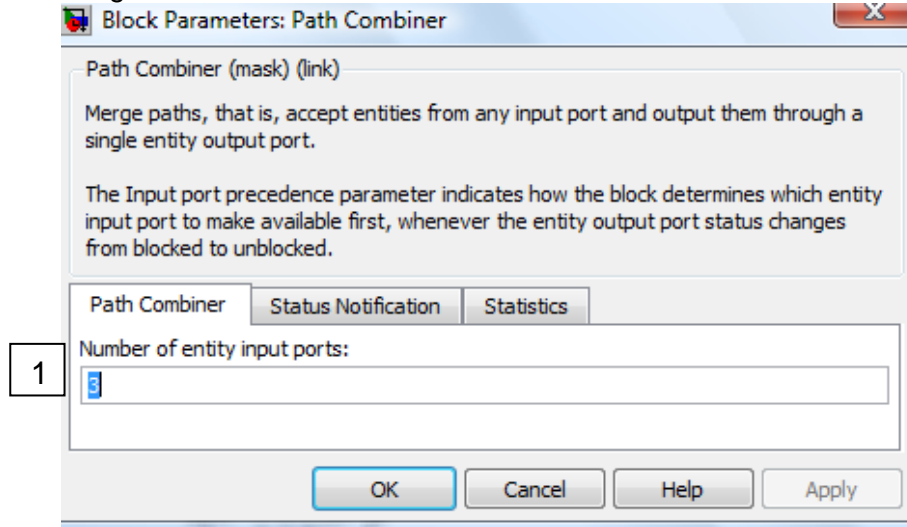


(MATHWORKS 2008)

- Ventana de Configuración (Figura 38)

1. Número de Rutas de Ingreso: Determina el número de puertos que van a ingresar al bloque.

Figura 38. Configuración Básica Unión de rutas.



(MATHWORKS 2008)

4.3.14 Bloques Ir a- Arriba de

Figura 39. Bloques Funcionales Ir a (Goto) y Arriba de (From)



(MATHWORKS 2008)

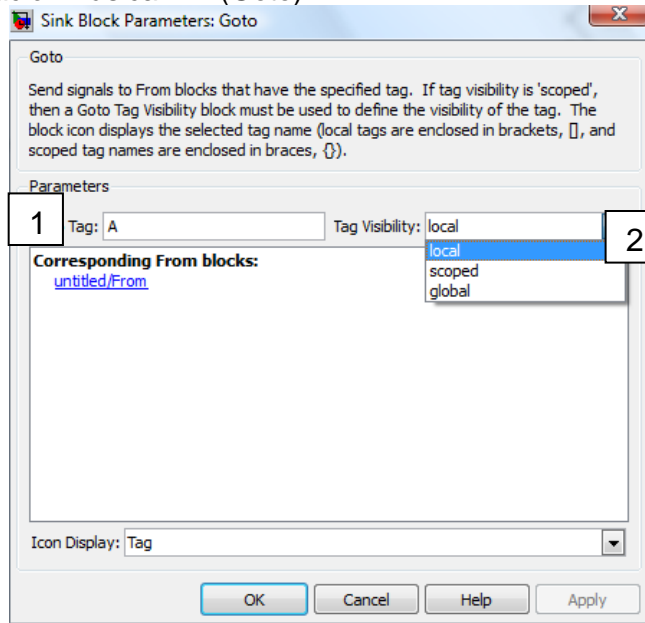
La función principal de estos bloques es evitar la extensión de líneas de conexión entre bloques, se puede caracterizar como un transportador de datos virtual que salen de Goto y llegan hasta From.

- Ventana de Configuración (Figura 40)

1. Ir A Etiqueta: se nombra la etiqueta donde se van a dirigir los datos por ejemplo Tag: A. (el nombre de la etiqueta no puede empezar por número)
2. Visibilidad de la Etiqueta: Representa el alcance que va a tener la etiqueta dentro de la simulación, se dividen principalmente en las siguientes dos:

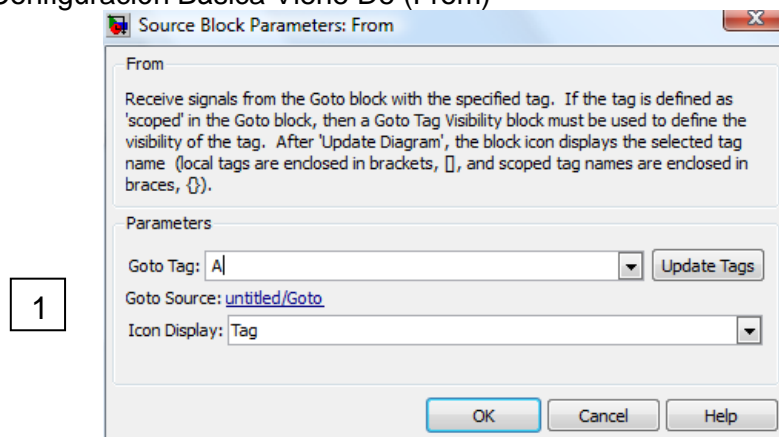
- Local: La vida de la etiqueta únicamente esta dentro del área de Simevents, no tiene vida dentro de los subsistemas.
- Global: La etiqueta tiene vida inclusive dentro de los subsistemas.

Figura 40. Configuración Básica Ir A (Goto)



(MATHWORKS 2008)

Figura 41. Configuración Básica Viene De (From)



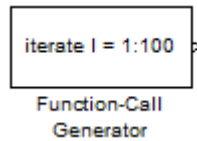
(MATHWORKS 2008)

- Ventana de Configuración (Figura 41)

1. Ir A Etiqueta: Se coloca el nombre de la etiqueta de donde provienen los datos.

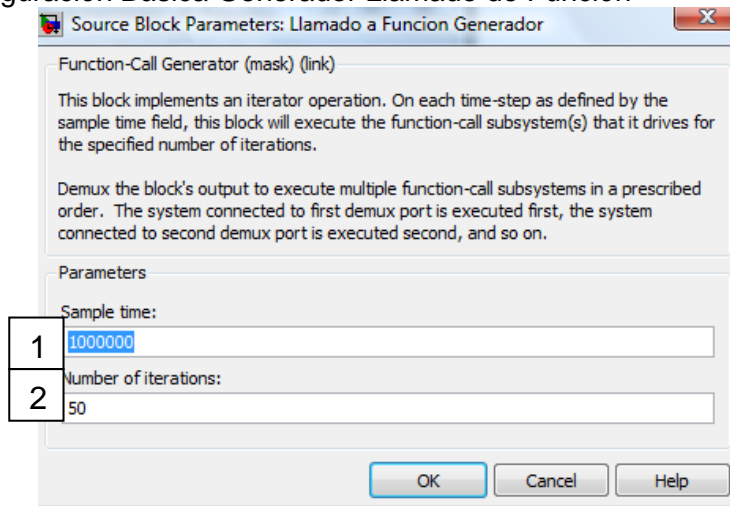
4.3.15 Bloque Generador-Llamado de Función

Figura 42. Bloque Funcional Generador -Llamado de Función



(MATHWORKS 2008)

Figura 43. Configuración Básica Generador Llamado de Función



(MATHWORKS 2008)

- Ventana de Configuración (Figura 43)

1. Tiempo de muestreo: Se coloca el tiempo en que se deben generar las entidades.
2. Número de Iteraciones: Se introducen el número de entidades que se creen instantáneamente, como ejemplo el número de paquetes dentro de una cola cerrada.

4.4 ESTADO DEL ARTE

En el mercado hay gran variedad de programas de software de simulación para hacer modelos de sistemas en tiempo discreto. El desarrollo de estas herramientas están a cargo de grandes compañías que actualmente trabajan con el objetivo de optimizar (hacerla más veloz, que no haya colisiones entre los paquetes) el tráfico de una red de datos, si se habla en el caso de las telecomunicaciones. Sus campos de trabajo están basados en dos tipos, el

desarrollo de herramientas para el ámbito académico y el otro para puesta en marcha en empresas El segundo es el que más ha tenido evolución en los últimos años pues ya no simulan los sistemas sino que instalan aplicaciones que monitorean el flujo de información en la red, tomando los datos en tiempo real dando la solución instantáneamente.

4.4.1 Opnet

El enfoque adoptado por esta empresa es la de comercializar productos para mejorar el rendimiento de las compañías que manejen grandes cantidades de usuarios finales (host). OPNET Technologies, ha puesto los conocimientos adquiridos por su grupo de trabajo en complementos de modelos de simulación. Actualmente esta compañía está trabajando en el modelamiento de tráfico a nivel de redes WAN (hasta ahora se ha trabajado en redes LAN), y para nuevo tipos de servicios que van entrando a medida del tiempo como es el tráfico de voz IP y trazas de tipo de redes de inalámbricas (wireless) (OPNET 2003).

4.4.2 Ns-2

NS-2 es uno de los simuladores más utilizados ya que es un software libre, al ser de este tipo toda su programación se basa en los aportes que realicen los usuarios alrededor del mundo generando que su interfaz gráfica sea desorganizada y por tanto complicada de manejar. Es una herramienta muy potente ya que cualquiera que conozca de su programación puede elaborar bloques funcionales e importarlos en su librería, por tal razón es una herramienta que está en constante cambio, como se conoce su última recopilación del software se hizo en octubre de 2008 y se presentó avance en nuevos tipos de tráfico como lo es de voz IP, protocolo IP versión 6.(Aurelio 2004; Campos 2008)

4.5 LIMITACIONES Y ALCANCES

La propuesta de implementación de la guías para la asignatura Sistemas de Espera se desarrolla en la herramienta de simulación de SimEvents que es un integrado (toolbox) de Matlab; para poder trabajar sobre este programa es necesario que se encuentre licenciado, donde la adquisición de esta se encuentra alrededor de \$10.000.000, para el caso de este proyecto se descarga la versión de prueba que da un tiempo de un mes sin ningún tipo de limitación de software durante este periodo, pero como las guías se desarrollan durante un semestre el tiempo ofrecido como de prueba no es suficiente elaborar todas las guías (allí es donde se presenta la mayor limitante).

Otra de las limitaciones son los requerimientos técnicos recomendados y exigidos por Matlab que son:

- Memoria RAM: 1GB
- Procesador: 2.4GHz
- Espacio en Disco Duro: 5 GB.
- Versión: MATLAB 2007a.
- Sistema Operativo: Windows XP o superior, Linux

Sin estos requerimientos, no se asegura el adecuado funcionamiento de las aplicaciones que sobre allí corran.

Los alcances de la propuesta son ambiciosos: entre otros, le brinda al estudiante una herramienta de interacción con sistemas de colas en tiempos simulados discretamente y no solamente en resultados teóricos, esto permite que haya corroboración de datos y por consiguiente un total análisis sobre los sistemas propuestos a partir de las variables ingresadas por el usuario.

Después que el estudiante obtenga la destreza necesaria con la herramienta, podrá proponer nuevos modelos de comportamiento de tráfico que no vienen predeterminados en Simevents, también se puede importar trazas, los cuales de la misma forma aplicarían a modos de servicio y a tiempos de llegada de las entidades, como también realizar algoritmos de enrutamiento que optimicen el retardo en redes, costos y demás.

Estadísticamente el 80% de los proyectos de grado que se están trabajando actualmente están basados en alguno de los integrados de Matlab, es allí donde se ve el potencial de esta herramienta para el desarrollo de buenas prácticas de laboratorios ya que abarca la mayoría de las asignaturas de ingeniería electrónica y telecomunicaciones donde se pueden hacer propuestas de simulación, programación y elaboración de gráficos.

5. DISEÑO METODOLÓGICO

La metodología que se implementó en la realización del proyecto está basada en el método científico: observación que es la iniciación, hipótesis (planteamiento del problema), experimentación (desarrollo del problema) y conclusiones, los pasos a seguir fueron:

- Descripción de los temas que se ven en la asignatura Sistemas de Espera para enfocar el desarrollo del proyecto sobre estos.
- Comprender el manejo de simulación de sistemas por eventos discretos conociendo sus características y ventajas para así realizar una relación entre los temas descritos en el paso anterior.
- Conocer los límites de la herramienta de simulación para garantizar un adecuado desarrollo de la solución del problema.
- Entender y redactar los conceptos de forma clara sobre el funcionamiento de la herramienta SimEvents.
- Aprehensión de los bloques generadores (entidades) su manipulación, forma de conexión y tipo de distribuciones.
- Relacionar los atributos con los bloques generadores identificando las características complementarias que se le pueden asignar a estas.
- Manejar a la perfección las configuraciones de colas que se puede modelar.
- Identificar la manera en que se pueden visualizar los resultados obtenidos.
- Comprender los bloques funcionales que son necesario para la conexión de los aspectos anteriormente señalados.
- Realizar pruebas de funcionamiento de la herramienta SimEvents comparándola con datos obtenidos de forma matemática, poniendo en práctica todos los conceptos adquiridos en clase.
- Elaborar las guías de laboratorio con la respectiva explicación previa de la forma de realizar las simulaciones y proponer ejercicios que amplíen los conocimientos de los estudiantes.

- Dar solución a cada una de las guías para encontrar posibles errores.
- Redactar el documento

6. DESARROLLO

La realización de las guías de trabajo propuestas en este proyecto, esta basada en estándares y procedimientos con el objetivo de obtener un máximo aprovechamiento por parte los estudiantes. La Fundación Universitaria San Martín propone un modelo para la elaboración de documentos, y acogiendo los requerimientos por la misma cada guía se realizará sobre los siguientes lineamientos:

- 1. Objetivos
- 1.1. Objetivos generales
- 1.2. Objetivos específicos
- 3. Requerimientos (Bloques Funcionales)
- 4. Ejercicios Propuestos
- 5. Análisis de resultados.

El diseño de la guía se puede observar en el Anexo A

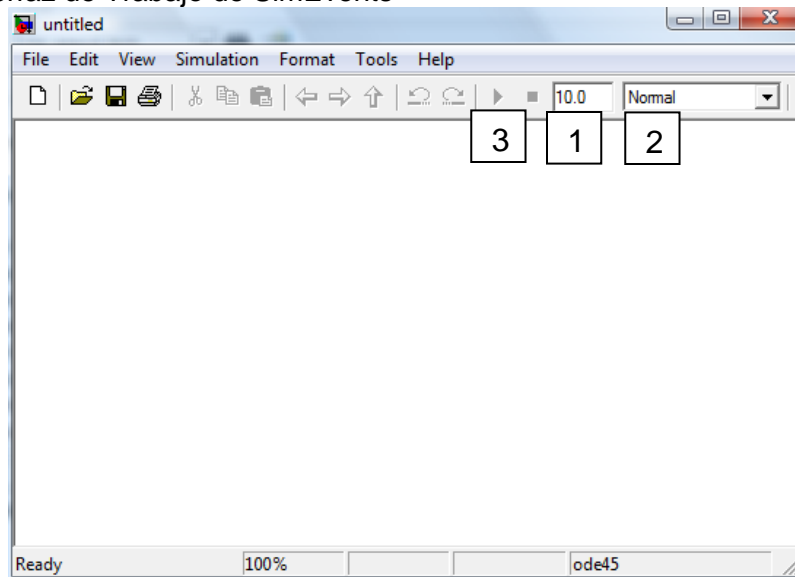
6.1 USO DE SIMEVENTS EN LAS GUÍAS

La interfaz de SimEvents (igual a Simulink) la cual es mostrada en la Figura 44, permite que el usuario interactúe de diversas formas dependiendo de qué y cómo quiere analizar los sistemas. Por ejemplo, no es igual el tiempo que tarda en establecer un parámetro fijo la simulación en un sistema con una medida de tráfico (Erlang) mayor a 10 a uno que este en 1, o también uno donde el λ (velocidad promedio a la que arriban los usuarios al sistema) sea mayor en 50 usuarios por unidad de tiempo a μ (velocidad promedio a la que son atendidos los usuarios). Es por eso que es necesario manejar los tiempos de simulación dependiendo básicamente de esos dos factores.

- Interfaz de Trabajo SimEvents (Figura 44)
1. Tiempo de simulación: refiere a las unidades de tiempo que van a ser simuladas. Aunque este tiempo puede ser igual para varios sistemas, el proceso de simulación demorará más en arrojar los resultados para sistemas de mayor caudal. Por ejemplo, el primer sistema que se plantea en la Guía No

1. Considérese una fuente con distribución exponencial donde inicialmente λ es 10, el tiempo de simulación es de 10 unidades, tardará 2 segundos en tiempo real en terminar el proceso; ahora cuando λ es 1100, el tiempo real de simulación es de 5 segundos, y es ciertamente lógico ya que demorará mucho más tiempo en generar una mayor cantidad de entidades en la misma unidad de tiempo de simulación.
2. Forma de Simulación: En esta opción varia el modo de velocidad a la que va ir la simulación, puede ser Normal, Acelerado, Súper Acelerado y Externo. Al realizar las pruebas para encontrar como variaba una simulación con velocidad Normal a una Acelerada o una Súper Acelerada, se encontró que en promedio demoraban el mismo tiempo real.
3. Play y Detener: Siguiendo al montaje del esquema se oprime la tecla Play para iniciar la simulación, en donde se puede parar en cualquier momento por el botón Detener.

Figura 44. Interfaz de Trabajo de SimEvents



(Mathworks 2008)

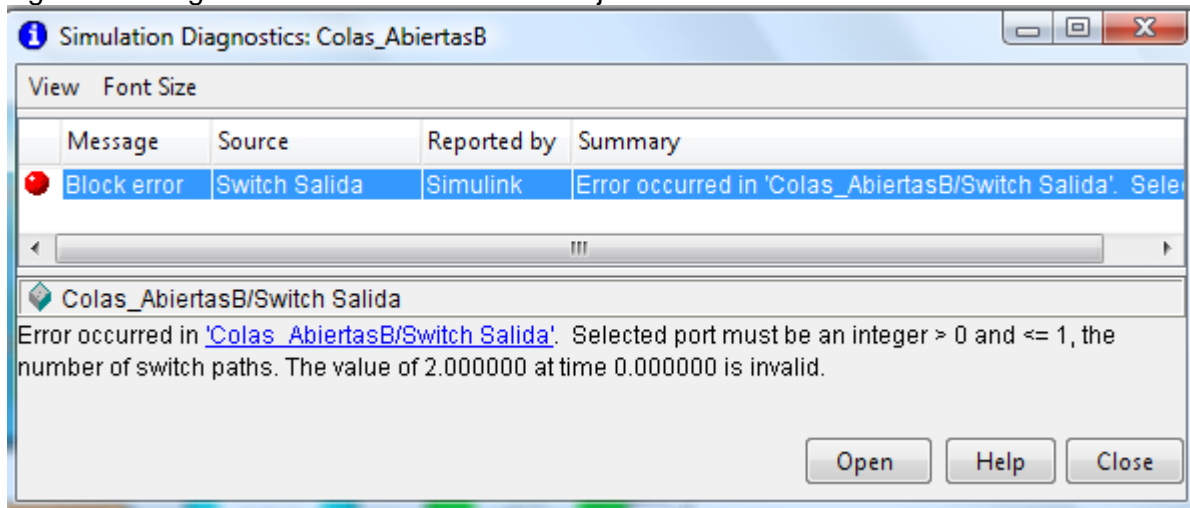
6.1.1 Errores

Hay dos tipos de manejo de los errores sobre SimEvents: por la indebida conexión de los bloques y los provocados intencionalmente por el usuario.

- Indebida conexión de los bloques: Aunque la herramienta de simulación maneja puertos que solo permiten ser conectados entre bloques que manejan

el mismo tipo de tipo de datos, ya sean double, int 8, o entidades, hay excepciones a la regla en donde el dato no corresponde al valor esperado por el bloque, pero una de las grandes ventajas de SimEvents es que indica en un cuadro de dialogo en que bloque se produjo el error y una posible solución como es mostrado en la figura 45

Figura 45. Diagnóstico de la simulación Manejo de Errores



(MATHWORKS 2008)

- Provocados por el usuario: Estos errores le permiten al usuario detener la simulación para eventos que puedan afectar el resultado de la práctica. Por ejemplo el Bloque Funcional Generador de Entidades Basada en Tiempo, tiene la opción Generar Error cuándo hay un bloqueo (estado de ocupado) por parte del bloque siguiente, si no se provocará este error se pausaría la creación de entidades dañando la distribución seleccionada.

6.1.2 Para facilitar el trabajo en SimEvents

Para que cualquier esquema sobre SimEvents sea entendido rápidamente, se hace una clasificación por colores dependiendo la función que desempeñen los bloques y se clasificarán en:

- Bloques Primarios: se denotan así los bloques que generan las entidades (usuarios que pueden ser clientes, paquetes, entre otros) (Azul).
- Bloques Secundarios: clasifican los bloques que realizan algún tipo de intervención con la entidad, ya sea colocar un atributo, pasar por un proceso (colas, servidores) (Verde).

- Bloques Terciarios: son en los cuales la entidad es descargada de la simulación. Estas pueden estar dadas por un bloque receptor, por una sonda (scope) o un Display (Naranja y Cyan).
- Bloques Cuaternarios: son los bloques que solo tienen que ver con una función específica en la simulación como por ejemplo los Inicio de Tiempo y Lector de Tiempo (Incoloros).

6.2 GUÍA DE LABORATORIO N° 1

En la primera guía de laboratorio se desarrolla lo básico de la asignatura Sistemas de Espera. A partir de una variable aleatoria (VA) conocer la distribución que forma el tiempo de arribo entre las peticiones de los usuarios. Comprender que las fuentes simulan estos arribos es el objetivo de esta guía.

6.2.1 Configuración de los bloques

- Bloques Primarios: El bloque Generador de Eventos Basado en Tiempo representa la fuente donde el intervalo de tiempo en generar una entidad está dado por una distribución que posee una variable aleatoria, este ofrece tres opciones de distribución de probabilidad: Exponencial, Continua y Uniforme.
- Bloques Secundarios: En los bloques secundarios se encuentra: “Colocar Atributos”. La función de este bloque es únicamente la de intermediario para activar en la pestaña estadística el puerto #d, el cual es un contador de las entidades que han partido del bloque.
- Bloques Terciarios: Se encuentran tres tipos de bloques: Sonda, Entidad Receptora y Simout. La primera se utiliza para observar de manera gráfica el arribo de las entidades, la Entidad Receptora descarga de la simulación las entidades dadas por el bloque Atributo, y el bloque Simout, exporta los datos para que puedan ser manipulados como un vector, que para interpretación, son los tiempos de arribos.

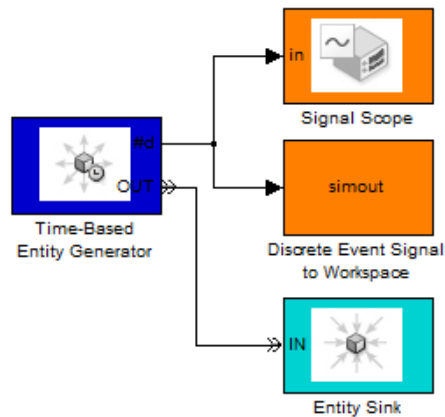
6.2.2 Simulación

La conexión de los bloques dados por Figura 46, permite simular una fuente generadora de tráfico con una distribución determinada por el usuario, observando por los bloques terciarios el comportamiento en tiempo simulado.

6.2.3 Sobre la guía

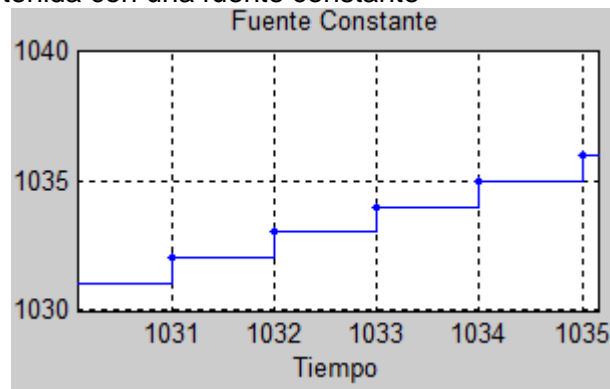
Sobre el ejercicio 1 se trabaja la introducción a la interfaz de Matlab a través de un sencillo ejercicio. Configurar las distribuciones implementadas por SimEvents y hallar el tiempo promedio entre arribos a partir de la gráfica completando una tabla, se comprobará cuantas muestras son necesarios para tener valores aproximados a los deseados.

Figura 46. Esquema Guía No 1



(MATHWORKS 2008)

Figura 47. Gráfica obtenida con una fuente constante



(MATHWORKS 2008)

Para demostrar que la fuente cumple con la distribución asignada en el bloque funcional de manera más exacta, es necesario desarrollar un programa arroje el valor medio ($1/\lambda$). Se busca que el estudiante determine cuantas entidades se necesitan para que el λ simulado sea lo más cercano posible al ingresado.

Se propone el siguiente programa:

```

y = [simout.time];
lon = length (y);      % Tamaño del vector
x=y(2:lon)-y(1:lon-1); % Los tiempos entre arribos.
sum(x)/lon             % Calcula la media

```

Para el ejercicio 3 se propone completar una tabla con la Función de Distribución de Acumulativa (FDA) de una variable aleatoria exponencial, que le permite al estudiante dar una idea de cómo varía dependiendo del tiempo (x) y λ . El resultado se muestra de manera porcentual y se propone el siguiente programa para completar la tabla:

```

x=0.0001;             % Cambiar valor dependiendo de x
y = [simout.time];
lon = length (y);     % Tamaño del vector.
z=y(2:lon)-y(1:lon-1); % Los tiempos entre arribos.
cont=0;               % Variable contador
for i=1:lon-1
    if z(i)<x;
        cont=cont+1;
    end
end
cont/(lon-1)         % porcentaje de arribos menores a x

```

6.3 GUÍA DE LABORATORIO 2

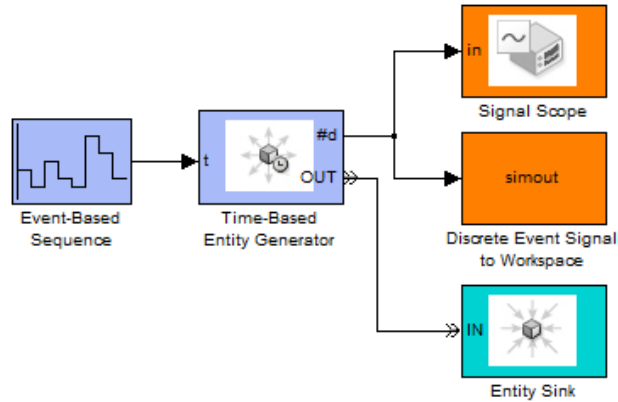
En la segunda guía se trabaja sobre fuentes de tráfico basadas en una traza con el fin de observar la diferencia entre las fuentes vistas en la Guía No 1. Se tomaran trazas de varios puntos de red para su posterior análisis.

6.3.1 Configuración de los bloques

- Bloques Primarios: Generador de Entidades Basada en el Tiempo. Se configura para que las entidades se generen a partir de un puerto externo; Eventos Generados a Partir de una Secuencia, se importa la variable de la traza para poder simularla.
- Bloques Terciarios: Receptora de Entidades
- Bloques Cuaternarios: Sonda graficadora.

6.3.2 Simulación

Figura 48. Implementación de una traza en Matlab



(MATHWORKS 2008)

6.3.3 Sobre la guía

Para comenzar con la práctica es necesario tomar las trazas de tráfico de las redes con un programa especializado en capturar paquetes. Como propuesta se utiliza el programa WireShark.

La tabla 3 es propuesta para elaborar una estadística de las trazas capturadas con el programa anterior.

Tabla 3. Estadística general de captura de trazas

TRAZA	Tiempo Capturado	Número de Trazas	Tiempo Capturado	Número de Trazas	Tiempo Capturado	Número de Trazas
CASA						
UNIVERSIDAD						
Café Internet						

Con las 9 trazas obtenidas (tres por cada red), se importa a Matlab de la siguiente forma:

```
>>y=["valores importados de Excel"];
```

Después de tener la traza en la variable “y” abra un nuevo archivo de SimEvents. Para que la Entidad Generadora pueda ser conectada es necesario activar el

puerto t y en el Bloque Basado en una Secuencia borre el vector que aparece por defecto y coloque la variable “y”.

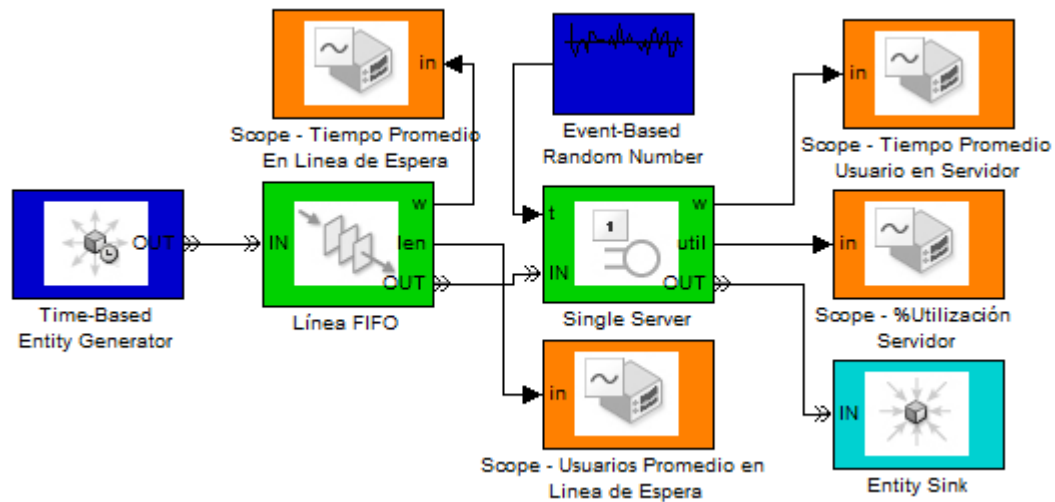
Importe los datos dentro del bloque funcional “Event-Based Sequence”, en el cual se albergarán las trazas capturadas por el WireShark que fueron depuradas en el ejercicio 2, asígnelas a las variables que usted apetezca, simule cada una de las trazas y halle el valor medio de tiempos entre peticiones.

6.4 GUÍA DE LABORATORIO 3.1

En la guía numero tres se centra la mayoría de las cátedras de la materia sistemas de espera por tal motivo se implementa guías con subíndices para que puedan ser desarrolladas con relación a como se desarrolla la clase.

6.4.1 Simulación

Figura 49. Esquema sobre Simevents de una cola M/M/1/∞/∞,



(MATHWORKS 2008)

La notación Kendall (define la disciplina de la cola) para el tipo de colas trabajado en esta guía es M/M/1/∞/∞, que denota que tiene un solo servidor con una línea de espera infinita. Para la práctica se propone la configuración en la Figura 49, que maneja esta disciplina de cola.

6.4.2 Configuración de los bloques

- Bloques Primarios: Generador de Entidades Basada en el tiempo y Evento Basado en un Número aleatorio.

- Bloques Secundarios: Cola FIFO, se utiliza con capacidad de inf, y Un Servidor donde su tasa de servicio está dado por el puerto.
- Bloques Terciarios: Sondas las cuales grafican las variables de interés. Es necesario nombrar respectivamente estos bloques para que no hayan confusiones sobre lo que se está graficando, Entidad Receptora.
- Bloques Cuaternarios: Sumador, como su nombre lo indica suma entre dos o más vectores.

En el ejercicio uno se propone completar la tabla 4. para definir: primero el tiempo de simulación que es necesario para que el sistema arroje un valor fijo y segundo comparar los valores simulados con respecto a los teóricos hallando la relación error.

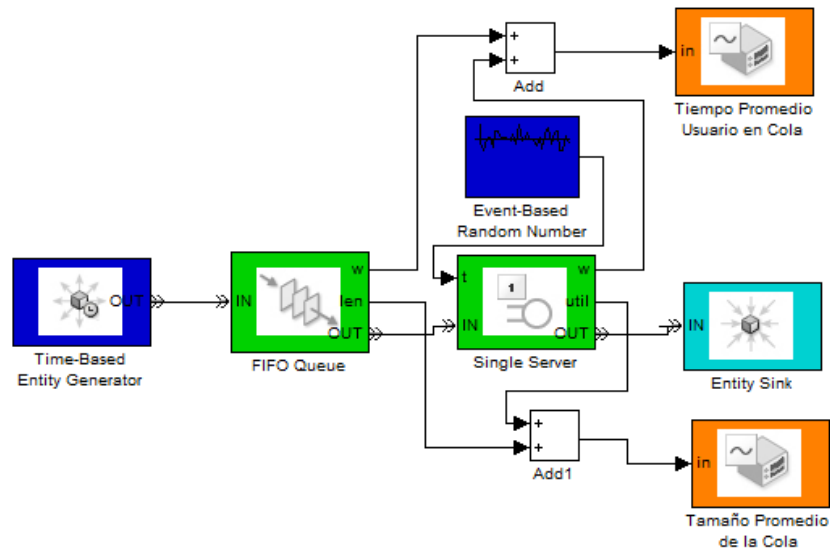
Tabla 4 Guía No 3.1 Sistema de Cola $M/M/1/\infty/\infty$,

Tiempo Simulado	λ	μ	TP un usuario en Línea de Espera	TP un Usuario en Servidor	TP un Usuario en Cola (Valor Teórico)	%Utilización del Servidor	Numero prom Usuarios en cola	Tamaño Promedio de la cola (Valor Teórico)
2000	6	10						
200	300	350						
200	1000	1001						
1000	1000	1001						
1000	30	40						
20000	39	40						

Después de hallar los valores de la tabla se nota la relación que existe entre los tiempos promedios de la línea de espera y el servidor, con el valor teórico del retardo de la cola, un error muy común es asumir que el Tiempo Promedio de un Usuario en Línea de Espera es T_w para la cola, igualmente ocurre con el Tamaño promedio de la cola.

Ahora como en realidad los parámetros de interés son sobre la cola y no sobre lo que la compone, se propone la creación de un sistema por parte del estudiante que halle estos parámetros de interés; en la Figura 50, se realiza una sencilla suma de vectorial de los parámetros de la línea de espera con el servidor.

Figura 50. Esquema Propuesto Guía 3.1 Ejercicio 2 Proponer un sistema que halle las variables de interés.



(MATHWORKS 2008)

6.5 GUÍA DE LABORATORIO 3.2

La notación Kendall para el tipo de colas trabajado en esta guía es $M/M/1/K/\infty$, que denota que tiene un solo servidor con una línea de espera finita la cual está dada por $k-1$, para la práctica se propone la configuración en la Figura 53.

6.5.1 Configuración de los bloques

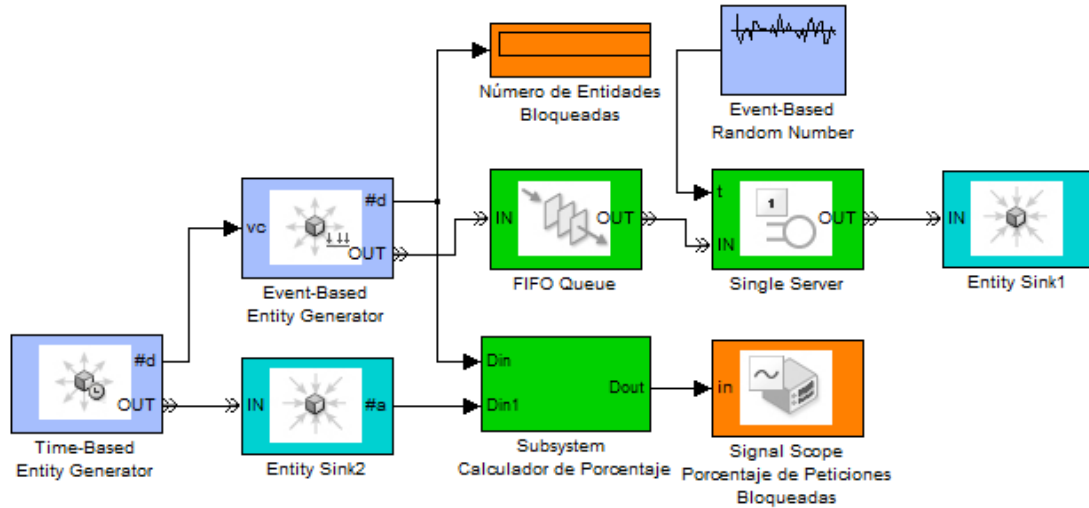
- Bloques Primarios: Generador de Entidades Basada en el tiempo y Evento Basado en un Numero aleatorio.
- Bloques Secundarios: Cola FIFO, se utiliza con capacidad de $k-1$, Un Servidor.
- Bloques Terciarios: Sondas, Entidad Receptora, Display bloque funcional que permite ver de manera numérica los valores enteros de una función.
- Bloques Cuaternarios: Sumador.

6.5.2 Simulación

- Problemas cuando hay bloqueo en la cola

Un parámetro de interés en la cola $M/M/1/K/\infty$ es el porcentaje de bloqueo el cual consiste en la probabilidad de cuantos usuarios serán rechazados en el sistema cuando la línea de espera está en el estado K.

Figura 51. Esquema para cola $M/M/1/K/\infty$



(MATHWORKS 2008)

Las entidades trabajadas en las guías anteriores son generadas por el Bloque Funcional Generador de Entidades Basada en Tiempo. El problema radica en la forma que responde el bloque cuando hay bloqueo (estado de ocupado) por parte del bloque siguiente a este (línea de espera), hay dos opciones: pausar la generación o provocar el error. La segunda opción es descartada instantáneamente ya que se necesita el bloqueo para hallar el parámetro, y la primera opción daña la distribución porque pausa la generación causando que no se puedan contar las entidades bloqueadas.

Para dar una perspectiva más clara sobre el problema de bloqueo que se generaría en una fuente Basada en el Tiempo, se plantean los esquemas en la Figura 52. El primer modelo tiene una línea de espera 2, entonces $k=3$, en donde se observa que la función pendiente de la generación de entidad se activa reiteradamente, además como ambos modelos funcionan en paralelo y tienen el mismo valor inicial (*Initial Seed*) junto al tráfico, entonces son modelos que se pueden comparar para encontrar cuantas entidades se dejan de generar.

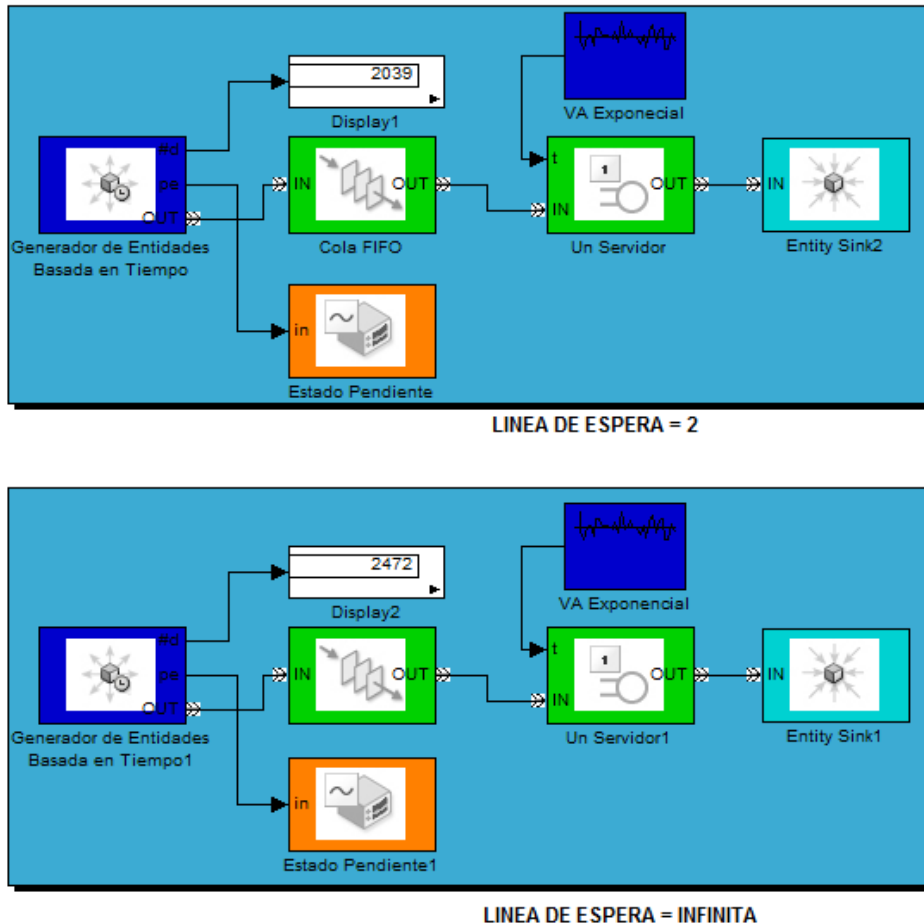
El experimento se realiza bajo los siguientes parámetros.

- $\lambda=25$
- $\mu=26$

- Tiempo Simulado=100

Para el sistema que tiene la línea de espera infinita las entidades generadas fueron de 2472, en cambio con el sistema con línea de espera $k=3$, las entidades generadas fueron de 2039, significa que las bloqueadas fueron 433 para un porcentaje de bloqueo de 17,5%.

Figura 52. Comparación de colas con y sin bloqueo

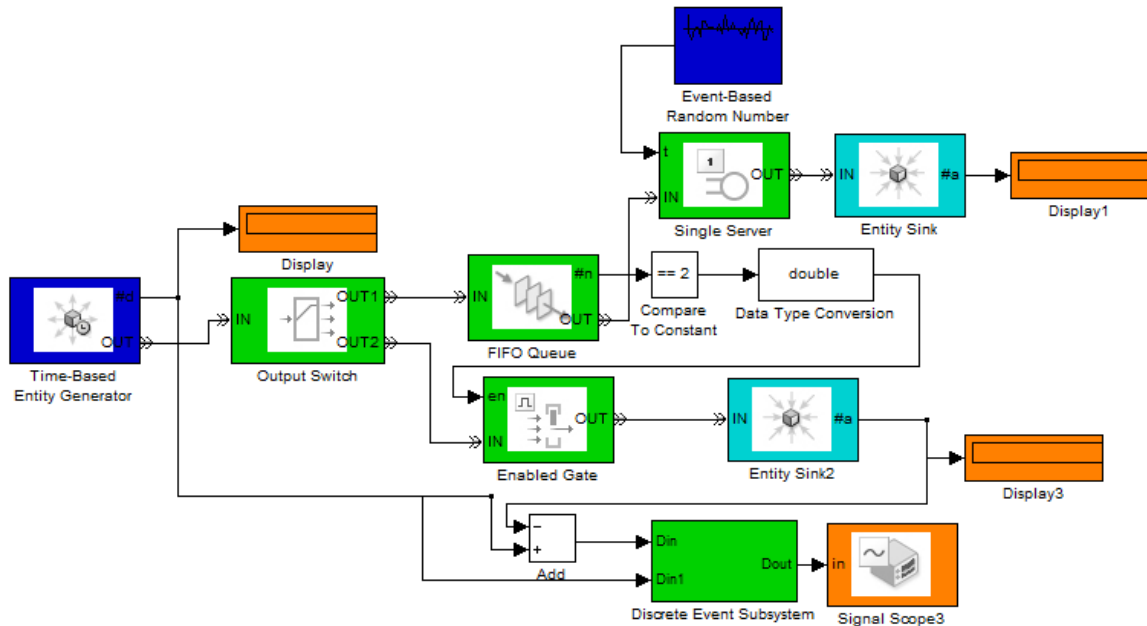


(MATHWORKS 2008)

Si se quisiera encontrar las entidades bloqueadas con esta metodología sería un poco extenso ya que siempre sería necesario hacer un sistema espejo (colocar otra cola con los mismos parámetros), para hacer la diferencia y hallar las entidades bloqueadas. Para optimizar se plantean dos sistemas que son mostrados en la figura 53 y 54 respectivamente cada uno con unas características específicas pero ambos valaderos.

El esquema de la Figura 53 se implementan dos nuevos bloques: Comparador y el Enable Gate (Puerto Habilitado) cumpliendo la función de comparar el número de entidades con la longitud de la línea de espera ($k-1$), siendo la condición verdadera se abrirá la compuerta para que las entidades pasen por la otra ruta, en el momento que se deje de cumplir la condición el bloque Enable Gate se cerrará.

Figura 53. Sistemas de colas con bloqueo, esquema 1.



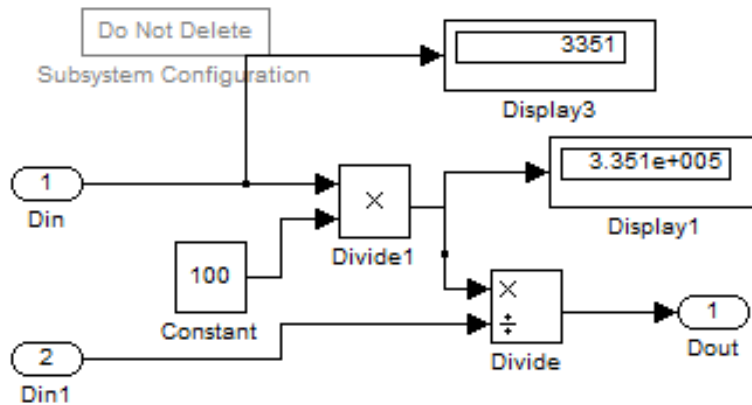
(MATHWORKS 2008)

En la figura 51 se muestra el esquema escogido para realizar las prácticas de colas con bloqueo, el motivo es sencillo, a pesar de que el esquema tiene la misma función y no hay ningún tipo retardo en la simulación es más sencillo realizar el montaje del segundo sistema por disminuir la cantidad de bloques.

El subsistema que realiza el cálculo del porcentaje es una regla de tres implementado en la Figura 54.

El ejercicio 1 para esta guía consiste en completar la Tabla 5, donde se hace una verificación en la simulación donde el porcentaje de bloqueo se compara con la probabilidad de bloqueo, al observar el error dependiendo de los datos propuestos en la tabla el estudiante responderá las preguntas siguientes con respecto al análisis que pueda hallar, también esta práctica es interesante porque no únicamente hallarán las probabilidades de bloqueo a partir de los parámetros sino que tendrá que encontrar los parámetros a partir de la probabilidad.

Figura 54. Calculador de porcentaje



(MATHWORKS 2008)

Las preguntas propuestas para la práctica son las siguientes

- a. Diseñe un esquema para hallar A (tráfico) en tiempo simulado, el cual se pueda observar de manera constante en un Scope.
- b. Diseñe un esquema para hallar el tiempo promedio de un usuario en la cola.

Tabla 5. Ejercicio 1 de la Guía 1, Probabilidades de bloqueo

Tiempo Simulado	λ	μ	k	% Probabilidad Bloqueo (Simulación)	Probabilidad de Bloqueo (Teórico)
5000	23	45	5		
1500	44	45	4		
	40	80			0.001
			3		0.003
	102		5	1.5	
		500	2	20	

Para contestar el literal a, el tráfico generado en un sistema de cola es calculado por la Ecuación 11, sobre Simevents la manera más práctica es por medio del puerto w que está en posición de activar cuando el usuario así lo convenga; al encender la selección w en la pestaña de puertos estadísticos el valor arrojado por este consiste en la velocidad media de generación de usuarios ($1/\lambda$), en el caso del bloque fuente, para el bloque que da el tiempo de servicio es necesario activar la misma opción recordando que este igualmente arroja un tiempo medio ($1/\mu$),

partiendo de que los parámetros necesarios para calcular son inversos, se realiza la operación de diferencia invirtiendo los valores medios en la Ecuación 11.

Ecuación 11. Tráfico en un sistema de colas.

$$A = \frac{\lambda}{\mu}$$

La propuesta en el literal *b* es la de realizar un esquema para hallar el tiempo promedio de un usuario en la cola con notación **M/M/1/K/∞**. Como se ha concluido, este tiempo es dado por el tiempo promedio de espera del usuario en la línea de espera y en el servidor, así que se realiza una sumatoria de estos dos valores medios dando como resultado el esquema propuesto.

6.6 GUÍA DE LABORATORIO 3.3

Esta guía de trabajo se centra en la cola **M/M/K/K/∞**, conocida como un sistema Erlang B, donde los recursos *K* son el número de servidores, con la característica especial de que no tiene línea de espera.

6.6.1 Configuración de los bloques

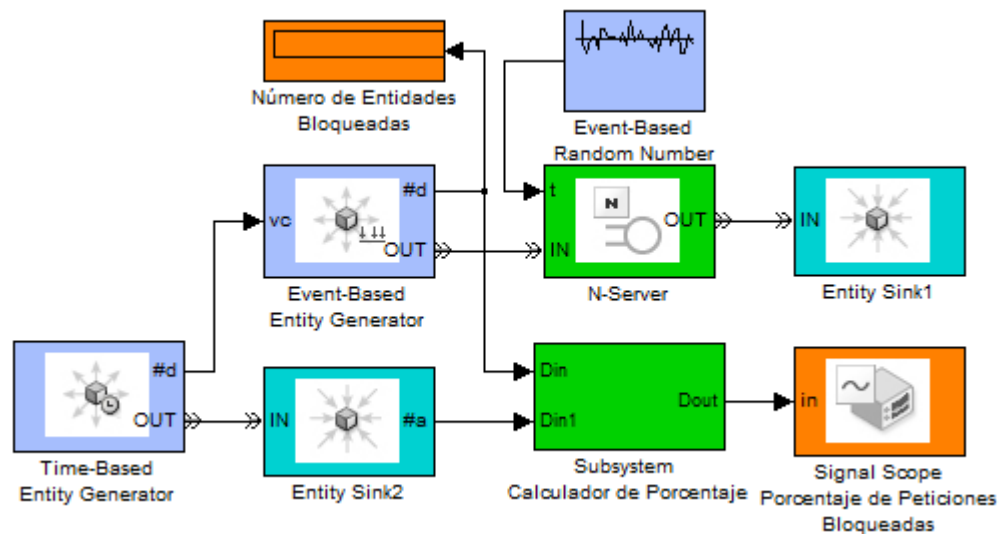
- Bloques Primarios: Generador de Entidades Basada en el Tiempo (Caudal λ), Generador de Entidades Basado en Eventos (Necesario para controlar el bloqueo), Generador de Números Aleatorios con Distribución Exponencial (Tasa de servicio μ).
- Bloques Secundarios: N-Servidores (reemplaza la necesidad de colocar varios servidores en paralelo), Calculador de Porcentaje.
- Bloques Terciarios: Bloque Receptor de Entidades, Sonda (Scope) y Display.
- Bloques Cuaternarios: Sumador.

6.6.2 Simulación

El sistema Erlang B representa el esquema de telefonía conmutada donde el parámetro de interés es el la probabilidad de bloqueo. Esta consiste en saber qué porcentaje del total de las peticiones fueron rechazadas. Se propone la realización la Figura 55 donde se implementa un nuevo bloque funcional: “N-Servidores”, la característica de esté bloque es que permite ahorrar espacio en la ventana de

simulación ya que la conexión de los servidores que se hace en paralelo, se hará automáticamente ingresando el parámetro N en el bloque.

Figura 55. Esquema de simulación de una cola $M/M/K/K/\infty$.



(MATHWORKS 2008)

La Tabla 6 está diseñada para comprobar que efectivamente los parámetros obtenidos en la teoría se asemejan a la simulación y así encontrar un punto de comparación o un porcentaje de error.

Tabla 6. Para hallar los parámetros de Interés en la cola $M/M/K/K/\infty$.

Tiempo Simulado	λ	μ	k	% Probabilidad Bloqueo (Simulación)	Probabilidad de Bloqueo (Teórico)
4500	44	45	4		
10000	44	45	2		
	22		8		0.001
			4	10	
			2	25	

6.7 GUÍA DE LABORATORIO 3.4

La cola $M/M/K/\infty/\infty$ se denomina un sistema Erlang C, que a diferencia del modelo Erlang B posee una línea de espera, que además es infinita. El parámetro de interés es la probabilidad de que un usuario deba esperar para ser atendido y es determinado por la ecuación 12.

6.7.1 Configuración de los bloques

- Bloques Primarios: Generador de Entidades, Generador de número aleatorios (Tasa de Servicio)
- Bloques Secundarios: Cola FIFO (Siempre de Tamaño Infinito), N-servidores.
- Bloques Terciarios: Sondas (Scope), Receptora de Entidades, Display.
- Bloques Cuaternarios: Ir A, Viene de, Inicio de Tiempo, Lector de Tiempo, Sumador y Divisor.

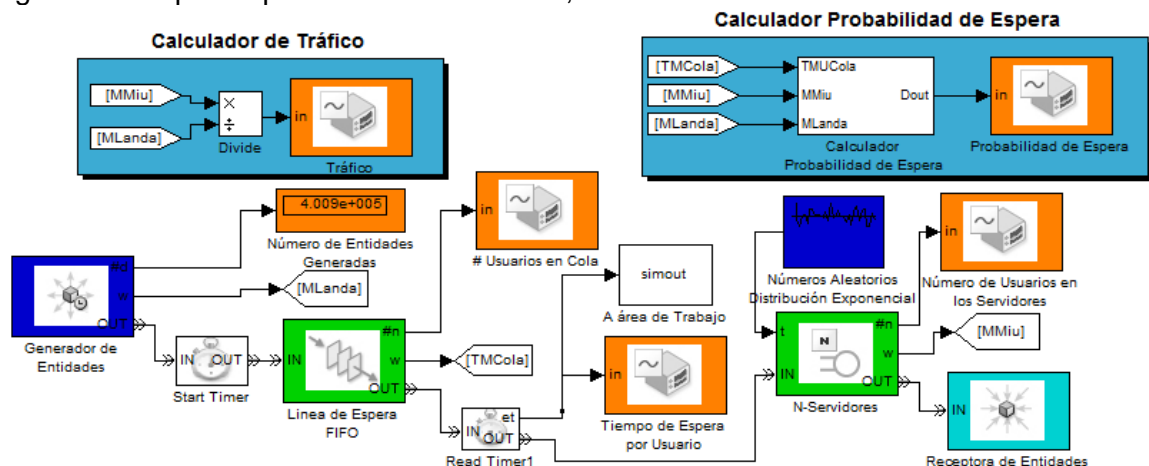
6.7.2 Simulación

La ecuación 12 es conocida como un sistema recursivo ya que utiliza la probabilidad de bloqueo del mismo sistema como si no tuviera línea de espera (Erlang B), entonces para poder hallar esta probabilidad sería necesario simular el mismo sistema con los mismos valores iniciales de la variable aleatoria (*Initial Seed*), pero sin línea de espera.

Ecuación 12. Probabilidad que un usuario tenga que esperar en un sistema Erlang C

$$P[T_w > 0] = \frac{kP_B}{k + A(P_B - 1)}$$

Figura 56. Esquema para la cola M/M/K/∞/∞,



(MATHWORKS 2008)

En la ecuación 13 se presenta una manera alternativa para calcular la probabilidad de espera la cual es de mucha utilidad ya que relaciona parámetros que pueden ser obtenidos durante la simulación y no hace necesario otros sistemas paralelos.

Ecuación 13. Tamaño promedio de línea de espera en un sistema Erlang C.

$$E[N_w] = \frac{A}{K - A} P[T_w > 0]$$

En la ecuación 14 se realiza el despeje en función de $P[T_w]$ y se obtiene:

Ecuación 14. Probabilidad que un usuario tenga que esperar en un sistema Erlang C (Relación con línea de espera).

$$P[T_w] = \frac{E[N_w](K - A)}{A}$$

El esquema para esta práctica es mostrado en la Figura 60. Se utilizan los bloques como Timer, que hasta ahora hacen su aparición lo cual disminuirá algunos pasos vistos anteriormente. Por ejemplo, en la guía 3.2 se propone que para observar el tiempo medio de espera (T_w) de un usuario, es la suma de T_w en línea de espera con T_w del servidor, esto hace extenso el montaje si hubiera más de dos colas. Ahora con dos bloques funcionales: Inicio de Tiempo y Lector de Tiempo se puede hacer lo mismo de manera más práctica y rápida.

La función básica del bloque Start Timer (Inicio de Tiempo) es darle una etiqueta (Tag) a la entidad; el cual inicia un cronometro interno que dará el tiempo transcurrido a través de los bloques funcionales por donde pase la entidad. El bloque Read Timer (Lector de Tiempo), leerá este tiempo de la entidad. Al activar la pestaña de estadística el puerto w, realizará el tiempo medio de tiempos de todas las entidades procesadas.

En el primer ejercicio se propone hacer una simulación con tiempo de 7. Esto con el fin de observar el comportamiento con pocas entidades generadas a través de las sondas.

Tabla 7. Parámetros del ejercicio de prueba

Tiempo Simulado	λ	μ	k	Initial Seed Fuente	Initial Seed Tasa
7	20	2	15	987	76431

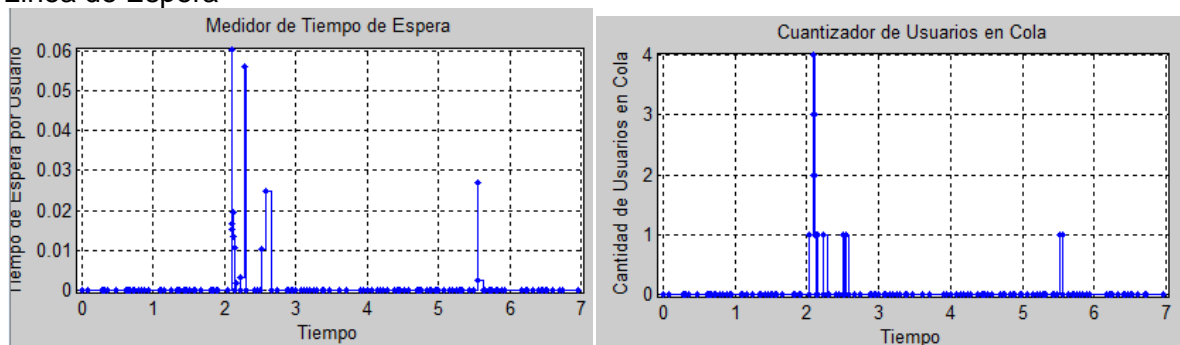
Con los parámetros se concluye que:

Las gráficas mostradas en la Figura 61, son muy similares. Se dice que al momento que una entidad esté en la línea de espera hay un retardo y como se puede apreciar en la en la Figura 61a. el retardo de los usuarios se encuentra en el rango de 0.6 milésimas de unidad de tiempo (si el retardo es cero, se dice que la entidad no tuvo que detenerse en la línea de espera).

La Figura 61b corresponde al tamaño de la línea de espera durante la simulación donde su máxima ocupación es de 4 usuarios. Entonces ¿qué parámetro sirve para saber cuántos usuarios han tenido un tiempo de espera mayor a 0?. Para resolver esta duda es necesario exportar las dos variables al Área de Trabajo de Matlab y hacer un contador de los eventos mayores a cero,

El programa es el mismo que se propone en el ejercicio dos para calcular el porcentaje de usuarios que debieron esperar para ser atendidos:

Figura 57. Similitud entre el Tiempo de espera por usuario y el Número de Usuarios en Línea de Espera



A) TIEMPO DE ESPERA POR USUARIO
LÍNEA DE ESPERA

B) NÚMERO DE USUARIOS EN

(MATHWORKS 2008)

```
function espera=Espera(y) %Programa para calcular porcentaje de que
    Usuarios tuvieron que esperar
    %para ser atendidos, Guía 3.4, Ejercicio 2
```

```
l=length(y);
cont=0;
for i=1:l
    if (y(i)>0)
        cont=cont+1;
    end
end
```

```
espera=(cont*100)/l;
```

Se realiza el experimento con la siguiente tabla:

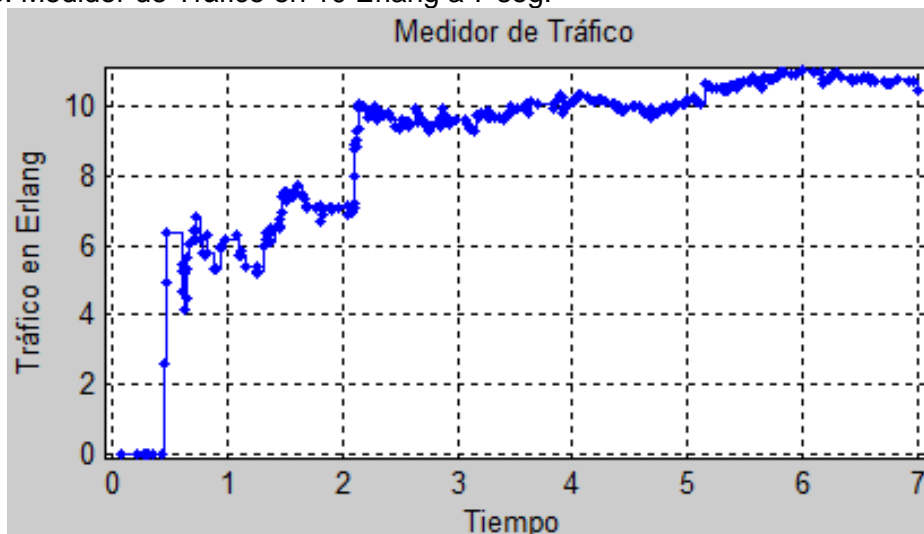
Tabla 8. Tabla de simulación de la Guía 3.4, experimento para comprobar su funcionamiento.

Tiempo Simulado	λ	μ	k	% de Usuarios que esperaron por medio de la Línea de Espera	% de Usuarios que esperaron por medio del Tw.	Probabilidad de Espera (Teórico)
10000	20	2	15	14.91	9.84	0.1020
10000	40	2	21	84.23	76.00	0.7606

La probabilidad de espera es más exacta cuando se calcula por medio del bloque Lector de Tiempo.

En la figura 62, se muestra la gráfica obtenida del medidor de tráfico. La relación entre el caudal medio arrojado por la fuente ($1/\lambda$) y la tasa media de servicio ($1/\mu$) del bloque Servidor no toma muchas entidades para encontrar el valor del tráfico.

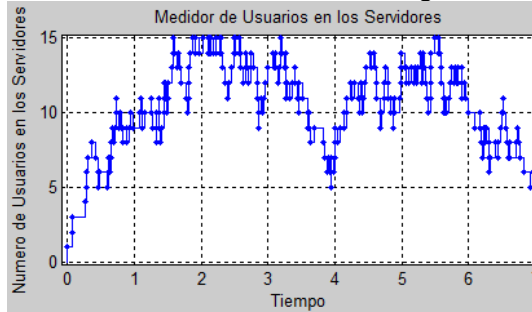
Figura 58. Medidor de Tráfico en 10 Erlang a 7 seg.



(MATHWORKS 2008)

La Figura 63 muestra la ocupación del bloque N-Servidores cuando las entidades arriban en un tiempo t , donde la capacidad de este es $K = 15$. Los tiempos cuando se presentan los retardos en la línea de espera mostrados en la Figura 61a, son los mismos cuando la ocupación del bloque N-Servidores llega a su máxima capacidad.

Figura 59. Medidor de Usuarios en los Servidores a 7 seg.



(MATHWORKS 2008)

Se propone llenar la Tabla 9, para que el usuario la complete; es necesario despejar algunas variables para hallar todos los datos con el fin que el estudiante no se centre únicamente en los datos que se puede hallar con la simulación sino que proponga soluciones encontrar todas las variables de interés.

Tabla 9. Ejercicio propuesto completar tabla con un sistema Erlang C

Tiempo Simulado	λ	μ	k	Tráfico Simulado	Probabilidad de Espera Teórico	Probabilidad de Espera Simulado	Probabilidad de Espera Real*
10000	40	2	30				
10000	40	2	21				
			21	10	0.0017		
	13		15	4.33			

6.8 GUÍA DE LABORATORIO 4

Esta guía está basada en las redes de colas abiertas. Inicialmente se hace una explicación sobre el funcionamiento de una red con dos enlaces en paralelo para observar el comportamiento de las entidades según el vector de probabilidad que asigna las rutas. Después se realizan redes más complejas con las que el estudiante desarrollara al máximo su destreza ya que deberá realizar varios esquemas a partir de diagramas de bloques.

6.8.1 Configuración de los Bloques

- Bloques Primarios: Generador de Entidades Basada en el Tiempo, Generador de números Aleatorios (Tasa de Servicio).
- Bloques Secundarios: Atributos, Función Atributo, Un Servidor, Switch de Salida, Cola FIFO.

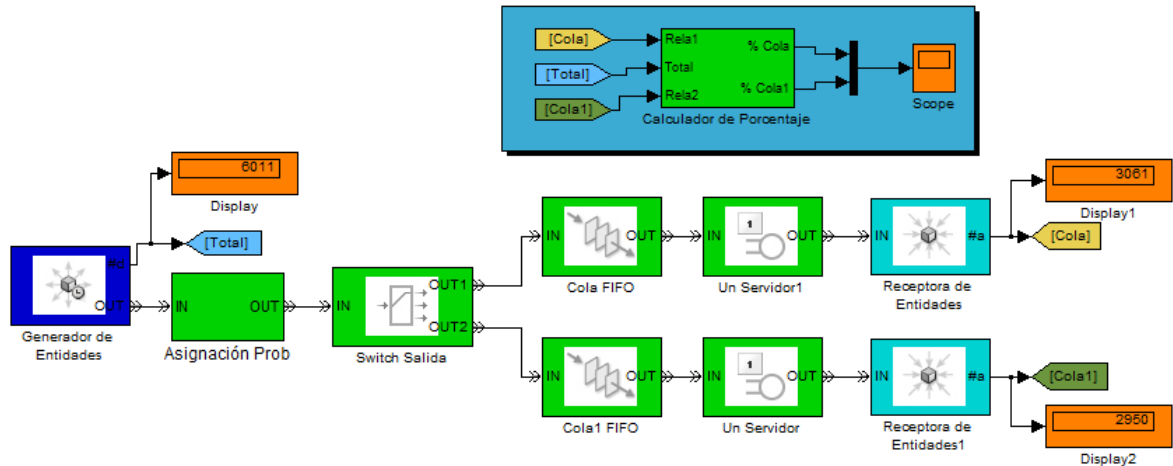
- Bloques Terciarios: Receptora de Entidades, Display y Sondas.
- Bloques Cuaternarios: Ir A, Viene de, Sumador, Divisor, Multiplicador.

6.8.2 Simulación

El esquema de la Figura 64 es la introducción al estudiante en la red de colas abiertas.

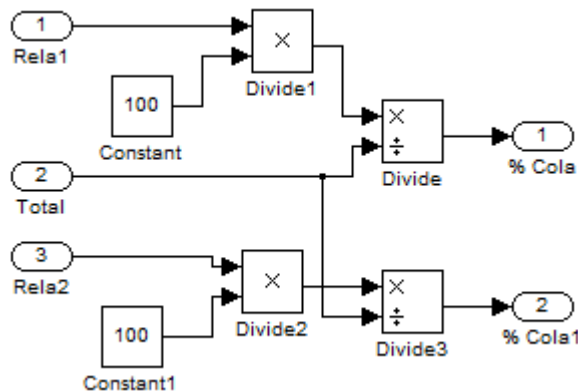
Para esta guía es necesario crear dos subsistemas funcionales: El primero visto en la Figura 61 se encarga de obtener el porcentaje de usuarios que circulan por un enlace y el segundo asignara las probabilidades de ruteo (Figura 62).

Figura 60. Redes de Colas Abiertas Modelo A



(MATHWORKS 2008)

Figura 61. Calculador de porcentaje de ruta para redes de Colas Abiertas



(MATHWORKS 2008)

Bloque Calculador de Porcentaje (Subsistema): Este bloque es sencillo ya que su configuración se basa en una regla de 3 la cual hará la relación con la totalidad de entidades generadas durante la simulación. Es presentado en la Figura 61. En el caso que hubiera más enlaces, se agregan los puertos que fueran necesarios al subsistema.

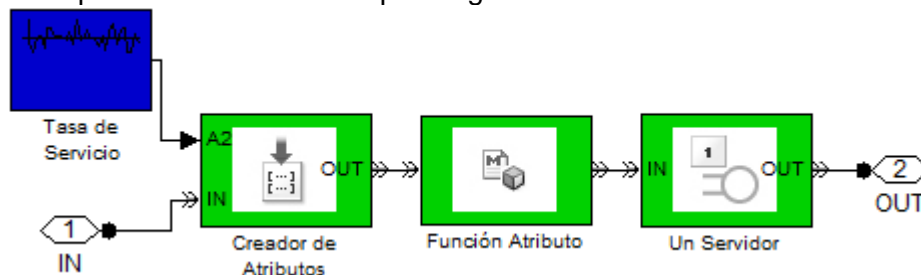
El bloque Switch de Salida que está en el esquema de la Figura 60, necesita conocer por cual puerto enviar la entidad cuando llegue a ella. Hay varias maneras como se soluciona la selección de rutas, una es de manera equiprobable, otra es a partir de un puerto de entrada quien se encargaría de escoger la ruta de la entidad, y por último el que es implementado para la práctica, por medio de un atributo.

Subsistema Asignación de Probabilidad: La selección de rutas se hace por medio de un vector de probabilidad asignando un atributo a la entidad. Por ejemplo en la Figura 60 hay dos enlaces donde es necesario saber por cuál de estas se irá la entidad, así que el vector de probabilidad tendrá dos componentes donde la suma de estas no debe ser mayor a uno. El esquema del Subsistema es mostrado en la Figura 66 donde los bloques se clasifican:

Configuración de Bloques de Subsistema

- Bloque Primario: Evento Basado en un Número Aleatorio
- Bloques Secundarios: Atributo, Función Atributo, Un Servidor.
- Bloques Cuaternarios: Conn (Connection Port Block), encargado de crear los puertos de entrada y salida en subsistema.

Figura 62. Esquema Subsistema Bloque Asignación de Probabilidades.



(MATHWORKS 2008)

- Creador de Atributos: Aprovechando que es necesario crear un atributo en la entidad para que el bloque Función Atributo pueda trabajar en él, se asigna

como atributo la tasa de servicio, esto ahorrara que en cada servidor sea colocado un bloque para generar este tiempo. El primer atributo se crea con el nombre de Atributo1 que proviene del Dialog y equivale a 1, el segundo atributo corresponde al tiempo de servicio, se denomina Tasa y proviene de un puerto externo, esta configuración es mostrada en el Figura 67.

Figura 63. Configuración Creador de Atributos para el Subsistema Asignación de Probabilidades

A1	Attribute1	Dialog	▼	1	<input checked="" type="checkbox"/>
A2	Tasa	Signal port	▼	1	<input checked="" type="checkbox"/>

(MATHWORKS 2008)

- **Función Atributo:** Este bloque es quien manipulara el Atributo1 que es el que le dirá la ruta que tomara la entidad al Switch. Primero es necesario crear el vector de probabilidades donde el primer valor del vector pertenecerá a la probabilidad de la primera ruta, si hay 8 rutas el vector deberá ser de igual longitud. Para hacer la selección se utiliza un Random con distribución uniforme necesario para que todas las rutas tengan la probabilidad asignada, para aclarar un poco se dice que el vector de probabilidades es el siguiente:

$$\text{Prob} = [1/2 \ 1/2];$$

Como la longitud del vector es de dos se sobreentiende que son dos rutas y que cada una de ellas tiene una probabilidad de 0.5, significa que las entidades serán enviadas aproximadamente por las dos rutas de igual manera, entonces para realizar esto entra el Random uniforme, donde la comparación se hace por intervalos, si el valor aleatorio es menor o igual 0.5 se dirá que el valor de Atributo1 es igual a 1, si por el contrario es mayor a 0.5 el Atributo1 equivaldrá a 2. El programa es mostrado a continuación.

```
function out_Attribute1 = fcn(Attribute1)
%Este programa asigna las rutas a cada usuario a partir de una Variable
%Aleatoria con distribución Uniforme
%Ingresa como parámetro Attribute1 que es asignado en el bloque set
Attribute
%Recuerde que es necesario que el nombre del atributo sea igual a como lo
creo

epl.extrinsic('random'); %Librería necesaria para que importe la función
random
variable=0; %Creación de una variable de comparación
```

```

k=random('unif',0,1);    %Asignación de un valor a 'k' a partir de un Random
Uniforme
prob=[1/2 1/2];        %Vector de asignación de probabilidades, es de forma
secuencial
                        %el primer componente del vector pertenece a la ruta 1,
componente
                        %vector 2, ruta 2

l=length(prob);
variable1=0;
vector1=zeros(1,l+1);

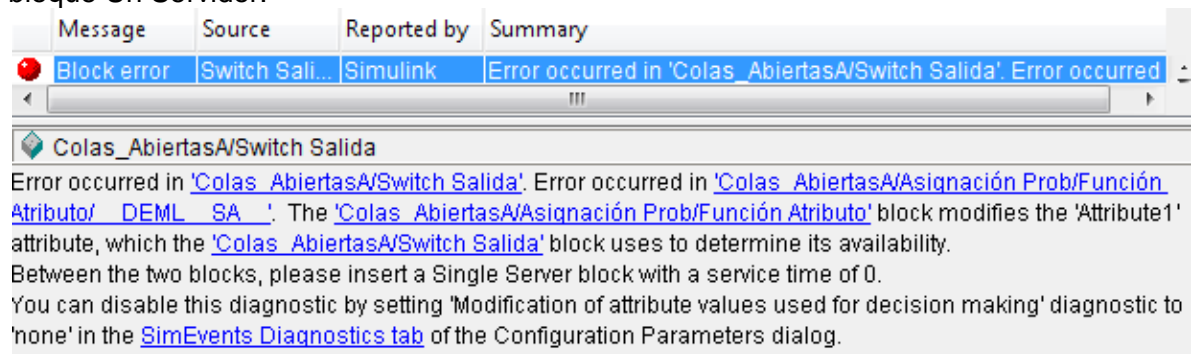
for i=1:l
    variable1=variable1+prob(1,i);
    vector1(i+1)=variable1;
end
vector2=0;
variable=k;
for g=1:l
    if(variable >=vector1(g) && variable <= vector1(g+1))
        vector2=g;
        break;
    end
end

out_Attribute1 = (Attribute1*vector2);

```

- Un Servidor: Este bloque siguiente al bloque Función Atributo es un requerimiento de Matlab para que pueda funcionar la simulación de lo contrario arroja el error mostrado en la Figura 64, el tiempo de servicio debe ser igual a cero.

Figura 64. Error en subsistema Asignación de Probabilidades debido a la inexistencia del bloque Un Servidor.



(MATHWORKS 2008)

El ejercicio propuesto consiste en comparar y comprobar que efectivamente el programa está cumpliendo su función de asignar las rutas de acuerdo a las probabilidades a partir de completar la Tabla 10.

Tabla 10. Ejercicio Guía No. 4 Comprobación de las rutas a partir de un vector de probabilidad

Tiempo Simulado	λ	μ	Vector de Probabilidad	%Ruta 1	%Ruta 2
1000	6	10	[1/2 1/2]		
500	20	25	[1/4 3/4]		
250	200	201	[1/3 2/3]		

- Red de Colas Abiertas con Nodos

Un nodo de red es donde convergen dos o más rutas para salir por un solo punto, para simular este punto se probaron 2 bloques funcionales Switch de Entrada y Combinado de rutas.

Con Switch de Entrada: Este bloque acepta la entidad de manera que cuando llega a alguno de sus puertos es enviada automáticamente por su puerta de salida, pero ¿qué ocurre si llegan dos entidades al tiempo?, si dos o más entidades convergen al mismo tiempo el bloque reacciona aceptando solo una de las entradas y descartando las demás generando un error, además si la entidad tuviera que esperar para ser atendida dañaría la distribución, por esas razones el bloques es descartado.

Con Combinado de Rutas: La función principal de este bloque es la de evitar el bloqueo en los puertos de entrada, uniendo las entidades pero manteniendo sus distribuciones, al realizar las pruebas con este bloque se consiguió lo que se esperaba.

Figura 65. Diagrama de una Red de Colas Sencilla Guía No 4 ejercicio 3

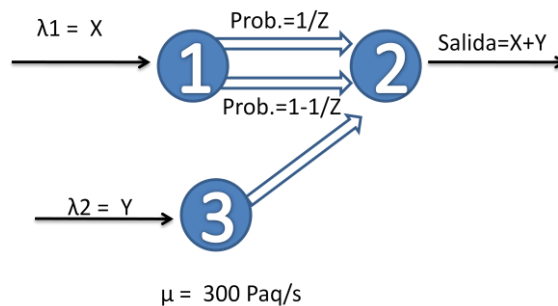
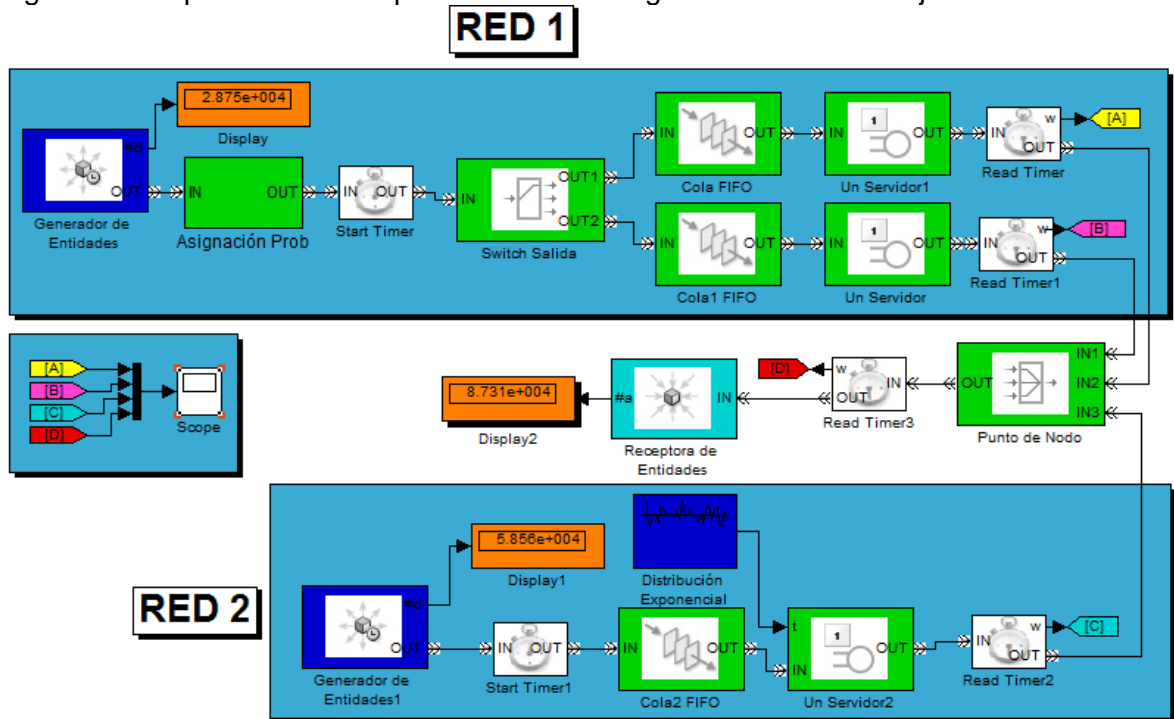


DIAGRAMA REALIZADO EN POWER POINT

En la Figura 69 se presenta el diagrama para una red de colas abiertas y el esquema es mostrado en la Figura 70.

Este diagrama tiene dos fuentes λ_1 y λ_2 . La primera se conecta en el Nodo 1 que se divide en dos rutas, por tanto se le asigna una probabilidad a cada una de ellas, y la segunda fuente entra por el nodo 3. En el nodo 2 convergen las 3 rutas por tanto el caudal de salida es la suma del de las fuentes.

Figura 66. Esquema de la red presentado en la Figura 70. Guía No 4 ejercicio 3



(MATHWORKS 2008)

Nota: Cuando un nodo se divide en dos o más rutas significa que va un subsistema de Asignación de Probabilidades, y cuando convergen dos o más rutas el bloque a utilizar es el combinado de rutas.

El parámetro de interés para este tipo de red son los retardos de cada enlace y el de la red. Para capturar estos retardos se utilizan los bloques Timers, y con el Lector de Tiempo al activar el puerto estadístico Tiempo Medio (w) se obtiene el retardo promedio de las entidades que arriben.

Nota: Todas las etiquetas de los Timer deben ser del mismo nombre.

Para esta práctica se utiliza un multiplexor (Mux) que permite la conexión de varias entradas de datos para ser graficadas por una sola sonda.

La práctica de prueba se hace bajo los parámetros de la Tabla 11. El retardo de un enlace está dado por la Ecuación 15, y el de la red por la Ecuación 16.

Ecuación 15. Retardo promedio de un enlace

$$T_{W(ENLACE)} = \frac{1}{\mu - \lambda}$$

Ecuación 16. Retardo Promedio de la Red

$$T_{W(RED)} = \frac{N}{\lambda_T}$$

$$T_{W(cola)} = \frac{1}{\mu - \lambda} = \frac{1}{300 - 25} = 0.0036 = 3,6 \text{ mS}$$

$$T_{W(cola1)} = \frac{1}{\mu - \lambda} = \frac{1}{300 - 75} = 0.0044 = 4,4 \text{ mS}$$

$$T_{W(cola2)} = \frac{1}{\mu - \lambda} = \frac{1}{300 - 200} = 0.01 = 10 \text{ mS}$$

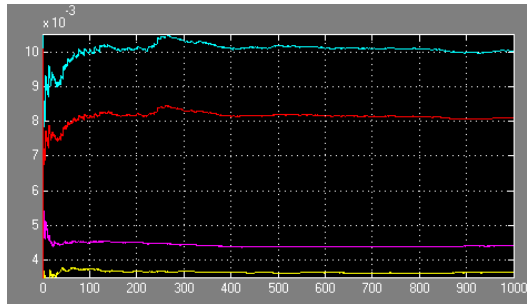
Tabla 11. Parámetros de para la simulación de comprobación en la red de colas abiertas con nodos

Tiempo Simulado	λ_1	μ_1	Vector de Probabilidad	Teórico Tw Cola	Teórico Tw Cola1	Simulado Tw Cola	Simulado Tw Cola1
1000	100	300	[1/4 3/4]	3,6ms	4,4ms	3,6ms	4,4ms

λ_2	μ_2	Teórico Tw Cola2	Simulado Tw Cola2	Teórico Tw RED	Simulado* Tw RED
200	300	10ms	10.1ms	8.5 ms	8.1ms

Los datos de la tabla anterior son los retardos dados por la gráfica de la Figura 67. Según el color se puede identificar a que cola corresponde el retardo. El color amarillo corresponde al Tw Cola, Cola1 de color magenta, Cola 2 de color cyan y el de la red es de color rojo

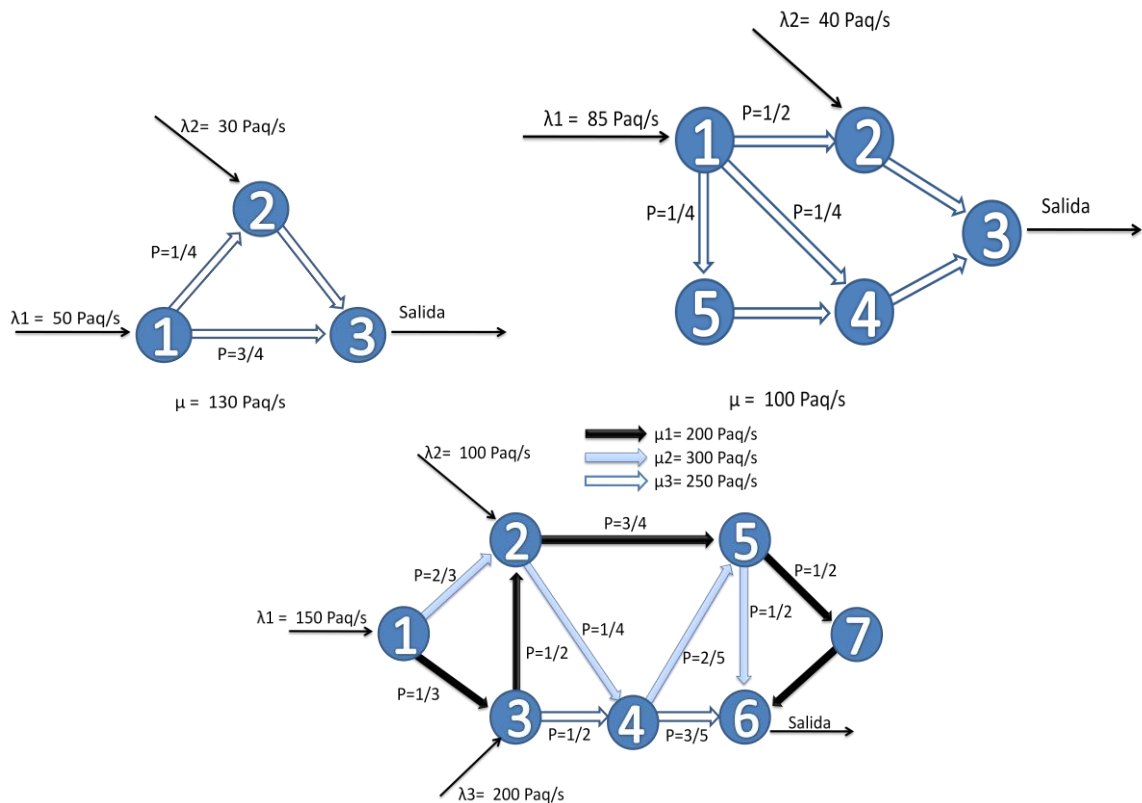
Figura 67. Gráfica a partir de la simulación de la Figura 70 con los parámetros de la Tabla 11.



(MATHWORKS 2008)

Ahora se propone los diagramas para el desarrollo del ejercicio 3, donde cambian las tasas de servicio, el caudal y los vectores de probabilidad. Estos son mostrados en la Figura 68 con el fin que el estudiante intervenga de manera activa en el planteamiento de simulaciones a partir de los diagramas y obtenga la destreza de simularlos por cuenta propia.

Figura 68. Diagramas de Redes de colas Abiertas Guía 4, Ejercicio 3



ELABORADO EN POWER POINT

6.9 GUÍA DE LABORATORIO 5

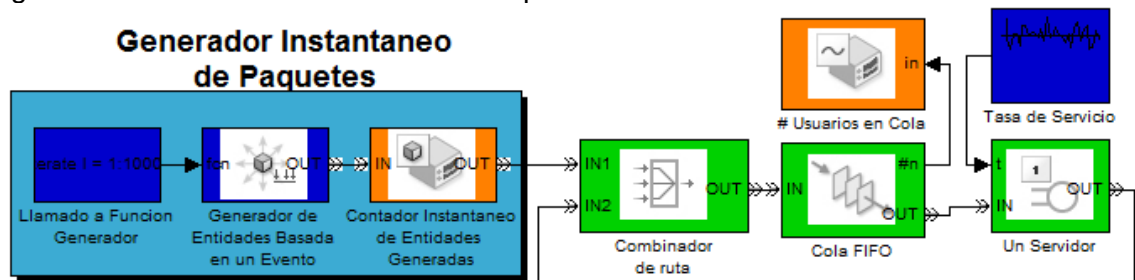
La guía está basada sobre redes de colas cerradas donde la fuente debe generar las peticiones una sola vez y estas quedar circundando la red.

6.9.1 Configuración de los Bloques

- Bloque Primarios: Evento Basado en un Número Aleatorio, Función Generadora, Generador de Eventos Basada en un Evento
- Bloques Secundarios: Atributo, Función Atributo, Un Servidor, Cola FIFO, Switch de Salida, Combinado de Ruta (Nodo), Subsistema Asignación de Probabilidad.
- Bloques Terciarios: Sonda (Scope).
- Bloques Cuaternarios: Conn (Connection Port Block), encargado de crear los puertos de entrada y salida en subsistema, Iniciador de Tiempo, Lector de Tiempo, Divisor.

6.9.2 Simulación

Figura 69. Generador Instantáneo de Paquetes



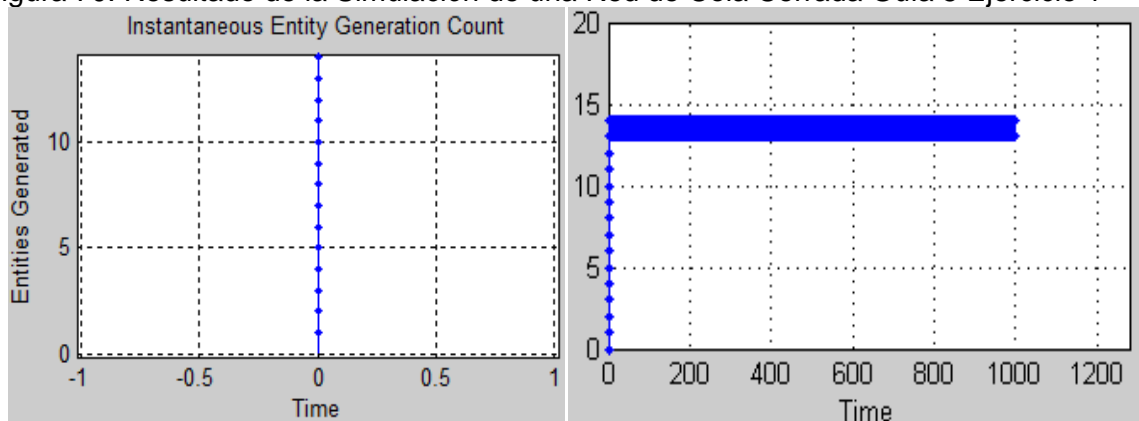
(MATHWORKS 2008)

El primer Ejercicio que se plantea en esta guía consiste en conocer el sistema Generador Instantáneo de Paquetes o entidades mostrado la Figura 69. Es necesario utilizar el bloque Llamado a Función Generador donde en su ventana de configuración se ingresarán el número de paquetes generándolos como eventos en $t=0$. Después el Bloque Generador Basado en Eventos genera los paquetes que después pasan al bloque Contador Instantáneo de Entidades Generadas para comprobar que efectivamente el número de paquetes corresponde a los dispuestos por el usuario. El bloque Combinado de Rutas funciona como el nodo

de red donde el puerto 1 únicamente es utilizado cuando entran los paquetes a la red; la cola FIFO es de tamaño infinito y la tasa de servicio es dado por el bloque Generador de Números Aleatorios.

La Figura 74 muestra las dos graficas que genera simulación. La Figura 74a, muestra que efectivamente al colocar en las iteraciones 14 paquetes, estos son los creados, y como se esperaba el sistema de una sola cola la línea de espera siempre estará entre los valores N y N-2 como se observa en la Figura 74b.

Figura 70. Resultado de la Simulación de una Red de Cola Cerrada Guía 5 Ejercicio 1



A) NÚMERO DE PAQUETES GENERADO INSTAN.

B) TAMAÑO DE LA COLA

(MATHWORKS 2008)

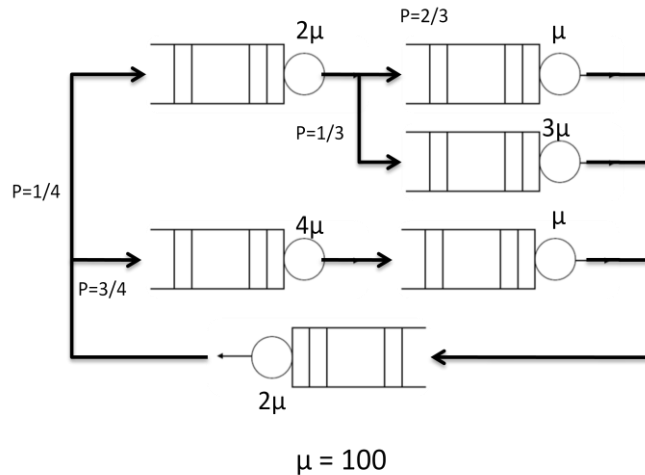
El estudiante debe indagar sobre el funcionamiento de red de colas a través de unas preguntas sobre la red de colas cerradas. Esto con el fin que concluya sobre la función de cada uno de los bloques y que pasa si cambian los parámetros del esquema.

En el siguiente ejercicio se propone una cola más elaborada y su diagrama es mostrado en la Figura 71, donde la tasa de servicio μ está dada genéricamente para la red pero cada servidor multiplica esta por una escalar. Se le asigna el Subsistema Asignación de Probabilidades a los enlaces donde es necesario.

La Figura 72 muestra el esquema sobre SimEvents de la Figura 75. La configuración Generador Instantáneo de Paquetes se introduce en un subsistema, allí se digitara el número de paquetes que se quiere que circunden la red. El bloque Inicio de Tiempo (Start Timer), se coloca junto al bloque Combinado de Rutas ya que allí es donde harán su ingreso los paquetes. Se debe tener precaución al tomar la opción desplegable de cómo actuar si hay una entidad que ya posea un tiempo de inicio porque si se deja en la opción que viene predeterminada la gráfica que genere el bloque Lector de Tiempo en el puerto w

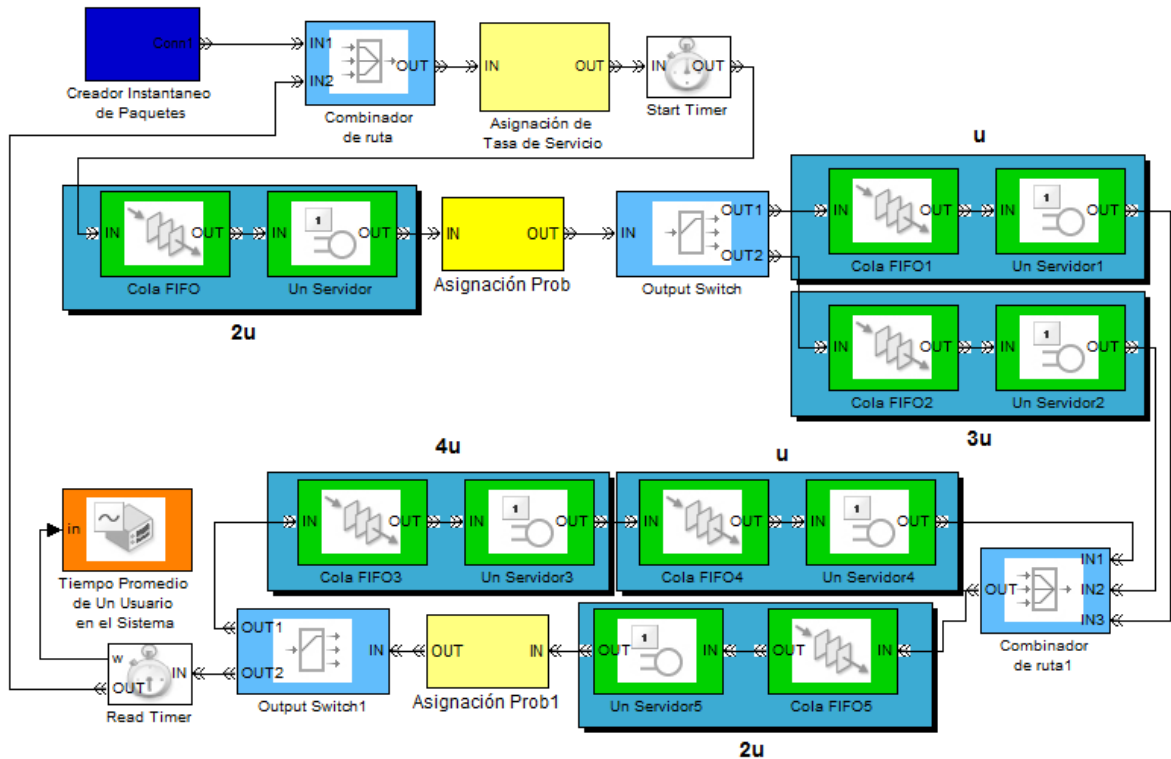
lucirá como es mostrada en la Figura 75, en línea recta ascendente que no converge, y es lógico porque el tiempo que tiene cada entidad se irá incrementando, por tal motivo es necesario que al configurar el bloque Inicio de Tiempo sea seleccionado la opción reiniciar (restart).

Figura 71. Diagrama de una red de Colas Cerradas



ESQUEMA REALIZADO EN POWER POINT

Figura 72. Esquema del Diagrama de la Figura 75 Red de Colas Cerradas



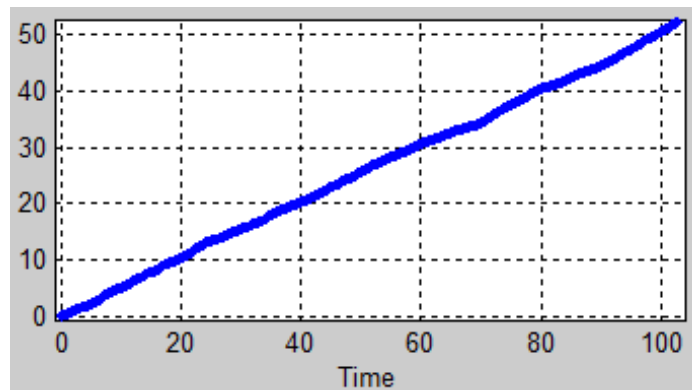
(MATHWORKS 2008)

Se realiza la simulación bajo los parámetros de la Tabla 12 y se completa a base la de gráfica mostrada en la Figura 72, esto para comparar los valores simulados son acertados con los hallados teóricamente.

Tabla 12. Parámetros iniciales para comprobar que el esquema de la figura 72 es acertado para una red de cola cerrada.

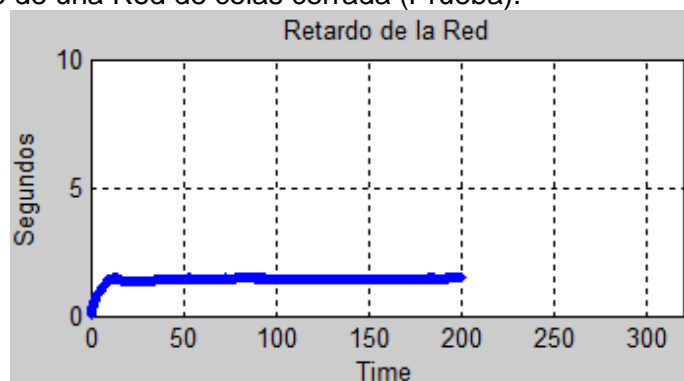
Tiempo Simulado	μ	Número de Paquetes	Retardo Normalizado de La red (Teórico)	Retardo Simulado
200	100	50	150	1.5 s

Figura 73. Grafica del retardo de la Red sin la selección de reinicio en el Iniciador de Tiempo



(MATHWORKS 2008)

Figura 74. Retardo de una Red de colas cerrada (Prueba).



(MATHWORKS 2008)

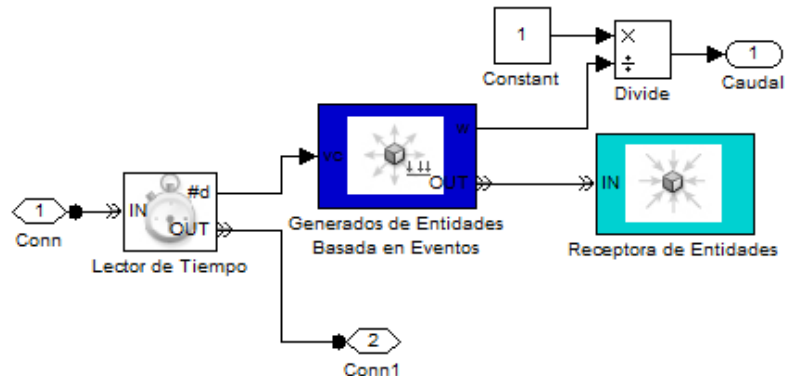
Se propone al estudiante que complete la Tabla 13 donde se realizaran cambios en los parámetros de configuración.

Tabla 13. Red de Cola Cerrada Guía No 4 Ejercicio 2

Tiempo Simulado	μ	Número de Paquetes	Retardo Normalizado de La red (Teórico)	Retardo Simulado
20000	2	50		
1000	100	50		
800	100	1		
200	1000	1000		

Otro de los parámetros de interés es calcular el caudal por cada una de las rutas. Para observarlos gráficamente se realiza el Subsistema Calculador de Caudal y su configuración es mostrada en la Figura 75. Aprovechando que hay una etiqueta Temporizador en todas las entidades se utiliza el bloque Lector de Tiempo para generar eventos cada vez que ingrese una entidad al bloque activando el puerto #d (Departure). Se conecta a un Generador de Entidades Basada en Eventos y todo esto es para que este bloque en su puerto w arroje el valor promedio en que arriban las entidades, y como es un valor medio, es necesario dividirlo por 1 para que el caudal de en función de λ .

Figura 75. Configuración Subsistema Calculador de Caudal

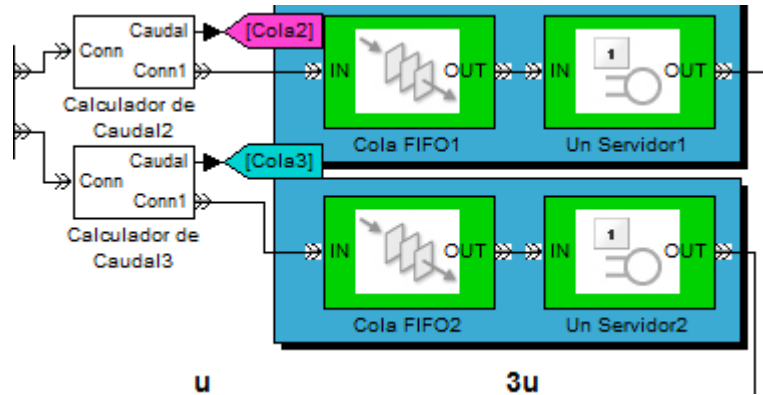


(MATHWORKS 2008)

El subsistema debe ir de tal manera que siempre este antes de la cola o ruta que necesita ser medida el caudal como es mostrado en la Figura 80 donde se presenta un segmento de la red propuesta para esta guía.

Se sugiere al estudiante que realice la configuración necesaria para que los caudales puedan observarse en una sola gráfica como es mostrada en la Figura 77 y completar la Tabla 14.

Figura 76. Conexión adecuada del Subsistema Calculador de Caudal

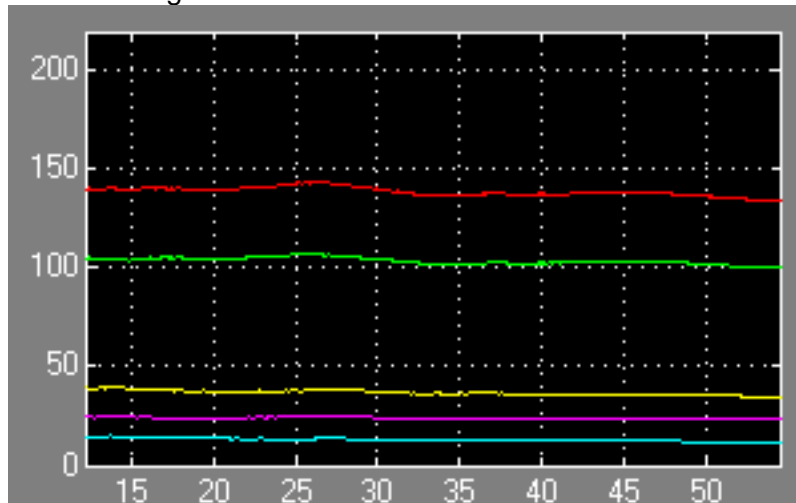


(MATHWORKS 2008)

Tabla 14. Caudales de la red, Guía No 5 Ejercicio 3

Tiempo Simulado	μ	Número de Paquetes	Caudal 1	Caudal 2	Caudal 3	Caudal 4	Caudal 5
20000	2	50					
1000	100	50					
800	100	1					
200	1000	1000					

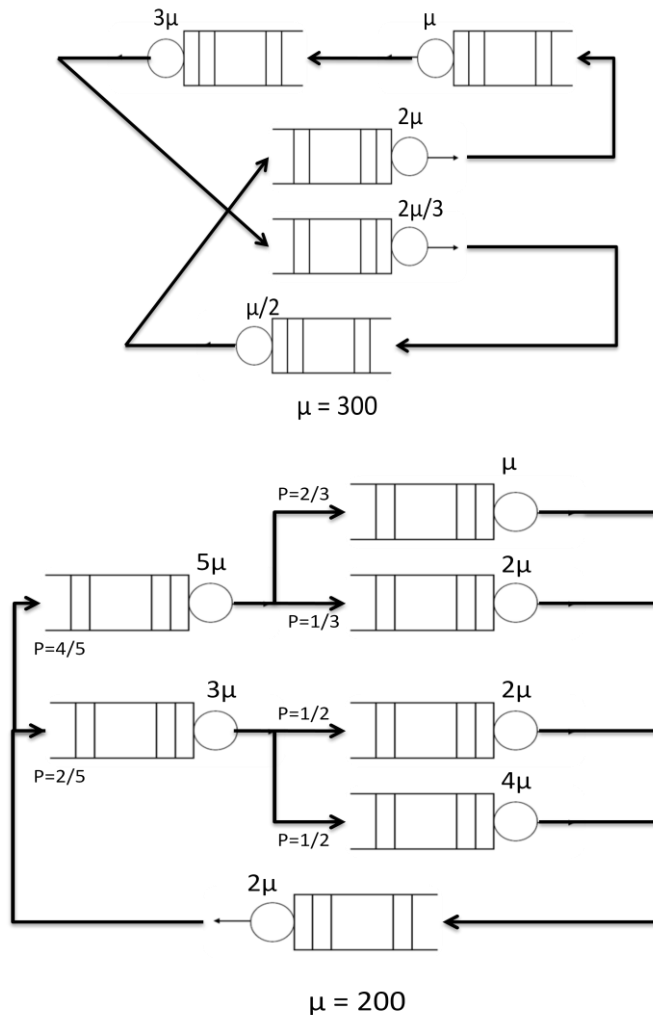
Figura 77. Caudales en Segundos de casa una de las Rutas



(MATHWORKS 2008)

Por último se proponen los diagramas de la Figura 78 para que el estudiante los implemente y complete las tablas 13 y 14 para cada uno.

Figura 78. Diagramas de Simulación de colas cerradas, Guía No 4 Ejercicio 3



ESQUEMAS REALIZADOS EN POWER POINT

6.10 GUÍA DE SIMULACIÓN 6

El análisis de los sistemas de colas tiene un objetivo; obtener los datos de interés para hacer que la red tenga un mejor desempeño en todos los aspectos. Esta parte es conocida como el control de las redes. En esta parte de la teoría de colas, entran los algoritmos de enrutamiento como parte fundamental para optimizar las redes con los recursos ya dispuestos.

El algoritmo de enrutamiento basado en el costo de un enlace es uno de los métodos más utilizados actualmente, al hablar de costos se refiere a que un usuario entre más tarde en la red tendrá un mayor costo saturará la red.

En esta guía se trabaja con el algoritmo de enrutamiento basado en los retardos de los enlaces y el de la red, donde se observara el comportamiento de esta a medida que los vectores de enrutamiento van cambiando según el criterio del estudiante.

6.10.1 Configuración de los Bloques

- Bloque Primario: Evento Basado en un Número Aleatorio, Función Generadora, Generador de Eventos Basada en un Evento
- Bloques Secundarios: Atributo, Función Atributo, Un Servidor, Cola FIFO, Switch de Salida, Combinado de Ruta (Nodo), Subsistema Asignación de Probabilidad.
- Bloques Terciarios: Sonda (Scope).
- Bloques Cuaternarios: Conn (Connection Port Block), encargado de crear los puertos de entrada y salida en subsistema, Iniciador de Tiempo, Lector de Tiempo, Divisor.

6.10.2 Simulación

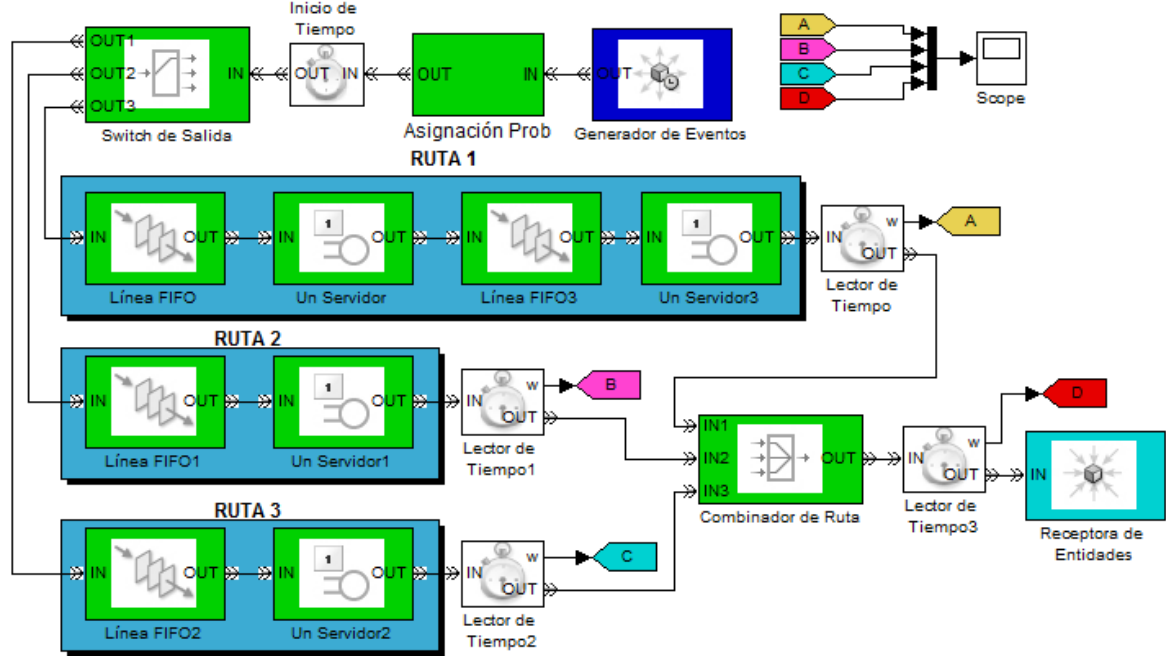
El ejercicio No 1 propone el esquema de una red de colas abiertas mostrada en la Figura 79, es muy similar al visto en la Guía No 4.

El tráfico para este ejercicio se propone de 0.8 Erlang, con un tiempo de simulación de 10000 y el vector de probabilidad es de manera equiprobable .

Las gráficas de las figuras 80 hasta la 84 cumplen con el siguiente código de colores. Los vectores de enrutamiento están en la parte superior de cada una de estas figuras.

- Ruta 1= Amarillo
- Ruta 2= Magenta (Rosa encendido)
- Ruta 3= Cyan (Verde Azulado)
- Red - Rojo

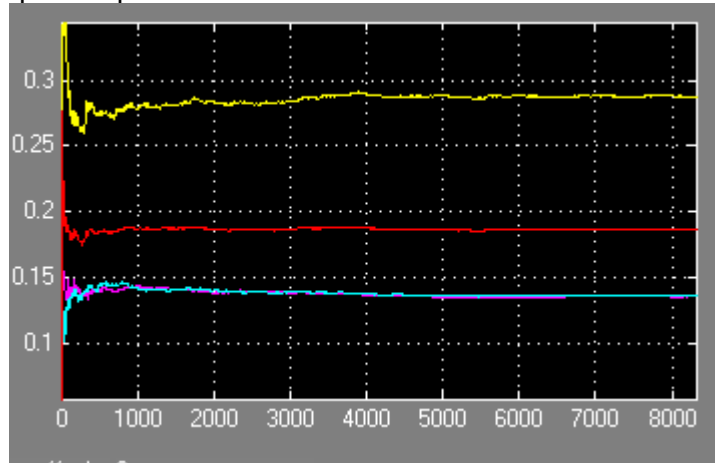
Figura 79. Simulación de una cola abierta, Guía N 4



(MATHWORKS 2008)

- Vector1 [1/3 1/3 1/3]

Figura 80. Gráfica para el primer vector de enrutamiento

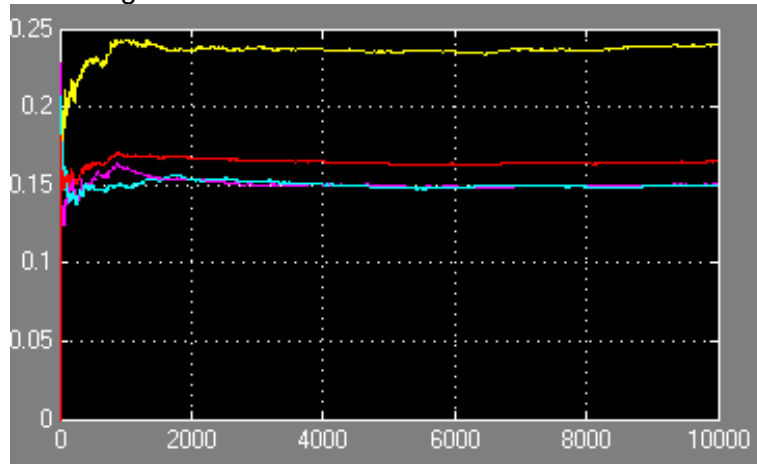


(MATHWORKS 2008)

Al observar la figura 85 se puede concluir que el tercer enlace (amarillo) tiene el retardo más alto, así que se cambia el vector de enrutamiento, tratando de disminuir este retardo, se hace disminuyendo el caudal por medio del vector de enrutamiento.

- Vector2 [5/12 5/12 1/6]

Figura 81. Gráfica del segundo vector de enrutamiento

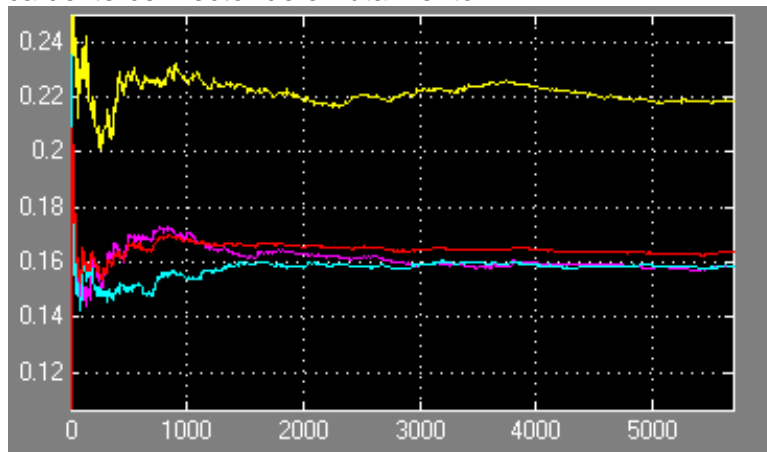


(MATHWORKS 2008)

Sigue siendo muy alto el retardo del primer enlace en comparación a los otros dos y la red. Se continúa disminuyendo el caudal sobre esta enlace.

- Vector3 [11/24 11/ 24 1/12]

Figura 82. Gráfica del tercer vector de enrutamiento

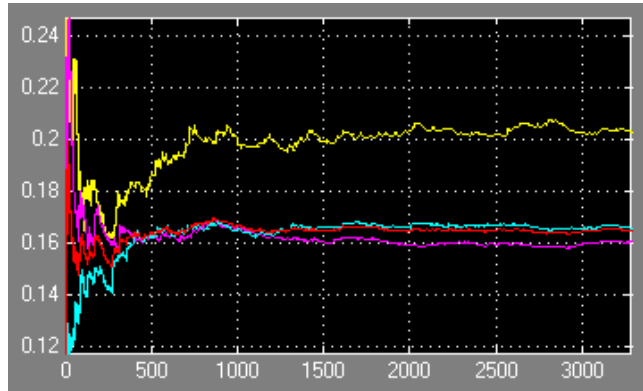


(MATHWORKS 2008)

- Vector4 [23/48 23/48 1/24]

La secuencia del retardo de la cola es lineal, porque por cada vez que se reduce el caudal por medio del vector de probabilidad a la mitad esta desciende en 20 ms

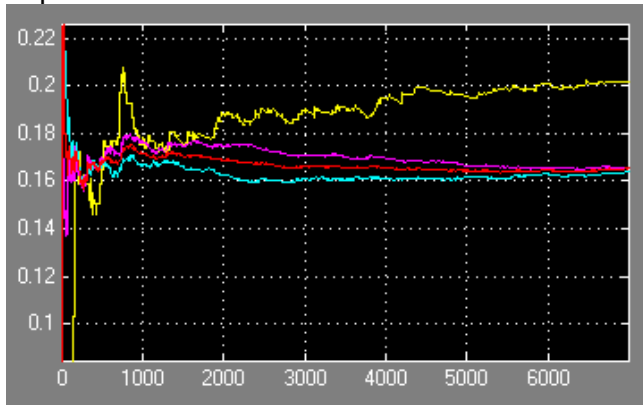
Figura 83. Gráfica del cuarto vector de Enrutamiento



(MATHWORKS 2008)

- Vector5 [95/192 95/192 1/96]

Figura 84. Gráfica del quinto vector de enrutamiento



(MATHWORKS 2008)

El vector de probabilidad 5 y 4 a pesar que son diferentes tiene aproximadamente los mismos retardos. Eso se debe a que el retardo mínimo que logra el tercer enlace (amarillo) no disminuye a menos de la suma de la tasa de servicio debido a los servidores.

7. PRUEBAS Y RESULTADOS

La tarea principal en esta sección es realizar cada una de las guías desde el enfoque de un estudiante que por primera vez está utilizando estas guías para complementar su conocimiento de la cátedra, donde se dará respuesta a cada una de las guías.

La mayor parte de las prácticas consiste en comparar resultados simulados con los teóricos. Los datos arrojados por la simulación son de carácter gráfico. Se realizan todas las pruebas pero únicamente se insertan las gráficas de las primeras dos según cada ejercicio.

7.1 GUÍA DE LABORATORIO 1 - FUENTES DE TRÁFICO (EXPONENCIAL, UNIFORME Y CONSTANTE)

OBJETIVO: Demostrar que las fuentes dadas por SimEvents cumplen con la distribución de las variables aleatorias (exponencial, uniforme y constante).

Recursos: SimEvents, Editor de Matlab.

Procedimiento: Realizar los ejercicios propuestos por la guía 1, desde diferentes parámetros de interés (distribución y caudal).

Ejercicio 1 A

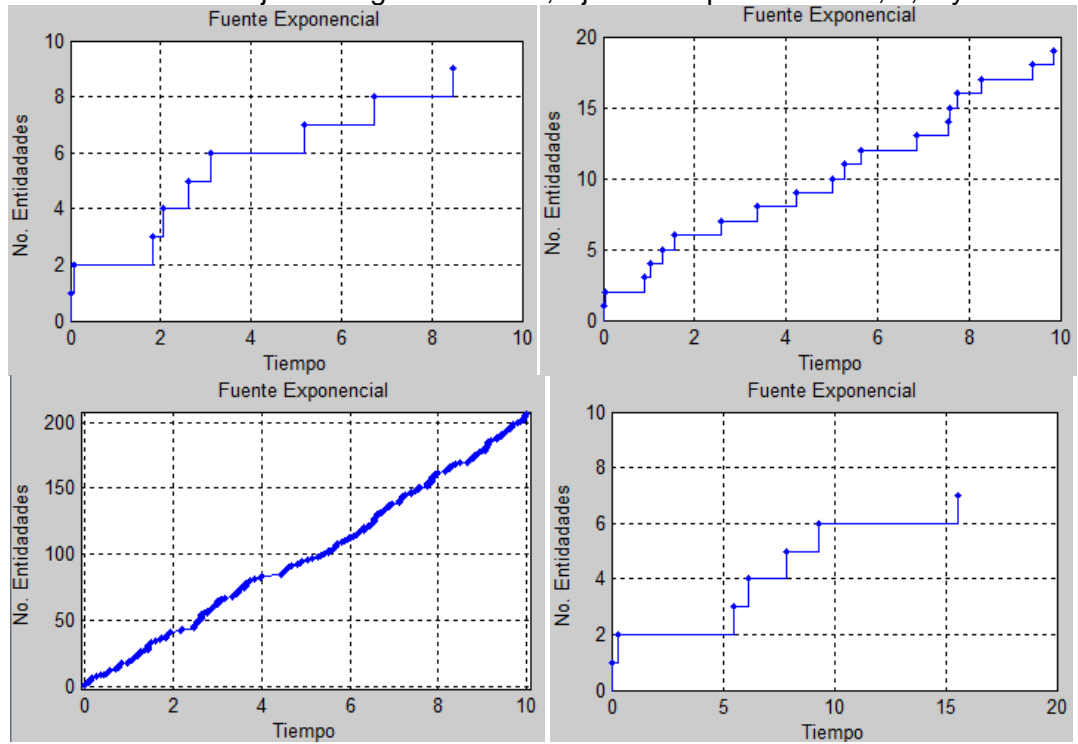
En el primer ejercicio se propone variar el tipo de distribución de la fuente (Bloque Generador de Entidades) donde varíen sus valores medios: Exponencial, Uniforme y Constante, para observar los datos de manera organizada se proponen la Tabla 15, 16 y 17

- Fuente Exponencial:

Tabla 15. Datos simulados durante las pruebas

Parámetros	Media 1	Tiempo 1	Media 2	Tiempo 2	Media 3	Tiempo 3	Media 4	Tiempo 4
	1	10	1/2	10	1/20	10	3	20
Figura No	Figura 89		Figura 89		Figura 89		Figura 89	

Figura 85. Gráficas arrojadas según la Guía 1, Ejercicio 1 para media 1, 2, 3 y 4



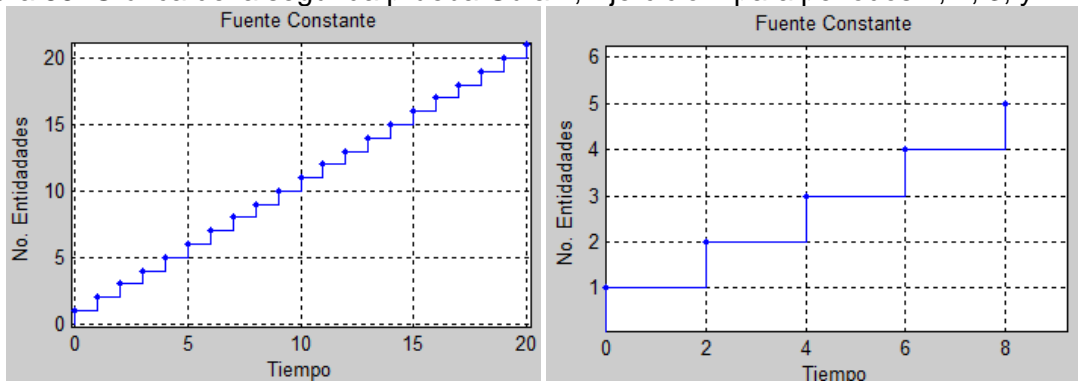
(MATHWORKS 2008)

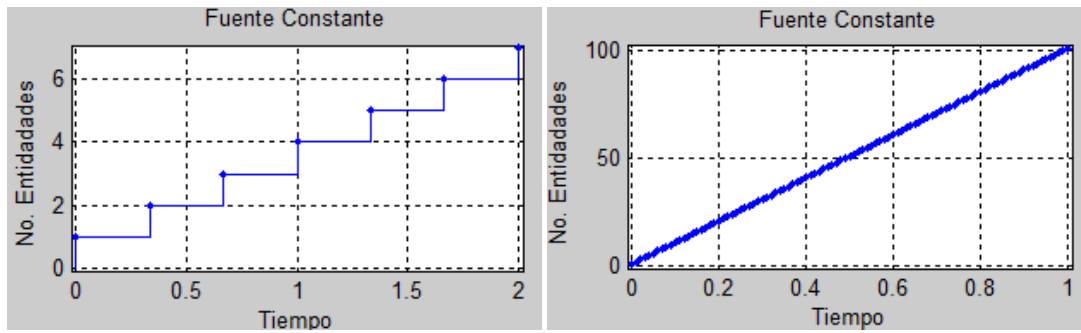
- Fuente Constante:

Tabla 16. Datos de las pruebas para una distribución constante

Parámetros	Period. 1	Tiempo 1	Period. 2	Tiempo 2	Period. 3	Tiempo 3	Period. 4	Tiempo 4
	1	20	2	8.5	1/3	2		20
Figura No	Figura 91		Figura 91		Figura 91		Figura 91	

Figura 86. Gráfica de la segunda prueba Guía 1, Ejercicio 1 para periodos 1, 2, 3, y 4





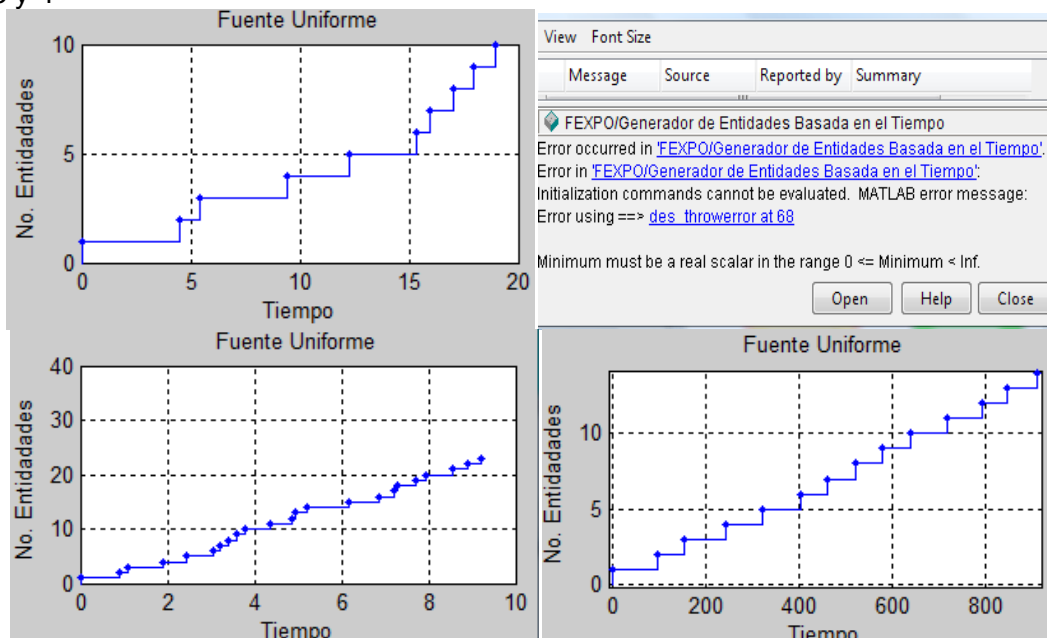
(Mathworks 2008)

- Fuente Uniforme:

Tabla 17 Datos de las pruebas para una distribución uniforme

Parámetros	Intervalo 1	Tiempo 1	Intervalo 2	Tiempo 2	Intervalo 3	Tiempo 3	Intervalo 4	Tiempo 4
	0-5	20	-1-4	8.5	0-1	10	50-100	1000
Figura No	Figura 92		Figura 92		Figura 92		Figura 92	

Figura 87. Gráfica provocada por errores voluntarios Guía 1, Ejercicio 2 para los intervalos 1,2,3 y 4



(MATHWORKS 2008)

- ¿Qué tipo de gráfica se muestra en la sonda (Scope)? ¿Qué tipo de anomalías se encontró? ¿Considera que es congruente con la teoría?.

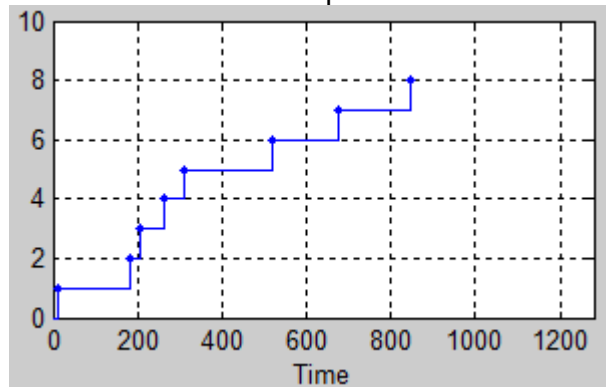
Sobre los tres tipos de fuentes se muestra los parámetros claramente establecidos, en la fuente exponencial entre la media disminuya mas entidades creara en menos tiempo, como puede crear entidades en un tiempo relativamente corto, lo puede hacer en un no extenso, sobre la fuente constante los valores ingresados son claramente evidenciados en las gráficas, se pueden ingresar valores decimales y no presentará ningún problema, uno de los detalles es que la gráfica no se mantiene en el tiempo sino no se ha generado una entidad dejando inconclusa la señal, y en la fuente uniforme se ingreso un calor negativo como parámetros donde ocasiona un error ya no tendría sentido pensar un tiempo negativo.

Ejercicio 1 B

Encontrar el tiempo medio entre arribos a partir de la gráfica generada por una fuente con distribución exponencial y completar la tabla 18.

Se toman los valores de cambio en la señal de la gráfica. En total se presentaron 8 arribos y sus tiempos tentativamente son mostrados en la tabla 18.

Figura 88. Tiempo de arribos de una fuente exponencial con λ de 100



MAHTWORS (2008B)

Tabla 18. Tiempos para cada uno de los arribos.

Arribo No.	Tiempo Unid	Tiempo entre Arribos
1	9	9
2	183	$183 - 9 = 174$
3	204	$204 - 183 = 21$
4	262	$262 - 204 = 58$

5	310	310 - 262 = 48
6	518	518 - 310 = 208
7	673	673 - 518 = 155
8	845	845 - 673 = 172

Media = (9 + 174 + 21 + 58 + 48 + 208 + 155 + 172)/8

Media = 105,625

Tabla 19. Comparación tiempo medio entre arribos teóricos con los simulados.

Tiempo Simulado	Media Simulada	No de Arribos	Media Calculada
1000	100	8	105,625
300	15		
15	1/2		
1.0	1/20		

Ejercicio 2.

Se propone completar la tabla 20, donde es necesario encontrar la FDA Exponencial de los valores dados, la ecuación 17 por la que hay que remplazar los valores de λ y x .

Ecuación 17. FDP Exponencial

$$P[X < x] = 1 - e^{-\lambda x}$$

Este valor significa la probabilidad que entre arribos ocurran en un tiempo menor a x .

Tabla 20. Función de distribución de probabilidad en una variable X

Tiempo de Simulación	λ	x	FDA Exponencial (Teórico)	FDA Exponencial (Programa)
100	100	0.0001	0.010	0.096
500	1	0.1		
10	1000	0.0023		
10	1260	0.0003		
100	30	0.2		
100	4	0.1		

El primer valor de la tabla remplazado los valores paso a paso.

$$P[X < x] = 1 - e^{-\lambda x}$$

$$P[X < 0.1] = 1 - e^{-1*0.1}$$

$$P[X < 0.1] = 1 - 0.9048$$

$$P[X < 0.1] = 0.0952$$

La probabilidad que entre arribos el tiempo sea menor a 0.1 del 100% de los eventos es de 0.0952

- ¿Qué puede concluir con los obtenidos en la tabla anterior? ¿Si un cliente le dijese que necesita comprar un servidor pero entre más veloz sea este más costoso que solución le ofrecería?

Con los valores de la tabla anterior se puede concluir que para tener la probabilidad que un evento ocurre en un tiempo t, está en función de λ y que como se observa en la tabla las probabilidades empiezan a ser notorias cuando x es igual a valor medio de λ , y en cuanto al servidor sería óptimo sugerir al usuario que compre uno que cubra el 0.90 de la probabilidad de los eventos.

El programa es mostrado en el desarrollo.

Ejemplo de las fuentes Exponencial: Transmilenio, un banco y el Supermercado,

7.2 GUÍA DE LABORATORIO 2 – FUENTE BASADA EN UNA TRAZA

La guía habla sobre un analizador de tráfico para capturar trazas (tiempos de arribo de los paquetes) desde una red definida, WireShark, es un programa de contenido free que permite al usuario capturar estos paquetes que ve en la red, lo importante es que este tipo de versión en el que es descargado es suficiente para la práctica, se puede bajar desde el siguiente link <http://www.wireshark.org/download.html>.

Pasos para tomar muestras por WireShark.


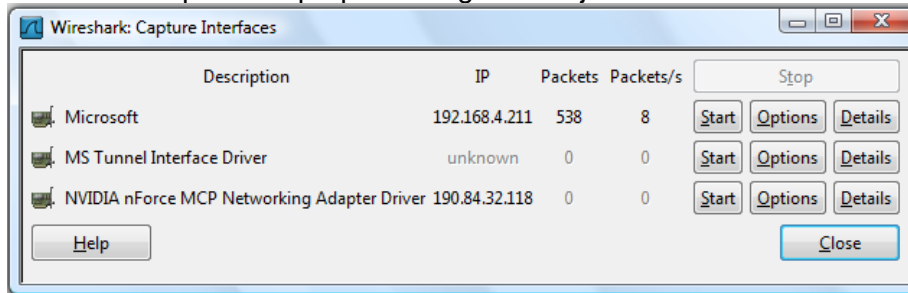

- Abra el WireShark, en las pestañas superiores haga clic sobre View/Time Display Format y seleccione la opción: Seconds since previous captured packet, esto permitirá que los tiempos organizados por la captura del programa sean en forma delta con respecto al último paquete capturado.
- De clic sobre el primer botón visto de izquierda a derecha  el cual abrirá la ventana de la Figura 89, allí escogerá el dispositivo de red a que esté conectado y dará Star.

Figura 89. Interfaz de captura de paquetes según la tarjeta de red.



WIRESHARK

- Espere a que el programa capture mínimo 700 paquetes, siguiente a esto detenga la acción , vaya a File/Export/File y guarde el archivo con formato CSV (Comma Separated Values), darle un nombre al archivo seguido de la extensión .txt.
- Abra el programa Microsoft Excel, para tener un adecuado manejo de los datos es necesario seleccionar toda la hoja de Excel y darle formato de texto.
- Ahora importe los datos del archivo .txt guardado anteriormente de la siguiente manera, en la pestaña superior de "Datos", aparece la opción "Desde Texto", buscar el archivo y abrirlo.
- En la primera venta de "siguiente", seguida a esta aparecerá otra, aquí seleccione la casilla "Coma" como separador, de siguiente y después finalizar, ahora los datos están separados por columnas, es importante resaltar que los valores que son mayor a 1.0 perdieron su formato y quedaron como 10, ahora como tarea es colocar el punto para que Matlab pueda reconocer que es un número no mayor a una decena.
- Tomar la columna de los tiempos y la copiarla en el Command Window de la siguiente manera:

```
>>y=[valores importados de Excel];
```

Entonces la variable "y" queda con los valores de tiempo con un estructura del vector <n x 1 double>.

Esta parte de la guía irá en el manual.

El ejercicio 1 propone capturar unas trazas y completar la Tabla 3.

TRAZA	Tiempo Capturado	Número de Trazas	Tiempo Capturado	Número de Trazas	Tiempo Capturado	Número de Trazas
Casa	100 s	221	1000 s	1600	10000 s	7845
Universidad	100 s	234	1000 s	1898	10000 s	7654
Café Internet	100 s	300	1000 s	3404	10000 s	9456

7.3 GUÍA DE LABORATORIO 3.1 – COLA M/M/1/∞/∞

Objetivos: Comprobar que el comportamiento de la cola simulado en SimEvents corresponde a las características al modelo ideal de la misma, comprobando que todos los ejercicios planteados en la guía son funcionales.

Recursos: SimEvents, Editor de Matlab.

Ejercicio 1

Se pide completar la tabla que referencia los datos de interés en una cola M/M/1/∞/∞, donde en los enunciados es necesario utilizar ciertas formulas y el resto se obtiene a partir de la simulación.

Para hallar el retardo promedio de un usuario en la cola se utiliza la Ecuación 18

Ecuación 18. Retardo promedio del enlace

$$T_w = \frac{1}{\mu - \lambda}$$

Para el primer caso de la tabla se calcula con siguientes pasos:

$$T_{w1} = \frac{1}{\mu - \lambda} = \frac{1}{10 - 6} = \frac{1}{4} = 0.25 \text{ s}$$

Para hallar el tamaño promedio de la cola se utiliza la Ecuación 19

Ecuación 19. Tamaño Promedio de la cola

$$T_w = \frac{\lambda}{\mu - \lambda}$$

Para el primer caso de la tabla se calcula en los siguientes pasos:

$$T_{W1} = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} = \frac{6}{10 - 6} = \frac{6}{4} = 1.5 \text{ Ent/s}$$

La tabla (ver Tabla 4) completa es

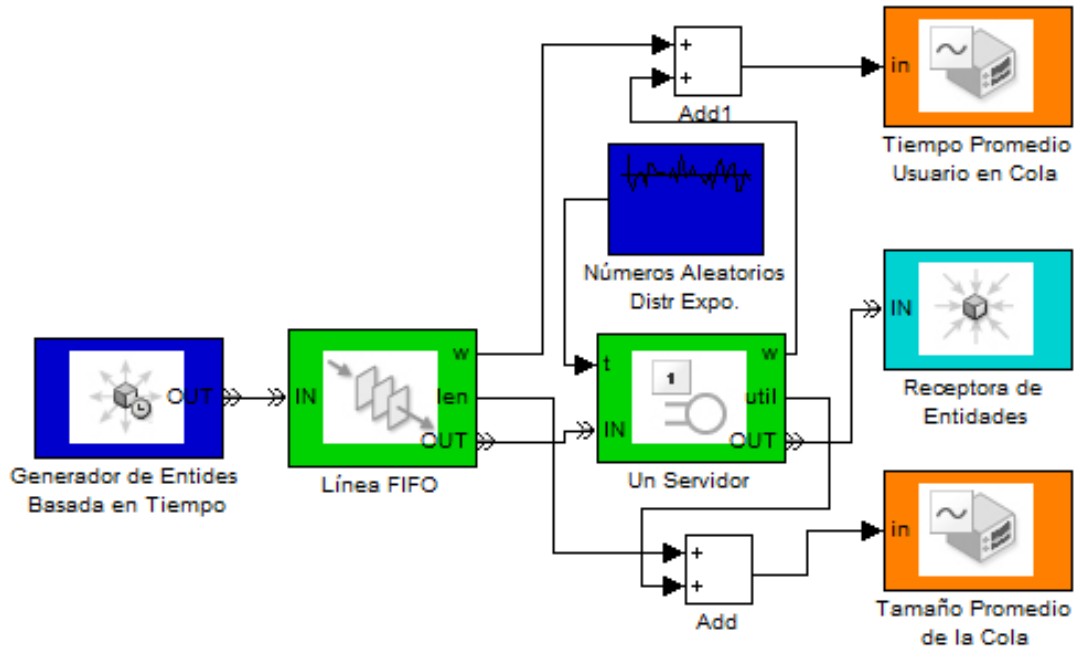
Tiempo Simulado	λ	μ	TP usuario en Línea de Espera	TP Usuario en Servidor	TP Usuario en Cola (Valor Teórico)	%Utilización del Servidor	Usuarios Promedio en Línea de Espera	Tamaño Promedio de la cola (Valor Teórico)
10000	6	10	0.15s	0.1s	0.25s	0.6 Ent.	0.88 Ent.	1.5 Ent.
1000	300	350	17 ms	2.86 ms	20 ms	0.86 Ent.	5.15 Ent.	6 Ent.
200	1000	1001	0.21 s	0 s	1 s	1 Ent.	208 Ent.	1000 Ent.
10000	1000	1001	0.7 s	0 s	1s	1 Ent.	698 Ent.	1000 Ent.
1000	30	40	0.074 s	0.025s	0.1 s	0.75 Ent.	2.23 Ent.	3 Ent.
20000	39	40	0.96 s	0.025s	1 s	0.99 Ent.	38 Ent.	39 Ent.

- Cuando el tráfico es aproximado a uno: El problema lo presenta Matlab, el sistema demora tiempo en estabilizarse, además no concluye con la simulación debido a las gráficas en las sondas y si lo hace es demasiado variante como para dar una conclusión acertada del sistema
- Relación entre Tiempo Promedio de Un Usuario en Línea de Espera y Tiempo Promedio de Un Usuario en el Servidor: La suma de estos dos retardos es la Tiempo Promedio de un Usuario en la Cola, esto reafirma que no se debe caer en el error que la cola solo lo conforma la línea de espera.
- Relación entre %Utilización y Usuarios Promedio en Línea de Espera: Al igual que en la respuesta anterior la suma de estos dos valores es el Tamaño Promedio de la Cola.

Ejercicio 3

Para hallar estos valores que se necesitan en el nuevo esquema y como se concluyo en el punto anterior, es necesario hacer una suma entre las dos señales que se relacionan, el esquema propuesto es el siguiente.

Figura 90. Esquema para hallar el Tiempo Promedio de Un Usuario en una Cola



(MATHWORKS 2008)

7.4 GUÍA DE LABORATORIO 3.2 – COLA M/M/1/K/∞

PRUEBA: COMPORTAMIENTO DE LA COLA M/M/1/K/∞

Objetivos: Comprobar que el comportamiento de la cola simulado en SimEvents corresponde a las características al modelo ideal de la misma, comprobando que todos los ejercicios planteados en la guía son funcionales.

Recursos: SimEvents, Editor de Matlab

Para esta guía es importante tener en claro los conceptos de que son los recursos K en una cola, ya que es cotidiano cometer el error en pensar que este valor pertenece al tamaño de la línea de espera pero hay que tener en cuenta que el servidor representa 1 en esa cantidad K de recursos, entonces la línea de espera queda con tamaño K-1.

Ejercicio 1

A partir del esquema presentado en la guía completar la siguiente tabla:

Tiempo Simulado	λ	μ	k	% Probabilidad Bloqueo (Simulación)	Probabilidad de Bloqueo (Teórico)
5000	23	45	5	1.9	0.0174
1500	44	45	4	19.5	0.1911
10000	40	80	9	0.09	0.001
10000	6	39.5	3	0.028	0.003
1500	102	206.75	5	1.52	0.015
1000	320.25	500	2	20.3	0.2

Para calcular la Probabilidad de Bloqueo (P_b) se utiliza la Ecuación 5 donde se relaciona el tráfico y los recursos.

$$P_b = \frac{A^K(1 - A)}{1 - A^{K+1}}$$

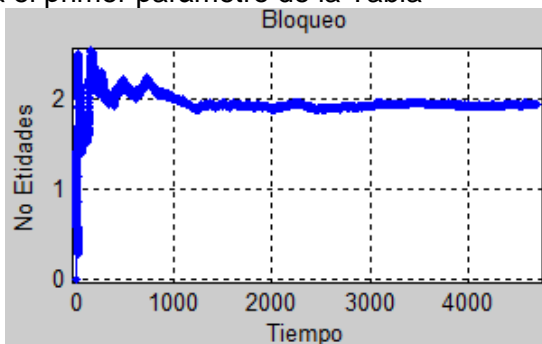
Para el primer valor de la tabla:

$$P_b = \frac{A^K(1 - A)}{1 - A^{K+1}} = \frac{23^5 (1 - \frac{23}{45})}{1 - \frac{23^{5+1}}{45}} = 0.0174$$

La probabilidad que un usuario no sea aceptado en el sistema es de 1.74 %

En la simulación la gráfica que arroja el porcentaje bloqueado de entidades del total generadas se presenta en la Figura 91, para el primer parámetro de la tabla.

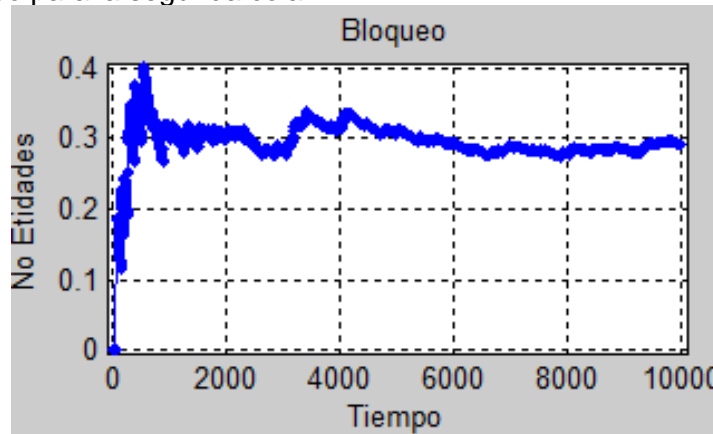
Figura 91. Bloqueo para el primer parámetro de la Tabla



(MATHWORKS 2008)

Como conclusión cuando los valores porcentuales de las entidades bloqueadas son menores a uno es muy inestable el sistema como se ve en la Figura 92, donde la probabilidad de bloqueo es de 0.3%.

Figura 92. Bloqueo para la segunda cola.



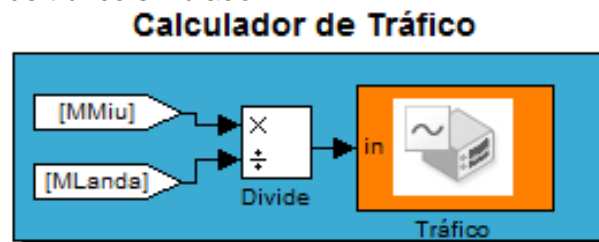
(MATHWORKS 2008)

Ejercicio 2

- **Calculador de Tráfico:** En el primer literal se plantea la necesidad de calcular el tráfico en un sistema, apoyándose en los puestos w de la Fuente y El servidor se puede saber que los valores de λ y μ , son presentados como valores promedios de la media, entonces si el tráfico es λ/μ para calcularlo en la simulación se calcula de manera contraria $(1/\mu)/(1/\lambda)$, y el esquema es mostrado en la Figura 93.

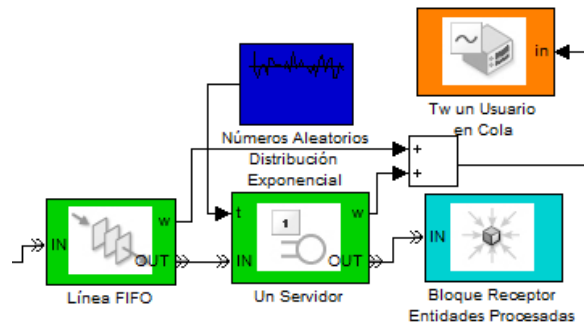
Para encontrar el tiempo promedio que un usuario dura en la cola, es necesario realizar la suma del tiempo promedio en la línea de espera más tiempo promedio en el servidor, así como se planteo como se concluyo en la Guía 3.1 el esquema es mostrado en la Figura 100.

Figura 93 Calculador de tráfico simulado



(MATHWORKS 2008)

Figura 94. Calculador tiempo promedio de un usuario en cola



(MATHWORKS 2008)

7.5 GUÍA DE LABORATORIO 3.3 – COLA M/M/1/K/K

PRUEBA: COMPORTAMIENTO DE LA COLA M/M/1/k/k

Objetivos: Comprobar que el comportamiento de la cola simulada en SimEvents corresponde a las características al modelo ideal de la misma, comprobando que todos los ejercicios planteados en la guía son funcionales.

Recursos: SimEvents, Editor de Matlab.

Esta guía tiene la característica especial que modela la mayoría de los sistemas telefónicos antiguamente, donde la probabilidad que un usuario no pudiera acceder al servicio era mayor a comparación de lo que es actualmente (90%), este parámetro se convirtió en análisis de la ingeniería conocido como QoS, calidad de servicio; este tipo de colas tiene la característica que no tiene línea de espera, por tal motivo un parámetro que se elimina es el retardo promedio de la cola pues únicamente el retardo es debido a la tasa de servicio.

Ejercicio 1

El esquema de la simulación de un sistema Erlang B, es mostrada en la Figura 100, y se propone completar la siguiente tabla:

Tiempo Simulado	λ	μ	k	% Probabilidad Bloqueo (Simulación)	Probabilidad de Bloqueo (Teórico)
4500	44	45	4	1.36	0.0144
10000	44	45	2	19.52	0.1947
1000	22	28.75	5	0.9	0.001
20000	9	10.34	4	10	0.01
5000	50	76	2	11	0.115

Para el primer valor de la tabla el procedimiento es el siguiente:

Para hallar el valor teórico de la Probabilidad de Bloqueo la formula en un sistema Erlang B es mostrado en la Ecuación 20.

Ecuación 20. Probabilidad de Bloqueo para un sistema Erlang B

$$Pb = \frac{\frac{AK}{K!}}{\sum_{n=0}^k \frac{A^n}{n!}}$$

Para solucionar esta ecuación se utiliza un programa recursivo y es el siguiente:

```

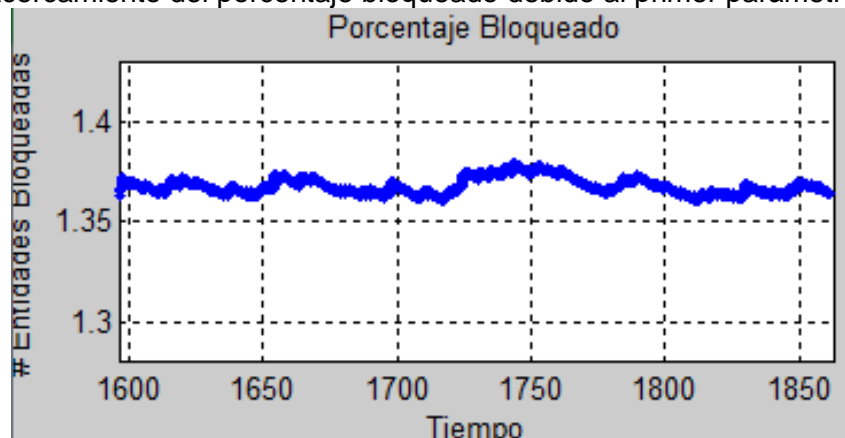
funcion c=ErB_P(A,K) %A=Tráfico y K=Canales de Servicio

p=A/(1+A);
n=1;
while (n~=K)
    p=(A*p)/(n+1+A*p);
    n=n+1;
end
c=p;

```

Para los primeros parámetros de la tabla la grafica obtenida a partir de la simulación se muestra en la Figura 95, es un aumento de la original para que pueda ser apreciado el valor estabilizado.

Figura 95. Acercamiento del porcentaje bloqueado debido al primer parámetro



(MATHWORKS 2008)

7.6 GUÍA DE LABORATORIO 3.4 – COLA M/M/K/∞/∞

PRUEBA: COMPORTAMIENTO DE LA COLA M/M/k/∞/∞

Objetivos: Comprobar que el comportamiento de la cola simulada en SimEvents corresponde a las características al modelo ideal de la misma, comprobando que todos los ejercicios planteados en la guía son funcionales.

Recursos: SimEvents, Editor de Matlab

En esta guía se propone un sistema Erlang C, este sistema es el que actualmente se manejan en las comunicaciones telefónicas la cual tiene la característica especial que tiene línea de espera de tamaño infinito.

Ejercicio 1

En este primer numeral es necesario desarrollar un piloto correspondiente a las pruebas que se desarrollan con tiempos de simulación pequeños para observar el funcionamiento, los parámetros propuestos son los siguientes:

- $\lambda = 20$
- $\mu = 2$
- $k = 15$ y tiempo simulado = 7

Este punto se encuentra solucionado en el desarrollo pues de allí se hicieron las primeras pruebas para entender a la perfección el esquema y poder plantear el restante de la guía para tal remitirse a la Pág. 83.

Ejercicio 2

Se propone la implementación de un programa para cuantiar las entidades que tuvieron un T_w mayor a cero, el programa se muestra en la Pág. 86

Ejercicio 3

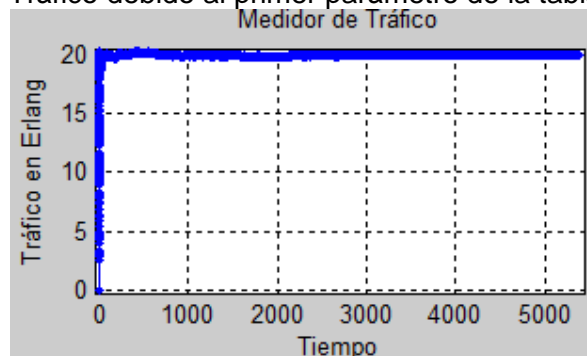
En el ejercicio 3 se propone realizar la Tabla 15, el objetivo es tomar los parámetros iniciales y observar el funcionamiento de la cola.

Tiempo Simulado	λ	μ	k	Tráfico Simulado	Probabilidad de Espera Teórico	Probabilidad de Espera Simulado	% Espera Real*
10000	40	2	30	20.1	0.025	0.023-0.026	2.35
10000	40	2	21	20.1	0.7606	0.070-0.074	76.06
5000	20	2	21	10	0.0017	0.0016-0.0021	0.1982
5000	13	3	10	4.33	0.0149	0.015	1.4243

Para el primer valor de las tablas las gráficas arrojadas por las Sondas son las siguientes:

En la Figura 96 esta se puede observar el tráfico generado a partir de los valores de $\lambda=40$ y $\mu=2$, donde efectivamente la relación entre estas da 20 Erlangs, el sistema se estabiliza rápidamente para esta gráfica.

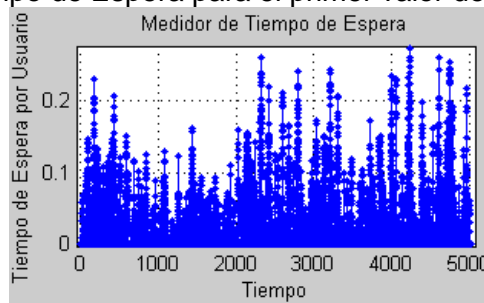
Figura 96. Medidor de Tráfico debido al primer parámetro de la tabla



(MATHWORKS 2008)

En la Figura 97 muestra el tiempo de espera por usuario donde el tiempo de espera por usuario pico no es mayor 0.25 s, esta gráfica puede ser útil para calcular los rangos donde hay mayor presencia de entidades fuera de $T_w=0$, pues es donde se concentra el 97.65% de las entidades.

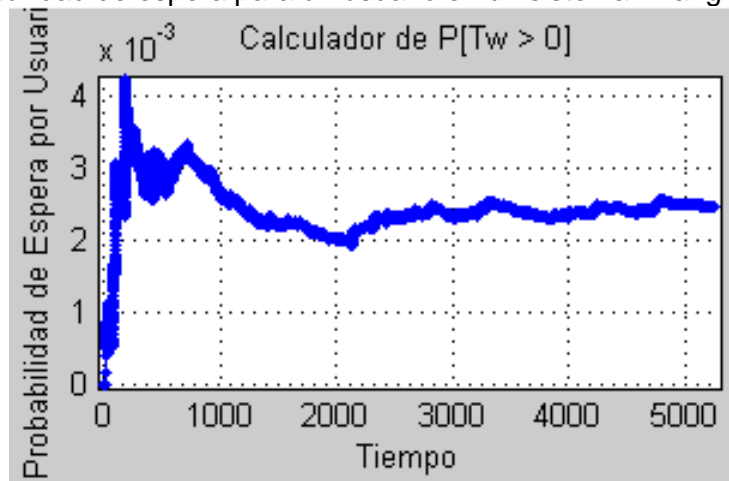
Figura 97. Gráfica de Tiempo de Espera para el primer valor del tiempo simulado



(MATHWORKS 2008)

En la Figura 98 el calculador de porcentaje es el experimento que se realiza por primera vez, que es calcular parámetros a partir de una formula, como se observa el valor corresponde al valor teórico, pero demora tiempo en estabilizarse el sistema.

Figura 98. Probabilidad de espera para un usuario en un sistema Erlang C

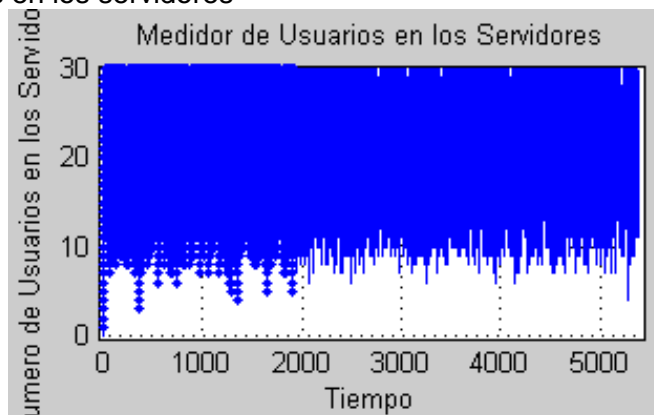


(MATHWORKS 2008)

En la Figura 99 la cantidad de usuarios en el servidor permite observar que en la mayoría del tiempo, la ocupación está arriba de 10.

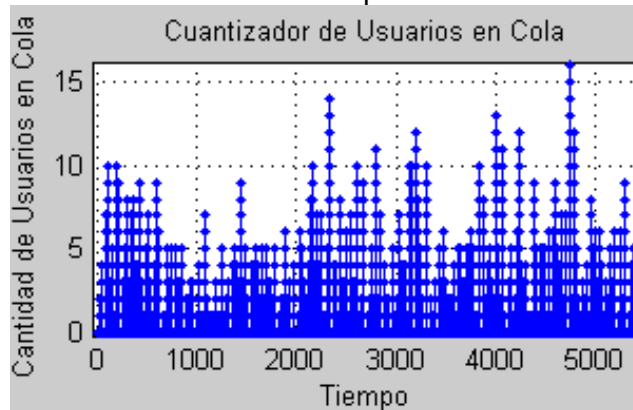
En la Figura 100 los usuarios en cola están debajo del promedio de 15, con este dato podría dimensionarse el sistema con línea de espera menor al valor promedio, ahorrando costos para un servidor que no es necesario en este tipo de tráfico.

Figura 99. Usuarios en los servidores



(MATHWORKS 2008)

Figura 100. Número de usuarios en Línea de Espera



(MATHWORKS 2008)

7.7 GUÍA DE LABORATORIO 4 – REDES DE COLAS ABIERTAS

PRUEBA: COMPORTAMIENTO DE RED DE COLAS ABIERTAS

Objetivos: Comprobar que el comportamiento de la cola simulada en SimEvents corresponde a las características al modelo ideal de la misma, comprobando que todos los ejercicios planteados en la guía son funcionales y comprobar que los ejercicios planteados son aplicables en cada uno de los casos.

Recursos: SimEvents, Editor de Matlab.

Esta guía sobre la redes de colas abiertas se centra en un bloque específico, Asignación de Probabilidades, la función de este bloque es determinar por cual ruta se dirigirá la entidad a partir de un vector de probabilidad, el programa es dado en la guía de simulación y como utilizarlo dentro del bloque Función Atributo.

Ejercicio 1

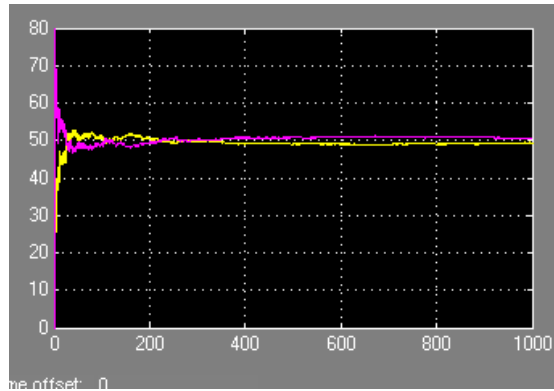
La propuesta es completar la Tabla 14 a partir de los parámetros propuestos por esta.

Tiempo Simulado	λ	μ	Vector de Probabilidad	%Ruta 1	%Ruta 2
1000	6	10	[1/2 1/2]	51	49
500	20	25	[1/4 3/4]	25.5	74.5
250	200	201	[1/3 2/3]	33.5	66.5
8000	2	300	[1/5 4/5]	20.5	79.5

Para el primer valor de la tabla la simulación arroja la gráfica de la Figura 101,

Como se puede observar el primer vector de probabilidad propuesto en la tabla es equiprobable y la gráfica muestra que esa condición se cumple en 98% ya que la ruta 2 tiene un porcentaje aproximado de 51 y por diferencia la ruta 1 es de 49%.

Figura 101. Porcentaje de usuarios debido a la a una red de dos colas



(MATHWORKS 2008)

Ejercicio 2

A partir de ahora se traban con nodos de red, para conectar las rutas que convergen en un punto para eso se propuso el esquema de la Figura 64, y completar la Tabla 10 con los valores propuestos.

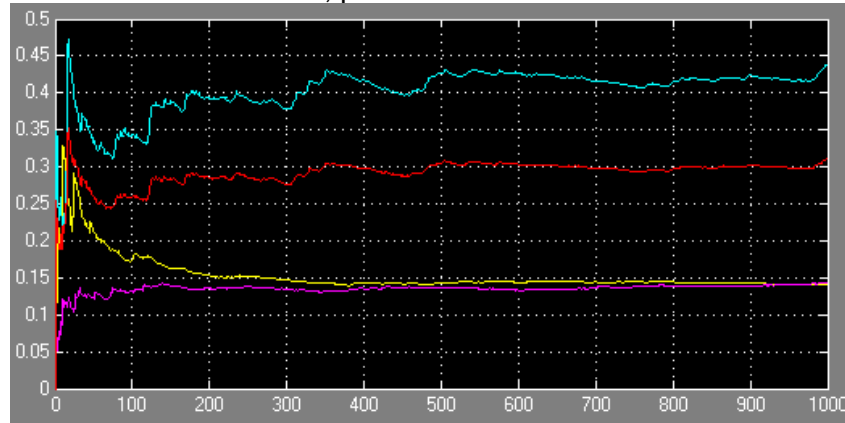
Tiempo Simulado	λ_1	μ_1	Vector de Probabilidad	Teórico Tw Cola	Teórico Tw Cola1	Simulado Tw Cola	Simulado Tw Cola1
1000	6	10	[1/2 1/2]	142 ms	142 ms	140 ms	140 ms
500	20	25	[1/4 3/4]	50 ms	100 ms	50 ms	100 ms
250	200	201	[1/3 2/3]	7 ms	14.7 ms	7.5 ms	14.3 ms
8000	2	300	[1/5 4/5]	3.33 ms	3.35 ms	3.4 ms	3.4 ms

λ_2	μ_2	Teórico Tw Cola2	Simulado Tw Cola2	Teórico Tw RED	Simulado* Tw RED
8	10	500 ms	450 ms		300 ms
2	25	43.3 ms	45 ms		83 ms
10	201	5.23 ms	5.2 ms		11.6 ms
150	300	6.66 ms	6.7 ms		6.6 ms

Para el primer valor de la tabla las gráficas arrojadas por la simulación es la siguiente:

El parámetro cola, pertenece a la ruta 1, la cual es de color amarillo, la cola 1, es pertenece a la ruta 2, y su color es el Magenta (Rosado Encendido) , la cola 2 pertenece a la ruta 3, su color es el Cyan, y el retardo de la red es de color Rojo.

Figura 102. Retardo debido a 4 colas, primera fila



(MATHWORKS 2008)

El retardo de un enlace se calcula con la Ecuación 21, para la primera y segunda ruta es la siguiente:

Ecuación 21. Ecuación de retardo para un enlace

$$T_{W(1 y 2)} = \frac{1}{\mu - \lambda} = \frac{1}{10 - 3} = \frac{1}{7} = 142 \text{ ms}$$

Para la tercera ruta:

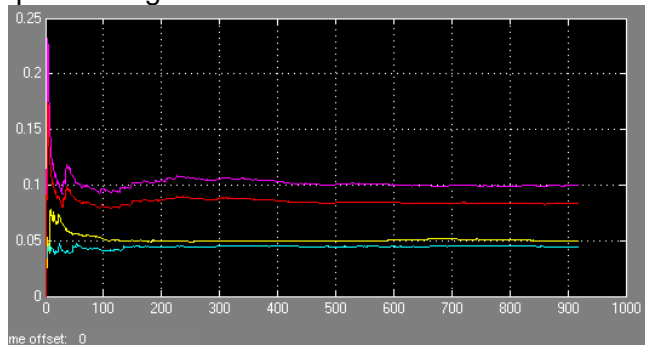
$$T_{W(1 y 2)} = \frac{1}{\mu - \lambda} = \frac{1}{10 - 8} = \frac{1}{2} = 500 \text{ ms}$$

La gráfica mostrada en la Figura 99 muestra los retardos para las rutas a partir de los segundos parámetros de la tabla.

La gráfica arrojada por los parámetros 3 de la tabla es mostrada en Figura 103, al ser la tasa de servicio relativamente rápida en comparación de la de los datos anteriores, el retardo de la red, y de las demás rutas disminuye considerablemente.

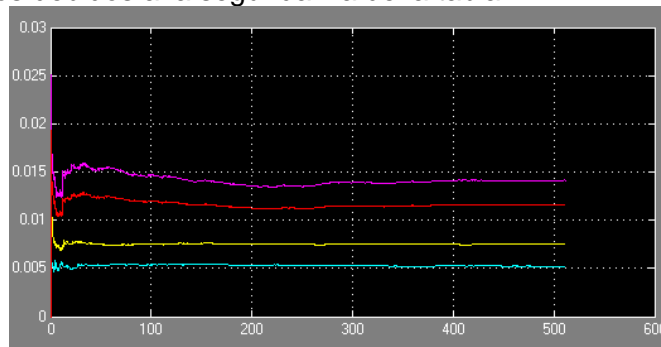
Los retardos son muy similares en debido a los parámetros de la fila 4 de la tabla, donde los caudales por ruta son de mucha diferencia a la tasa de servicio, en la vida real un retardo de tal magnitud podría ser grande, como por ejemplo para una transmisión en F.O.

Figura 103 Retardos para el segundo enlace



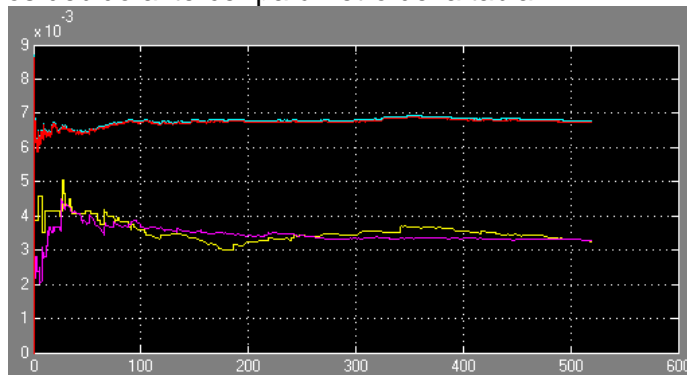
(MATHWORKS 2008)

Figura 104. Retardos debidos a la segunda fila de la tabla



(MATHWORKS 2008)

Figura 105. Retardos debido al tercer parámetro de la tabla



(MATHWORKS 2008)

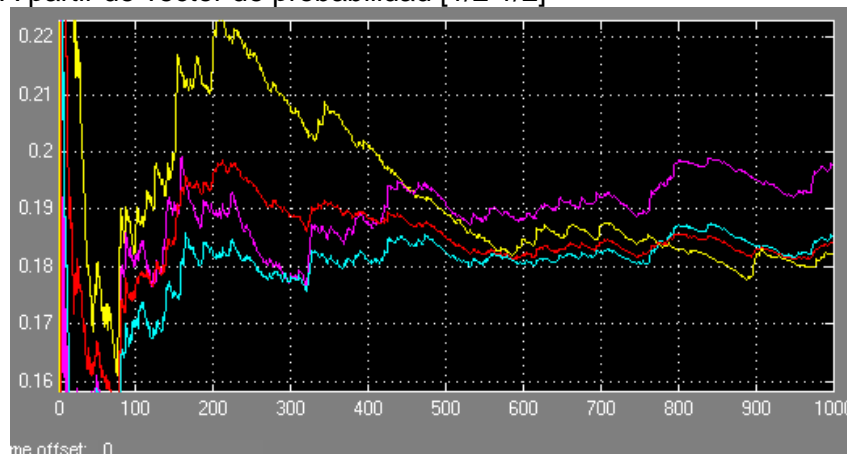
Ejercicio 3

El esquema propuesto a partir del diagrama que se muestra en la Figura 72, la configuración es de 3 rutas, y completar la tabla con valores propuestos por el estudiante

Tiempo Simulado	$\lambda 1$	$\mu 1$	Vector de Probabilidad	Teórico Tw Cola	Teórico Tw Cola1	Simulado Tw Cola	Simulado Tw Cola1
1000	30	20	[1/2 1/2]	200 ms	200 ms	180 ms	190 ms
500	15	20	[3/4 1/4]	90 ms	120 ms	98 ms	115ms

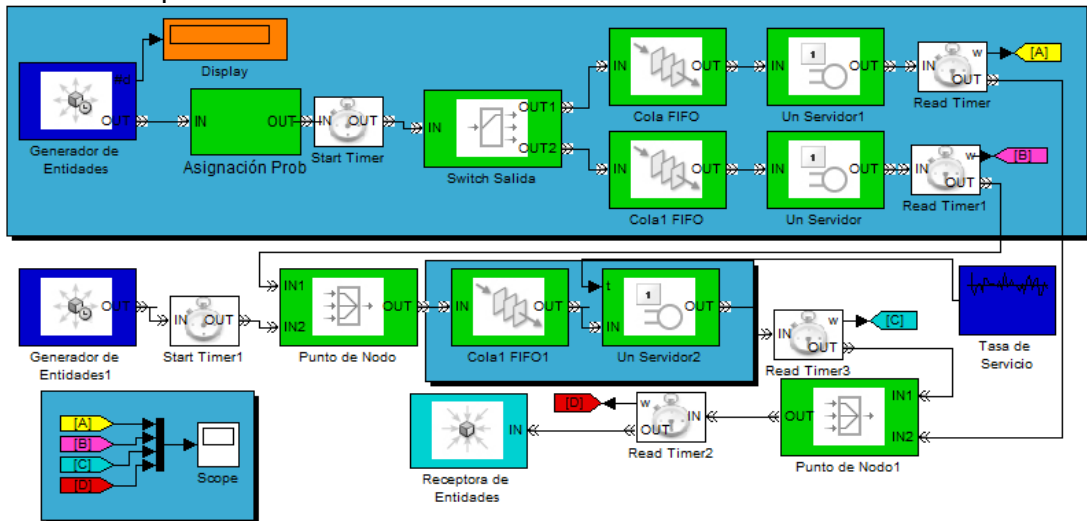
$\lambda 2$	$\mu 2$	Teórico Tw Cola2	Simulado Tw Cola2	Teórico Tw RED	Simulado* Tw RED
10	40	66 ms	180 ms	191 ms	185 ms
11	40	40 ms	32 ms	82 ms	83 ms

Figura 106. A partir de vector de probabilidad [1/2 1/2]



(MATHWORKS 2008)

Figura 107. Esquema de simulación red de Cola Abierta A



(MATHWORKS 2008)

7.8 GUÍA DE LABORATORIO 5 – REDES DE COLAS CERRADAS

PRUEBA: COMPORTAMIENTO DE REDES DE COLAS CERRADAS

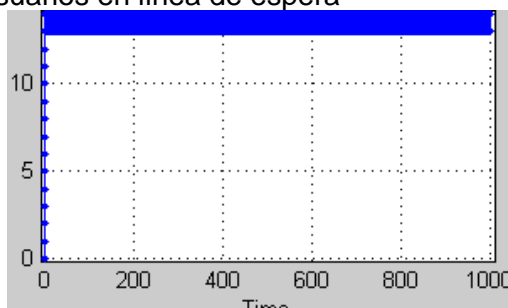
Objetivos: Comprobar que el comportamiento de la cola simulada en SimEvents corresponde a las características al modelo ideal de la misma, comprobando que todos los ejercicios planteados en la guía son funcionales y comprobar que los ejercicios planteados son aplicables en cada uno de los casos.

Recursos: SimEvents, Editor de Matlab.

Ejercicio 1

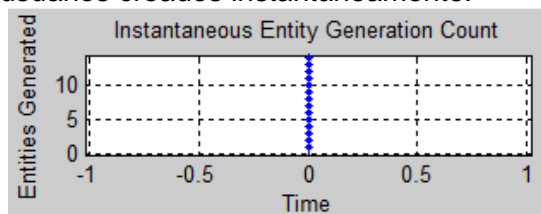
La propuesta de la figura uno es crear una cantidad N de paquetes para que sean circulados por la red, estos paquetes deben ser creados instantáneamente sobre la red, ya que al ser una cola de redes cerradas no posee una fuente; al realizar el esquema que aparece sobre la guía mostrado en la Figura 108 los resultados obtenidos en la gráficas para una generación automática de 15 paquetes son en la Figura 107 se da el tamaño de la línea de espera y como es de esperarse no varíe conforme al tiempo manteniéndose siempre un paquete por encima de los ingresados a la red, en cuanto a la Figura 109, se observa que genera las entidades en un tiempo cero y resto responde a las expectativas para poder realizar el objetivo de la guía.

Figura 108. Número de usuarios en línea de espera



(MATHWORKS 2008)

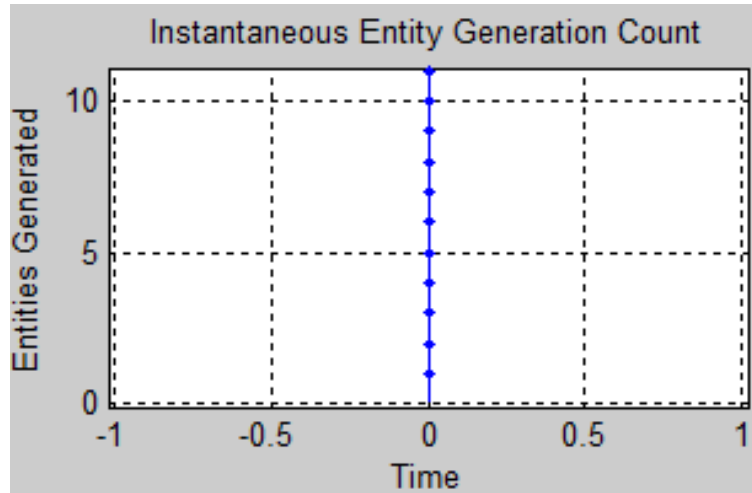
Figura 109. Número de usuarios creados instantáneamente.



(MATHWORKS 2008)

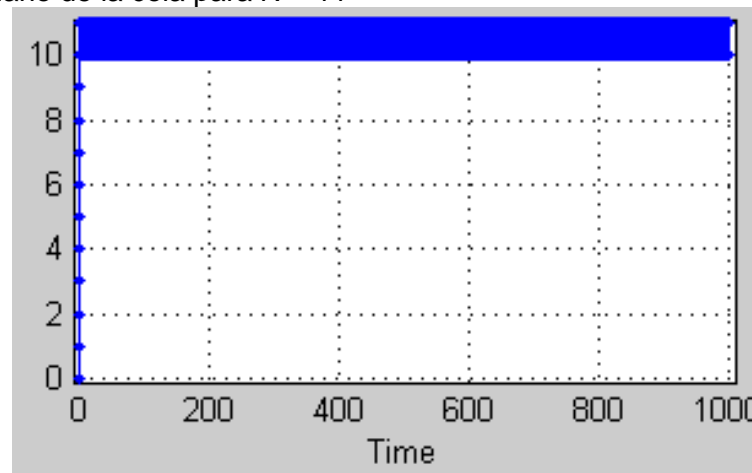
Para otros casos de N y μ son los siguientes.

Figura 110, Para un $N = 11$



(MATHWORKS 2008)

Figura 111 Tamaño de la cola para $N = 11$



(MATHWORKS 2008)

Ejercicio 2

Para este ejercicio se le pide al usuario completar la Tabla 15, la cual pertenece a la Figura 112, el primer parámetro de interés al que hacen referencia en la guía es al retardo promedio de la red, por eso es necesario la implementación de el algoritmo de valor medio, donde el diagrama es dispuesto en la clase de sistemas de espera a manera de práctica, el algoritmo es el siguiente:

```
function l=VMedio(N,cu,q)
```

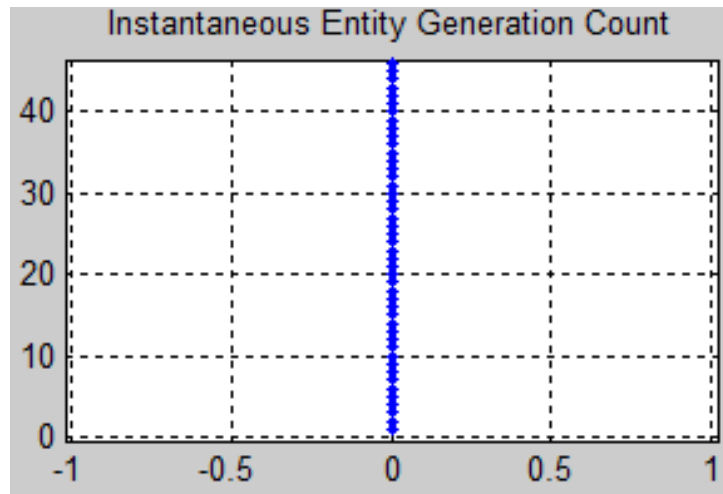
```

%N= 'ingrese el numero de paquetes: ');
%cu= Ingrese el valor de los coeficientes de u [. . .]: ');
%q= 'Ingrese el vector de probabilidad de enrutamiento [. . .]: ');
% Comienza el algoritmo de valor Medio
m=length(q);
x=1;
ni=zeros(1,m);
while(x<=N)
    utri=(ones(1,m)+ni)./cu;
    Caudal=x/dot(utri,q);
    cn=Caudal*q;
    ni=cn.*utri;
    x=x+1;
end
l=utri;
ni;
cn;

P=utri(1);
Y=utri(2)+utri(3);
y=P-Y

```

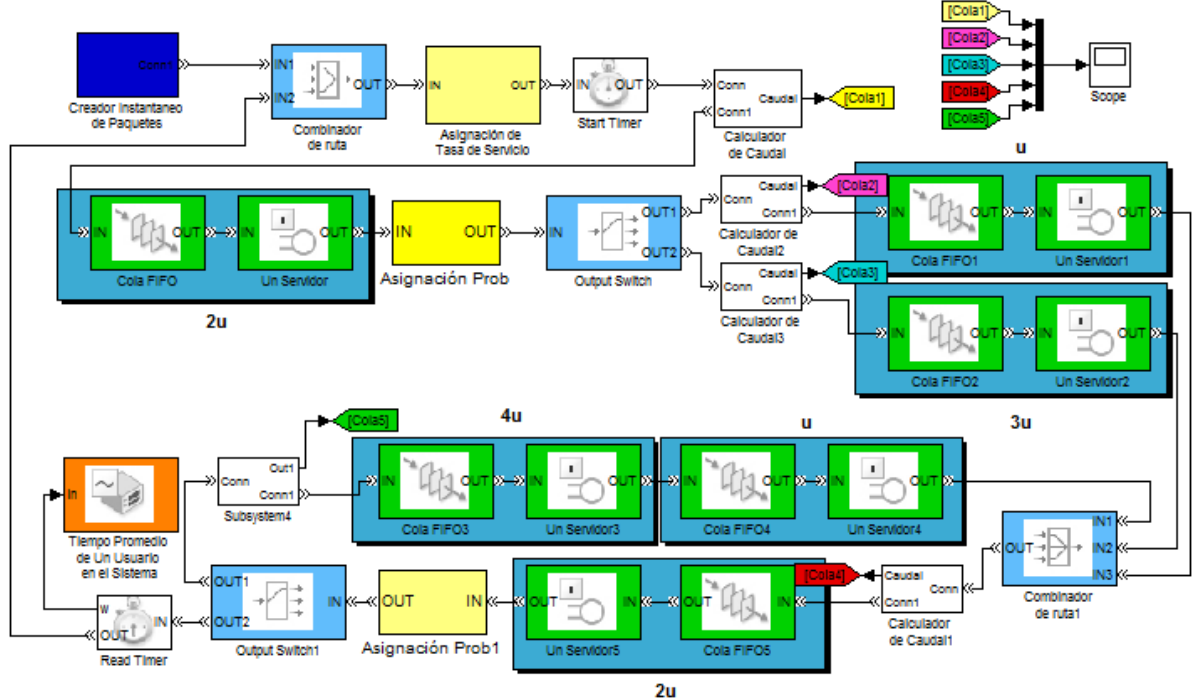
Figura 112. Número de paquetes insertados en la red para debido a la primera fila de parámetros



(MATHWORKS 2008)

Para encontrar el retardo de la red, es necesario tomar el bloque Inicio de Tiempo y colocarlo justo al inicio por donde ingresan los usuarios, y en la selección sobre cómo responder si ya existe una bandera de tiempo escoger la opción de reinicio para evitar acumulación de tiempos, y el bloque Leer Tiempo, debe ir justo en la parte donde por donde termina la red (antes del nodo de red), el esquema es mostrado en la Figura 113

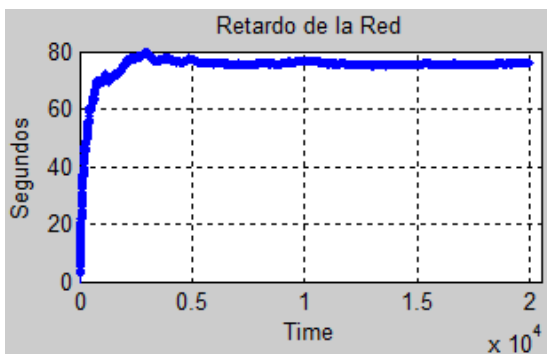
Figura 113. Implementación del diagrama para conocer el caudal y el retardo de la red



(MATHWORKS 2008)

Tiempo Simulado	M	#. de Paquetes	Vector de Prob 1.	Vector de Prob. 2.	Retardo Normalizado de La red (Teórico)	Retardo Simulado
20000	2	50	[2/3 1/3]	[3/4 1/4]	134.4 s	78.9 s
1000	100	50	[1/2 1/2]	[1/2 1/2]	192 s	2 s
800	100	1	[1/3 2/3]	[1/4 3/4]	5 s	50 ms
200	1000	1000	[2/3 1/3]	[2/3 1/3]	2000s	2 s

Figura 114. Retardos debido a la red de la Figura 115 debido a la primera fila de parámetros.



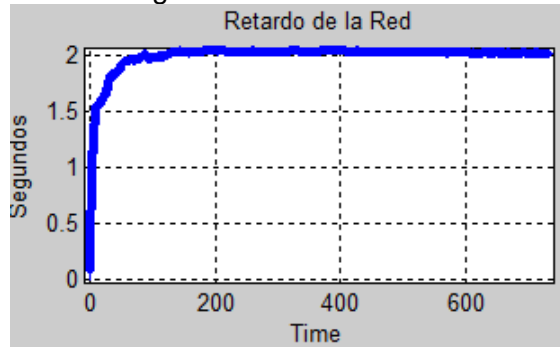
(MATHWORKS 2008)

Ejercicio 2

En la Figura 113, se aprecia cómo deben colocarse los bloques caudales, para hallar el ejercicio 2.

Tiempo Simulado	μ	Número de Paquetes	Caudal 1	Caudal 2	Caudal 3	Caudal 4	Caudal 5
20000	2	50	0.75	0.4	0.25	2.7	2
1000	100	50	50	29	29	96	50
800	100	1					
200	1000	1000	510	200	100	1050	1550

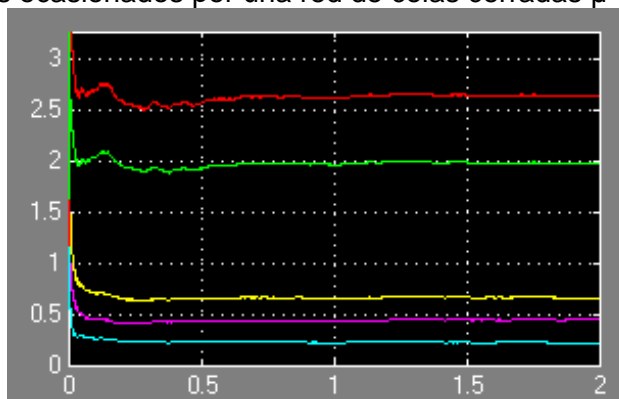
Figura 115. Retardo debido a la segunda red



(MATHWORKS 2008)

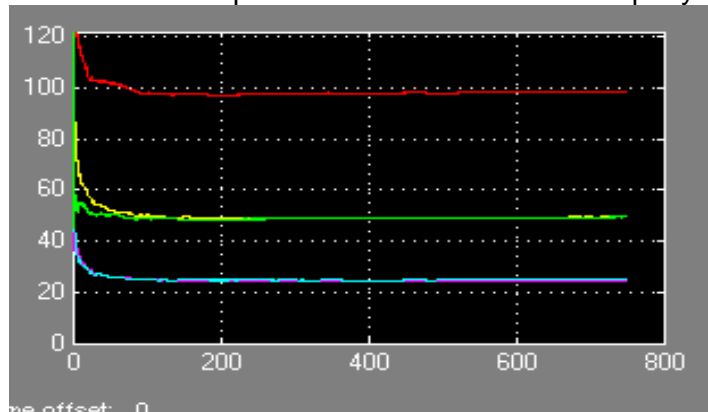
El retardo debido a las dos primeras filas de la tabla es observado en las Figuras 120 y 121,

Figura 116. Caudales ocasionados por una red de colas cerradas μ 1 y N 50



(MATHWORKS 2008)

Figura 117. Caudales ocasionados por una red de colas cerradas μ 1 y N 50



(MATHWORKS 2008)

7.9 GUÍA DE LABORATORIO 6 – ALGORITMOS DE ENRUTAMIENTO

PRUEBA: COMPORTAMIENTO DE REDES DE COLAS CERRADAS

Objetivos: Comprobar que el comportamiento de la cola simulada en SimEvents corresponde a las características al modelo ideal de la misma, comprobando que todos los ejercicios planteados en la guía son funcionales y comprobar que los ejercicios planteados son aplicables en cada uno de los casos.

Recursos: SimEvents, Editor de Matlab.

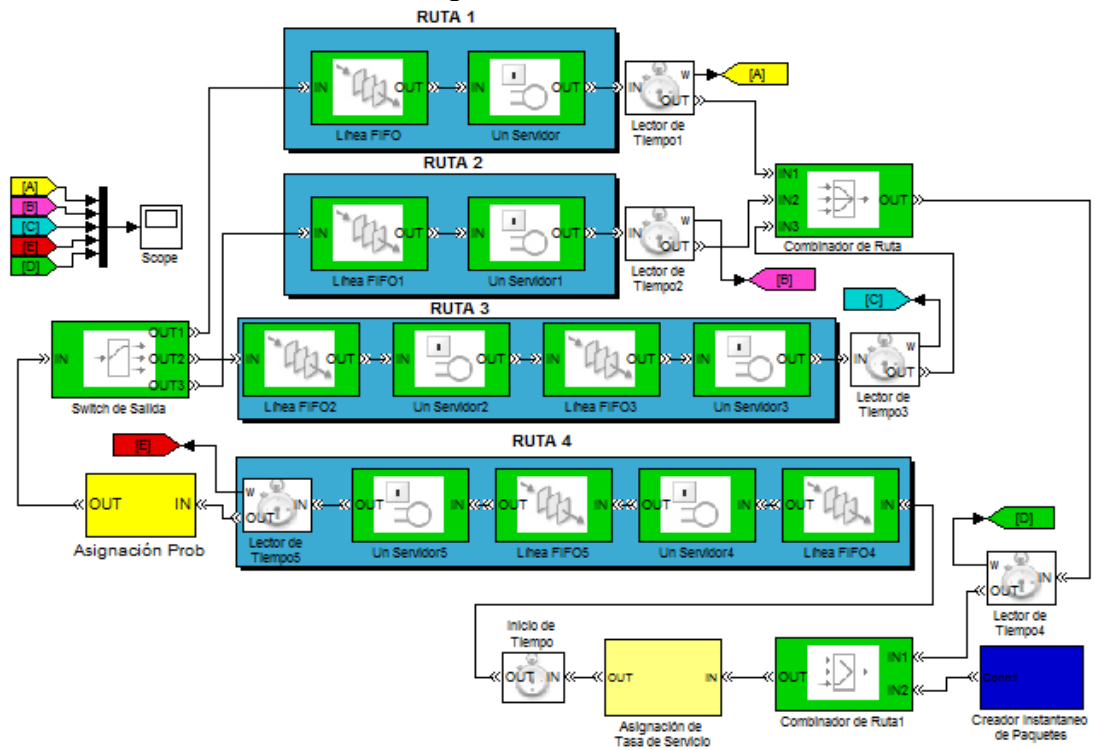
Ejercicio 1

Este Ejercicio tuvo que ser implementado en el desarrollo para poder plantear los interrogantes que surgieron, al igual que las conclusiones que se llegaron (ver Pág. 101).

Ejercicio 3

El esquema del ejercicio se muestra en la Figura 118, donde se implementa una cola cerrada debida a la guía No 6, el gran inconveniente es el de introducir los paquetes ya que no se puede hacer donde cualquier parte del esquema, cuando el “Creador Instantáneo de Paquetes” es implementado justo detrás del subsistema “Asignación de Probabilidad” el sistema solo responde generando una entidad sin importar cuantas hayan sido descritas por el usuario ocasionando que la práctica no pueda ser desarrollada, por tal motivo es necesario que el ingreso de los paquetes sea por una cola y no por un nodo de red.

Figura 118. Red de colas Cerradas algoritmo de enrutamiento



(MATHWORKS 2008)

8. CONCLUSIONES

- Los usuarios de la Red Telefónica Pública Conmutada pueden ser modelados con SimEvents a través de una fuente exponencial y los de las redes modernas por medio de una traza que los caracterice. Esto permite comparar el desempeño de los sistemas de pérdida y espera ante diversos tipos de tráfico (datos, video y voz,).
- Las colas de tipo $M/M/\infty$ son modelos de los sistemas de telecomunicaciones con usuarios de distribución exponencial. SimEvents basándose en los parámetros de estudio de la ingeniería: Recursos K , tráfico A y Calidad de Servicio (QoS) dimensiona redes en todas sus aplicaciones como por ejemplo algunas capas del Modelo OSI.
- El parámetro de costo en un enlace puede ser estimado en SimEvents a través de la simulación de la red de colas abiertas, intercambio las métricas como los saltos, retardos y caudales. Para observar la congestión, enlace de mayor desempeño, entre otros.
- La asignación de ancho de banda para uno o varios enlaces puede ser determinado en SimEvents a través de los tiempos medios de arribos en las peticiones de los usuarios, ayudando al diseñador a tomar la mejor decisión.
- El comportamiento de las Redes AD HOC tales como: caídas de enlaces e intercambio de nodos, pueden ser analizadas con SimEvents a través de una función de variable aleatoria uniforme para ser simulada en un sistema con características específicas como caudal y retardos en transmisión, por medio de una conexión entre tres o más nodos de red.
- Al simular la traza como una fuente generadora de entidades, el tiempo promedio entre los arribos correspondientes a esta, comparada con una de igual caudal pero exponencial, divisa que es necesario como mínimo una traza de 300 valores para hallar la correlación contra 20 de la exponencial para que se cumpla la distribución de manera acertada.
- Diseñar sobre SimEvents los sistemas de colas donde se necesita una aproximación muy buena como en las ventanas deslizables de transmisión de la fiabilidad con un margen de error de 2%.
- Las librerías (bloques funcionales) brindadas por SimEvents son aún muy generales para decirse que la herramienta únicamente tiene el enfoque que se busca durante la asignatura. Procesos industriales, líneas de producción,

tráfico vial, son algunos de los comportamientos en los usuarios, que son implementados en SimEvents para hallar parámetros como densidad de tráfico, embotellamiento en una línea de producción, comportamiento del cuello de botella al traspasar el primer congestionamiento.

- En los algoritmos de enrutamiento no es aconsejable tomar solo una métrica para actualizar el vector de probabilidad, ya que al tratar de igual los retardos para mejorar el costo de la red, uno de los enlaces queda prácticamente relegado haciéndolo dispensable y este no es el objetivo de los algoritmos, se debe plantear un conjunto de parámetros como caudal, y saltos.

9. RECOMENDACIONES

El modelamiento de tráfico está en constante evolución, dependiendo de los nuevos sistemas que la tecnología aporte, así que estos siempre necesitaran una etapa de diseño y simulación para que sean más eficientes.

Propuesta 1: Elaborar bloques funcionales más exactamente entidades que generen nuevas distribuciones que modelen el comportamiento de un tipo de tráfico específico, diseñando todos sus subsistemas para que se cree un adecuado funcionamiento compatible con la herramienta Simevents.

Propuesta 2: Elaborar la simulación de la red computacional de la universidad dando a conocer su comportamiento, modelando por medio de CMDA/CA, observando el flujo de paquetes, mensajes y prioridades, siguiente a esto mostrar una optimización del tráfico que sea coherente con el beneficio siendo aplicable como propuesta.

Propuesta 3: Simular el tráfico generado por la televisión digital que se implementará en Colombia en una red de datos, proponiendo un modelo de transmisión de este tipo de video y observar su comportamiento de estabilidad.

Propuesta 4: Aplicar un algoritmo genético para encontrar la mejor ruta en una red, gracias a la programación funcional embebida que tiene el bloque funcional Función Atributo.

GLOSARIO

TEORÍA DE COLAS(Abad 2002): es el estudio matemático del comportamiento de líneas de espera. Esta se presenta, cuando los "clientes" llegan a un "lugar" demandando un servicio a un "servidor", el cual tiene una cierta capacidad de atención. Si el servidor no está disponible inmediatamente y el cliente decide esperar, entonces se forma la línea de espera.

COLA(Abad 2002): es una línea de espera y la teoría de colas es una colección de modelos matemáticos que describen sistemas de línea de espera particulares o sistemas de colas. Los modelos sirven para encontrar un buen compromiso entre costes del sistema y los tiempos promedio de la línea de espera para un sistema dado.

SISTEMAS DE COLAS(David de la Fuente García 2000): son modelos de sistemas que proporcionan servicio. Como modelo, pueden representar cualquier sistema en donde los trabajos o clientes llegan buscando un servicio de algún tipo y salen después de que dicho servicio haya sido atendido. Poder modelar los sistemas de este tipo tanto como colas sencillas o como un sistema de colas interconectadas formando una red de colas.

FUENTE DE ENTRADA(Garcia 1986): Es un conjunto de individuos que pueden llegar a solicitar el servicio en cuestión. Puede considerarla finita o infinita. Aunque el caso de infinitud no es realista, sí permite (por extraño que parezca) resolver de forma más sencilla muchas situaciones en las que, en realidad, la población es finita pero muy grande.

CLIENTE(Taja 2004): Es todo individuo de la población potencial que solicita servicio. Suponiendo que los tiempos de llegada de clientes consecutivos son $0 < t_1 < t_2 < \dots$, será importante conocer el patrón de probabilidad según el cual la fuente de entrada genera clientes.

ESTADO DEL SISTEMA(Jové 2003): Número de clientes en el sistema.

LONGITUD DE LA COLA(Garcia 1986): Número de clientes que esperan servicio.

FRACTAL(David de la Fuente García 2000): Objeto o cantidad que muestra auto-similaridad para todas las escalas.

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers, sociedad que define estándares a nivel mundial sobre temas a fines a estas carreras

LAN(Vallejo 2001): Local Area Network, red de área local. Es una red de comunicaciones que sirve a usuarios dentro de un área geográficamente limitada.

MODELO(Flor 1996): Representación matemática de un fenómeno real, que captura en esencia la mayoría de sus características, lo que permite realizar análisis de su comportamiento.

PARÁMETRO DE HURST(Cuenca 2000): es una medida del grado de autosimilaridad del proceso

PROCESO ESTOCÁSTICO(Papaulos 1985): conjunto de variables aleatorias que representan una misma magnitud en distintos momentos de tiempo.

PROCESO POISSON(Evans 2005): Experimento aleatorio que tiene como características, llegadas aleatorias, independientes y distribuidas de acuerdo a la variable aleatoria exponencial.

PSTN(HaverKot 2000): Public Switched Telephone Network. Red telefónica conmutada pública.

RED DE COMPUTADORES(Tanenbaum 2003): conjunto de computadores intercomunicados entre sí, lo que posibilita compartir varios tipos de recursos, como archivos, discos duros e impresoras, entre otros

TELETRÁFICO(Martinez 1995): Todo tipo de tráfico de comunicaciones de datos y de tráfico de telecomunicaciones

BIBLIOGRAFÍA

- Abad, R. C. (2002). Introducción a la Simulación y a la teoría de colas.
- Aldana, L. J. (Julio de 2005). "Integración estocástica." from <http://revistaerm.univalle.edu.co/previewleon.pdf>.
- Angel, L. M. (2003). "procesos estocásticos y estimación de parámetros." 2008, from <http://www.cttc.es/docs/CapII.Prosesos.pdf>.
- Aurelio, A. M. (2004). "Modelos de Tráfico en Análisis y Control de Redes de Comunicaciones." Revista científica y tecnológica de la facultad de ingeniería Universidad distrital Francisco José de Caldas Vol 9, No. 1 (2004).
- C., E. L. (2006). "An introduction to stochastic differential equations: version 1.2. Department of Mathematics." from <http://math.berkeley.edu/~evans/SDE.course.pdf>.
- Campos, A. L. (2008). "Simulación de eventos discretos." from <http://yalma.fime.uanl.mx/~arturo/Clase3Sim.pdf>.
- Cuenca, P. Á. (2000). Tendencias en redes de alta presentación.
- David de la Fuente García, R. P. D. (2000). Teoría de Lineas de Espera: modelos de colas.
- Díaz, R. (2005). "Introducción a los Procesos Estocásticos." from <http://www.ucab.edu.ve/ucabnuevo/telecomunicaciones/recursos/procesosestocasticos.pdf>.
- Evans, M. (2005). Probabilidad y Estadística.
- Flor, F. Q. (1996). Computadores Paralelos.
- Garcia, J. R. (1986). Teleinformática y Redes de computadoras. HaverKot, B. (2000). Computer Performance Evaluation.
- Hwei, H. P. (1997). Theory And Problems Of Probability, Random Variables, and Random Processes: schaum's outline series.

Jové, J. F. (2003). Modela y Simulación

Lozano, J. (2006). "Bioestadística: Métodos y Aplicaciones." from <http://www.bioestadistica.uma.es/libro/node69.htm>.

Martinez, J. (1995). Teoría de Colas y Teletráfico.

Mathworks (2008). Manual de usuario SimEvents.

Mathworks (2008). Simulación: Simulación.

OPNET (2003). "Manual and Tools." 2008, from http://www.opnet.com/university_program/teaching_with_opnet/textbooks_and_materials/materials/OPNET_Modeler_Manual.pdf.

Papaulos, A. (1985). Introduccion al Calculo Estocástico, 1983.

Sánchez, D. R. M. y. A. M. S. (2008). "Variables aleatorias y sus distribuciones." from <http://www.eumed.net/libros/2006a/rmss/a7.htm>.

Taja, H. (2004). Investigación de Operaciones.

Tanenbaum, A. (2003). Redes de Computadoras.

Vallejo, A. M. (2001). Sistemas Microinformáticos y redes LAN.

ANEXO A FORMATO GUIA DE SIMULACIÓN



FUNDACIÓN UNIVERSITARIA SAN MARTÍN

Facultad de Ingeniería

Programa de Telecomunicaciones

Guía de Laboratorio No. n

Título de la Práctica

Objetivo General

- Descripción del objetivo general

Objetivos Específicos

- Objetivo uno
- Objetivo dos

Requerimientos

Lista de todos los bloques funcionales a utilizar

Desarrollo de la Práctica

Se realiza por medio de ejercicios, primero se propone el esquema y se hace una breve explicación de que se trata la simulación.

Análisis de Resultados Obtenidos

El objetivo de proponer una práctica consiste en que el estudiante debe desarrollar y profundizar en la el tema que se esté tratando actualmente, por tal motivo la guía está diseñada para que haya un completo análisis por medio de variación en los parámetros de simulación y comparaciones.

Propuesta de Profundización

Referencias

ANEXO B GUÍAS DE SIMULACIÓN