

**Universidad de Cienfuegos “Carlos Rafael Rodríguez”
Facultad de Ingeniería
Carrera Ingeniería Informática**



**Modelo de Simulación aplicado al servicio de acceso remoto de la
red telemática de la Universidad de Cienfuegos.**

Trabajo de diploma para optar por el título de Ingeniería en Informática

**Autor:
Eduardo Linares Amado.**

**Tutores:
Dr. Manuel E. Cortés Cortés.
Dr. Maximino Peña Matos.**

**Cienfuegos, Cuba
Curso 2011 - 2012**

Pensamiento

“Emplearse en lo estéril cuando se puede hacer lo útil; ocuparse en lo fácil cuando se tienen bríos para intentar lo difícil, es despojar de su dignidad al talento. Todo el que deja de hacer lo que es capaz de hacer, peca.”

José Martí.

Dedicatoria

A mis padres por su ejemplo y sacrificio, porque siempre confiaron en mí.

A mi novia por brindarme su amor, dedicación y comprensión en los momentos difíciles.

A toda mi familia que aportó su granito de arena en cada momento.

Agradecimientos

Gracias a Dios por mostrarme el camino correcto.

A mis tutores el Dr. Manuel Eduardo Cortés Cortés y el Dr. Maximino Peña Matos, por haberme orientado con su profesionalidad en la realización del presente trabajo.

A todo el colectivo de profesores, que de alguna manera u otra tuvieron que ver con el desarrollo de este trabajo.

A mis compañeros de aula por compartir su amistad.

A todos, gracias.

Resumen

El presente trabajo ha tenido como propósito el desarrollo de un modelo de simulación aplicado al Servicio de Acceso Remoto de la Red Telemática de la Universidad de Cienfuegos (UCF).

Debido al creciente número de usuarios que tienen acceso a este servicio de red, en oportunidades existen desproporciones entre el equipamiento, ancho de banda y la cantidad de usuarios conectados, los cuales conllevan a ofrecer un servicio de baja calidad. En tal sentido es necesario elaborar un modelo de teoría de colas y simulación para determinar la relación número de usuarios versus ancho de banda disponible, que garantice un servicio aceptable. Para cumplir este objetivo resulta necesario analizar el proceso de Servicio de Acceso Remoto de la Red Telemática de la UCF, diseñar un modelo de simulación que se acerque a la realidad, desarrollar un modelo de teoría de colas y de simulación que posibilite determinar la relación número de usuarios versus ancho de banda disponible y validar los resultados obtenidos de la simulación. En el trabajo se aplica una metodología de desarrollo de modelos de simulación que combina la utilización de todas estas técnicas de forma apropiada con el fin de obtener los resultados deseados para el problema planteado.

Índice de contenido

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO	8
1.1 INTRODUCCIÓN.....	8
1.2 INTRODUCCIÓN A LA TEORÍA DE COLAS O LÍNEAS DE ESPERA.....	8
1.2.1 Surgimientos.....	8
1.2.2 Aspectos generales de las colas.....	10
1.2.3 Notación de las colas.....	12
1.2.4 Terminología.....	14
1.2.5 Ecuaciones generales (fórmulas de Little)	15
1.2.6 Modelos Analíticos de solución.....	17
1.3 INTRODUCCIÓN AL MÉTODO DE SIMULACIÓN	22
1.3.1 Surgimientos.....	23
1.3.2 Aspectos generales de simulación.....	24
1.3.3 Conceptos fundamentales del modelo de simulación	26
1.3.4 Ventajas y desventajas de la simulación	29
1.4 METODOLOGÍA DE DESARROLLO DE UN MODELO DE SIMULACIÓN.....	30
1.5 TRABAJOS CIENTÍFICOS REALIZADOS	34
1.6 CONCLUSIONES PARCIALES	35
CAPÍTULO 2. DESARROLLO DEL MODELO MATEMÁTICO DE TEORÍA DE COLAS Y DE SIMULACIÓN.....	36
2.1 INTRODUCCIÓN.....	36
2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	36
2.3 MODELO MATEMÁTICO DE TEORÍA DE COLAS	37
3.2.1 Definición de variables.....	37
3.2.2 Modelo G/G/S	37
3.2.3 Procedimiento para la formulación del modelo	38
2.4 MODELO DE SIMULACIÓN	39
2.2.1 Definición de variables y objetivo del problema	39

2.2.2	<i>Diseño del modelo preliminar</i>	40
2.2.3	<i>Recolección y análisis de datos de entrada y del sistema</i>	41
2.2.4	<i>Desarrollo del modelo de simulación</i>	45
2.5	HERRAMIENTAS DE DESARROLLO	56
2.6	CONCLUSIONES PARCIALES	58
CAPÍTULO 3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO, VALIDACIÓN Y RESULTADOS		59
3.1	INTRODUCCIÓN	59
3.2	PROCESAMIENTO ESTADÍSTICO DE LAS VARIABLES DE ENTRADA QUE INFLUYEN EN EL SISTEMA	59
3.4.1	<i>Análisis de los resultados del INPUT ANALYZER y el STATGRAPHICS para el tiempo de llegada</i>	59
3.2.1.1	Análisis estadístico del trimestre	59
3.2.1.2	Análisis estadístico del mes de septiembre, octubre y noviembre	62
3.2.1.3	Análisis estadístico del mes de septiembre, octubre y noviembre por períodos de 8 horas	67
3.4.2	<i>Análisis de los resultados del INPUT ANALYZER y el STATGRAPHICS para el tiempo de servicio del mes de septiembre, octubre y noviembre</i>	86
3.2.2.1	Análisis estadístico del trimestre	86
3.2.2.2	Análisis estadístico del mes de septiembre, octubre y noviembre	88
3.2.2.3	Análisis estadístico del mes de septiembre, octubre y noviembre por períodos de 8 horas	94
3.3	VALIDACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN	113
3.4	ANÁLISIS DE RESULTADOS	115
3.4.1	<i>Resultados del trimestre</i>	115
3.4.1	<i>Resultados del mes de septiembre, octubre y noviembre</i>	116
3.1	<i>Resultados del mes de septiembre, octubre y noviembre por períodos de 8 horas</i>	116
3.5	CONCLUSIONES PARCIALES	119

CONCLUSIONES GENERALES	120
RECOMENDACIONES	121
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	122
BIBLIOGRAFÍA	125
ANEXOS	129

Índice de tablas

Tabla 1. Tabla ANOVA del trimestre para el tiempo de llegada	61
Tabla 2. Tabla ANOVA de septiembre para el tiempo de llegada	63
Tabla 3. Tabla ANOVA de octubre para el tiempo de llegada	65
Tabla 4. Tabla ANOVA de noviembre para el tiempo de llegada	67
Tabla 5. Tabla ANOVA de septiembre en el horario de 12:00 AM – 08:00 AM para el tiempo de llegada	69
Tabla 6. Tabla ANOVA de octubre en el horario de 12:00 AM – 08:00 AM para el tiempo de llegada	71
Tabla 7. Tabla ANOVA de noviembre en el horario de 12:00 AM – 08:00 AM para el tiempo de llegada	73
Tabla 8. Tabla ANOVA de septiembre en el horario de 08:00 AM – 04:00 PM para el tiempo de llegada	75
Tabla 9. Tabla ANOVA de octubre en el horario de 08:00 AM – 04:00 PM para el tiempo de llegada	77
Tabla 10. Tabla ANOVA de noviembre en el horario de 08:00 AM – 04:00 PM para el tiempo de llegada	79
Tabla 11. Tabla ANOVA de septiembre en el horario de 04:00 PM – 12:00 AM para el tiempo de llegada	81
Tabla 12. Tabla ANOVA de octubre en el horario de 04:00 PM – 12:00 AM para el tiempo de llegada	83
Tabla 13. Tabla ANOVA de noviembre en el horario de 04:00 PM – 12:00 AM para el tiempo de llegada	85
Tabla 14. Tabla Anexos de distribuciones de septiembre, octubre y noviembre en períodos de 8 horas para el tiempo de llegada	86
Tabla 15. Tabla ANOVA del trimestre para el tiempo de servicio.....	88
Tabla 16. Tabla ANOVA de septiembre para el tiempo de servicio.....	90
Tabla 17. Tabla ANOVA de octubre para el tiempo de servicio	92
Tabla 18. Tabla ANOVA de noviembre para el tiempo de servicio.....	94

Tabla 19. Tabla ANOVA de septiembre en el horario de 12:00 AM – 08:00 AM para el tiempo de servicio.....	96
Tabla 20. Tabla ANOVA de octubre en el horario de 12:00 AM – 08:00 AM para el tiempo de servicio	98
Tabla 21. Tabla ANOVA de noviembre en el horario de 12:00 AM – 08:00 AM para el tiempo de servicio.....	100
Tabla 22. Tabla ANOVA de septiembre en el horario de 08:00 AM – 04:00 PM para el tiempo de servicio.....	102
Tabla 23. Tabla ANOVA de octubre en el horario de 08:00 AM – 04:00 PM para el tiempo de servicio	104
Tabla 24. Tabla ANOVA de noviembre en el horario de 08:00 AM – 04:00 PM para el tiempo de servicio.....	106
Tabla 25. Tabla ANOVA de septiembre en el horario de 04:00 PM – 12:00 AM para el tiempo de servicio.....	108
Tabla 26. Tabla ANOVA de octubre en el horario de 04:00 PM – 12:00 AM para el tiempo de servicio	110
Tabla 27. Tabla ANOVA de noviembre en el horario de 04:00 PM – 12:00 AM para el tiempo de servicio.....	112
Tabla 28. Tabla Anexos de distribuciones de septiembre, octubre y noviembre en períodos de 8 horas para el tiempo de llegada	113
Tabla 29. Resultados del modelo de lectura de datos históricos y del modelo de generación de datos aleatorios	114

Índice de figuras

Figura 1. Servicio de Acceso Remoto	2
Figura 2. Conexión telefónica vía módem	2
Figura 3. Canal de comunicación	3
Figura 4. Representación visual de la estructura básica de la cola.....	11
Figura 5. Agrupación de los modelos de acuerdo con el procedimiento matemático de solución	13
Figura 6. Matriz de probabilidades de un paso.....	18
Figura 7. Matriz de probabilidades de estado estacionario	18
Figura 8. Tipos de Simulación	26
Figura 9. Proceso de desarrollo de un modelo de simulación	31
Figura 10. Diagrama de flujo de las entidades	41
Figura 11. Modelo de simulación de lectura de datos históricos	47
Figura 12. Sub-modelo de lectura de datos	48
Figura 13. Modulo File.....	50
Figura 14. Sub-modelo para el caso 1	50
Figura 15. Modulo de asignación	51
Figura 16. Sub-modelo para el caso 2	52
Figura 17. Modulo de asignación	52
Figura 18. Sub-modelo de salida.....	53
Figura 19. Modelo de simulación de generación de datos aleatorios.....	54
Figura 20. Control de lógica	55
Figura 21. Sub-modelo de entrada.....	55
Figura 22. Distribución por días.....	56
Figura 23. Comparación de medias del trimestre para el tiempo de llegada.....	61
Figura 24. Comparación de medias de septiembre para el tiempo de llegada.....	63
Figura 25. Comparación de medias de octubre para el tiempo de llegada	65
Figura 26. Comparación de medias de noviembre para el tiempo de llegada.....	67
Figura 27. Comparación de medias de septiembre en el horario de 12:00 AM – 08:00 AM para el tiempo de llegada.....	70

Figura 28. Comparación de medias de octubre en el horario de 12:00 AM – 08:00 AM para el tiempo de llegada.....	72
Figura 29. Comparación de medias de noviembre en el horario de 12:00 AM – 08:00 AM para el tiempo de llegada.....	74
Figura 30. Comparación de medias de septiembre en el horario de 08:00 AM – 04:00 PM para el tiempo de llegada.....	76
Figura 31. Comparación de medias de octubre en el horario de 08:00 AM – 04:00 PM para el tiempo de llegada.....	78
Figura 32. Comparación de medias de noviembre en el horario de 08:00 AM – 04:00 PM para el tiempo de llegada.....	80
Figura 33. Comparación de medias de septiembre en el horario de 04:00 PM – 12:00 AM para el tiempo de llegada.....	82
Figura 34. Comparación de medias de octubre en el horario de 04:00 PM – 12:00 AM para el tiempo de llegada.....	84
Figura 35. Comparación de medias de noviembre en el horario de 04:00 PM – 12:00 AM para el tiempo de llegada.....	86
Figura 36. Comparación de medias del trimestre para el tiempo de servicio	88
Figura 37. Comparación de medias de septiembre para el tiempo de servicio	90
Figura 38. Comparación de medias de octubre para el tiempo de servicio	92
Figura 39. Comparación de medias de noviembre para el tiempo de servicio	94
Figura 40. Comparación de medias de septiembre en el horario de 12:00 AM – 08:00 AM para el tiempo de servicio	96
Figura 41. Comparación de medias de octubre en el horario de 12:00 AM – 08:00 AM para el tiempo de servicio	98
Figura 42. Comparación de medias de noviembre en el horario de 12:00 AM – 08:00 AM para el tiempo de servicio	100
Figura 43. Comparación de medias de septiembre en el horario de 08:00 AM – 04:00 PM para el tiempo de servicio	102
Figura 44. Comparación de medias de octubre en el horario de 08:00 AM – 04:00 PM para el tiempo de servicio	104

Figura 45. Comparación de medias de noviembre en el horario de 08:00 AM – 04:00 PM para el tiempo de servicio	106
Figura 46. Comparación de medias de septiembre en el horario de 04:00 PM – 12:00 AM para el tiempo de servicio	108
Figura 47. Comparación de medias de octubre en el horario de 04:00 PM – 12:00 AM para el tiempo de servicio	110
Figura 48. Comparación de medias de noviembre en el horario de 04:00 PM – 12:00 AM para el tiempo de servicio	112
Figura 49. Comparación de variables.....	115

Introducción

Las Tecnologías de la Información y la comunicación (TIC) están presentes en todos los niveles de la sociedad actual, desde las más grandes corporaciones mundiales, gobiernos, administraciones, universidades, centros educativos, organizaciones socioeconómicas y sociales, profesionales y particulares. Las TIC son un conjunto de herramientas, soportes y canales para el tratamiento y acceso a la información utilizadas en todo el mundo, principalmente de Informática y Telecomunicaciones. La aplicación de las TIC a todos los sectores de la sociedad y de la economía mundial ha generado una serie de términos nuevos como, por ejemplo, *e-learning* (formación a distancia), *e-mail* (correo electrónico), *banda ancha* (ancho de banda grande en el acceso a las redes de telecomunicación)[1].

En la sociedad cubana se ha incrementado el acceso a estas tecnologías durante los últimos años. La Universidad de Cienfuegos (UCF) no está exenta de esta tendencia, debido al creciente número de trabajadores y estudiantes que poseen computadoras en sus viviendas, con posibilidades de establecer conexiones remotas a la Red de la UCF, donde se ofrece este servicio de red.

El Servicio de Acceso Remoto (RAS)[2] permite que los usuarios se conecten de forma remota a la Red Telemática de la UCF por medio de conexiones telefónicas a través de la red de datos de ETECSA. El número al cual llama el abonado es 0160110. Luego la llamada se re-direcciona a través de la red de datos de ETECSA al servidor que responde al dominio *ucf.edu.cu*, donde se produce el proceso de autenticación del *usuario@ucf.edu.cu*. Esta solicitud es atendida por el servidor *freeradius* de la UCF, el cual autentica al usuario contra el servidor de correo. Una vez establecida la autenticación, la PC desde donde llamó el abonado es miembro del dominio *ucf.edu.cu*, solamente en un rango de IPs establecido para el RAS.

Las trazas de la conexión son enviadas por el Router de Distribución de ETECSA al servidor *freeradius* de la UCF, por lo que todos los detalles de la conexión quedan almacenados en el servidor.

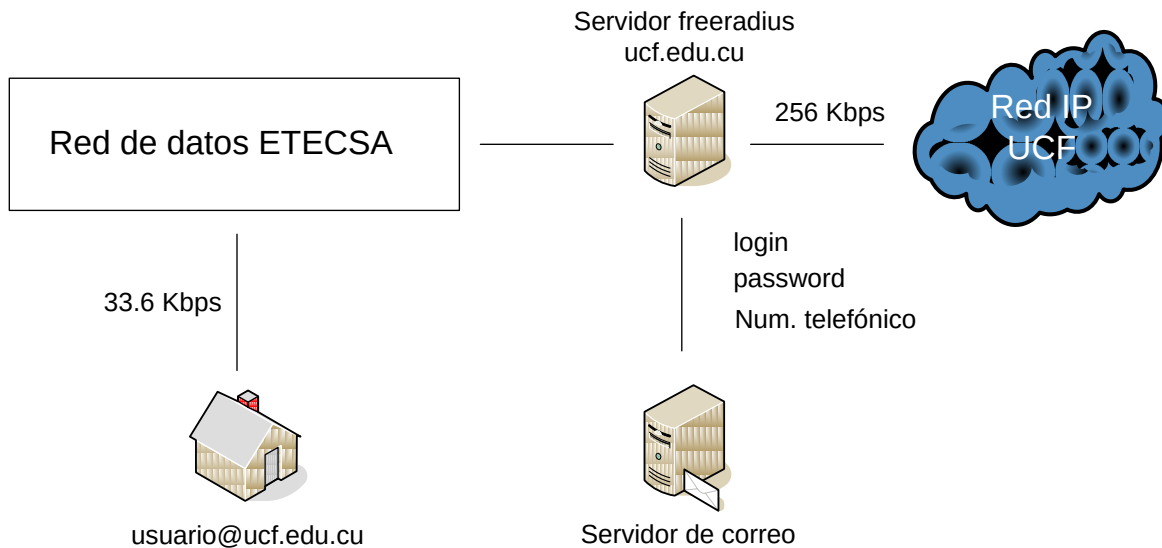


Figura 1. Servicio de Acceso Remoto

Las conexiones telefónicas se realizan vía módem. El módem funciona como un modulador/demodulador que se encarga de adaptar las señales binarias producidas por la PC a señales analógicas que se pueden introducir por la línea telefónica; así mismo, del lado del servidor existe otro módem que convierte la señal que llega a través de la línea telefónica en información comprensible para él[3]. En la figura 2 se muestra el proceso de conexión por modem.

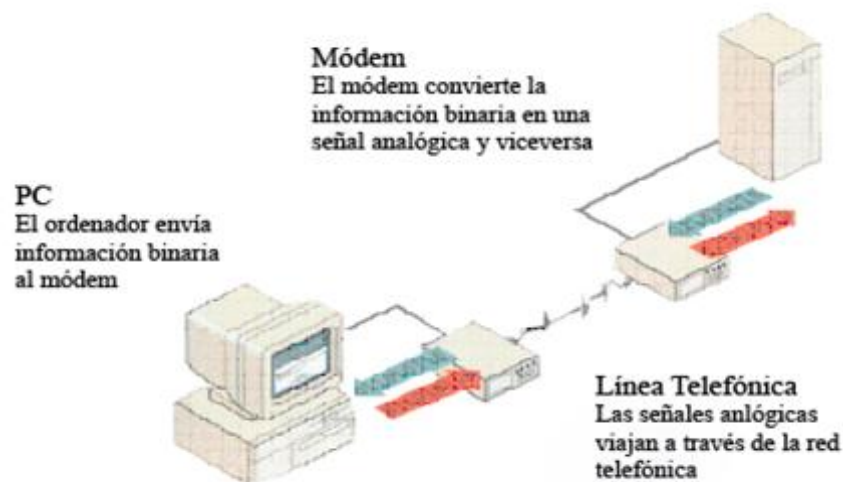


Figura 2. Conexión telefónica vía módem

Los módems realizan la comunicación en el espacio de frecuencias disponible para una llamada telefónica. Ese espacio es muy reducido, lo que provoca que la velocidad de conexión no supere los 33.6 kbps (kilo bits por segundo). La velocidad de conexión se conoce como el promedio de información que se transmite entre dos dispositivos por unidad de tiempo, en un sistema de transmisión[4].

El medio de transmisión por el que viajan las señales portadoras de la información que se pretenden intercambiar entre la PC y el servidor se le conoce como canal de comunicación. Un canal de comunicaciones es el medio físico utilizado para transportar información entre dos extremos (transmisor / receptor)[5] como se muestra en la figura 3. Este medio físico puede ser cableado, inalámbrico, o una combinación de ambos.

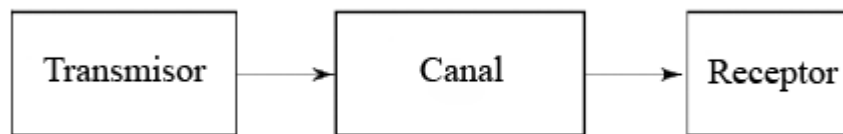


Figura 3. Canal de comunicación

La cantidad máxima de información que se puede transmitir por un canal de comunicación (línea de comunicación que ofrece el servidor) de forma fiable (menor cantidad de interferencia posible) en un momento dado se le conoce como capacidad del canal o ancho de banda[6].

El ancho de banda disponible para el RAS en la UCF es de 256 Kbps. Debido esta insuficiencia, se tuvo que habilitar este servicio solamente para los trabajadores que lo soliciten y sean autorizados por sus respectivos jefes de áreas, sin embargo, el elevado número de usuarios con RAS se ha incrementado de forma tal, que actualmente ya atenta contra la calidad de este servicio.

Desde su fundación, la Red Telemática de la UCF se encuentra en constante crecimiento de usuarios e incremento del número de servicios que se le ofrecen a los mismos. La calidad del servicio a los usuarios depende fundamentalmente de equipamiento tecnológico disponible y el ancho de banda de los canales de comunicación. Sin embargo, en oportunidades existen desproporciones entre el

equipamiento, ancho de banda y número de usuarios, los cuales conllevan a ofrecer un servicio de baja calidad. Tal es el caso del Servicio de Acceso Remoto, donde se dispone de poco ancho de banda y un elevado número de usuarios deseosos de disfrutar este servicio de red.

En tal sentido es necesario investigar el comportamiento del Servicio de Acceso Remoto de la Red Telemática de la UCF para determinar la relación número de usuarios versus ancho de banda disponible.

Por lo anteriormente expuesto se define como **problema de la investigación:**

La ausencia de un modelo matemático que permita determinar la relación entre la cantidad de usuarios conectados y el ancho de banda disponible del Servicio de Acceso Remoto de la Red Telemática de la UCF.

Por esta razón se plantean las siguientes **interrogantes científicas:**

¿Existe algún modelo matemático que permita determinar la relación que existe entre el ancho de banda y la cantidad de usuarios conectados a la red?

¿Podrá ser determinada la relación número de usuarios versus ancho de banda disponible mediante modelos matemáticos de teoría de colas o modelos de simulación?

¿Qué distribución siguen los tiempos entre arribos y los tiempos de servicio del Servicio de Acceso Remoto de la Red Telemática de la UCF?

Objeto de estudio

Proceso de Servicio de Acceso Remoto.

Campo de acción

Aplicación de teoría de colas al Servicio de Acceso Remoto de la Red Telemática de la UCF.

Idea a defender

Mediante el empleo de un modelo matemático de teoría de colas y simulación se puede determinar la relación número de usuarios versus ancho de banda disponible para contribuir a mejorar el servicio de Acceso Remoto a la Red Telemática de la UCF.

Objetivo General

Elaborar una propuesta basada en un modelo de teoría de colas y simulación aplicada al Servicio de Acceso Remoto de la Red Telemática de la UCF para determinar la relación número de usuarios versus ancho de banda disponible.

Objetivos particulares

- Analizar el proceso de Servicio de Acceso Remoto de la Red Telemática de la UCF.
- Diseñar un modelo de simulación que se acerque a la realidad y sea capaz de determinar la relación número de usuarios versus ancho de banda.
- Desarrollar un modelo de teoría de colas y de simulación que posibilite determinar la relación número de usuarios versus ancho de banda disponible.
- Validar los resultados obtenidos de la simulación.

Tareas Científicas

- Estudio de todos los conceptos que se deben tener en cuenta para la realización del presente trabajo.
- Acceso a la información de la Red Telemática de la UCF.
- Organización de la información y obtención los estadígrafos de la misma.
- Estudios de la metodología para el desarrollo de modelos de simulación.
- Determinación de las herramientas a utilizar en la construcción del modelo de simulación de acuerdo a las tendencias actuales.
- Análisis de los resultados obtenidos del modelo de simulación.

Métodos de Investigación:

De los métodos Teóricos:

El analítico-sintético para poder estructurar el fenómeno en sus múltiples relaciones y componentes y así facilitar su estudio.

El Inductivo-deductivo que permite partir de hechos aislados y arribar a proposiciones generales.

El Histórico-Lógico se emplea la obtención de relaciones características que ocurren en el proceso de servicio.

La Modelación con la utilización de modelos analíticos de la teoría de colas y de simulación para lograr una optimización del diseño propuesto.

Sistemático para el estudio de la dinámica de las relaciones entre los objetos que componen el sistema.

De los métodos empíricos:

La observación para la interpretación del problema y sus partes.

El análisis de documentos para la revisión de los modelos y métodos aplicables a la temática en cuestión.

De los métodos Estadísticos matemáticos:

El empleo de técnicas estadísticas para caracterizar los arribos (cantidad de arribos) y el tiempo de servicio.

Aporte práctico

La obtención de un modelo de teoría de colas y de simulación para la investigación del Servicio de Acceso Remoto de la Red Telemática de la UCF, capaz de determinar la relación número de usuarios versus ancho de banda disponible.

Estructuración del contenido del trabajo de diploma

- Resumen.
- Introducción.
- Tres Capítulos.
- Conclusiones Generales.

- Recomendaciones.
- Referencias Bibliográficas.
- Bibliografía
- Anexos.

Capítulo 1. Marco teórico

En este Capítulo se realiza un estudio de los trabajos científicos realizados en todo el mundo sobre los modelos y métodos para resolver los sistemas de servicio, temática relacionada con la teoría de colas y la simulación.

Capítulo 2. Desarrollo del modelo matemático de teoría de colas y simulación

En este Capítulo se expone el planteamiento de la problemática que existe con el Servicio de Acceso Remoto de la Red Telemática de la UCF, el modelo matemático de teoría de colas, el modelo de simulación y se describen las herramientas utilizadas para su desarrollo.

Capítulo 3. Análisis Estadístico, validación y resultados

En este Capítulo se muestran los resultados del análisis estadístico de las variables de entrada, se valida el modelo de simulación propuesto en el Capítulo 2 y muestran los resultados obtenidos.

Capítulo 1. Marco teórico

1.1 *Introducción*

Este Capítulo se dedica a realizar un estudio de los trabajos científicos realizados en todo el mundo sobre los modelos para resolver los sistemas de servicio, temática relacionada con la teoría de colas o líneas de espera. Partiendo de los enfoques más comunes, se realiza un análisis crítico de esta teoría matemática. Finalmente se exponen algunos aspectos relacionados con la simulación como método utilizado para el desarrollo de problemas complejos, útiles para los capítulos posteriores.

1.2 *Introducción a la teoría de colas o líneas de espera*

La operación de las empresas en la actualidad y otras esferas ha obligado al desarrollo de sistemas organizacionales complejos cuyo análisis requiere de métodos de modelado sofisticados. Para esto las técnicas de investigación de operaciones nos proporcionan métodos apropiados para representar la operación de los sistemas ya sea de forma determinista o probabilística, permitiendo modelarlos con la finalidad de entender, analizar y optimizar sus medidas de desempeño. Modelos de este tipo son la teoría de colas, pues fueron desarrollados desde hace más de un siglo y en la actualidad se han retomado para modelar sistemas de servicio complejos.

1.2.1 *Surgimientos*

Históricamente, los primeros trabajos que comenzaron a dar cuerpo a la teoría de colas (también llamada Telegráfico en Ingeniería de Telecomunicaciones) son los debidos al matemático-ingeniero A. K. Erlang, quien en 1909 publicó *La teoría de probabilidades y las conversaciones telefónicas*. Erlang era por entonces empleado de la Compañía Telefónica Danesa en Copenhague y su trabajo fue una aplicación de técnicas existentes en teoría de probabilidad al problema de

determinar el número óptimo de líneas telefónicas en una centralita, teniendo en cuenta la frecuencia de las llamadas y su duración[7].

Las aplicaciones de la teoría de colas a la telefonía continuaron después de Erlang. En 1927, E. C. Molina publicó *Aplicación de teoría de la probabilidad a problemas de líneas telefónicas*, seguido, en 1928, de *Probabilidad y sus usos en Ingeniería*, por T. C. Fry. A principios de los años 30, F. Pollaczek publicó trabajos innovadores sobre el caso de llegadas poissonianas y servicios arbitrarios[7].

En 1933 Andréi Nikoláievich Kolmogorov publicó su obra titulada "Los fundamentos de la teoría de la probabilidad", siendo éste el primer intento de tratar de forma rigurosa esta materia. Kolmogorov estudió, desde un punto de vista analítico, las llamadas cadenas de Markov, que son procesos al azar con la propiedad de que su estado futuro puede pronosticarse a partir de su situación presente. En su estudio, a cerca de los procesos estocásticos (procesos al azar), Kolmogorov y el matemático británico Sydney Chapman desarrollan de forma independiente el conjunto de ecuaciones fundamentales en el campo, las ecuaciones de Chapman-Kolmogorov[8].

A pesar de que a comienzos del estudio de la teoría, las aportaciones fueron muy escasas, esta situación cambió notablemente a partir de los años 50, comenzado a publicarse gran número de trabajos sobre el tema[7].

La gran mayoría de estos artículos y libros, como son *Métodos y Modelos de la Investigación de Operaciones*[9], *Introducción a la Investigación de Operaciones*[10], *Simulación y Análisis de Modelos Estocásticos*[11], *Investigación de Operaciones. El Arte de la Toma de Decisiones*[12], *Investigación de Operaciones una Introducción*[13], y muchos más, se centran en fundamentar de forma detallada la teoría de colas o líneas de espera, también relacionados con los llamados procesos estocásticos, llegando a la formulación de diversos modelos para representar procesos de la vida real.

Esta teoría ha sido aplicada en el análisis de sistemas de transportación aéreos, ferroviarios y marítimos, en centros de atención a pacientes en hospitales, en sistemas de servicio de tiendas, así como en la esfera militar, entre otras[14].

En la actualidad las aplicaciones de la teoría de colas en los campos de la Informática, las Telecomunicaciones y, en general, las nuevas tecnologías abren un aún mayor porvenir a esta teoría matemática, pues si se logra incluir procesos estocásticos en los análisis de situaciones reales se tendrá la posibilidad de manejar modelos de complejidad tal que mediante técnicas como la simulación se puede incluir la variabilidad a través del tiempo y de esa forma observar la dinámica del sistema.

1.2.2 Aspectos generales de las colas

Definición

La teoría de colas que incluye el estudio matemático de las colas o líneas de espera. La formación de líneas de espera es un fenómeno común que ocurre siempre que la demanda actual de un servicio supera la capacidad de proporcionar dicho servicio[10]. Por ejemplo, los procesos enviados a un servidor para su ejecución forman colas de espera mientras no son atendidos.

Objetivo de las líneas de espera

La teoría de colas tiene como objetivo construir modelos matemáticos que enlazan las condiciones programadas del funcionamiento del sistema (su rendimiento, carácter del flujo de demandas, reglas de funcionamiento) con las características de interés, es decir, con los índices de eficacia, los cuales describen desde algún punto de vista su capacidad de cumplir con el flujo de pedidos[14].

Estructura básica

Un sistema de colas se representa mediante llegadas de clientes que se generan a través del tiempo en una fuente de entrada, mediante la cual llegan al sistema y se unen a una cola. En determinado momento se selecciona un miembro de la cola, para proporcionarle el servicio, mediante una regla conocida como disciplina de la cola, después de lo cual el cliente sale del sistema de colas[10].

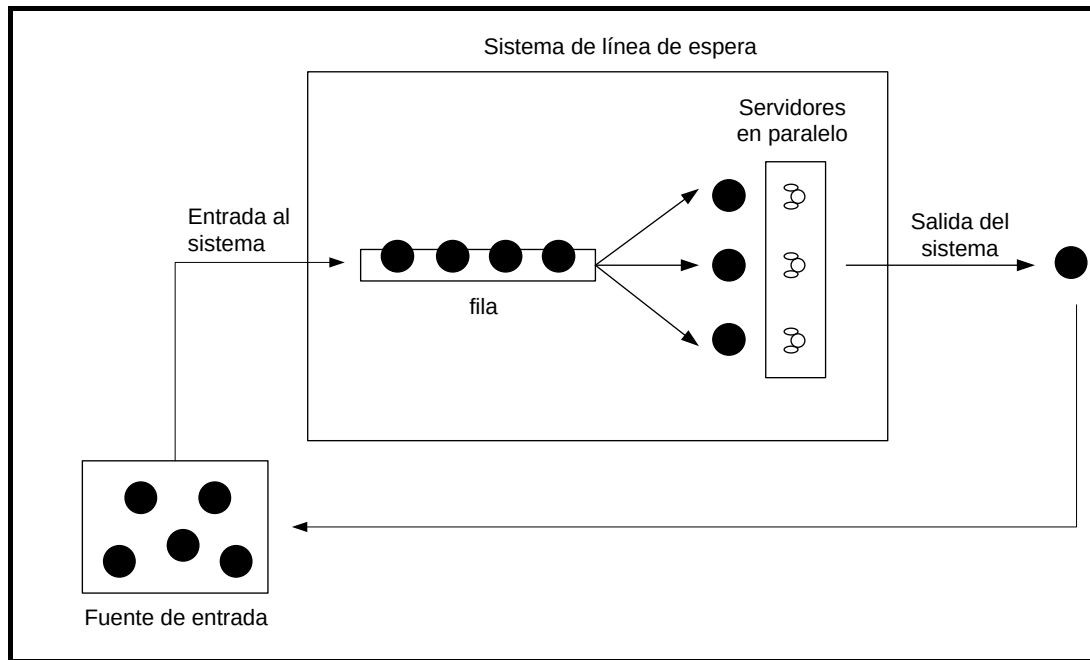


Figura 4. Representación visual de la estructura básica de la cola

Fuente de entrada

Representa el número total de clientes que podían requerir el servicio proporcionado por el sistema. Es necesario definir dos características para este conjunto de elementos; la primera tiene que ver con el tamaño del conjunto potencial de clientes, dando, en consecuencia, conjuntos infinitos o finitos. La segunda característica se refiere a la distribución de probabilidad del tiempo entre llegadas o bien la tasa de entrada promedio[11].

Fila

Una cola se caracteriza por el número máximo permisible de clientes que puede admitir y que esperan por ser atendidos. Las colas pueden ser finitas o infinitas, según si este número es finito o infinito. La suposición de una cola infinita es la estándar para la mayor parte de los modelos. Dentro de las distribuciones más comunes está la poisson, entre otras[10].

Mecanismo de servicio

Es el mecanismo de servicio que consiste en una o varias instalaciones de servicio, cada una de ellas con uno o mas canales paralelos de servicio. Las dos características principales de los servidores son: la cantidad asignada por cada fila existente en el sistema y la distribución de probabilidad del tiempo de atención. Dentro de las distribuciones más comunes está la exponencial, entre otras[10].

1.2.3 Notación de las colas

En 1953 Kendall y Lee propusieron un sistema de clasificación de los sistemas de líneas de espera, ampliamente utilizado en la actualidad[13]. Esta clasificación considera seis de las características mencionadas en la estructura de los modelos de líneas de espera, expresándolas en el formato (A/B/C) : (D/E/F), donde:

A - representa la distribución de los arribos

B - se refiere a la distribución del tiempo de servicio

C - Cantidad de estaciones en paralelo

D - Disciplina de servicio (se asume FIFO)

E - Capacidad máxima del sistema (unidades en colas + estaciones; se asume infinito)

F - Tamaño de la población (se asume infinito)

Posibles valores de A y B

M - Distribución de Poisson (Tiempo exponencial)

D - Determinístico Ek - Distribución Erlang de orden k (o Gamma)

G - Distribución general (servicio)

GI - Distribución general independiente (arribos)

Disciplina de la cola

La disciplina de la cola se refiere al orden en el que se seleccionan sus miembros para recibir el servicio. Por ejemplo, puede ser primero en entrar, primero en salir, aleatoria, de acuerdo a algún procedimiento de prioridad, o a algún otro orden[10].

Posibles disciplinas de servicio

FIFO (First In First Out; Primero que llega, primero que sale)

LIFO (Last In First Out; Primero que llega, último que sale)

SIRO (Service In Random Order; Servicio en orden aleatorio)

SPTF (Shortest Processing Time First; Menor tiempo de procesamiento primero)

LPTF (Longest Processing Time First; Mayor tiempo de procesamiento primero)

Prioridades (Puede ser absoluta o relativa)

Respetando la clasificación anterior, es posible agrupar los diferentes modelos analíticos de la forma mostrada en la figura 2, donde se separan principalmente los modelos markovianos de los no markovianos. Los markovianos se dividen en modelos con capacidad finita y modelos con capacidad infinita, los no markovianos, a su vez, se clasifican en modelos con tiempos entre llegadas y tiempos de servicio con cualquier función de probabilidad[11].

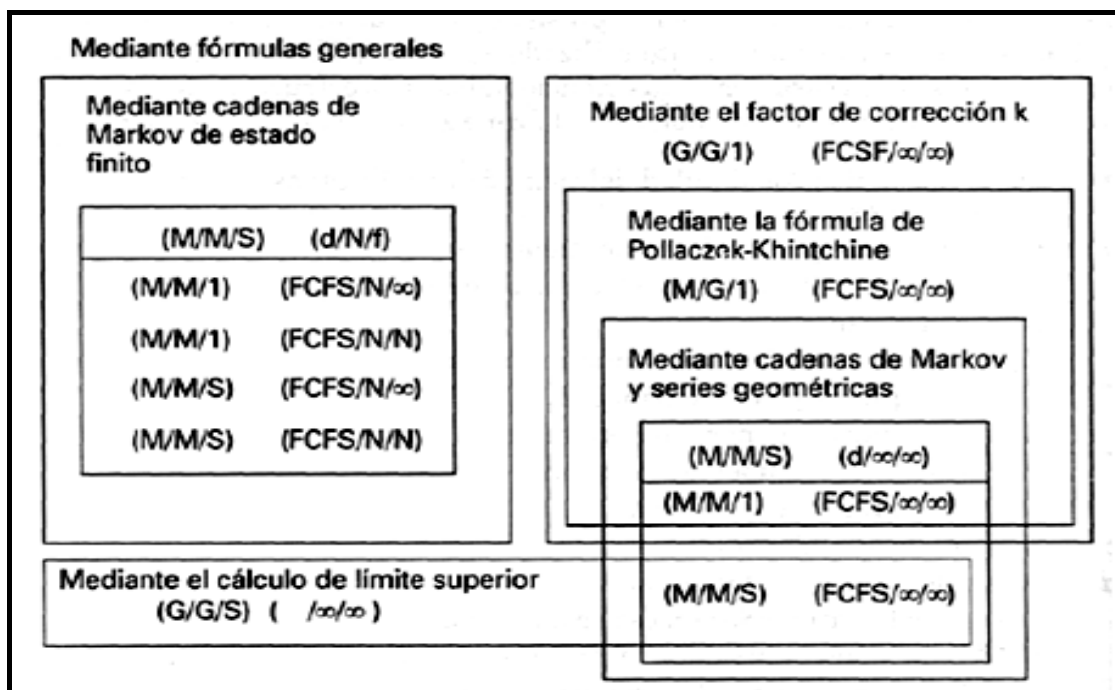


Figura 5. Agrupación de los modelos de acuerdo con el procedimiento matemático de solución

1.2.4 Terminología

Tomando como referencia [10], [11] y [13] se utilizará la siguiente terminología estándar:

s	Número de servidores.
n	Número de clientes en el sistema.
N	Número máximo de clientes permitidos en el sistema.
λ_n	Flujo de clientes que entran cuando hay n clientes en el sistema.
μ_n	Capacidad del servidor cuando hay n clientes en el sistema.
$E(t)$	Tiempo promedio de proceso por cliente.
$V(t)$	Variancia del tiempo de proceso.
$E(a)$	Tiempo promedio entre llegadas.
$V(a)$	Variancia del tiempo entre llegadas.
C_a^2	Coeficiente cuadrado de variación del flujo de clientes que entran al sistema.
C_s^2	Coeficiente cuadrado de variación del tiempo de servicio.
C_p^2	Coeficiente cuadrado de variación del flujo de clientes que salen del sistema.
P_{ij}	Probabilidad de que el sistema cambie de un estado i a un estado j y después de un intervalo de tiempo.
P_n	Probabilidad en estado estable de que exista n clientes en el sistema.
L	Número promedio de clientes en el sistema.
L_q	Número promedio de clientes en la fila.
W	Tiempo promedio de permanencia en el sistema.
W_q	Tiempo promedio de permanencia en la fila.
ρ	Utilización promedio del servicio.
C_t	Costo total promedio del sistema de líneas de espera por unidad de tiempo.
C_e	Costo promedio de servicio por cliente por unidad de tiempo.

C_q Costo promedio de espera por cliente por unidad de tiempo.

1.2.5 Ecuaciones generales (fórmulas de Little)

Las medidas de desempeño con que traba la teoría de colas son principalmente las siguientes:

Utilización del servicio

Representa el porcentaje de tiempo en que los servidores atienden a los clientes y se calcula como la razón entre la tasa promedio de llegadas y la capacidad total del sistema para proporcionar el servicio[10][11].

$$\rho = \frac{\lambda}{s\mu} \quad (1)$$

Tasa de entrada promedio

Es el valor ponderado de las tasas de entrada a un sistema y representa el número promedio de clientes que, efectivamente, ingresan al sistema convirtiéndose de clientes potenciales en clientes reales. A su vez, esta variable es la tasa de salida del sistema; en el caso de sistemas de manufactura esta variable representa la producción que en promedio está logrando el sistema[10][11][13].

$$\lambda = \sum_{n=0}^N \lambda_n P_n \quad (2)$$

Número promedio de clientes en el sistema

Es el promedio ponderado de los diferentes estados del sistema, definiendo el estado del sistema como el número de clientes que se encuentran acumulados tanto en espera como en servicio en cualquier momento[10][11][13].

$$L = \sum_{n=0}^N n P_n \quad (3)$$

$$L = Lq + s\rho \quad (4)$$

Número promedio de clientes en la cola

A diferencia de la variable anterior, en este caso el promedio ponderado se obtiene solamente sobre el número de clientes que se encuentra en espera de ser atendidos en cualquier momento[10][11][13].

$$Lq = \sum_{n=0}^N (n - s) P_n \quad (5)$$

Tiempo promedio de espera en el sistema

Es el promedio de los tiempos de estancia de los clientes y se contabiliza desde el punto en el tiempo en que un cliente entra a la fila hasta el momento en que termina de ser atendido por el servidor. La ecuación de conservación conocida como la ecuación de Little permite calcular esta medida de desempeño[10][11][13].

$$W = \frac{L}{\lambda} \quad (6)$$

$$W = Wq + E(t) \quad (7)$$

Tiempo promedio de espera en la fila

Se entiende por esta variable al promedio de los tiempos de permanencia de los clientes en espera de ser atendidos y se contabiliza desde el momento en que un cliente se une a la fila hasta que cualquiera de los servidores comienza a atenderlo[10][11][13].

$$Wq = \frac{Lq}{\lambda} \quad (8)$$

Coefficiente cuadrado de variación

Representa la relación entre la variancia y el cuadrado del valor esperado de una distribución de probabilidad. Algunos de los modelos se representan en llegadas como el tiempo de servicio[11].

Para el tiempo entre llegadas:

$$C_a^2 = \frac{V(a)}{[E(a)]^2} \quad (9)$$

Para el tiempo de servicio:

$$C_s^2 = \frac{V(t)}{[E(t)]^2} \quad (10)$$

Para el tiempo entre salidas del servicio:

$$C_p^2 = C_a^2(1 - \rho^2) + C_s^2\rho^2 \quad (11)$$

1.2.6 Modelos Analíticos de solución

Modelos markovianos

El proceso estocástico utilizado en la modelación de una línea de espera tiene la propiedad markoviana, ya que la probabilidad condicional de llegar a un estado futuro depende del estado inicial de dicho sistema. Este conjunto de probabilidades condicionales se conoce como probabilidades de transición de un paso y hay que considerar que son estacionarias, o sea, no cambian con el tiempo. Estas probabilidades se expresan como p_{ij} . [11] Hay que recordar que en este caso el estado se define como número de entradas dentro del sistema en un momento dado.

Las probabilidades condicionales deben cumplir con:

$$\begin{aligned} p_{ij} &\geq 0 \quad \forall i, j \\ \sum_{j=0}^N p_{ij} &= 1 \quad \forall i \end{aligned} \quad (12)$$

Las probabilidades estado estacionario P_i representan el comportamiento probabilístico de cada estado del sistema a largo plazo y se calcula a partir de las probabilidades de transición de un paso de acuerdo a las siguientes ecuaciones [10]:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} p_{ij}^n = P_j \quad (13)$$

$$P_j \geq 0 \quad (14)$$

$$P_j = \sum_{i=0}^N P_i p_{ij} \quad (15)$$

$$\sum_{j=0}^N P_j = 1 \quad (16)$$

		Estado Futuro				
		0	1	2	...	n
Estado actual	0	p_{00}	p_{01}	p_{02}	...	p_{0n}
	1	p_{10}	p_{11}	p_{12}	...	p_{1n}
	2	p_{20}	p_{21}	p_{22}	...	p_{2n}
	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
	n	p_{n0}	p_{n1}	p_{n2}	...	p_{nn}

Figura 6. Matriz de probabilidades de un paso

A partir de aquí se forma un sistema de ecuaciones con $N+1$ incógnitas, $N+1$ ecuaciones independientes y una ecuación redundante que debe ser eliminada. La solución de este sistema de ecuaciones origina los valores de las probabilidades estacionarias independientes del estado en que se encuentra el sistema inicialmente[11].

		Estado Futuro				
		0	1	2	...	n
Estado actual	0	P_0	P_1	P_2	...	P_n
	1	P_0	P_1	P_2	...	P_n
	2	P_0	P_1	P_2	...	P_n
	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
	n	P_0	P_1	P_2	...	P_n

Figura 7. Matriz de probabilidades de estado estacionario

Una vez calculadas las probabilidades de estado estacionario, la solución del modelo markoviano se obtiene utilizando las ecuaciones generales descritas el epígrafe anterior.

Muchos de estos modelos son analizados en diversos artículos y libros. El modelo **M/M/S** y **M/M/1** que asumen tanto las llegadas como el servicio siguen una distribución Poisson o Exponencial, variación de cola infinita al modelo **M/M/S** (llamado modelo **M/M/S/K**), modelo con tasa de servicio y/o tasa de llegadas dependiente del estado del sistema, entre otros. Para todos ellos existen fórmulas muy bien definidas y probadas, las cuales pueden ser consultadas en [10] y [13].

Todos los modelos mencionados anteriormente (excepto por una generalización) se basan en el proceso de nacimiento o muerte, y es necesario que tanto los tiempos entre llegadas como los tiempos de servicio sigan distribuciones exponenciales.

Modelos no markovianos

En algunos sistemas de líneas de espera no es posible explicar la variabilidad mediante un proceso Poisson, lo que ocasiona que el cálculo de la distribución de probabilidad de estado estable P_n sea difícil de obtener, dada la complejidad para encontrar la probabilidad de un paso p_{ij} . Se han desarrollado ecuaciones particulares para procesos no markovianos donde se utiliza el coeficiente cuadrado de variación Cv^2 como una relación entre la media $E(t)$ y la variancia $V(t)$ de las distribuciones involucradas. A continuación se presentan algunos modelos que pueden llegar a ser de utilidad en el análisis de líneas de espera[11].

MODELO (M/G/1)

El desarrollo de las ecuaciones para este modelo se realiza utilizando el análisis de líneas de espera por medio de cadenas de Markov y desemboca en la obtención de la fórmula (17), conocida como la ecuación de Pollaczek-Khintchine[10][11]:

$$\rho = \frac{\lambda}{s\mu}$$

$$L = Lq + \rho$$

$$Lq = \frac{\lambda^2 V(t) + \rho^2}{2(1 - \rho)} \quad (17)$$

$$W = \frac{L}{\lambda}$$

$$Wq = \frac{Lq}{\lambda}$$

MODELO (M/G/S)

Este modelo considera un conjunto de S servidores atendiendo a un número ilimitado de clientes potenciales; no existe limitación sobre la capacidad del sistema por lo que es preciso mantener $\rho < 1$ para lograr el estado estable. Las llegadas siguen una distribución de probabilidad Poisson mientras que el servicio es de tipo general con media $E(f)$ y variancia $V(t)$ [10]. Las fórmulas para este modelo son:

$$\rho = \frac{\lambda}{s\mu}$$

$$L = Lq + \rho$$

$$Lq \leq \left(\frac{(1 + C_s^2)}{2} \right) Lq(M|M|S) \quad (18)$$

$$W = \frac{L}{\lambda}$$

$$Wq = \frac{Lq}{\lambda}$$

MODELO (G/G/1)

En este modelo existe un servidor y no hay un límite superior en cuanto al número de clientes potenciales, así como tampoco sobre la capacidad del sistema. Dadas estas condiciones el estado estable se conserva si y sólo si $\rho < 1$. El tiempo entre llegadas y el tiempo de servicio son distribuciones generales con media $E(f)$ y varianza $V(f)$. Las fórmulas siguientes se usan ampliamente para la modelación de sistemas conectados en red, teniendo en cuenta que el manejo de la variabilidad y la conectividad entre cada elemento de la red se debe realizar usando las ecuaciones (9), (10) y (11) y que se debe respetar el balance en el flujo de transacciones entre cada elemento de la red[11]. Las fórmulas para el modelo (G/G/I) son:

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{\lambda}{s\mu} \\ L &= Lq + \rho \\ Lq &= \frac{\rho^2}{1-\rho} \left(\frac{C_a^2 + C_s^2}{2} \right) k\end{aligned}\quad (19)$$

Donde:

$$k = \begin{cases} \exp \left[\frac{2(1-\rho)}{3\rho} \left(\frac{(1-C_a^2)^2}{C_a^2 + C_s^2} \right) \right] & \text{si } C_a^2 < 1 \\ 1 & \text{si } C_a^2 = 1 \\ \exp \left[-(1-\rho) \left(\frac{(C_a^2 - 1)^2}{C_a^2 + 4C_s^2} \right) \right] & \text{si } C_a^2 > 1 \end{cases} \quad (20)$$

$$W = \frac{L}{\lambda}$$

$$Wq = \frac{Lq}{\lambda}$$

Desafortunadamente, el análisis de colas con distribuciones no exponenciales es mucho más difícil, pues solo se han podido obtener algunos resultados útiles para algunos modelos de forma analítica. Sin embargo existen otros modelos en los que se hace muy difícil obtener dichos resultados, pero a su vez, existen métodos como la simulación que permiten analizarlos[11].

1.3 *Introducción al método de simulación*

Con el desarrollo computacional que existe en la actualidad no es difícil explorar el amplio rango de opciones posibles en un problema de decisión. Estas opciones podrían ser exploradas sin la computadora, pero el proceso podría ser muy lento y el problema podría cambiar significativamente antes de llegar a obtener una solución satisfactoria. Con ella, grandes volúmenes de datos pueden ser procesados rápidamente y presentar un reporte claro y preciso, lo que es extremadamente valioso[14].

Una forma en la cuál la gestión científica puede usar la computadora es simulando uno u otro sistema. Esto se hace generalmente cuando es imposible o inconveniente encontrar alguna otra forma de enfrentar el problema. La mayoría de las simulaciones podrían (en teoría al menos) ser realizadas sin su ayuda, pero en la mayoría de las organizaciones, los problemas importantes hay que resolverlos rápidamente[14].

La simulación es una herramienta apropiada que permite analizar cualquier situación de la vida real. A través de ella se pueden determinar diferentes medidas de desempeño con un buen nivel de aproximación de cualquier proceso. Esto posibilita obtener mejores resultados a la hora de tomar una decisión cuando exista incertidumbre.

La naturaleza de la simulación permite mayor flexibilidad en la representación de sistemas complejos que normalmente son difíciles de analizar a través de modelos matemáticos estándares.

1.3.1 Surgimientos

Sus orígenes los encontramos en la segunda Guerra Mundial cuando dos matemáticos, J.VNeumann y S.Ulam, tenían el reto de resolver un problema complejo relacionado con el comportamiento de los neutrones. Los experimentos basados en prueba y error eran muy caros y el problema era demasiado complicado para abordarlo mediante técnicas analíticas. La aproximación que cogieron se basa en la utilización de números aleatorios y distribuciones de probabilidad. El método desarrollado fue llamado "método de Montecarlo"[16].

Durante la Guerra Fría se intensificó el uso de la simulación para resolver problemas de interés militar; trayectorias y dinámicas de satélites artificiales, guiar misiles, etc. Muchos de estos problemas exigen la resolución de sistemas de ecuaciones diferenciales no lineales. Para abordar estos problemas se utilizaron ordenadores analógicos que usaban elementos electrónicos para resolver las operaciones matemáticas: integración, suma, multiplicación, generación de funciones, etc. En la figura adjunta se observa como estos elementos se conectaban para la creación de modelos de simulación continua[17].

A partir de la década de los 60 empiezan a aparecer en el mercado programas de simulación de sistemas de acontecimientos discretos que poco a poco se empezaron a utilizar para resolver problemas de ámbito civil. Los más destacables fueron el GPSS de IBM (General Purpose System Simulator) y el SIMSCRIPT. Los modelos de acontecimientos discretos son muy utilizados en la actualidad para estudiar problemas de fabricación de procesos, logística, transporte, comunicaciones y servicios. Estos problemas se caracterizan por centrar su interés en los cambios que hay en el sistema como consecuencia de los acontecimientos y en su capacidad para modelar los aspectos aleatorios del sistema. En el vídeo adjunto se muestra la simulación del movimiento de las personas en la nueva terminal Sur del aeropuerto de Barcelona. Este simulador se utilizó para analizar el diseño de la terminal en lo que respecta a los distintos espacios, el movimiento de las personas en situaciones normales y el análisis del

plan de evacuación. El segundo vídeo muestra una pequeña animación del funcionamiento del almacén intermedio de Gráficas de Prensa Diaria (Grupo Z). Este simulador se ha utilizado para analizar mejoras en su gestión[17].

La revolución que se produjo en la informática a partir de los años 80, tiene un impacto importante en la simulación por ordenador. El uso de simuladores se generaliza en prácticamente todos los ámbitos de la ciencia y la ingeniería.

Finalmente, en los últimos años, el uso de la simulación se ha ampliado al sector del ocio y ha entrado en el ámbito familiar con productos de software sofisticado, que utilizan todos los recursos del ordenador: gráficos potentes, bases de datos, computación intensiva[16], etc. Algunos de los simuladores más populares son MS Flight Simulator, NASCAR Racing, SimCity, Arena 10.0, etc.

Podemos decir que la informática ha sido el instrumento básico que ha permitido y permitirá seguir avanzando en el campo de la simulación por ordenador.

1.3.2 Aspectos generales de simulación

Definición

La *Simulación* es el desarrollo de un modelo lógico-matemático de un sistema, de tal forma que se obtiene una imitación de la operación de un proceso de la vida real o de un sistema a través del tiempo. Sea realizado a mano o en una computadora, la simulación involucra la generación de una historia artificial de un sistema; la observación de esta historia mediante la manipulación experimental, nos ayuda a inferir las características operacionales de tal sistema[14].

Sistemas y Modelos

Los términos "sistema" y "modelo" también son importantes en la definición descrita.

Se entiende por **sistema** a un grupo de objetos interrelacionados entre sí para garantizan ciertos propósitos[12].

Por ejemplo: En un sistema para la producción de automóviles interactúan hombres, maquinas y partes en proceso a lo largo de una línea de ensamble con el fin de producir autos de alta calidad.

El **modelo** por su parte es una representación de los objetos del sistema y refleja de manera sencilla las actividades en las cuales esos objetos se encuentran involucrados[12].

Características que deben presentar los modelos:

- Deben ser fáciles de entender y manejar.
- Deben ser simples y de costo no excesivo.
- Deben ser una buena aproximación del sistema real, que controle el mayor número posible de aspectos del mismo y que éstos contribuyan de forma significativa al sistema (hay relaciones en el sistema que no son significativas y pueden obviarse en el modelo).

Tipos de modelos de simulación

Varios son los modelos de simulación existentes. La elección de uno u otro dependerá en cada caso de las características del sistema modelado. A continuación se describen los principales modelos de simulación existentes.

Se elaboran modelos de simulación para analizar el comportamiento de sistemas como función del tiempo. Desde este punto de vista, existen dos tipos de simulación:

- Simulación discreta: En la simulación discreta, el sistema simulado se observa únicamente en puntos seleccionados en el tiempo[13]. Por ejemplo, en el modelado de la operación de un banco, el estado del sistema se describe mediante el número de clientes en la línea de espera y cual de los pagadores está en ese momento ocupado.

- Simulación continua: En las simulaciones continuas el sistema se monitorea en todos y cada uno de los puntos en el tiempo[13]. Por ejemplo, al simular el vuelo de un avión, el estado del sistema se describe mediante su posición, rapidez, aceleración, etc. Estas características cambian continuamente.



Figura 8. Tipos de Simulación

1.3.3 Conceptos fundamentales del modelo de simulación

Frecuentemente los sistemas están afectados por cambios que ocurren fuera de ellos. Estos cambios se dice que ocurren en el ambiente donde se desenvuelve el sistema. En la modelación de los sistemas resulta muy importante decidir cual es la frontera que delimita el sistema de su ambiente. En general, esta división está estrechamente relacionada con el propósito del estudio.

Para comprender y analizar mejor los sistemas es necesario definir un conjunto de términos tomados de [18]:

Entidades

Las entidades son los objetos de interés en el sistema. Estas representan a los objetos dinámicos de la simulación. Son las piezas que se mueven por el sistema, afectan y son afectadas por otras entidades. Las entidades se crean y se destruyen. Pueden ser personas u objetos, reales o imaginarios, sus movimientos a través del sistema causan un cambio en el estatus del sistema. Las entidades (documentos, clientes, partes, etc.) son aquellas que están siendo producidas o atendidas o que de cualquier otra manera incluyen en nuestro proceso. Ejemplo:

Clientes que llegan a un Banco, o partes que están siendo producidas en una fábrica.

Atributos

A las propiedades que idénticas y diferencian a las entidades se les llama atributo. Aunque varias entidades pueden poseer los mismos atributos, estos se diferencian en su valor para entidades diferentes. Pueden definirse tantos atributos como sean necesarios. Los atributos pueden ser el tiempo de llegada, la prioridad, fecha de vencimiento, color, etc. Ejemplo: Si definimos el sistema como una celda flexible de manufactura, las entidades son los pallets que se mueven a través del sistema transportando el material dentro de cada celda. Los atributos pueden ser el tipo de pieza en el pallet, el peso de los pallets, etc.

Recursos

Las entidades a menudo compiten entre ellas por los servicios que les brindan los recursos. Los recursos pueden ser cosas como personal, equipo o espacio en un área de almacenamiento. Una entidad ocupa un recurso cuando está disponible y lo suelta cuando ya no lo necesita. Los recursos poseen capacidad y un conjunto de estados [desocupados (IDLE), ocupados (BUSY), inactivos (INACTIVE), averiados (FAILED)]. Las entidades al utilizar un recurso: primero lo ocupan (SEIZE), lo usan durante un tiempo dado (DELAY), y luego lo liberan (RELEASE), pasando este de nuevo al estado de desocupado, para que otras entidades tengan acceso al mismo. Se debe entender que los recursos son asignados a las entidades, y no que las entidades pertenecen a los recursos. Los recursos pueden tener varias unidades de capacidad y esta puede ir cambiando en el tiempo. Si la entidad que ocupa el recurso no lo suelta, todas las entidades que requieren del mismo recurso serán colocadas en una fila y no podrían ocupar el recurso mientras no esté disponible.

Filas o colas

Una fila es un área donde las entidades esperan mientras se libera el recurso que necesitan.

Variables

Las variables representan un conjunto de valores globales que pueden ser alterados en cualquier lugar dentro del modelo. Por lo general, todos los lenguajes de simulación diferencian dos tipos de variables: las variables definidas por el usuario y las variables del sistema. Las variables definidas por el usuario pueden ser cambiadas durante el tiempo de simulación, por ejemplo: tasa de llegada, inventario actual, número de pacientes registrados, etc.

Las variables globales son magnitudes que recogen y reflejan la información y características del sistema. Pueden definirse tantas variables como se necesite, pero cada una de ellas es única. Las variables globales son accedidas por todas las entidades que pueden modificarlas o no.

Evento

Un evento es una acción que ocurre de forma instantánea y que puede cambiar el estado del sistema, el valor de los atributos y/o de las variables y acumuladores estadísticos del sistema.

Reloj de simulación

El reloj de simulación es una variable que recoge el tiempo actual de la simulación. En la simulación de sistemas discretos el mismo no fluye continuamente, sino que el mismo pasa del tiempo de ocurrencia de un evento al tiempo de ocurrencia del evento siguiente.

Actividad

Una actividad representa un período de tiempo de una duración específica. Toda actividad comienza con la ocurrencia de un evento y concluye con la ocurrencia de otro evento.

Estado

Se define por estado del sistema al conjunto de variables necesarias para describir el sistema en un tiempo dado, relacionando el objetivo del estudio.

Como se ha visto hasta aquí, el modelo de simulación constituye un conjunto de aproximaciones, tanto estructuradas como cualitativas, sobre la forma en que trabaja un proceso o sistema real.

1.3.4 Ventajas y desventajas de la simulación

Ventajas

1. La simulación permite el estudio y análisis del comportamiento de sistemas en los cuales sería muy costoso o imposible experimentar directamente en ellos.
2. Por otro lado permite estudiar los aspectos que sobre un sistema determinado tendrían ciertos cambios o innovaciones sin necesidad de arriesgarse a estudiarlos en el sistema real. Uno de los objetivos de un estudio de simulación pueden ser, estimar el efecto de condiciones extremas y hacer esto en la vida real puede ser peligroso o inclusive ilegal.
3. Permite el análisis de determinadas alternativas para seleccionar sistemas de nueva implantación.
4. Permite resolver problemas analíticos complicados de una forma más sencilla.
5. Existen algunas características de la simulación que indican, al estudiar ciertos sistemas dinámicos, que es el método adecuado a utilizar. Estos son:
 - El sistema cambia con el tiempo.
 - Hay elementos del sistema que varían estocásticamente, es decir, tienen un comportamiento aleatorio en el tiempo.
 - El sistema opera bajo un conjunto de reglas definidas.
 - El sistema no está disponible para la experimentación directa.

Desventajas

1. Los resultados que se obtienen de la aplicación de la simulación son generalmente, estimaciones estadísticas las cuales están sujetas a la

variabilidad y confiabilidad de toda estimación. Esto significa que mediante la simulación no se podrán obtener soluciones óptimas, sino cercanas a óptimas.

2. La utilización de la simulación está directamente vinculada al uso de una computadora, y para lograr mayor precisión en los resultados, se necesitará mayor tiempo de procesamiento en la computadora, por lo que se hace bastante costosa. En este aspecto si se compara la simulación con la experimentación directa puede verse que esta última también puede convertirse en muy costosa, particularmente si algo va mal. En cuanto al significativo consumo de tiempo que se necesita para producir un programa de computadora que simule un sistema, una vez que dichos programas están escritos, entonces, se presenta una oportunidad muy atractiva, que es realizar en segundos de tiempo de computadora el trabajo de meses, semanas o años del sistema.

1.4 Metodología de desarrollo de un modelo de simulación

Existen varias vías o procedimientos para enfrentar el estudio del Servicio de Acceso Remoto de la Red Telemática de la UCF. En tal sentido se han analizado una propuestas metodológicas descritas en [10], [11], [12] y [13].

La metodología para la creación y desarrollo de modelos de simulación se puede resumir en los siguientes pasos:

- Definición del problema.
- Diseño del modelo preliminar.
- Recolección y análisis de los datos de entrada.
- Construcción del modelo.
- Verificación y validación del modelo.
- Experimentación y análisis de salidas.
- Implantación.
- Monitoreo y control.

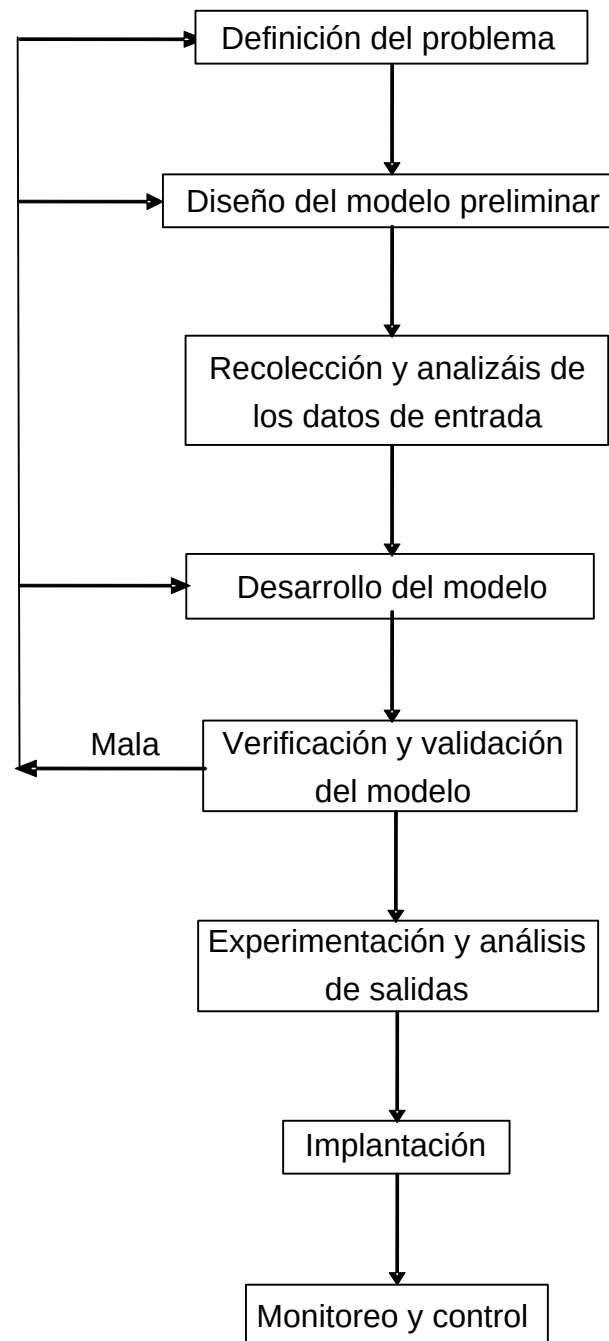


Figura 9. Proceso de desarrollo de un modelo de simulación

Definición del problema

En esta fase se toma un sistema real y se trata de entenderlo. Para ello, primero se trata de identificar el problema a resolver y se describe su operación en

términos de objetos y actividades dentro de un marco físico. Luego, se trata de identificar las variables de entrada (exógenas), así como las variables internas y de salidas del sistema (endógenas) y se les categoriza. Las variables de entrada pueden ser de decisión (controlables) o parámetros (no controlables). En esta etapa también se trata de definir medidas de desempeño del sistema (como función de variables de salida) y una función objetivo (una combinación de algunas de las medidas).

Diseño del modelo preliminar

En esta fase se diseña un modelo preliminar tratando de comprender el sistema que se quiere estudiar, ya sea siguiendo una aproximación de flujo físico basado en el flujo de entidades a través del sistema con sus puntos de procesamiento y reglas de decisión, o una aproximación de eventos (o cambio de estados) basado en la definición de variables de estado internas seguida por una descripción de la operación del sistema cuando ocurre un evento.

Recolección y análisis de los datos de entrada

En esta fase se identifican, recogen y analizan los datos necesarios para el estudio. Luego se determina de qué distribución proviene el conjunto de datos o cuál es la distribución que mejor ajusta a los datos mediante técnicas o pruebas estadísticas.

Desarrollo del modelo

En esta fase se construye el modelo partiendo del modelo conceptual y de los datos. Se precisa definir correctamente las componentes del modelo, así como establecer el diagrama de flujo de las operaciones que tienen lugar en el sistema. También en esta fase se elige un lenguaje de implementación. Se implementa el modelo de simulación en base al lenguaje elegido para que pueda ejecutarse en una computadora. La duración de este proceso está directamente relacionada con la selección del lenguaje, por ejemplo, un modelo que pueda ser codificado en

Arena 10.0 en 20 minutos, podría llevar hasta 5 días en FORTRAN, PASCAL o C++.

Verificación y validación del modelo

Esta fase tiene como objetivo determinar la habilidad que tiene un modelo para representar la realidad. La validación se lleva a cabo mediante la comparación estadística entre los resultados del modelo y los resultados reales.

Experimentación y análisis de resultados

En esta fase se hace diseño de experimentos basados en la repetición de la simulación con las variables de decisión en varios niveles. Luego se analizan las salidas de la simulación para comprender el comportamiento deseado del sistema. Estas salidas se usan para obtener respuesta al comportamiento del sistema original.

Implantación

Una vez seleccionada la mejor alternativa, es importante llevarla a la práctica; en muchas ocasiones este último paso es el más difícil ya que se tiene que convencer a la alta dirección y al personal de las ventajas de esta puesta en marcha. Para esto se recomienda llevar a cabo un proceso de animación que permita visualizar el comportamiento de las variables en el sistema. Al implantar hay que tener cuidado con las diferencias que pueda haber con respecto a los resultados simulados, ya que estos últimos se obtienen, si bien de un modelo representativo, a partir de algunas suposiciones.

Monitoreo y control

No hay que olvidar que los sistemas son dinámicos y con el transcurso del tiempo es necesario modificar el modelo de simulación, ante los nuevos cambios del sistema real, con el fin de llevar a cabo actualizaciones periódicas que permitan que el modelo siga siendo una representación del sistema.

1.5 Trabajos científicos realizados

Con el desarrollo de la Teoría de Colas y la utilización de la técnica como la Simulación, en la actualidad se han realizado numerosas investigaciones y trabajos científicos en Cuba y el mundo entero. A continuación se mencionan algunos de ellos:

La aplicación de un modelo de simulación a la gestión de las listas de espera de consultas externas de cirugías del hospital Marina Alta de Denia en Valencia[19]: El trabajo permitió acotar el área de consultas externas y comprender mejor sus interrelaciones, el flujo de pacientes y las variables que lo afectan, facilitando la optimización de la demanda y la predistribución los recursos a través de un modelo de simulación.

La modelación Matemática del área comercial de una sucursal bancaria del BPA en la Provincia de Cienfuegos[20]: El trabajo constituye una excelente herramienta para la asistencia a la gerencia en el proceso de toma de decisiones científicas, en el que se formula un modelo de simulación que permitió imitar el funcionamiento de una sucursal bancaria y experimentar bajo diferentes condiciones, facilitando la optimización de la utilización de los empleados y las exigencias relativas al nivel de servicio exigidos por la gerencia.

Modelos para el dimensionamiento de un centro de atención telefónica en la dirección territorial de la Empresa de Telecomunicaciones de Cuba en Cienfuegos[21]: Con el empleo de modelos de la matemática aplicada el trabajo permitió dimensionar un call center para asumir los servicios de atención telefónica en la Dirección Territorial de ETECSA en Cienfuegos. Se concibió un modelo de simulación acorde al sistema deseado, contemplando el ruteo basado en habilidades, determinándose la cantidad requerida de agentes y enlaces troncales para lograr los valores permisibles de los indicadores de operación deseados.

1.6 Conclusiones parciales

En este capítulo se abordaron una serie de conceptos generales sobre la teoría de colas o líneas de espera, su estructura y representación, clasificación, así como los procesos markovianos y no markovianos, donde se llega al planteamiento de ecuaciones de algunos de los modelos con distribuciones generales. Posteriormente se analiza el método de simulación como solución alternativa para resolver algunos sistemas de colas que no pueden ser resueltos de forma analítica, aspectos generales, conceptos y características a tener en cuenta del modelo de simulación. Por último se concluye con la presentación de una metodología general para el desarrollo modelos de simulación, así como una serie de trabajos científicos que han sido realizados sobre la modelación de sistemas de servicios.

Capítulo 2. Desarrollo del modelo matemático de teoría de colas y simulación

2.1 *Introducción*

Este Capítulo está dedicado a la modelación matemática de teoría de colas y a la aplicación de la metodología de desarrollo de modelos de simulación propuesta en el Capítulo 1, para resolver el problema que existe en el Servicio de Acceso Remoto (RAS) de la Red Telemática de la UCF.

2.2 *Definición del problema*

En este epígrafe se presenta la descripción del funcionamiento del RAS de la Red Telemática de la UCF, cuestión de gran importancia para la modelación matemática de teoría de colas y el desarrollo del modelo de simulación.

La UCF brinda el RAS de la Red Telemática de dicha entidad. Este se encuentra habilitado solamente para los profesores que lo soliciten y sean autorizados por sus respectivos jefes de área. Al cabo del tiempo se ha detectado que las conexiones son lentas debido al creciente número de usuarios que tienen acceso a este servicio de red. En oportunidades existen desproporciones entre el equipamiento, ancho de banda y número de usuarios, los cuales conllevan a ofrecer un servicio de baja calidad.

El proceso comienza cuando un usuario se desea conectar desde su hogar a la Red Telemática de la UCF mediante conexiones telefónicas vía modem a través de la red de datos de ETECSA para disfrutar de los servicios que allí se ofrecen, como son: Internet, Intranet, Correo, y otros. El servidor es el encargado de gestionar dicha conexión según el orden de llegada de cada usuario que se conecta.

2.3 Modelo matemático de teoría de colas

En el capítulo anterior se analizaron algunos modelos matemáticos de teoría de colas con distribuciones generales como el modelo M/G/1, M/G/S y G/G/1. Este último supone tanto el tiempo entre arribos como el tiempo de servicio con distribuciones generales, pero el número de servidores es solo uno.

En la bibliografía revisada no aparece referencia alguna del el modelo G/G/S, que es muy similar al G/G/1, la única diferencia está dada en el número de servidores, que en este caso es más de uno.

3.2.1 Definición de variables

Se identifican las variables que intervienen en el modelo matemático de teoría de colas y que son de sumo interés para el modelo:

λ : Arribo de clientes al sistema.

μ : Tiempo de servicio.

S: Número de servidores.

L: Número promedio de clientes en el sistema.

Lq: Número promedio de clientes en la cola.

W: Tiempo promedio de permanencia en el sistema.

Wq: Tiempo promedio de permanencia en la cola.

ρ : Utilización promedio del servicio.

3.2.2 Modelo G/G/S

La herramienta informática de modelación matemática **WIN QSB**[22] cuenta con la implementación de varios modelos de colas e incluye una aproximación al modelo G/G/S, el cual se encuentra formulado de la siguiente manera:

$$\rho = \frac{\lambda}{s\mu}$$

$$L = Lq + \rho$$

$$Lq = Lq(M|M|S) \frac{\mu^2 V(t) + V(t')\lambda^2}{2} \quad (21)$$

Donde $V(t)$ es la variación de tiempo de servicio y $V(t')$ es la variación del tiempo entre arribos.

$$W = \frac{L}{\lambda}$$

$$Wq = \frac{Lq}{\lambda}$$

3.2.3 Procedimiento para la formulación del modelo

Como se ha analizado en el capítulo anterior, mediante la teoría de colas se pueden representar diversas situaciones de la vida real, siempre y cuando exista una demanda por un servicio, y esta a su vez supere la capacidad de proporcionar dicho servicio.

Para ello, según la notación de Kendall y Lee estudiada en el capítulo anterior, se definen una serie de pasos para la construcción del modelo de teoría de colas:

- Paso 1.** La distribución estadística que sigue el tiempo entre arribos al RAS de la Red Telemática de la UCF es general (λ).
- Paso 2.** La distribución estadística que describen el tiempo de servicio para el RAS a la Red Telemática de la UCF es general (μ).
- Paso 3.** Según la dirección IP asignada para el RAS de la Red Telemática de la UCF (s).

Dirección IP asignada: 192.168.25.0 / 24.

Se destinan: 24 bits para red y 8 bits para host.

La cantidad de estaciones deservicio en paralelo se calcula como:

$$2^8 = 255 - \text{IP de red} - \text{IP de broadcast.}$$

$$2^8 = 255 - 1 - 1 = 253.$$

A partir del cálculo realizado se definen 253 servidores.

Paso 4. La disciplina de la cola se define como FIFO.

Paso 5. El número máximo de clientes en el sistema se define como infinito (∞).

Paso 6. El tamaño de la fuente de llegada se define como infinito (∞).

Paso 7. En correspondencia con la notación de Kendall, el modelo apropiado para esta situación puede escribirse como:

$$G / G / 253 / \text{FIFO} / \infty / \infty$$

Desafortunadamente, el análisis de este tipo de modelo se hace inviable por los métodos matemáticos convencionales de la Teoría de Colas, es entonces cuando se acude a métodos numéricos para resolverlo.

La simulación se encuentra dentro de las técnicas numéricas a utilizar en estos casos. Se propone entonces, en consecuencia con este resultado, utilizar el método de simulación para resolver el problema planteado.

2.4 Modelo de simulación

A continuación se presentan una serie de pasos, según la metodología de desarrollo estudiada en el Capítulo 1.

2.2.1 Definición de variables y objetivo del problema

En este sub-epígrafe se definen las variables que intervienen en el modelo de simulación que describe el funcionamiento del RAS a la Red Telemática de la UCF, así como el planteamiento del objetivo del problema planteado.

Variables del sistema

Se identificaran las variables que intervienen en el sistema y que son de sumo interés para el modelo. Estas se pueden clasificar en:

- Variables exógenos: son variables externas al sistema y existen con independencia de él (se consideran variables de entrada). Estas a su vez son:

- ✓ Variables incontrolables o parámetros (los valores no se pueden decidir sino que vienen fijados):

Ta1: Arribo de usuarios al sistema.

- Variables endógenas: son variables internas y las variables de salida del modelo.

- ✓ Variables internas:

Ts1: Tiempo de servicio.

- ✓ Variables de salida:

ConexionSimultanea: Número promedio de usuarios conectados en el mismo intervalo de tiempo.

ABandaUtilizado: Ancho de banda promedio utilizado.

ABandaDisponible: Ancho de banda promedio disponible.

VelocidadConexion: Velocidad de conexión promedio.

Objetivo

Estimar las medidas de desempeño del modelo matemático de teoría de colas y determinar la relación número de usuarios versus ancho de banda disponible con ayuda del modelo de simulación.

2.2.2 Diseño del modelo preliminar

La técnica que se va a utilizar para poder desarrollar un modelo apropiado, es la aproximación de flujo físico. Para una mejor comprensión se ha de identificar las entidades cuyo procesamiento o transformación constituye el propósito del sistema.

Existen dos posibilidades para la traza de entidades:

- Usuarios.
- Servidor.

La traza de un usuario comienza cuando este decide acceder a de la Red Telemática de la UCF mediante el RAS a través de la red de datos de ETECSA vía módem. En el instante que el usuario se conecta a la red UCF se le asigna el elemento servidor.

Aquí ocurren dos procesos:

- ✓ Ocupar el servidor (instante de tiempo en el cual el usuario se conecta y utiliza el servicio).
- ✓ Liberar el servidor (instante de tiempo en el cual el usuario abandona el servicio).

Se pueden establecer conexiones simultáneas entre los usuarios y el servidor, dependiendo del ancho de banda disponible, pues en caso de ser superado el servidor redistribuye el ancho de banda entre la cantidad de usuarios conectados en cada instante de tiempo.

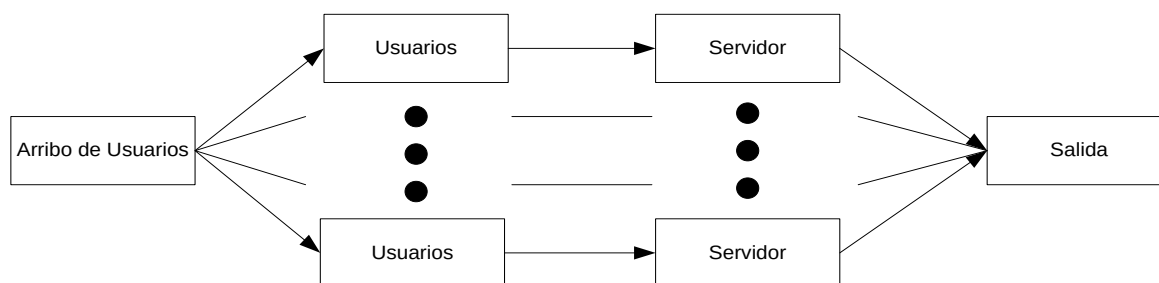


Figura 10. Diagrama de flujo de las entidades

2.2.3 Recolección y análisis de datos de entrada y del sistema

Obtención de datos

La obtención de los datos necesarios para el análisis de las magnitudes de entrada y de servicio fueron obtenidos por la siguiente vía:

- Mediciones realizadas por el administrador de la red por un período de tres meses consecutivos.

En este sentido, para realizar el estudio del comportamiento de los arribos y el tiempo de servicio del RAS de la Red Telemática de la UCF se realizaron observaciones durante tres meses consecutivos.

Tratamiento de la información

Para el procesamiento de las mediciones según la metodología antes mencionada sobre los tiempos de espera, se utilizó Microsoft Office Excel 2003 con el fin de convertir los tiempos entre arribos y de servicio.

Análisis de los datos de entrada y del sistema

En esta fase se determina de qué distribución proviene el conjunto de datos o cuál es la distribución que mejor ajusta a los datos; existen técnicas o pruebas estadísticas que consisten en:

Prueba de hipótesis:

H_0) Hipótesis nula: Los datos provienen de la distribución teórica X.

H_1) Hipótesis Alternativa: Los datos no provienen de la distribución teórica X.

Estas pruebas son utilizadas para:

- Contrastar el valor de un parámetro.
- Comparar dos parámetros.
- Contrastar los datos de una distribución teórica.
- Contrastar hipótesis de homogeneidad.
- Contrastar hipótesis de independencia.

El procedimiento a seguir sería, plantear la hipótesis, fijar un estadístico de prueba, fijar el o los valores críticos para el estadístico de prueba que determina la zona de rechazo (valor α), tomar la muestra y calcular el estadístico de prueba. Ahora, si los datos evidencian que la hipótesis nula es falsa, entonces se rechaza la hipótesis nula, sino no se puede rechazar la hipótesis nula.

Las pruebas de bondad de ajuste:

La prueba de bondad de ajuste permite determinar si la estructura de la muestra analizada se ajusta a una determinada distribución teórica o no. En principio, el procedimiento de obtención de información debería ofrecer pautas para decidir si la población tiene una u otra estructura probabilística.

El análisis de bondad de ajuste de una serie de datos a una distribución de probabilidad se estudia mediante el test de Chi-Cuadrado de Pearson y/o por medio de la prueba Kolmogorov-Smirnov.

La prueba de bondad de ajuste será analizada por el *Test Chi-Cuadrado χ^2* para determinar si es razonable que los datos provengan de la distribución ajustada. Para todas las pruebas las hipótesis de interés son:

- Hipótesis Nula: (H_0) Los datos son muestras independientes de la distribución especificada.
- Hipótesis Alternativa: (H_1) Los datos no son muestras independientes de la distribución especificada.

Test Chi-Cuadrado χ^2 : Esta prueba divide el rango de X en k intervalos y compara los conteos observados, donde:

O_j = número de datos observados en el intervalo j a el número esperado dada la distribución ajustada.

E_j = número de datos esperado en el intervalo j.

La prueba estadística dada por:

$$\chi^2 = \sum_{j=1}^k \frac{(O_j - E_j)^2}{E_j}$$

la cual es comparada a una distribución chi-cuadrada con $k - p - 1$ grados de libertad, donde p es el número de parámetros estimados cuando ajustamos la distribución seleccionada. P-values pequeños permiten rechazar la distribución supuesta.

El Test chi-cuadrado es aplicable a distribuciones continuas o discretas, pues compara las frecuencias observadas con las esperadas, sin embargo es aconsejable utilizarlo para distribuciones discretas.

Test Kolmogorov-Smirnov: Esta compara la distribución de acumulación de datos a la distribución de acumulación ajustada. Primero, evalúa la distribución de acumulación ajustada en cada uno de los datos.

$$Z_i = \hat{F}(X_{(i)})$$

Entonces calcula y muestra el máximo de las distancias de la c.d.f empírica por encima de la c.d.f ajustada

$$D^+ = \max_i \left\{ \frac{i}{n} - z_i \right\}$$

y el máximo de las distancias de las c.d.f empírica por debajo de la c.d.f. ajustada.

$$D^- = \max_i \left\{ z_i - \frac{1-i}{n} \right\}$$

La estadística Kolmogorov es la más grande de las dos distancias

$$D = \max(D^+, D^-)$$

Es aplicable a distribuciones continuas, compara las distribuciones acumuladas, observadas y esperadas.

Todas estas pruebas serán realizadas con ayuda de Input Analyzer (analizador de entrada) que se proporciona como un componente normal del ambiente del ambiente de Arena 10.0.

Además, se realizan pruebas estadísticas utilizando la herramienta informática de estadística matemática STATGRAPHICS para determinar si existen diferencias significativas entre las medias. Para los factores que muestran P-values significativos en la tabla ANOVA se realiza un análisis posterior realizando una prueba de rangos múltiples por el Método LSD.

El Método LSD forma un intervalo de confianza para cada par de medias al nivel de confianza seleccionado, indica la menor diferencia entre dos medias cualesquiera que puedan representar una diferencia estadísticamente significativa. Con este método hay un riesgo del 5.0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0. Solo debe aplicarse cuando la F-prueba de la tabla ANOVA indique diferencias significativas entre las medias muestrales.

2.2.4 Desarrollo del modelo de simulación

En esta fase se refina el diagrama de flujo de entidades para convertirse en diagrama de flujo del sistema.

Descripción de los módulos que componen el modelo

Durante la construcción del modelo se utilizaron varios módulos de diferentes paneles de Arena 10.0.

Del **BASIC PROCESS PANEL** se utilizó:

Módulos del diagrama de flujo

- El módulo **CREATE** como punto de inicio para crear la entidad Arribo de Usuarios en el modelo de simulación, donde se especifica el tipo de entidad y la distribución que sigue el tiempo entre arribos.
- El módulo **ASSIGN** para asignar nuevos valores a variables, atributos y expresiones.
- El módulo **DECIDE** como proceso de decisión en el modelo, basado en condiciones referidas a los valores que pueden tomar las variables.
- El módulo **SEPARATE** para hacer una copia de la entidad entrante.
- El módulo **DISPOSE** como el punto final o de salida para las entidades en el modelo de simulación.

Módulos de datos

- El módulo de datos **VARIABLE** para definir la dimensión de las variables y sus valores iniciales.

Del **ADVANCED PROCESS PANEL** se utilizó:

Módulos del diagrama de flujo

- El módulo **READWRITE** para leer datos desde ficheros de entrada de extensión Microsoft Excel (*.xls) y asignar los valores de dichos datos a atributos.
- El módulo **DELAY** para demorar las entidades durante un tiempo especificado. De esta forma cuando una entidad arriba a este módulo se evalúa la expresión contenida en él y la entidad permanece entonces en este módulo por el tiempo que resulta de dicha evaluación.

Módulos de datos

- El módulo **EXPRESION** para definir las expresiones ArrSchedule y SerSchedule puestas en un índice (Day) con sus valores asociados (distribuciones que siguen los arribos y el tiempo de servicio) por días.
- El módulo **FILE** para identificar el nombre del fichero, definir el método de acceso, el formato, y las características operacionales del fichero.
- El módulo **STATISTIC** para definir los ficheros que coleccionan las estadísticas de interés durante la simulación. El tipo de estadística que se colecciona es time-persistent.

Construcción del modelo de simulación

Modelo usando datos históricos

En este modelo a medida que se crean entidades en el Sub-Modelo de entrada, se verifica con el módulo *DECIDE* si la cantidad de conexiones simultaneas no

excede la capacidad del servidor (253). De ser así, se verifica si el valor de la variable $Ts2$ es igual a cero. De ser así se le asigna cero en el módulo *ASSING* a la diferencia del tiempo entre arribos; después se examina de igual modo en el módulo *DECIDE* si el valor de la variable $Ts1$ menor o igual que cero, si es así la entidad fluye directamente al *Sub-Modelo de Salida*, sino fluye hacia el *Sub-Modelo para el caso 1*. En caso que la variable $Ts2$ sea mayor que cero, se calcula la diferencia entre $Ts1$ y $Ts2$ (tiempo de servicio actual menos el anterior), y se verifica si el valor de la variable $Ts1$ es mayor que cero; de ser así la entidad fluye directamente al *Sub-Modelo para el caso 1*, sino fluye hacia el *Sub-Modelo para el caso 2*. De los *Sub-Modelos para el caso 1 y 2* las entidades fluyen hacia el *Sub-Modelo de Salida*.

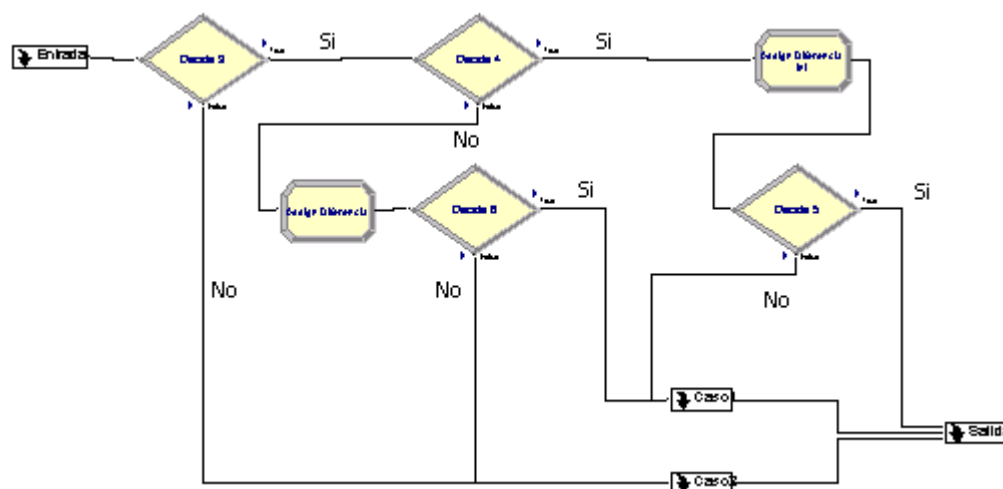


Figura 11. Modelo de simulación de lectura de datos históricos

Para describir el modelo de simulación desarrollado es necesario explicar que la formulación del mismo cuenta con cuatro Sub-Modelos, los cuales se enumeran a continuación:

- Sub-Modelo de entrada.
- Sub-Modelo para el caso 1.
- Sub-Modelo para el caso 2.
- Sub-Modelo de salida.

A continuación se comentaran los Sub-Modelo desarrollados:

En el **Sub-Modelo de entrada** se crea una única entidad de control lógico, que luego se mantiene en un lazo que incluye los módulos *READWRITE-DELAY-SEPARATE*, con lo cual se logra que en cada una de las visitas de la entidad al módulo *READWRITE* se realice una lectura de datos desde un fichero Microsoft Excel (*.xls) que contiene los tiempos de entrada de cada usuario, los cuales son asignados en el propio módulo *READWRITE* al atributo *Call In*, que luego es utilizado en módulo *DELAY* con el fin de demorar la entidad en este lugar por un tiempo igual a (*Call In-TNOW*). De igual modo las entidades dobles que salen por la parte inferior del módulo *SEPARATE* visitan otro módulo *READWRITE* para que se realice una lectura de datos desde otro fichero Microsoft Excel (*.xls) que contiene los tiempos de servicio de cada usuario, los cuales son asignados en el propio módulo *READWRITE* al atributo *TService*. Luego en el módulo *ASSING* se le asigna el valor que contienen estos dos atributos a las variables *Ta1* y *Ts1*.

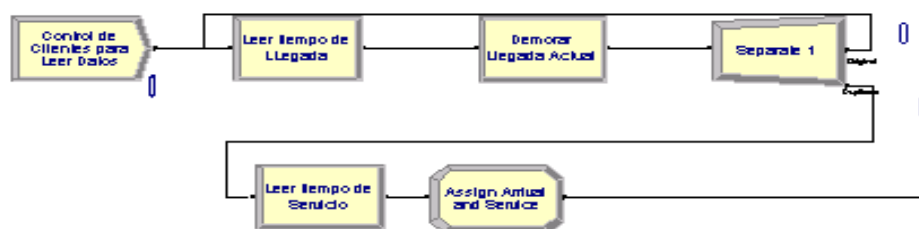


Figura 12. Sub-modelo de lectura de datos

Create ? X

Name: Entity Type:

Time Between Arrivals:

Type: Value: Units:

Entities per Arrival: Max Arrivals: First Creation:

OK Cancel Help

Assign ? X

Name:

Assignments:

Add...

Edit...

Delete

OK Cancel Help

ReadWrite ? X

Name:

Type: Arena File Name:

Recordset ID: Record Number:

Assignments:

Add...

Edit...

Delete

OK Cancel Help

ReadWrite ? X

Name:

Type: Arena File Name:

Recordset ID: Record Number:

Assignments:

Add...

Edit...

Delete

OK Cancel Help

Delay ? X

Name: Allocation:

Delay Time: Units:

OK Cancel Help

Separate ? X

Name: Type:

Percent Cost to Duplicates (0-100): # of Duplicates:

OK Cancel Help

La utilización del módulo *READWRITE* requiere de la declaración del fichero que se va a utilizar, lo cual se realiza en el módulo de datos *FILE* del *Advanced Process Panel*.

File - Advanced Process						
	Name	Access Type	Operating System File Name	End of File Action	Initialize Option	Recordsets
1	Fichero de Entrada 1	Microsoft Excel (*.xls)	E:\Modelo	Dispose	Hold	1 rows
2	Fichero de Entrada 2	Microsoft Excel (*.xls)	E:\Modelo	Dispose	Hold	1 rows

Figura 13. Modulo File

En el **Sub-Modelo para el caso 1** si la cantidad de elemento la variable *Arreglo1* es cero entonces se inicializa el *Contador1* en uno. Después se le asigna dicha variable el valor de la variable *Ts1* en la primera posición de dicho arreglo (*Contador1*). En caso contrario se inicializa *Contador1* y *Contador2* en cero y se guarda en la variable *ArregloTemporal* en la posición *Contador2* + 1, el/los valor(es) del *Arreglo1* en la posición *Contador1* + 1 después de haberse hallado la diferencia entre cada elemento del arreglo con la diferencia entre arribos en la posición que corresponde. Si el resultado de esta operación es mayor que cero entonces se guarda el elemento que en la variable *Arreglo1* en la posición *Contador2*, pero si es menor que cero entonces se decrementa en uno la variable *Contador2* (*Contador2* - 1) para que se guarde en *ArregloTemporal* sólo los valores que sean mayores que cero. Luego se guarda en el *Arreglo1* el valor de la variable *Ts1* en la siguiente posición de dicho arreglo.

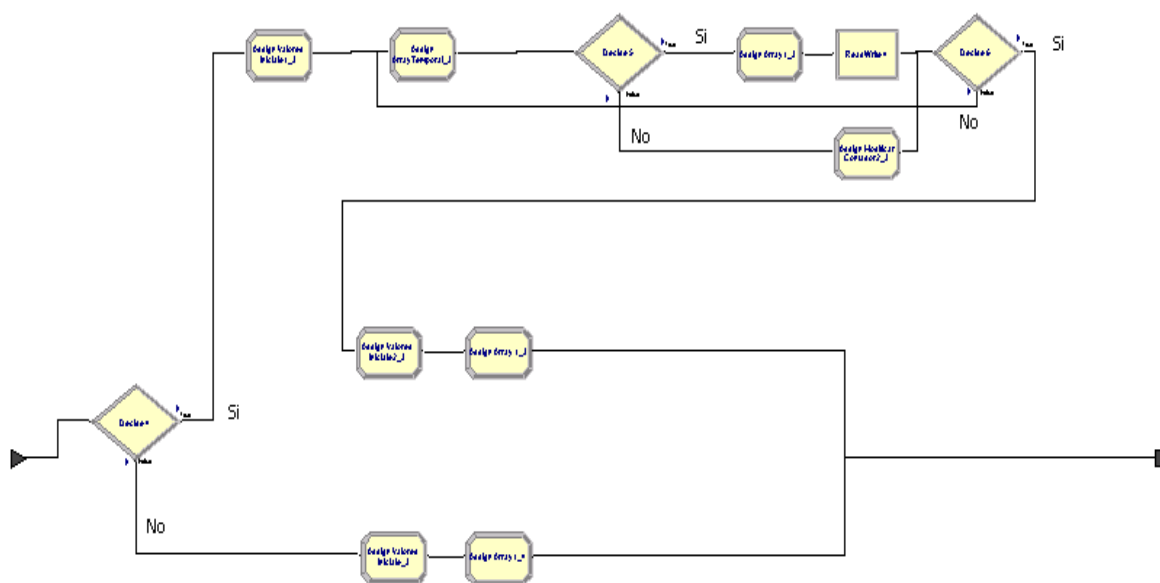


Figura 14. Sub-modelo para el caso 1

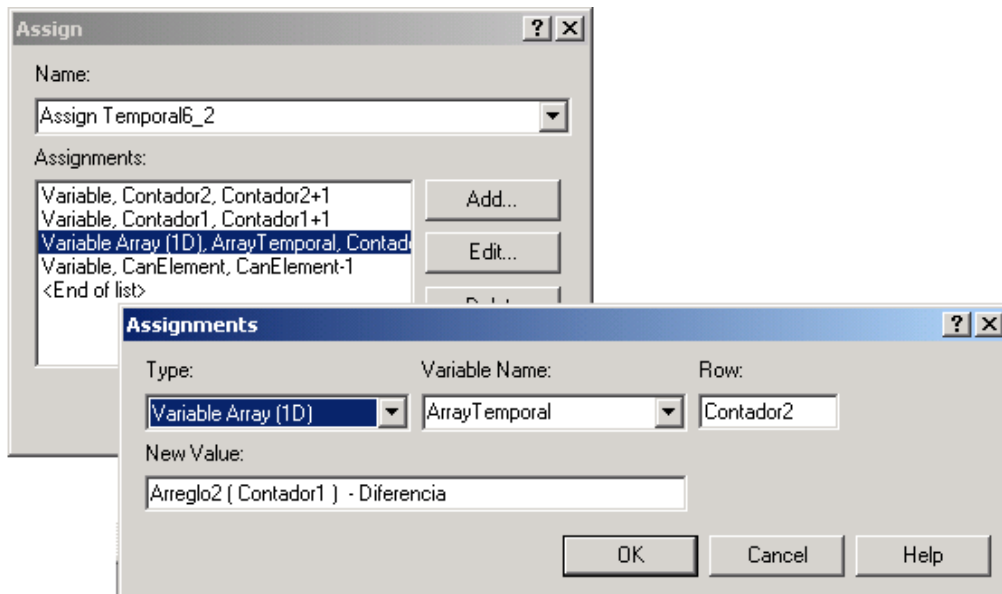


Figura 15. Módulo de asignación

En el **Sub-Modelo para el caso 2 (tiempo de servicio cero)** si la cantidad de elementos la variable *Arreglo1* es cero entonces la entidad va directo al *Sub-Modelo de salida*. En caso contrario se inicializa *Contador1* y *Contador2* en cero y se guarda en la variable *ArregloTemporal* en la posición $\text{Contador2} + 1$, el/los valor(es) del *Arreglo1* en la posición $\text{Contador1} + 1$ después de haberse hallado la diferencia entre cada elemento del arreglo con la diferencia entre arribos en la posición que corresponde. Si el resultado de esta operación es mayor que cero entonces se guarda el elemento que en la variable *Arreglo1* en la posición *Contador2*, pero si es menor que cero entonces se decrementa en uno la variable *Contador2* ($\text{Contador2} - 1$) para que se guarde en *ArregloTemporal* sólo los valores que sean mayores que cero. Luego se inicializa el *Contador1* en cero y se reasigna el valor de *Contador2* a *Contador1*.

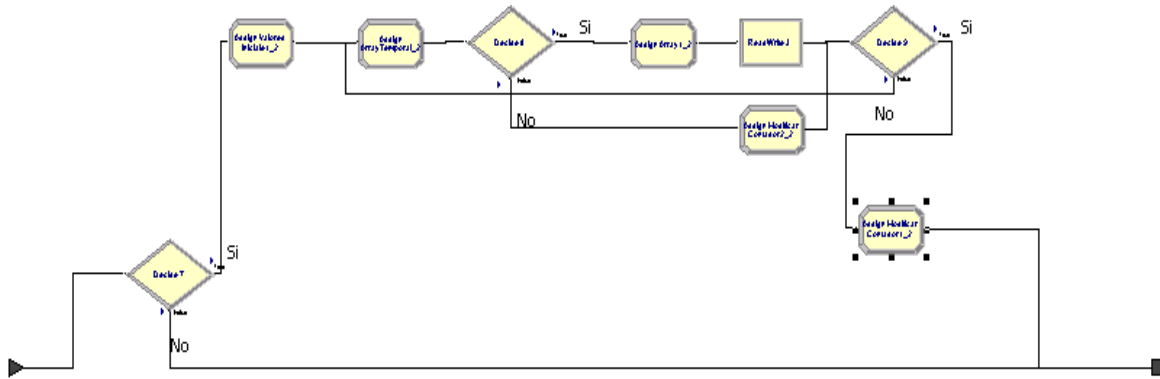


Figura 16. Sub-modelo para el caso 2

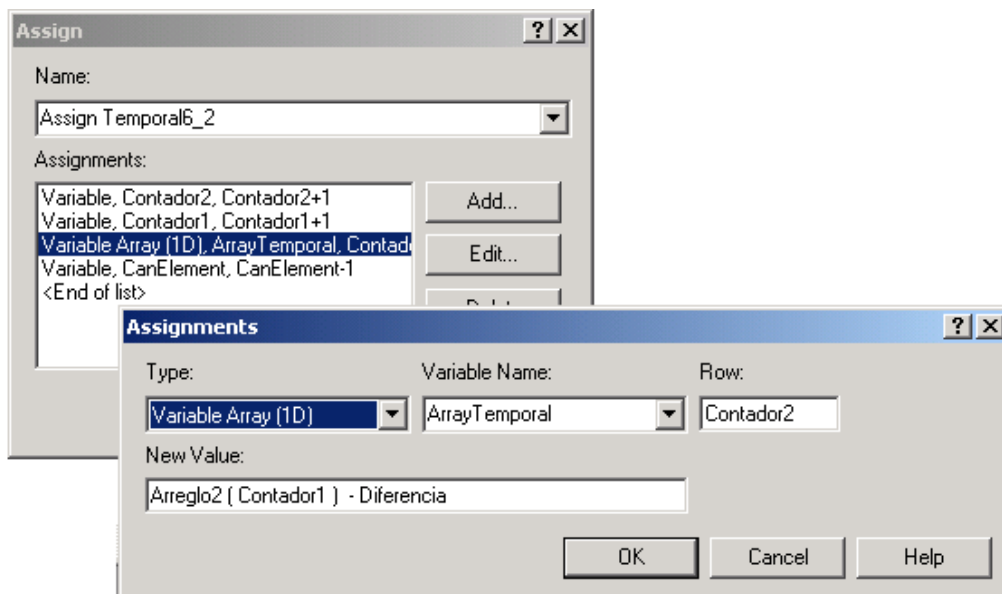


Figura 17. Módulo de asignación

En el **Sub-Modelo de salida** se le asigna el valor de *Ta1* a *Temporal1*. Luego se guarda el valor de *Temporal1* en *Ta2*, de esta forma cuando se cree otra nueva entidad se queda guardado el valor del tiempo de llegada anterior. También en este sub-modelo se determina la cantidad de usuarios conectados a la vez en un intervalo de tiempo determinado. Luego si la cantidad de usuarios conectados por la velocidad de conexión excede al ancho de banda total (conexiones * velocidad de conexión $\geq$ ancho de banda total), se le asigna el valor del ancho de banda total a la variable *ABandaUtilizado*, cero a *ABandaDisponible*, y *VelocidadConexion* se calcula como el ancho de banda entre la cantidad de usuarios conectados. En

caso contrario se le asigna el valor de 33.6 a *VelocidadConexion*, *ABandaUtilizado* se calcula como la cantidad de usuarios conectados por la velocidad de conexión, y *ABandaDisponible* se calcula como el ancho de banda total menos el ancho de banda utilizado.

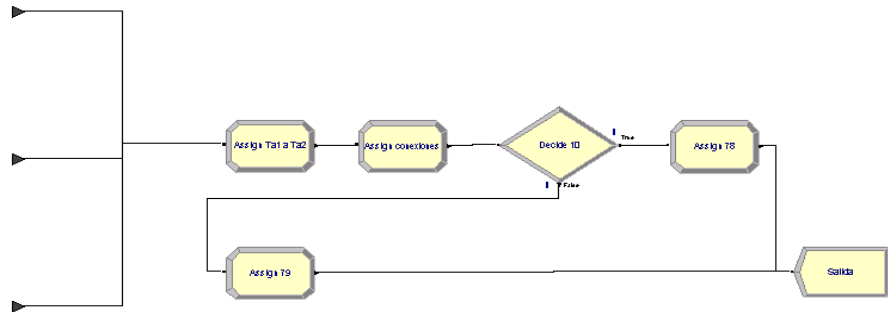


Figura 18. Sub-modelo de salida

Modelo usando datos aleatorios

El modelo es igual al Modelo usando datos históricos, pero además, está compuesto por un control de lógica para el control diario de las distribuciones que siguen los tiempos de llegadas y de servicio; en él se incrementa la variable *Day* en uno cada veinticuatro horas en la corrida de simulación. Este modelo está formado por un Sub-Modelo de asignación diaria.

Control lógico diario

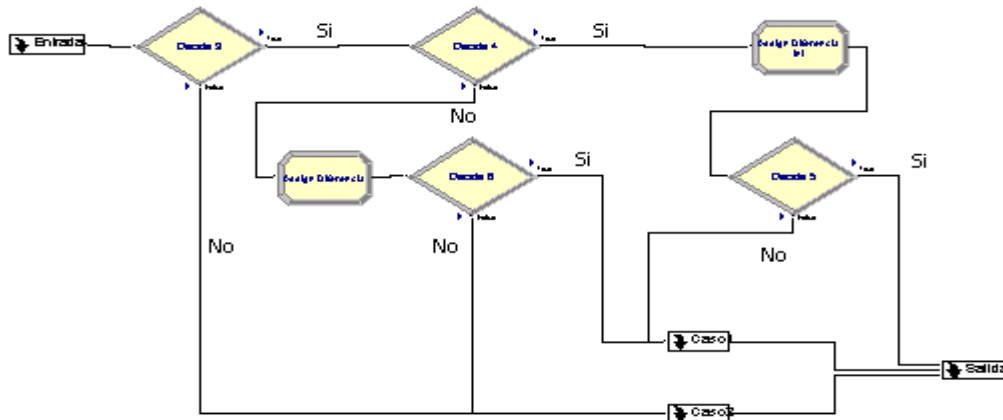


Figura 19. Modelo de simulación de generación de datos aleatorios

Para describir el modelo de simulación desarrollado es necesario explicar que la formulación del mismo cuenta con cinco Sub-Modelos, los cuales se enumeran a continuación:

- Sub-modelo asignación diaria.
- Sub-Modelo de entrada.
- Sub-Modelo para el caso 1.
- Sub-Modelo para el caso 2.
- Sub-Modelo de salida.

A continuación se comentaran los Sub-Modelo desarrollados:

En el **Sub-Modelo de asignación diaria** cada veinticuatro horas se incrementa en uno la variable *Day*, sin embargo, si existe uno o varios día que no hubo conexión por problema ocasionados por desastres naturales o provocados por el hombre, se inicializan todas las variables en cero y se vuelve a incrementar la variable *Day* en uno.

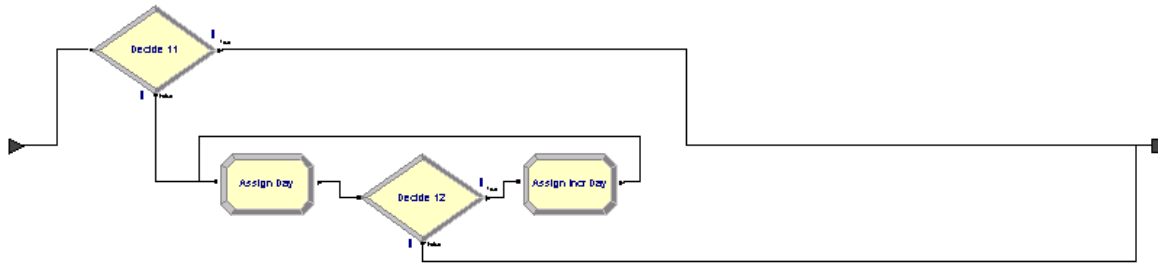


Figura 20. Control de lógica

En el **Sub-Modelo de entrada** se crean entidades con el módulo *CREATE* basadas en la expresión *ArrSchedule (Day)*, la cual contiene almacenada la distribución de cada día para el tiempo de llegada. Luego en el módulo *ASSING* se le asigna al atributo *call In* la variable del sistema *TNOW* la cual graba el tiempo en que arriba la entidad al sistema. También en este módulo se le asigna al atributo *TService* la expresión *SerSchedule (Day)*, la cual contiene almacenada la distribución de cada día para el tiempo de servicio. Luego son asignados los valores de estos atributos a las variables *Ta1* y *Ts1*.

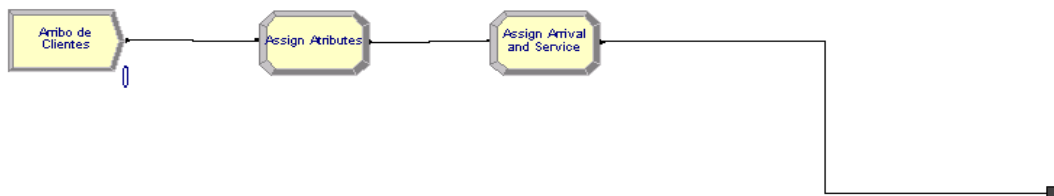


Figura 21. Sub-modelo de entrada

Para declarar este tipo de expresiones se requiere del módulo de datos *EXPRESSION* del *Advanced Process Panel*.

Expression - Advanced Process				
	Name	Rows	Columns	Expression Values
1	ArrSchedule	30		30 rows
2	SerSchedule	30		30 rows

Double-click here to add a new row.

Expression Values	
1	BETA (2.06 ,
2	BETA (2.05 ,
3	BETA (2.49 ,
4	BETA (2.67 ,
5	BETA (2.67 ,
6	BETA (2.3 , 1.15
7	BETA (2.43 ,
8	BETA (2.58 ,
9	BETA (2.39 ,
10	BETA (1.46 ,
11	BETA (2.41 ,
12	BETA (3.95 ,
13	BETA (2.55 , 1.3
14	TRIA (0.774

Figura 22. Distribución por días

Los demás módulos que componen el modelo son iguales a los del *Modelo usando datos históricos*.

2.5 Herramientas de desarrollo

Para la efectuar el desarrollo del modelo de simulación resulta necesaria la aplicación de un conjunto de herramientas informáticas.

Para el desarrollo del modelo de simulación:

Arena 10.0

El Software Arena® es la herramienta de simulación de eventos discretos y continuos líder a nivel mundial. Crea modelos de simulación sin la necesidad de codificar programas con ayuda de interfaces gráficas. Permite mostrar la animación del modelo construido, e internamente crea su código en lenguaje

SIMAN. El código interno en SIMAN puede evaluarse, modificarse o adicionarse a subrutinas en lenguaje C, Fortran[23].

Para el procesamiento estadístico de los datos:

Input Analyzer

El Input Analyzer (analizador de entrada) se proporciona como un componente normal del ambiente de Arena 10.0. Esta herramienta poderosa y versátil puede usarse para determinar la distribución de probabilidad de los datos de entrada. Los archivos de los datos procesados típicamente por el Input Analyzer representan los intervalos de tiempo asociados con un proceso al azar[24].

STATGRAPHICS Centurion XV

El más poderoso e intuitivo software estadístico para Windows con más de 150 procedimientos estadísticos que cubren la mayoría de las áreas de análisis estadístico. Los procedimientos estadísticos que contiene STATGRAPHICS Centurion van desde resúmenes de estadísticos hasta diseño de experimentos[25].

Para el análisis de resultados:

Output Analyzer

El output Analyzer (analizador de rendimiento) es un componente de Arena 10.0 que proporciona una interfase de fácil uso que simplifica el análisis de los datos de la simulación, permitiendo ver y analizar sus datos rápidamente[26].

2.6 Conclusiones Parciales

Este capítulo parte de la presentación de la problemática del sistema de servicio de acceso remoto a la Red Telemática de la UCF. Luego de esto, se plantea el modelo matemático de Teoría de Colas, se definen las variables de entrada, las variables internas y de salida del sistema, así como el procedimiento para la formulación del modelo. Finalmente llega a la conclusión que la solución de este tipo de problemas no se hace posible por los métodos convencionales de Teoría de cola. En consecuencia con este resultado, se propone utilizar el método de simulación para resolver el problema planteado. Se plantea el modelo de simulación, el diseño del modelo conceptual, la recolección y análisis de los datos de entrada, la construcción del modelo; así como las herramientas de desarrollo.

Capítulo 3. Análisis estadístico, validación y resultados

3.1 *Introducción*

Este Capítulo parte del análisis de datos de entrada para determinar las distribuciones que siguen los tiempos de llegada y de servicio. Se valida el modelo de simulación propuesto en el Capítulo 2 y se muestran los resultados obtenidos del estudio estadístico de las principales variables que intervienen en el modelo.

3.2 *Procesamiento estadístico de las variables de entrada que influyen en el sistema*

Los datos usados para definir el modelo son probabilísticos y la forma que se va a utilizar para incluirlos en el modelo es usar la muestra de datos recogida para representar la distribución de probabilidades de cada mes para el tiempo entre arribos de los usuarios y el tiempo de ocupación en servidor. Este proceso va a ser realizado con la herramienta *INPUT ANALYZER* y *STATGRAPHICS*.

3.4.1 **Análisis de los resultados del INPUT ANALYZER y el STATGRAPHICS para el tiempo de llegada**

A continuación se presenta el análisis de las observaciones por meses, por trimestre y por períodos de 8 horas para determinar la distribución que sigue la variable (tiempo entre arribos de los usuarios) del sistema planteado.

3.2.1.1 **Análisis estadístico del trimestre**

Se realiza el análisis descriptivo de las observaciones del trimestre, mostrándose el histograma de los datos y los resultados numéricos del análisis descriptivo, donde se tiene que la cantidad de observaciones es 28453, el mínimo es -0.001 y el máximo 24, la media de la muestra es 15.7 y la desviación estándar de la muestra es 5.23. Además se informa que el histograma va de 0 a 24 y tiene 40 intervalos. (Ver Anexo A 1)

El mayor interés no está en conocer estas estadísticas descriptivas sobre la muestra, sino en conocer que Distribución Estadística describe adecuadamente los datos obtenidos, así como estimaciones sobre sus parámetros característicos, de modo que luego se pueda trabajar con esta distribución y sus parámetros en el modelo de simulación. Para ello se dispone de la alternativa *FIT ALL SUMMARY*, la cual realiza un estudio de la calidad del ajuste con todas las distribuciones disponibles, organizándolas de mejor a peor según el error del ajuste.

Resultados del FIT ALL SUMMARY

Los resultados del FIT ALL SUMMARY presentan los diferentes errores de las funciones. Luego se escoge la Distribución Beta por ser la mejor (menor error) de todas. (Ver Anexo A 2)

Prueba de Bondad de Ajuste

TAP = Tiempo entre arribos de los usuarios.

Prueba de hipótesis

H_0 = TAP sigue una Distribución Beta.

$H_1 \neq$ TAP no sigue una Distribución Beta.

P-Value < 0.005 para la prueba Chi-cuadrado.

Se puede concluir que para la prueba Chi-Cuadrado se satisface la prueba para un nivel de significación de 0.1. De esta manera podemos dar por acertada la hipótesis nula (H_0), o sea, la Distribución Beta constituye un buen ajuste para las observaciones del trimestre. (Ver Anexo A 3)

Comparación de medias.

En el Statgraphics se realizó una comparación entre los días del mes de noviembre para determinar si hay o no diferencias significativas entre las medias.

Variables:

d_i = Días del mes del trimestre. $i = \{1, 2, \dots, 82\}$

La tabla 1 descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 19.3007, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 82 variables con un nivel del 95.0% de confianza.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	41466.7	81	511.934	19.30	0.0000
Intra grupos	1.06067E6	39989	26.5242		
Total (Corr.)	1.10214E6	40070			

Tabla 1. Tabla ANOVA del trimestre para el tiempo de llegada

Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, se realizó la Prueba de Múltiples Rangos, de la lista de Opciones Tabulares.

Se han identificado 35 grupos homogéneos por el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. En la figura 23 se muestra el gráfico de comparación de medias, en el cual se obtiene como resultado que existen diferencias entre las medias de los días del trimestre para el tiempo de llegada.

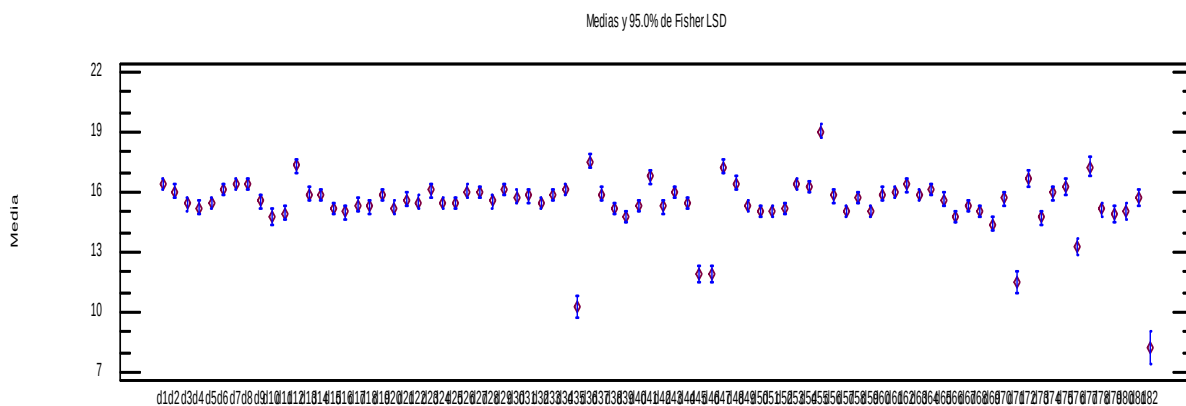


Figura 23. Comparación de medias del trimestre para el tiempo de llegada

Con estos resultados se decide determinar las distribuciones de los días del Trimestre para el tiempo de llegada. (Ver Anexo C)

3.2.1.2 Análisis estadístico del mes de septiembre, octubre y noviembre

Septiembre

Se realiza el análisis descriptivo de las observaciones de septiembre, mostrándose el histograma de los datos y los resultados numéricos del análisis descriptivo, donde se tiene que la cantidad de observaciones es 15528, el mínimo es 0 y el máximo 24, la media de la muestra es 15.7 y la desviación estándar de la muestra es 5.35. Además se informa que el histograma va de 0 a 24 y tiene 40 intervalos. (Ver Anexo B 1.1)

Resultados del FIT ALL SUMMARY

Los resultados del FIT ALL SUMMARY presentan los diferentes errores de las funciones. Luego se escoge la Distribución Beta por ser la mejor (menor error) de todas. (Ver Anexo B 1.2)

Prueba de Bondad de Ajuste

TAP = Tiempo entre arribos de los usuarios.

Prueba de hipótesis

H_0 = TAP sigue una Distribución Beta.

$H_1 \neq$ TAP no sigue una Distribución Beta.

P-Value < 0.005 para la prueba Chi-cuadrado.

Se puede concluir que para la prueba Chi-Cuadrado se satisface la prueba para un nivel de significación de 0.1. De esta manera podemos dar por acertada la hipótesis nula (H_0), o sea, la Distribución Beta constituye un buen ajuste para las observaciones de septiembre. (Ver Anexo B 1.3)

Comparación de medias

En el Statgraphics se realizó una comparación entre los días del mes de noviembre para determinar si hay o no diferencias significativas entre las medias.

Variables:

d_i = Días del mes de septiembre. $i = \{1, 2, \dots, 30\}$

La tabla 2 descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 4.67382, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 30 variables con un nivel del 95.0% de confianza.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	3860.2	29	133.11	4.67	0.0000
Intra grupos	441384.	15498	28.48		
Total (Corr.)	445244.	15527			

Tabla 2. Tabla ANOVA de septiembre para el tiempo de llegada

Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, se realizó la Prueba de Múltiples Rangos.

Se han identificado 11 grupos homogéneos por el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. En la figura 24 se muestra el gráfico de comparación de medias, en el cual se obtiene como resultado que existen diferencias entre las medias de los días del mes de octubre para el tiempo de llegada.

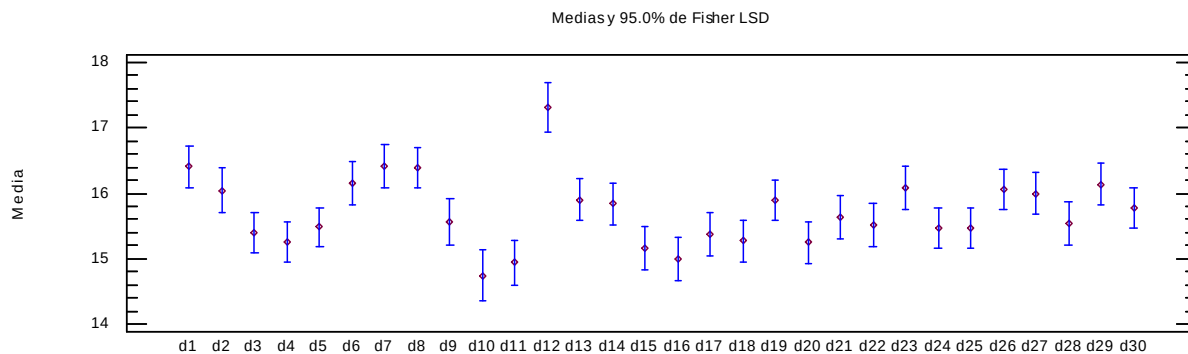


Figura 24. Comparación de medias de septiembre para el tiempo de llegada

Octubre

Se realiza el análisis descriptivo de las observaciones de octubre, mostrándose el histograma de los datos y los resultados numéricos del análisis descriptivo, donde se tiene que la cantidad de observaciones es 15893, el mínimo es 0 y el máximo 24, la media de la muestra es 15.7 y la desviación estándar de la muestra es 5.12. Además se informa que el histograma va de 0 a 24 y tiene 40 intervalos. (Ver Anexo B 2.1)

Resultados del FIT ALL SUMMARY

Los resultados del FIT ALL SUMMARY presentan los diferentes errores de las funciones. Luego se escoge la Distribución Beta por ser la mejor (menor error) de todas. (Ver Anexo B 2.2)

Prueba de Bondad de Ajuste

TAP = Tiempo entre arribos de usuarios.

Prueba de hipótesis

H_0 = TAP sigue una Distribución Beta.

$H_1 \neq$ TAP no sigue una Distribución Beta.

P-Value < 0.005 para la prueba Chi-cuadrado.

Se puede concluir que para la prueba Chi-Cuadrado se satisface la prueba para un nivel de significación de 0.1. De esta manera podemos dar por acertada la hipótesis nula (H_0), o sea, la Distribución Beta constituye un buen ajuste para las observaciones de octubre. (Ver Anexo B 2.3)

Comparación de medias

En el Statgraphics se realizó una comparación entre los días del mes de noviembre para determinar si hay o no diferencias significativas entre las medias.

Variables:

d_i = Días del mes de octubre. $i = \{1, 2, \dots, 30\}$

La tabla 3 descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 29.0401, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 30 variables con un nivel del 95.0% de confianza.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	21003.8	29	724.27	29.04	0.0000
Intra grupos	395628.	15863	24.9403		
Total (Corr.)	416632.	15892			

Tabla 3. Tabla ANOVA de octubre para el tiempo de llegada

Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, se realizó la Prueba de Múltiples Rangos.

Se han identificado 14 grupos homogéneos por el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. En la figura 25 se muestra el gráfico de comparación de medias, en el cual obtiene como resultado que existen diferencias entre las medias de los días del mes de octubre para el tiempo de llegada.

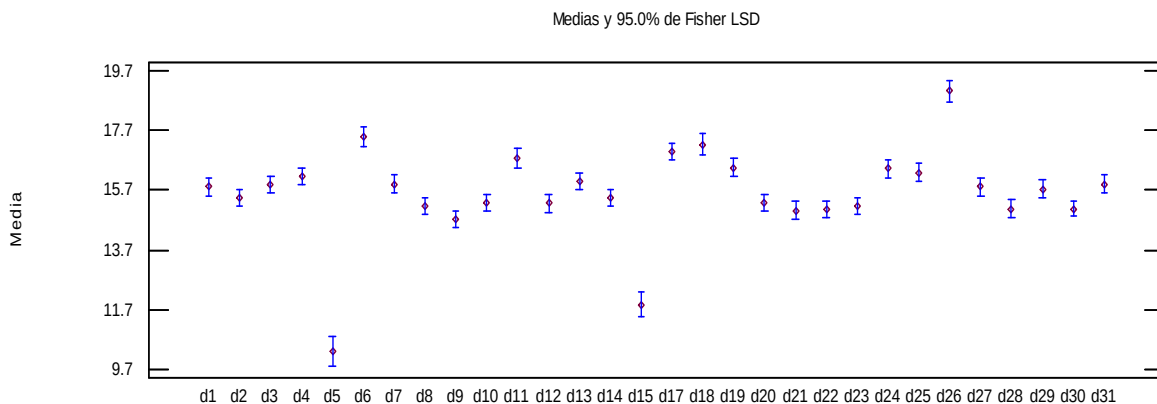


Figura 25. Comparación de medias de octubre para el tiempo de llegada

Noviembre

Se realiza el análisis descriptivo de las observaciones de noviembre, mostrándose el histograma de los datos y los resultados numéricos del análisis descriptivo, donde se tiene que la cantidad de observaciones es 8898, el mínimo es 0 y el

máximo 24, la media de la muestra es 15.3 y la desviación estándar de la muestra es 5.22. Además se informa que el histograma va de 0 a 24 y tiene 40 intervalos. (Ver Anexo B 3.1)

Resultados del FIT ALL SUMMARY

Los resultados del FIT ALL SUMMARY presentan los diferentes errores de las funciones. Luego se escoge la Distribución Beta por ser la mejor (menor error) de todas. (Ver Anexo B 3.2)

Prueba de Bondad de Ajuste

TAP = Tiempo entre arribos de los usuarios.

Prueba de hipótesis

$H_0 = \text{TAP sigue una Distribución Beta.}$

$H_1 \neq \text{TAP}$ no sigue una Distribución Beta.

P-Value < 0.005 para la prueba Chi-cuadrado.

Se puede concluir que para la prueba Chi-Cuadrado se satisface la prueba para un nivel de significación de 0.1. De esta manera podemos dar por acertada la hipótesis nula (H_0), o sea, la Distribución Beta constituye un buen ajuste para las observaciones de noviembre. (Ver Anexo B 3.3)

Comparación de medias

En el Statgraphics se realizó una comparación entre los días del mes de noviembre para determinar si hay o no diferencias significativas entre las medias.

Variables:

$d_i =$ Días del mes de noviembre. $i = \{1, 2, \dots, 22\}$

La tabla 4 descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 23.3743, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el

estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 22 variables con un nivel del 95.0% de confianza.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	12728.6	21	606.125	23.37	0.0000
Intra grupos	230011.	8870	25.9313		
Total (Corr.)	242739.	8891			

Tabla 4. Tabla ANOVA de noviembre para el tiempo de llegada

Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, se realizó la Prueba de Múltiples Rangos, de la lista de Opciones Tabulares.

Se han identificado 12 grupos homogéneos por el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. En la figura 26 se muestra el gráfico de comparación de medias, en el cual obtiene como resultado que existen diferencias entre las medias de los días del mes de noviembre para el tiempo de llegada.

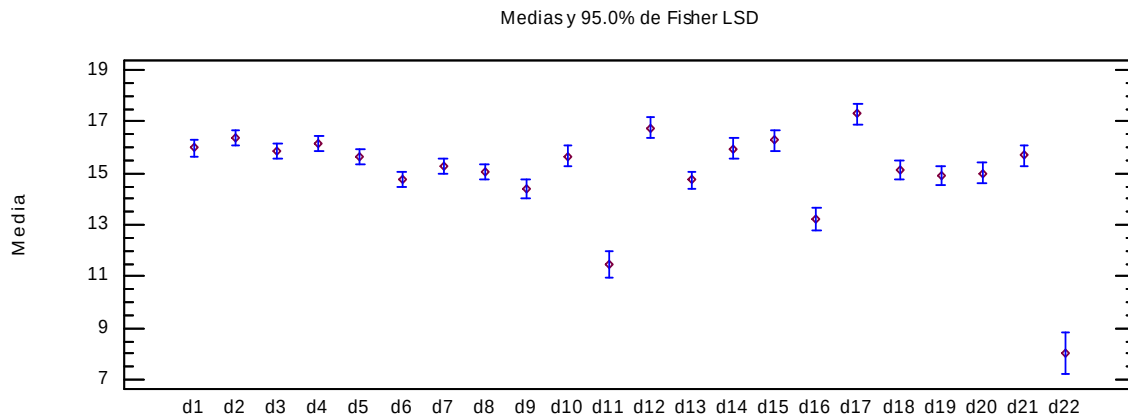


Figura 26. Comparación de medias de noviembre para el tiempo de llegada

Con estos resultados se decide determinar las distribuciones de los días del mes de septiembre, octubre y noviembre para el tiempo de llegada. (Ver Anexo C)

3.2.1.3 Análisis estadístico del mes de septiembre, octubre y noviembre por períodos de 8 horas

De 12:00 AM – 08:00 AM

Septiembre

Se realiza el análisis descriptivo de las observaciones del mes de septiembre en el horario de 12:00 AM – 08:00 AM, mostrándose el histograma de los datos y los resultados numéricos del análisis descriptivo, donde se tiene que la cantidad de observaciones es 1008, el mínimo es 0 y el máximo 7.98, la media de la muestra es 5.46 y la desviación estándar de la muestra es 2.74. Además se informa que el histograma va de -0.001 a 8 y tiene 31 intervalos. (Ver Anexo D 1.1.1)

Resultados del FIT ALL SUMMARY

Los resultados del FIT ALL SUMMARY presentan los diferentes errores de las funciones. Luego se escoge la Distribución Beta por ser la mejor (menor error) de todas. (Ver Anexo D 1.1.2)

Prueba de Bondad de Ajuste

TAP = Tiempo entre arribos de los usuarios.

Prueba de hipótesis

H_0 = TAP sigue una Distribución Beta.

$H_1 \neq$ TAP no sigue una Distribución Beta.

P-Value < 0.005 para la prueba Chi-cuadrado.

Se puede concluir que para la prueba Chi-Cuadrado se satisface la prueba para un nivel de significación de 0.1. De esta manera podemos dar por acertada la hipótesis nula (H_0), o sea, la Distribución Beta constituye un buen ajuste para las observaciones del mes de septiembre en el horario de 12:00 AM – 08:00 AM. (Ver Anexo D 1.1.3)

Comparación de medias

En el Statgraphics se realizó una comparación entre los días del mes de septiembre en el horario de 12:00 AM – 08:00 AM para determinar si hay o no diferencias significativas entre las medias.

Variables:

d_i = Días del mes de noviembre. $i = \{1, 2, \dots, 30\}$

La tabla 5 descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 2.40961, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 30 variables con un nivel del 95.0% de confianza.

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	503.866	29	17.3747	2.41	0.0000
Intra grupos	7051.94	978	7.21057		
Total (Corr.)	7555.81	1007			

Tabla 5. Tabla ANOVA de septiembre en el horario de 12:00 AM – 08:00 AM para el tiempo de llegada

Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, se realizó la Prueba de Múltiples Rangos, de la lista de Opciones Tabulares.

Se han identificado 7 grupos homogéneos por el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. En la figura 27 se muestra el gráfico de comparación de medias, en el cual obtiene como resultado que existen diferencias entre las medias de los días del mes de septiembre en el horario de 12:00 AM – 08:00 AM para el tiempo de llegada.

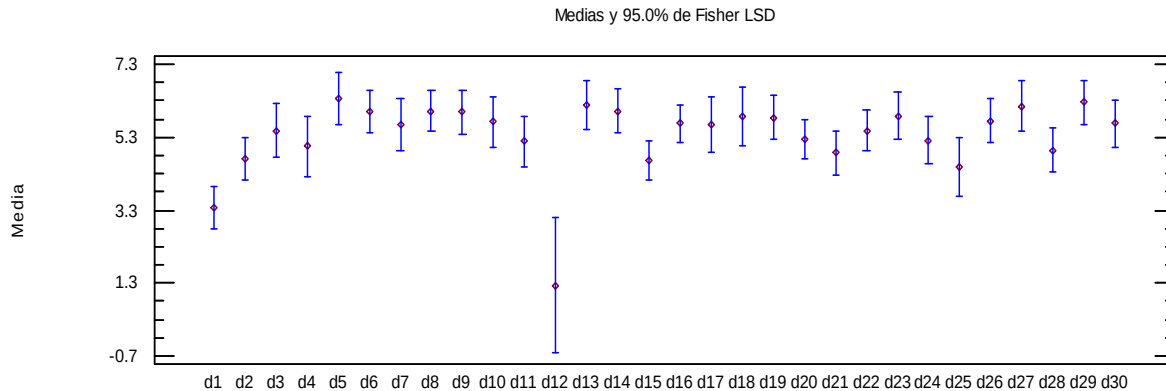


Figura 27. Comparación de medias de septiembre en el horario de 12:00 AM – 08:00 AM para el tiempo de llegada

Octubre

Se realiza el análisis descriptivo de las observaciones del mes de octubre en el horario de 12:00 AM – 08:00 AM, mostrándose el histograma de los datos y los resultados numéricos del análisis descriptivo, donde se tiene que la cantidad de observaciones es 827, el mínimo es 0 y el máximo 7.98, la media de la muestra es 5.95 y la desviación estándar de la muestra es 2.48. Además se informa que el histograma va de -0.001 a 8 y tiene 28 intervalos. (Ver Anexo D 1.2.1)

Resultados del FIT ALL SUMMARY

Los resultados del FIT ALL SUMMARY presentan los diferentes errores de las funciones. Luego se escoge la Distribución Beta por ser la mejor (menor error) de todas. (Ver Anexo D 1.2.2)

Prueba de Bondad de Ajuste

TAP = Tiempo entre arribos de los usuarios.

Prueba de hipótesis

H_0 = TAP sigue una Distribución Beta.

H_1 ≠ TAP no sigue una Distribución Beta.

P-Value < 0.005 para la prueba Chi-cuadrado.

Se puede concluir que para la prueba Chi-Cuadrado se satisface la prueba para un nivel de significación de 0.1. De esta manera podemos dar por acertada la hipótesis nula (H_0), o sea, la Distribución Beta constituye un buen ajuste para las observaciones del mes de octubre en el horario de 12:00 AM – 08:00 AM. (Ver Anexo D 1.2.3)

Comparación de medias

En el Statgraphics se realizó una comparación entre los días del mes de octubre en el horario de 12:00 AM – 08:00 AM para determinar si hay o no diferencias significativas entre las medias.

Variables:

d_i = Días del mes de noviembre. $i = \{1, 2, \dots, 27\}$

La tabla 6 descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 2.01291, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 27 variables con un nivel del 95.0% de confianza.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	503.866	29	17.3747	2.41	0.0000
Intra grupos	7051.94	978	7.21057		
Total (Corr.)	7555.81	1007			

Tabla 6. Tabla ANOVA de octubre en el horario de 12:00 AM – 08:00 AM para el tiempo de llegada

Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, se realizó la Prueba de Múltiples Rangos, de la lista de Opciones Tabulares.

Se han identificado 8 grupos homogéneos por el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. En la figura 28 se muestra el gráfico de comparación de medias, en el cual obtiene como resultado que existen diferencias

entre las medias de los días del mes de octubre en el horario de 12:00 AM – 08:00 AM para el tiempo de llegada.

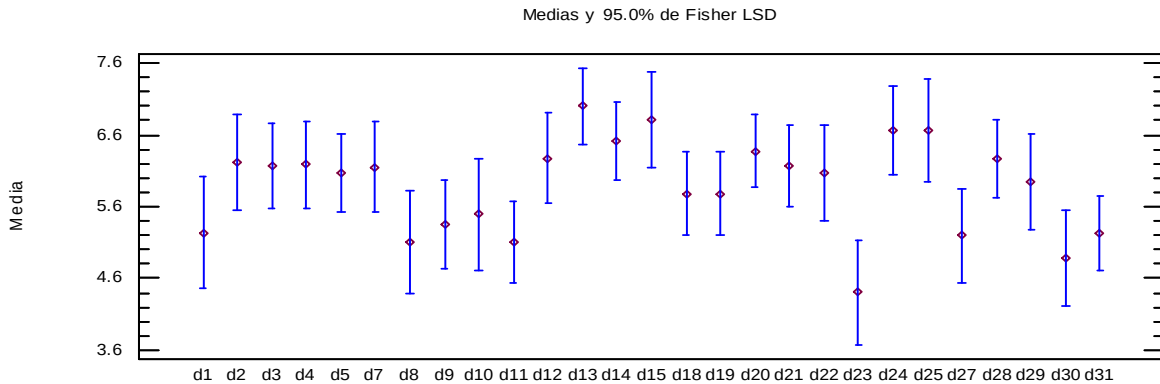


Figura 28. Comparación de medias de octubre en el horario de 12:00 AM – 08:00 AM para el tiempo de llegada

Noviembre

Se realiza el análisis descriptivo de las observaciones de noviembre en el horario de 12:00 AM – 08:00 AM, mostrándose el histograma de los datos y los resultados numéricos del análisis descriptivo, donde se tiene que la cantidad de observaciones es 672, el mínimo es 0 y el máximo 7.98, la media de la muestra es 6.1 y la desviación estándar de la muestra es 2.04. Además se informa que el histograma va de -0.001 a 8 y tiene 25 intervalos. (Ver Anexo D 1.3.1)

Resultados del FIT ALL SUMMARY

Los resultados del FIT ALL SUMMARY presentan los diferentes errores de las funciones. Luego se escoge la Distribución Beta por ser la mejor (menor error) de todas. (Ver Anexo D 1.3.2)

Prueba de Bondad de Ajuste

TOS = Tiempo de ocupación en el servidor.

Prueba de hipótesis

Ho= TOS sigue una Distribución Beta.

H1≠ TOS sigue una Distribución Beta.

P-Value < 0.005 para la prueba Chi-cuadrado.

Se puede concluir que para la prueba Chi-Cuadrado se satisface la prueba para un nivel de significación de 0.1. De esta manera podemos dar por acertada la hipótesis nula (H_0), o sea, la Distribución Beta constituye un buen ajuste para las observaciones de noviembre en el horario de 12:00 AM – 08:00 AM. (Ver Anexo D 1.3.3)

Comparación de medias

En el Statgraphics se realizó una comparación entre los días del mes de noviembre en el horario de 12:00 AM – 08:00 AM para determinar si hay o no diferencias significativas entre las medias.

Variables:

d_i = Días del mes de noviembre. $i = \{1, 2, \dots, 21\}$

La tabla 7 descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 1.31949, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 21 variables con un nivel del 95.0% de confianza.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	108.786	20	5.4393	1.32	0.1585
Intra grupos	2683.6	651	4.12228		
Total (Corr.)	2792.39	671			

Tabla 7. Tabla ANOVA de noviembre en el horario de 12:00 AM – 08:00 AM para el tiempo de llegada

Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, se realizó la Prueba de Múltiples Rangos, de la lista de Opciones Tabulares.

Se han identificado 3 grupos homogéneos por el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. En la figura 29 se muestra el gráfico de comparación de medias, en el cual obtiene como resultado que existen diferencias

entre las medias de los días del mes de noviembre en el horario de 12:00 AM – 08:00 AM para el tiempo de llegada.

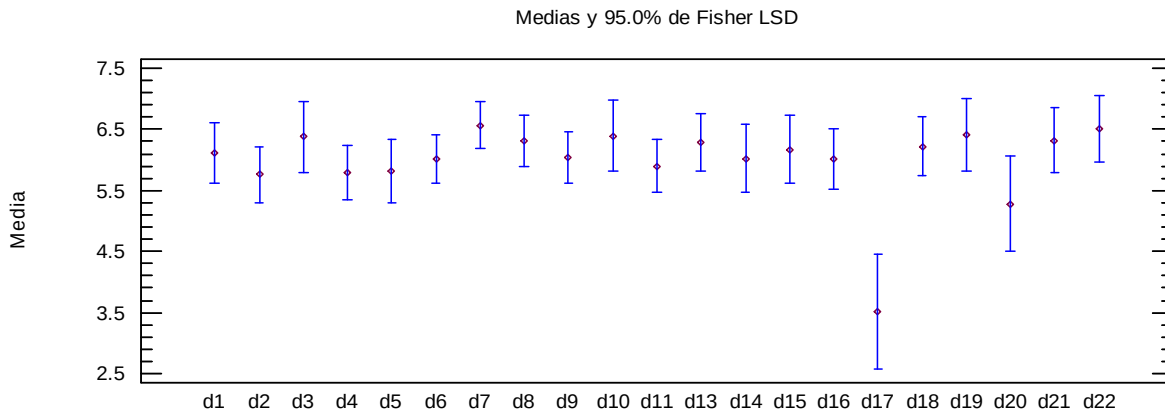


Figura 29. Comparación de medias de noviembre en el horario de 12:00 AM – 08:00 AM para el tiempo de llegada

De 08:00 AM – 04:00 PM

Septiembre

Se realiza el análisis descriptivo de las observaciones del mes de septiembre en el horario de 08:00 AM – 04:00 PM, mostrándose el histograma de los datos y los resultados numéricos del análisis descriptivo, donde se tiene que la cantidad de observaciones es 4229, el mínimo es 8 y el máximo 16, la media de la muestra es 12.2 y la desviación estándar de la muestra es 2.3. Además se informa que el histograma va de 8 a 16 y tiene 40 intervalos. (Ver Anexo D 2.1.1)

Resultados del FIT ALL SUMMARY

Los resultados del FIT ALL SUMMARY presentan los diferentes errores de las funciones. Luego se escoge la Distribución Beta por ser la mejor (menor error) de todas. (Ver Anexo D 2.1.2)

Prueba de Bondad de Ajuste

TAP = Tiempo entre arribos de los usuarios.

Prueba de hipótesis

H_0 = TAP sigue una Distribución Beta.

$H_1 \neq$ TAP no sigue una Distribución Beta.

P-Value < 0.005 para la prueba Chi-cuadrado.

Se puede concluir que para la prueba Chi-Cuadrado se satisface la prueba para un nivel de significación de 0.1. De esta manera podemos dar por acertada la hipótesis nula (H_0), o sea, la Distribución Beta constituye un buen ajuste para las observaciones del mes de septiembre en el horario de 08:00 AM – 04:00 PM. (Ver Anexo D 2.1.3)

Comparación de medias

En el Statgraphics se realizó una comparación entre los días del mes de septiembre en el horario de 08:00 AM – 04:00 PM para determinar si hay o no diferencias significativas entre las medias.

Variables:

d_i = Días del mes de noviembre. $i = \{1, 2, \dots, 30\}$

La tabla 8 descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 7.59606, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 30 variables con un nivel del 95.0% de confianza.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1114.98	29	38.4476	7.60	0.0000
Intra grupos	21253.3	4199	5.06152		
Total (Corr.)	22368.3	4228			

Tabla 8. Tabla ANOVA de septiembre en el horario de 08:00 AM – 04:00 PM para el tiempo de llegada

Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, se realizó la Prueba de Múltiples Rangos, de la lista de Opciones Tabulares.

Se han identificado 10 grupos homogéneos por el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. En la figura 30 se muestra el gráfico de

comparación de medias, en el cual obtiene como resultado que existen diferencias entre las medias de los días del mes de septiembre en el horario de 08:00 AM – 04:00 PM para el tiempo de llegada.

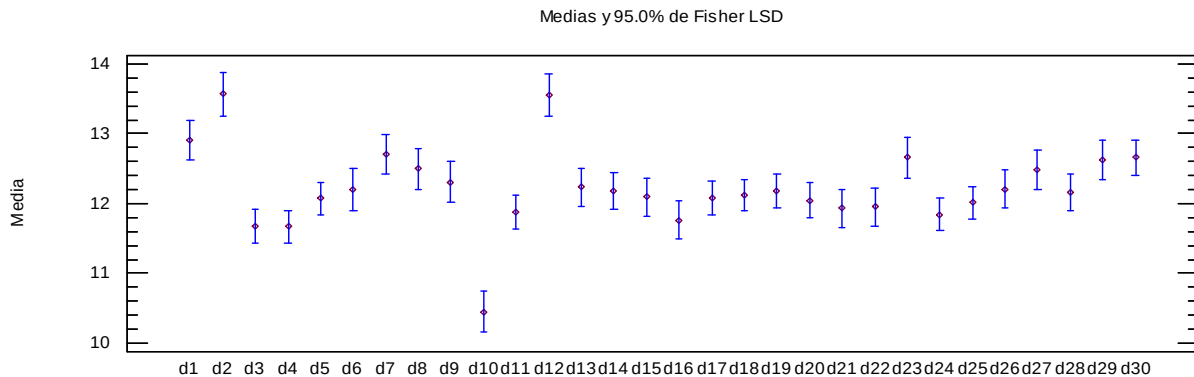


Figura 30. Comparación de medias de septiembre en el horario de 08:00 AM – 04:00 PM para el tiempo de llegada

Octubre

Se realiza el análisis descriptivo de las observaciones del mes de octubre en el horario de 08:00 AM – 04:00 PM, mostrándose el histograma de los datos y los resultados numéricos del análisis descriptivo, donde se tiene que la cantidad de observaciones es 4291, el mínimo es 8 y el máximo 16, la media de la muestra es 12.1 y la desviación estándar de la muestra es 2.34. Además se informa que el histograma va de 8 a 16 y tiene 40 intervalos. (Ver Anexo D 2.2.1)

Resultados del FIT ALL SUMMARY

Los resultados del FIT ALL SUMMARY presentan los diferentes errores de las funciones. Luego se escoge la Distribución Beta por ser la mejor (menor error) de todas. (Ver Anexo D 2.2.2)

Prueba de Bondad de Ajuste

TAP = Tiempo entre arribos de los usuarios.

Prueba de hipótesis

H_0 = TAP sigue una Distribución Beta.

H_1 ≠ TAP no sigue una Distribución Beta.

P-Value = 0.549 para la prueba Chi-Cuadrado.

Se puede concluir que para la prueba Chi-Cuadrado se satisface la prueba para un nivel de significación de 0.1. De esta manera podemos dar por acertada la hipótesis nula (H_0), o sea, la Distribución Beta constituye un buen ajuste para las observaciones del mes de octubre. (Ver Anexo D 2.2.3)

Comparación de medias

En el Statgraphics se realizó una comparación entre los días del mes de octubre en el horario de 08:00 AM – 04:00 PM para determinar si hay o no diferencias significativas entre las medias.

Variables:

d_i = Días del mes de octubre. $i = \{1, 2, \dots, 30\}$

La tabla 9 descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 8.1213, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 30 variables con un nivel del 95.0% de confianza.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1225.51	29	42.2591	8.12	0.0000
Intra grupos	22172.1	4261	5.20349		
Total (Corr.)	23397.6	4290			

Tabla 9. Tabla ANOVA de octubre en el horario de 08:00 AM – 04:00 PM para el tiempo de llegada

Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, se realizó la Prueba de Múltiples Rangos, de la lista de Opciones Tabulares.

Se han identificado 10 grupos homogéneos por el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. En la figura 31 se muestra el gráfico de comparación de medias, en el cual obtiene como resultado que existen diferencias

entre las medias de los días del mes de octubre en el horario de 08:00 AM – 04:00 PM para el tiempo de llegada.

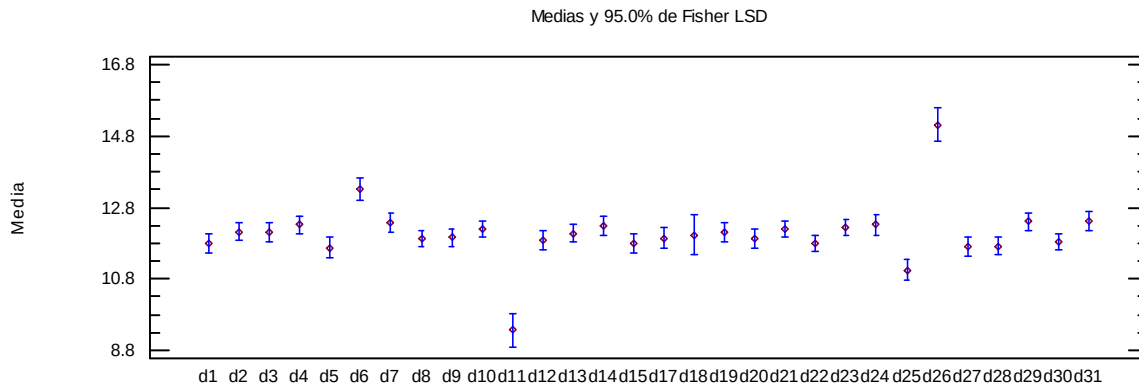


Figura 31. Comparación de medias de octubre en el horario de 08:00 AM – 04:00 PM para el tiempo de llegada

Noviembre

Se realiza el análisis descriptivo de las observaciones del mes de noviembre en el horario de 08:00 AM – 04:00 PM, mostrándose el histograma de los datos y los resultados numéricos del análisis descriptivo, donde se tiene que la cantidad de observaciones es 2191, el mínimo es 8 y el máximo 16, la media de la muestra es 12.1 y la desviación estándar de la muestra es 2.29. Además se informa que el histograma va de 8 a 16 y tiene 40 intervalos. (Ver Anexo D 2.3.1)

Resultados del FIT ALL SUMMARY

Los resultados del FIT ALL SUMMARY presentan los diferentes errores de las funciones. Luego se escoge la Distribución Beta por ser la mejor (menor error) de todas. (Ver Anexo D 2.3.2)

Prueba de Bondad de Ajuste

TAP = Tiempo entre arribos de los usuarios.

Prueba de hipótesis

H_0 = TAP sigue una Distribución Beta.

H_1 ≠ TAP no sigue una Distribución Beta.

P-Value = 0.309 para la prueba Chi-Cuadrado.

Se puede concluir que para la prueba Chi-Cuadrado se satisface la prueba para un nivel de significación de 0.1. De esta manera podemos dar por acertada la hipótesis nula (H_0), o sea, la Distribución Beta constituye un buen ajuste para las observaciones del mes de noviembre. (Ver Anexo D 2.3.3)

Comparación de medias

En el Statgraphics se realizó una comparación entre los días del mes de noviembre en el horario de 08:00 AM – 04:00 PM para determinar si hay o no diferencias significativas entre las medias.

Variables:

d_i = Días del mes de noviembre. $i = \{1, 2, \dots, 22\}$

La tabla 10 descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 3.95129, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 22 variables con un nivel del 95.0% de confianza.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	421.693	21	20.0806	3.95	0.0000
Intra grupos	11022.9	2169	5.08204		
Total (Corr.)	11444.6	2190			

Tabla 10. Tabla ANOVA de noviembre en el horario de 08:00 AM – 04:00 PM para el tiempo de llegada

Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, se realizó la Prueba de Múltiples Rangos, de la lista de Opciones Tabulares.

Se han identificado 7 grupos homogéneos por el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. En la figura 32 se muestra el gráfico de

comparación de medias, en el cual obtiene como resultado que existen diferencias entre las medias de los días del mes de noviembre en el horario de 08:00 AM – 04:00 PM para el tiempo de llegada.

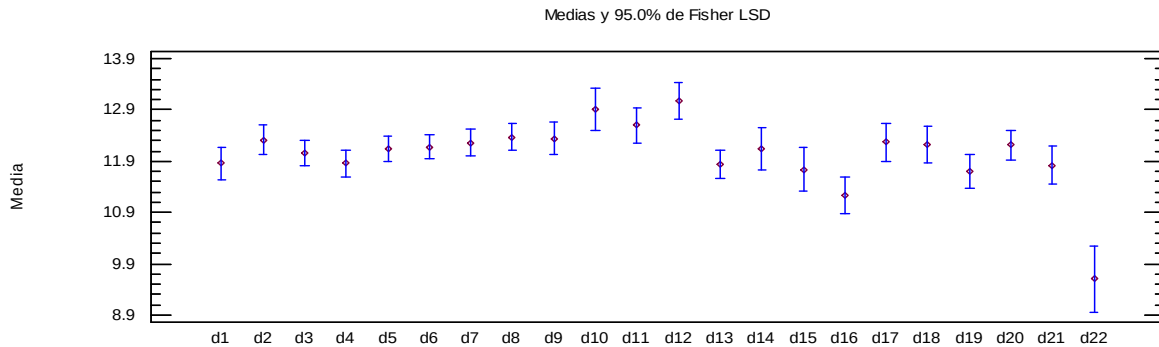


Figura 32. Comparación de medias de noviembre en el horario de 08:00 AM – 04:00 PM para el tiempo de llegada

De 04:00 PM – 12:00 AM

Septiembre

Se realiza el análisis descriptivo de las observaciones del mes de septiembre en el horario de 04:00 PM – 12:00 AM, mostrándose el histograma de los datos y los resultados numéricos del análisis descriptivo, donde se tiene que la cantidad de observaciones es 6114, el mínimo es 16 y el máximo 24, la media de la muestra es 19.9 y la desviación estándar de la muestra es 2.15. Además se informa que el histograma va de 16 a 24 y tiene 40 intervalos. (Ver Anexo D 3.1.1)

Resultados del FIT ALL SUMMARY

Los resultados del FIT ALL SUMMARY presentan los diferentes errores de las funciones. Luego se escoge la Distribución Beta por ser la mejor (menor error) de todas. (Ver Anexo D 3.1.2)

Prueba de Bondad de Ajuste

TAP = Tiempo entre arribos de los usuarios.

Prueba de hipótesis

H_0 = TAP sigue una Distribución Beta.

$H_1 \neq$ TAP no sigue una Distribución Beta.

P-Value < 0.005 para la prueba Chi-cuadrado.

Se puede concluir que para la prueba Chi-Cuadrado se satisface la prueba para un nivel de significación de 0.1. De esta manera podemos dar por acertada la hipótesis nula (H_0), o sea, la Distribución Beta constituye un buen ajuste para las observaciones del mes de septiembre en el horario de 04:00 PM – 12:00 AM. (Ver Anexo D 3.1.3)

Comparación de medias

En el Statgraphics se realizó una comparación entre los días del mes de septiembre en el horario de 04:00 PM – 12:00 AM para determinar si hay o no diferencias significativas entre las medias.

Variables:

d_i = Días del mes de septiembre. $i = \{1, 2, \dots, 30\}$

La tabla 11 descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 3.16892, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 30 variables con un nivel del 95.0% de confianza.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1114.98	29	38.4476	7.60	0.0000
Intra grupos	21253.3	4199	5.06152		
Total (Corr.)	22368.3	4228			

Tabla 11. Tabla ANOVA de septiembre en el horario de 04:00 PM – 12:00 AM para el tiempo de llegada

Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, se realizó la Prueba de Múltiples Rangos, de la lista de Opciones Tabulares.

Se han identificado 9 grupos homogéneos por el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. En la figura 33 se muestra el gráfico de

comparación de medias, en el cual obtiene como resultado que existen diferencias entre las medias de los días del mes de septiembre en el horario de 04:00 PM – 12:00 AM para el tiempo de llegada.

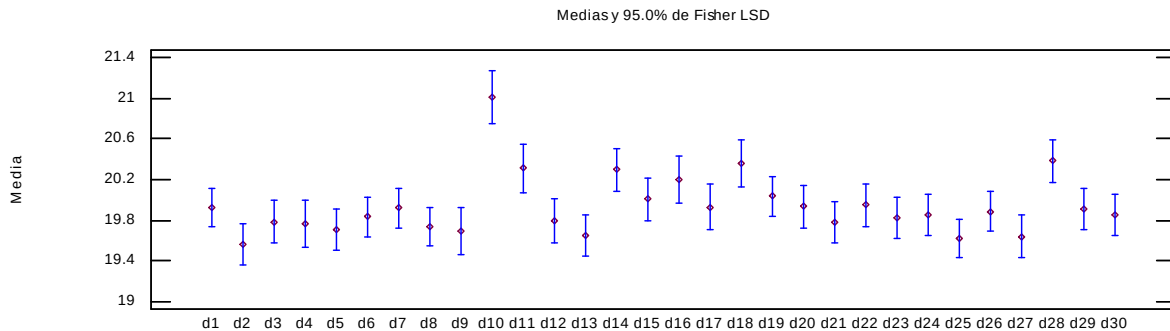


Figura 33. Comparación de medias de septiembre en el horario de 04:00 PM – 12:00 AM para el tiempo de llegada

Octubre

Se realiza el análisis descriptivo de las observaciones del mes de octubre en el horario de 04:00 PM – 12:00 AM, mostrándose el histograma de los datos y los resultados numéricos del análisis descriptivo, donde se tiene que la cantidad de observaciones es 6009, el mínimo es 16 y el máximo 24, la media de la muestra es 19.7 y la desviación estándar de la muestra es 2.12. Además se informa que el histograma va de 16 a 24 y tiene 40 intervalos. (Ver Anexo D 3.2.1)

Resultados del FIT ALL SUMMARY

Los resultados del FIT ALL SUMMARY presentan los diferentes errores de las funciones. Luego se escoge la Distribución Beta por ser la mejor (menor error) de todas. (Ver Anexo D 3.2.2)

Prueba de Bondad de Ajuste

TAP = Tiempo entre arribos de los usuarios.

Prueba de hipótesis

H_0 = TAP sigue una Distribución Beta.

H_1 ≠ TAP no sigue una Distribución Beta.

P-Value < 0.005 para la prueba Chi-cuadrado.

Se puede concluir que para la prueba Chi-Cuadrado se satisface la prueba para un nivel de significación de 0.1. De esta manera podemos dar por acertada la hipótesis nula (H_0), o sea, la Distribución Beta constituye un buen ajuste para las observaciones del mes de octubre en el horario de 04:00 PM – 12:00 AM. (Ver Anexo D 3.2.3)

Comparación de medias

En el Statgraphics se realizó una comparación entre los días del mes de octubre en el horario de 04:00 PM – 12:00 AM para determinar si hay o no diferencias significativas entre las medias.

Variables:

d_i = Días del mes de octubre. $i = \{1, 2, \dots, 29\}$

La tabla 12 descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 3.69252, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 29 variables con un nivel del 95.0% de confianza.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	457.009	28	16.3217	3.69	0.0000
Intra grupos	26424.1	5978	4.42022		
Total (Corr.)	26881.1	6006			

Tabla 12. Tabla ANOVA de octubre en el horario de 04:00 PM – 12:00 AM para el tiempo de llegada

Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, se realizó la Prueba de Múltiples Rangos, de la lista de Opciones Tabulares.

Se han identificado 7 grupos homogéneos por el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. En la figura 34 se muestra el gráfico de

comparación de medias, en el cual obtiene como resultado que existen diferencias entre las medias de los días del mes de octubre en el horario de 04:00 PM – 12:00 AM para el tiempo de llegada.

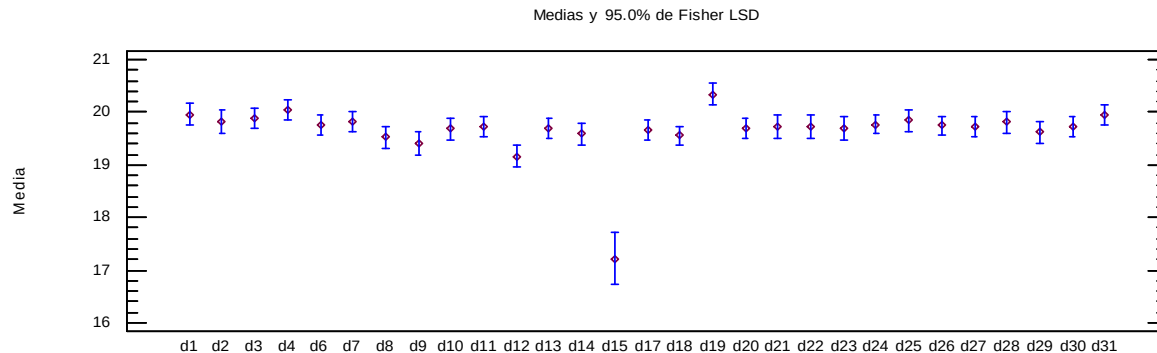


Figura 34. Comparación de medias de octubre en el horario de 04:00 PM – 12:00 AM para el tiempo de llegada

Noviembre

Se realiza el análisis descriptivo de las observaciones del mes de noviembre en el horario de 04:00 PM – 12:00 AM, mostrándose el histograma de los datos y los resultados numéricos del análisis descriptivo, donde se tiene que la cantidad de observaciones es 3112, el mínimo es 16 y el máximo 24, la media de la muestra es 19.6 y la desviación estándar de la muestra es 2.06. Además se informa que el histograma va de 16 a 24 y tiene 40 intervalos. (Ver Anexo D 3.3.1)

Resultados del FIT ALL SUMMARY

Los resultados del FIT ALL SUMMARY presentan los diferentes errores de las funciones. Luego se escoge la Distribución Beta por ser la mejor (menor error) de todas. (Ver Anexo D 3.3.2)

Prueba de Bondad de Ajuste

TAP = Tiempo entre arribos de los usuarios.

Prueba de hipótesis

H_0 = TAP sigue una Distribución Beta.

$H_1 \neq$ TAP no sigue una Distribución Beta.

P-Value < 0.005 para la prueba Chi-cuadrado.

Se puede concluir que para la prueba Chi-Cuadrado se satisface la prueba para un nivel de significación de 0.1. De esta manera podemos dar por acertada la hipótesis nula (H_0), o sea, la Distribución Beta constituye un buen ajuste para las observaciones del mes de noviembre en el horario de 04:00 PM – 12:00 AM. (Ver Anexo D 3.3.3)

Comparación de medias

En el Statgraphics se realizó una comparación entre los días del mes de noviembre en el horario de 04:00 PM – 12:00 AM para determinar si hay o no diferencias significativas entre las medias.

Variables:

d_i = Días del mes de noviembre. $i = \{1, 2, \dots, 21\}$

La tabla 13 descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 5.16508, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 21 variables con un nivel del 95.0% de confianza.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	427.015	20	21.3508	5.17	0.0000
Intra grupos	12777.2	3091	4.13368		
Total (Corr.)	13204.2	3111			

Tabla 13. Tabla ANOVA de noviembre en el horario de 04:00 PM – 12:00 AM para el tiempo de llegada

Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, se realizó la Prueba de Múltiples Rangos, de la lista de Opciones Tabulares.

Se han identificado 9 grupos homogéneos por el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. En la figura 35 se muestra el gráfico de comparación de medias, en el cual obtiene como resultado que existen diferencias

entre las medias de los días del mes de noviembre en el horario de 04:00 PM – 12:00 AM para el tiempo de llegada.

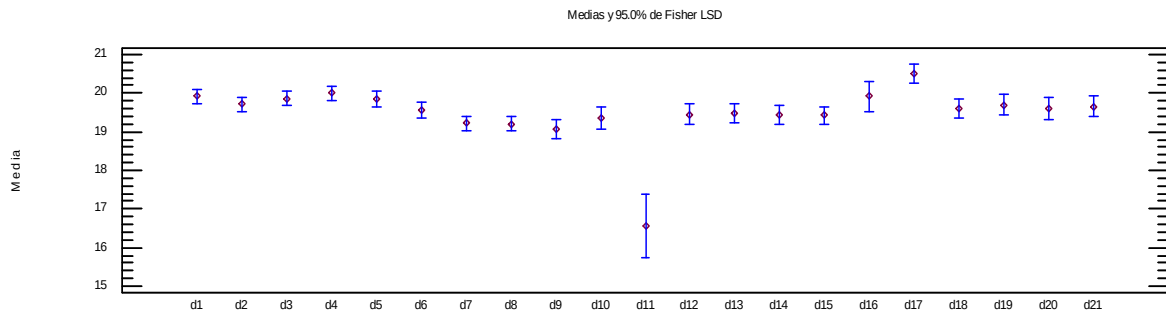


Figura 35. Comparación de medias de noviembre en el horario de 04:00 PM – 12:00 AM para el tiempo de llegada

Con estos resultados se decide determinar las distribuciones de los días del mes de septiembre, octubre y noviembre en períodos de 8 horas para el tiempo de llegada.

Distribución	Mes
Anexo E.	Anexo E 1.
Anexo E.	Anexo E 2.
Anexo E.	Anexo E 3.

Tabla 14. Tabla Anexos de distribuciones de septiembre, octubre y noviembre en períodos de 8 horas para el tiempo de llegada

3.4.2 Análisis de los resultados del INPUT ANALYZER y el STATGRAPHICS para el tiempo de servicio del mes de septiembre, octubre y noviembre

A continuación se presenta el análisis de las observaciones por meses, por trimestre y por períodos de 8 horas para determinar la distribución que sigue la variable (tiempo entre arribos de los usuarios) del sistema planteado.

3.2.2.1 Análisis estadístico del trimestre

Trimestre

Se realiza el análisis descriptivo de las observaciones del trimestre, mostrándose el histograma de los datos y los resultados numéricos del análisis descriptivo,

donde se tiene que la cantidad de observaciones es 28453, el mínimo es 0.02 y el máximo 24, la media de la muestra es 0.183 y la desviación estándar de la muestra es 0.716. Además se informa que el histograma va de 0 a 24 y tiene 40 intervalos. (Ver Anexo F 1)

Resultados del FIT ALL SUMMARY

Los resultados del FIT ALL SUMMARY presentan los diferentes errores de las funciones. Luego se escoge la Distribución Exponencial por ser la mejor (menor error) de todas. (Ver Anexo F 2)

Prueba de Bondad de Ajuste

TOS = Tiempo de ocupación en el servidor.

Prueba de hipótesis

H_0 = TOS sigue una Distribución Exponencial.

$H_1 \neq$ TOS no sigue una Distribución Exponencial.

P-Value < 0.005 para la prueba Chi-cuadrado.

Se puede concluir que para la prueba Chi-Cuadrado se satisface la prueba para un nivel de significación de 0.1. De esta manera podemos dar por acertada la hipótesis nula (H_0), o sea, la Distribución Exponencial constituye un buen ajuste para las observaciones del trimestre. (Ver Anexo F 3)

Comparación de medias.

En el Statgraphics se realizó una comparación entre los días del trimestre para determinar si hay o no diferencias significativas entre las medias.

Variables:

d_i = Días del mes del trimestre. $i = \{1, 2, \dots, 82\}$

La tabla 15 descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 4.49447, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 82 variables con un nivel del 95.0% de confianza.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	133.273	81	1.64535	4.49	0.0000
Intra grupos	14728.2	40232	0.366083		
Total (Corr.)	14861.5	40313			

Tabla 15. Tabla ANOVA del trimestre para el tiempo de servicio

Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, se realizó la Prueba de Múltiples Rangos, de la lista de Opciones Tabulares.

Se han identificado 13 grupos homogéneos por el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. En la figura 36 se muestra el gráfico de comparación de medias, en el cual obtiene como resultado que existen diferencias entre las medias de las 82 variables (días del trimestre) para el tiempo de servicio.

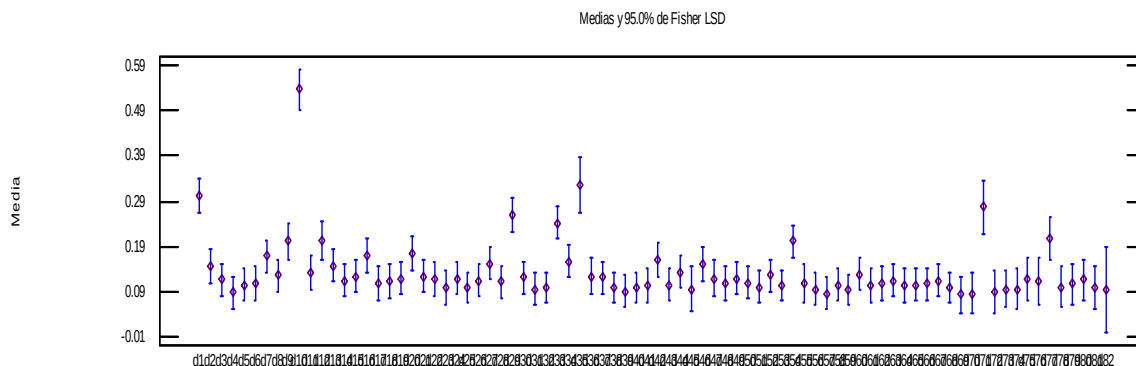


Figura 36. Comparación de medias del trimestre para el tiempo de servicio

3.2.2.2 Análisis estadístico del mes de septiembre, octubre y noviembre

Septiembre

Se realiza el análisis descriptivo de las observaciones de septiembre, mostrándose el histograma de los datos y los resultados numéricos del análisis descriptivo, donde se tiene que la cantidad de observaciones es 15528, el mínimo es 0 y el máximo 24, la media de la muestra es 0.140 y la desviación estándar de la muestra es 0.735. Además se informa que el histograma va de 0 a 24 y tiene 40 intervalos. (Ver Anexo G 1.1)

Resultados del FIT ALL SUMMARY

Los resultados del FIT ALL SUMMARY presentan los diferentes errores de las funciones. Luego se escoge la Distribución Weibull por ser la mejor (menor error) de todas. (Ver Anexo G 1.2)

Prueba de Bondad de Ajuste

TOS = Tiempo de ocupación en el servidor.

Prueba de hipótesis

H_0 = TOS sigue una Distribución Weibull.

H_1 ≠ TOS sigue una Distribución Weibull.

P-Value < 0.005 para la prueba Chi-cuadrado.

Se puede concluir que para la prueba Chi-Cuadrado se satisface la prueba para un nivel de significación de 0.1. De esta manera podemos dar por acertada la hipótesis nula (H_0), o sea, la Distribución Weibull constituye un buen ajuste para las observaciones de septiembre. (Ver Anexo G 1.3)

Comparación de medias.

En el Statgraphics se realizó una comparación entre los días del mes de noviembre para determinar si hay o no diferencias significativas entre las medias.

Variables:

d_i = Días del mes de septiembre. $i = \{1, 2, \dots, 30\}$

La tabla 16 descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 5.70106, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 30 variables con un nivel del 95.0% de confianza.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	88.6208	29	3.05589	5.70	0.0000
Intra grupos	8307.25	15498	0.536021		
Total (Corr.)	8395.87	15527			

Tabla 16. Tabla ANOVA de septiembre para el tiempo de servicio

Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, se realizó la Prueba de Múltiples Rangos, de la lista de Opciones Tabulares.

Se han identificado 5 grupos homogéneos por el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. En la figura 37 se muestra el gráfico de comparación de medias, en el cual obtiene como resultado que existen diferencias entre las medias de los días del mes de septiembre para el tiempo de servicio.

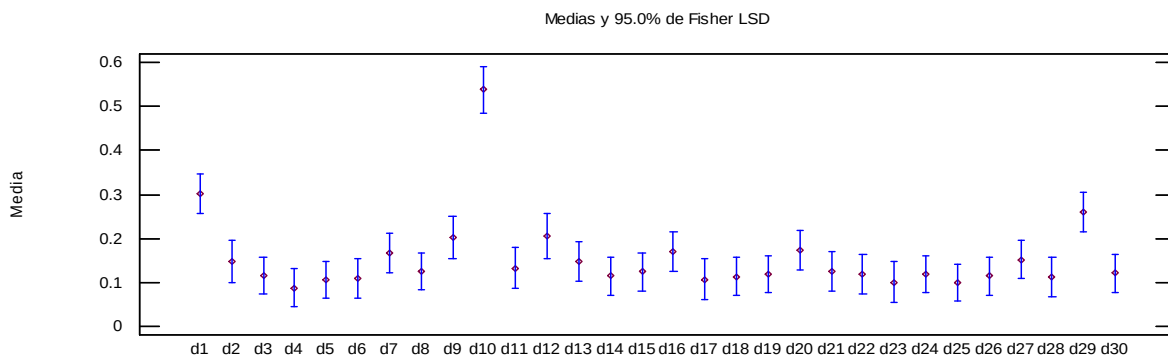


Figura 37. Comparación de medias de septiembre para el tiempo de servicio

Octubre

Se realiza el análisis descriptivo de las observaciones de octubre, mostrándose el histograma de los datos y los resultados numéricos del análisis descriptivo, donde se tiene que la cantidad de observaciones es 15893, el mínimo es 0 y el máximo 23.9, la media de la muestra es 0.122 y la desviación estándar de la muestra es

0.566. Además se informa que el histograma va de 0 a 24 y tiene 40 intervalos. (Ver Anexo G 2.1)

Resultados del FIT ALL SUMMARY

Los resultados del FIT ALL SUMMARY presentan los diferentes errores de las funciones. Luego se escoge la Distribución Exponencial por ser la mejor (menor error) de todas. (Ver Anexo G 2.2)

Prueba de Bondad de Ajuste

TOS = Tiempo de ocupación en el servidor.

Prueba de hipótesis

H_0 = TOS sigue una Distribución Exponencial.

$H_1 \neq$ TOS NO sigue una Distribución Exponencial.

P-Value < 0.005 para la prueba Chi-cuadrado.

Se puede concluir que para la prueba Chi-Cuadrado se satisface la prueba para un nivel de significación de 0.1. De esta manera podemos dar por acertada la hipótesis nula (H_0), o sea, la Distribución Exponencial constituye un buen ajuste para las observaciones de octubre. (Ver Anexo G 2.3)

Comparación de medias.

En el Statgraphics se realizó una comparación entre los días del mes de noviembre para determinar si hay o no diferencias significativas entre las medias.

Variables:

d_i = Días del mes de octubre. $i = \{1, 2, \dots, 30\}$

En la tabla 17 se descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 2.80689, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que

0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 30 variables con un nivel del 95.0% de confianza.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	26.0296	29	0.897571	2.81	0.0000
Intra grupos	5072.59	15863	0.319775		
Total (Corr.)	5098.62	15892			

Tabla 17. Tabla ANOVA de octubre para el tiempo de servicio

Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, se realizó la Prueba de Múltiples Rangos, de la lista de Opciones Tabulares. Se han identificado 6 grupos homogéneos por el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. En la figura 38 se muestra el gráfico de comparación de medias, en el cual obtiene como resultado que existen diferencias entre las medias de los días del mes de octubre para el tiempo de servicio.

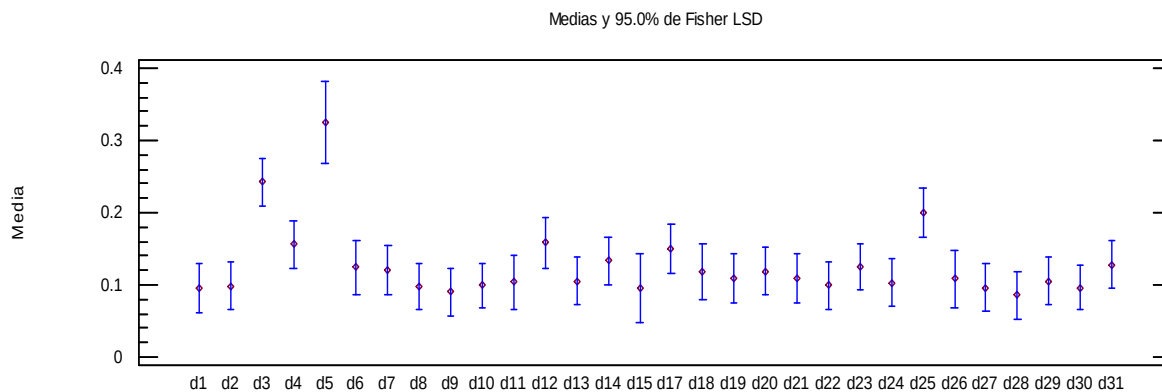


Figura 38. Comparación de medias de octubre para el tiempo de servicio

Noviembre

Se realiza el análisis descriptivo de las observaciones de noviembre, mostrándose el histograma de los datos y los resultados numéricos del análisis descriptivo, donde se tiene que la cantidad de observaciones es 8898, el mínimo es 0 y el máximo 18.8, la media de la muestra es 0.11 y la desviación estándar de la muestra es 0.391. Además se informa que el histograma va de 0 a 19 y tiene 40 intervalos. (Ver Anexo G 3.1)

Resultados del FIT ALL SUMMARY

Los resultados del FIT ALL SUMMARY presentan los diferentes errores de las funciones. Luego se escoge la Distribución Weibull por ser la mejor (menor error) de todas. (Ver Anexo G 3.2)

Prueba de Bondad de Ajuste

TOS = Tiempo de ocupación en el servidor.

Prueba de hipótesis

H_0 = TOS sigue una Distribución Weibull.

$H_1 \neq$ TOS sigue una Distribución Weibull.

P-Value < 0.005 para la prueba Chi-cuadrado.

Se puede concluir que para la prueba Chi-Cuadrado se satisface la prueba para un nivel de significación de 0.1. De esta manera podemos dar por acertada la hipótesis nula (H_0), o sea, la Distribución Weibull constituye un buen ajuste para las observaciones de noviembre. (Ver Anexo G 3.3)

Comparación de medias.

En el Statgraphics se realizó una comparación entre los días del mes de noviembre para determinar si hay o no diferencias significativas entre las medias.

Variables:

d_i = Días del mes de noviembre. $i = \{1, 2, \dots, 22\}$

En la tabla 18 descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 2.88738, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 22 variables con un nivel del 95.0% de confianza.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
--------	-------------------	----	----------------	---------	---------

Entre grupos	9.21172	21	0.438654	2.89	0.0000
Intra grupos	1348.45	8876	0.151921		
Total (Corr.)	1357.66	8897			

Tabla 18. Tabla ANOVA de noviembre para el tiempo de servicio

Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, se realizó la Prueba de Múltiples Rangos, de la lista de Opciones Tabulares.

Se han identificado 2 grupos homogéneos por el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. En la figura 39 se muestra el gráfico de comparación de medias, en el cual obtiene como resultado que existen diferencias entre las medias de los días del mes de noviembre para el tiempo de servicio.

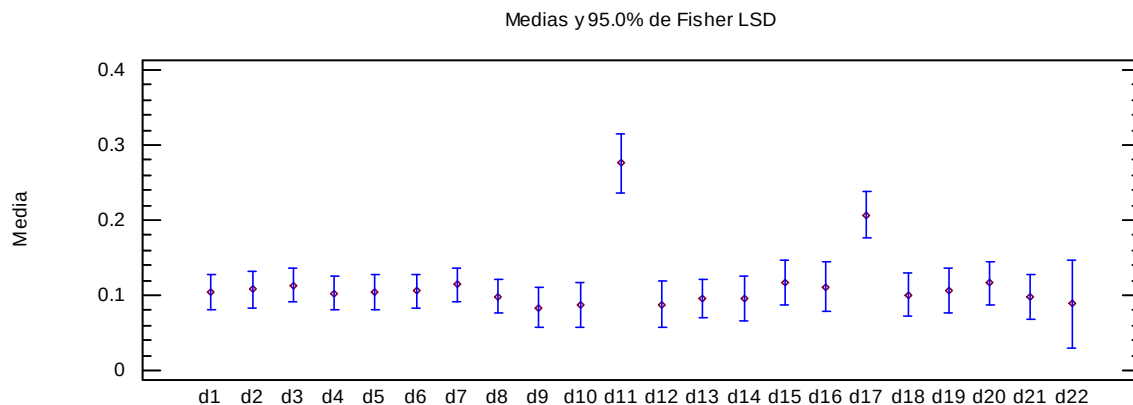


Figura 39. Comparación de medias de noviembre para el tiempo de servicio

Con estos resultados se decide determinar las distribuciones de los días del mes de septiembre, octubre y noviembre para el tiempo de llegada. (Ver Anexo H)

3.2.2.3 Análisis estadístico del mes de septiembre, octubre y noviembre por períodos de 8 horas

De 12:00 AM – 08:00 AM

Septiembre

Se realiza el análisis descriptivo de las observaciones de septiembre en el horario de 12:00 AM – 08:00 AM, mostrándose el histograma de los datos y los resultados numéricos del análisis descriptivo, donde se tiene que la cantidad de

observaciones es 1008, el mínimo es 0.02 y el máximo 14.6, la media de la muestra es 0.223 y la desviación estándar de la muestra es 0.94. Además se informa que el histograma va de 0 a 15 y tiene 31 intervalos. (Ver Anexo I 1.1.1)

Resultados del FIT ALL SUMMARY

Los resultados del FIT ALL SUMMARY presentan los diferentes errores de las funciones. Luego se escoge la Distribución Lognormal por ser la mejor (menor error) de todas. (Ver Anexo I 1.1.2)

Prueba de Bondad de Ajuste

TOS = Tiempo de ocupación en el servidor.

Prueba de hipótesis

H_0 = TOS sigue una Distribución Lognormal.

$H_1 \neq$ TOS sigue una Distribución Lognormal.

P-Value < 0.005 para la prueba Chi-cuadrado.

Se puede concluir que para la prueba Chi-Cuadrado se satisface la prueba para un nivel de significación de 0.1. De esta manera podemos dar por acertada la hipótesis nula (H_0), o sea, la Distribución Lognormal constituye un buen ajuste para las observaciones de septiembre en el horario de 12:00 AM – 08:00 AM. (Ver Anexo I 1.1.3)

Comparación de medias.

En el Statgraphics se realizó una comparación entre los días del mes de septiembre en el horario de 12:00 AM – 08:00 AM para determinar si hay o no diferencias significativas entre las medias.

Variables:

d_i = Días del mes del septiembre. $i = \{1, 2, \dots, 30\}$

La tabla 19 descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en

este caso es igual a 3.15799, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 30 variables con un nivel del 95.0% de confianza.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	76.2479	29	2.62924	3.16	0.0000
Intra grupos	814.249	978	0.832566		
Total (Corr.)	890.497	1007			

Tabla 19. Tabla ANOVA de septiembre en el horario de 12:00 AM – 08:00 AM para el tiempo de servicio

Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, se realizó la Prueba de Múltiples Rangos, de la lista de Opciones Tabulares. Se han identificado 3 grupos homogéneos por el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. En la figura 40 se muestra el gráfico de comparación de medias, en el cual obtiene como resultado que existen diferencias entre las medias de los días del mes de septiembre en el horario de 12:00 AM – 08:00 AM para el tiempo de servicio.

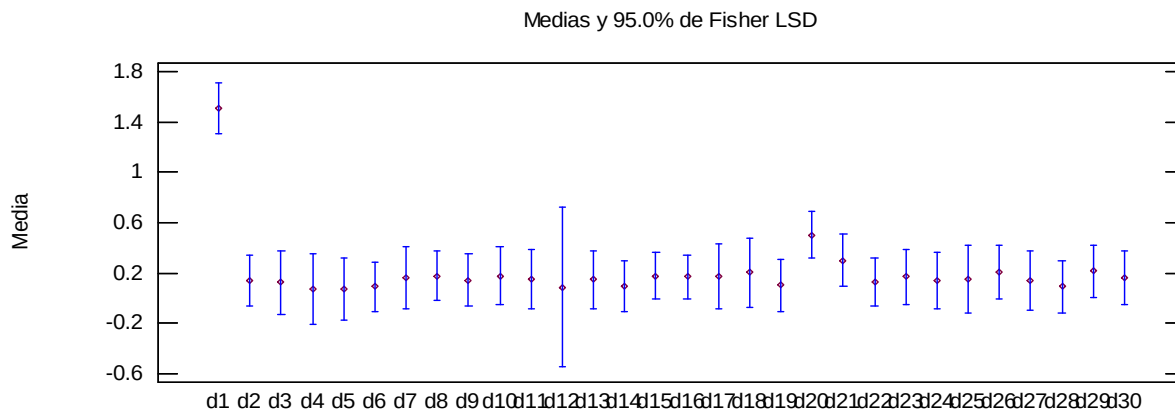


Figura 40. Comparación de medias de septiembre en el horario de 12:00 AM – 08:00 AM para el tiempo de servicio

Octubre

Se realiza el análisis descriptivo de las observaciones de octubre en el horario de 12:00 AM – 08:00 AM, mostrándose el histograma de los datos y los resultados

numéricos del análisis descriptivo, donde se tiene que la cantidad de observaciones es 827, el mínimo es 0.02 y el máximo 2.83, la media de la muestra es 0.149 y la desviación estándar de la muestra es 0.232. Además se informa que el histograma va de 0 a 3 y tiene 28 intervalos. (Ver Anexo I 1.2.1)

Resultados del FIT ALL SUMMARY

Los resultados del FIT ALL SUMMARY presentan los diferentes errores de las funciones. Luego se escoge la Distribución Lognormal por ser la mejor (menor error) de todas. (Ver Anexo I 1.2.2)

Prueba de Bondad de Ajuste

TOS = Tiempo de ocupación en el servidor.

Prueba de hipótesis

H_0 = TOS sigue una Distribución Lognormal.

$H_1 \neq$ TOS sigue una Distribución Lognormal.

P-Value = 0.0695 para la prueba Chi-cuadrado.

Se puede concluir que para la prueba Chi-Cuadrado se satisface la prueba para un nivel de significación de 0.1. De esta manera podemos dar por acertada la hipótesis nula (H_0), o sea, la Distribución Lognormal constituye un buen ajuste para las observaciones de octubre en el horario de 12:00 AM – 08:00 AM. (Ver Anexo I 1.2.3)

Comparación de medias.

En el Statgraphics se realizó una comparación entre los días del mes de octubre en el horario de 12:00 AM – 08:00 AM para determinar si hay o no diferencias significativas entre las medias.

Variables:

d_i = Días del mes del octubre. $i = \{1, 2, \dots, 27\}$

La tabla 20 descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en

este caso es igual a 1.11697, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 27 variables con un nivel del 95.0% de confianza.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1.55676	26	0.0598752	1.12	0.3133
Intra grupos	42.884	800	0.053605		
Total (Corr.)	44.4408	826			

Tabla 20. Tabla ANOVA de octubre en el horario de 12:00 AM – 08:00 AM para el tiempo de servicio

Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, se realizó la Prueba de Múltiples Rangos, de la lista de Opciones Tabulares.

Se han identificado 3 grupos homogéneos por el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. En la figura 41 se muestra el gráfico de comparación de medias, en el cual obtiene como resultado que existen diferencias entre las medias de los días del mes de octubre en el horario de 12:00 AM – 08:00 AM para el tiempo de servicio.

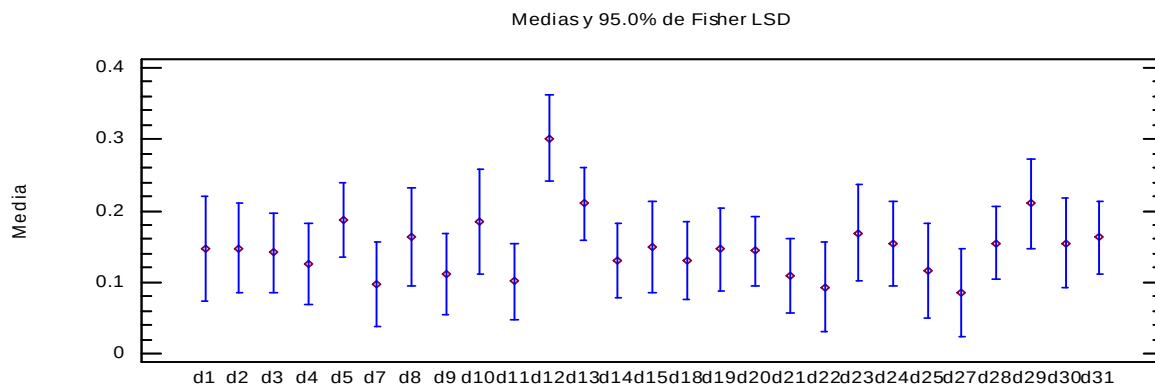


Figura 41. Comparación de medias de octubre en el horario de 12:00 AM – 08:00 AM para el tiempo de servicio

Noviembre

Se realiza el análisis descriptivo de las observaciones de noviembre en el horario de 12:00 AM – 08:00 AM, mostrándose el histograma de los datos y los resultados numéricos del análisis descriptivo, donde se tiene que la cantidad de

observaciones es 827, el mínimo es 0.02 y el máximo 2.83, la media de la muestra es 0.149 y la desviación estándar de la muestra es 0.232. Además se informa que el histograma va de 0 a 3 y tiene 28 intervalos. (Ver Anexo I 1.3.1)

Resultados del FIT ALL SUMMARY

Los resultados del FIT ALL SUMMARY presentan los diferentes errores de las funciones. Luego se escoge la Distribución Lognormal por ser la mejor (menor error) de todas. (Ver Anexo I 1.3.2)

Prueba de Bondad de Ajuste

TOS = Tiempo de ocupación en el servidor.

Prueba de hipótesis

H_0 = TOS sigue una Distribución Lognormal.

$H_1 \neq$ TOS sigue una Distribución Lognormal.

P-Value = 0.0289 para la prueba Chi-cuadrado.

Se puede concluir que para la prueba Chi-Cuadrado se satisface la prueba para un nivel de significación de 0.1. De esta manera podemos dar por acertada la hipótesis nula (H_0), o sea, la Distribución Lognormal constituye un buen ajuste para las observaciones de noviembre en el horario de 12:00 AM – 08:00 AM. (Ver Anexo I 1.3.3)

Comparación de medias.

En el Statgraphics se realizó una comparación entre los días del mes de noviembre en el horario de 12:00 AM – 08:00 AM para determinar si hay o no diferencias significativas entre las medias.

Variables:

d_i = Días del mes del noviembre. $i = \{1, 2, \dots, 21\}$

La tabla 21 descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en

este caso es igual a 1.10601, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 21 variables con un nivel del 95.0% de confianza.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.723838	20	0.0361919	1.11	0.3377
Intra grupos	21.3027	651	0.032723		
Total (Corr.)	22.0265	671			

Tabla 21. Tabla ANOVA de noviembre en el horario de 12:00 AM – 08:00 AM para el tiempo de servicio

Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, se realizó la Prueba de Múltiples Rangos, de la lista de Opciones Tabulares.

Se han identificado 3 grupos homogéneos por el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. En la figura 42 se muestra el gráfico de comparación de medias, en el cual obtiene como resultado que existen diferencias entre las medias de los días del mes de noviembre en el horario de 12:00 AM – 08:00 AM para el tiempo de servicio.

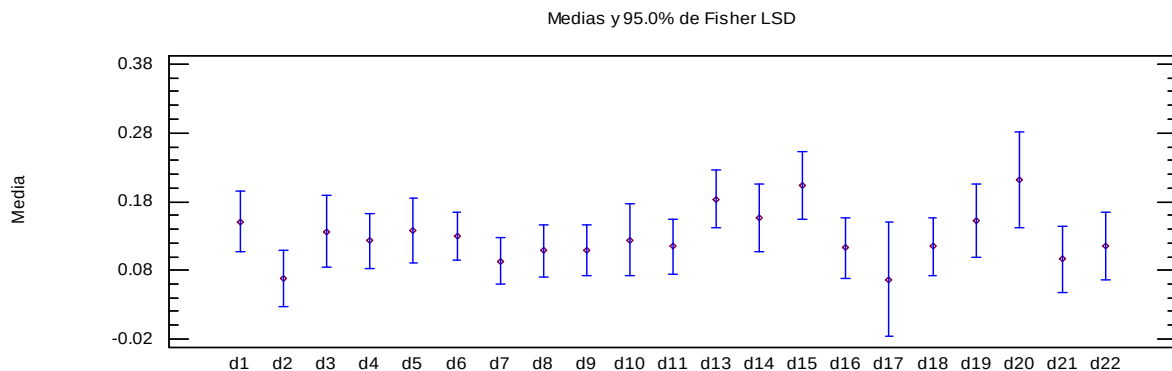


Figura 42. Comparación de medias de noviembre en el horario de 12:00 AM – 08:00 AM para el tiempo de servicio

De 08:00 AM – 04:00 PM

Septiembre

Se realiza el análisis descriptivo de las observaciones de septiembre en el horario de 08:00 AM – 04:00 PM, mostrándose el histograma de los datos y los resultados

numéricos del análisis descriptivo, donde se tiene que la cantidad de observaciones es 4229, el mínimo es 0.02 y el máximo 23.6, la media de la muestra es 0.197 y la desviación estándar de la muestra es 0.892. Además se informa que el histograma va de 0 a 24 y tiene 40 intervalos. (Ver Anexo I 2.1.1)

Resultados del FIT ALL SUMMARY

Los resultados del FIT ALL SUMMARY presentan los diferentes errores de las funciones. Luego se escoge la Distribución Exponencial por ser la mejor (menor error) de todas. (Ver Anexo I 2.1.2)

Prueba de Bondad de Ajuste

TOS = Tiempo de ocupación en el servidor.

Prueba de hipótesis

H_0 = TOS sigue una Distribución Exponencial.

$H_1 \neq$ TOS sigue una Distribución Exponencial.

P-Value < 0.005 para la prueba Chi-cuadrado.

Se puede concluir que para la prueba Chi-cuadrado se satisface la prueba para un nivel de significación de 0.1. De esta manera podemos dar por acertada la hipótesis nula (H_0), o sea, la Distribución Exponencial constituye un buen ajuste para las observaciones de septiembre en el horario de 08:00 AM – 04:00 PM. (Ver Anexo I 2.1.3)

Comparación de medias.

En el Statgraphics se realizó una comparación entre los días del mes de septiembre en el horario de 08:00 AM – 04:00 PM para determinar si hay o no diferencias significativas entre las medias.

Variables:

d_i = Días del mes del septiembre. $i = \{1, 2, \dots, 30\}$

La tabla 22 descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 1.32252, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 30 variables con un nivel del 95.0% de confianza.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	16.9702	29	0.585178	1.32	0.1158
Intra grupos	1828.74	4133	0.442474		
Total (Corr.)	1845.71	4162			

Tabla 22. Tabla ANOVA de septiembre en el horario de 08:00 AM – 04:00 PM para el tiempo de servicio

Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, se realizó la Prueba de Múltiples Rangos, de la lista de Opciones Tabulares.

Se han identificado 5 grupos homogéneos por el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. En la figura 43 se muestra el gráfico de comparación de medias, en el cual obtiene como resultado que existen diferencias entre las medias de los días del mes de septiembre en el horario de 08:00 AM – 04:00 PM para el tiempo de servicio.

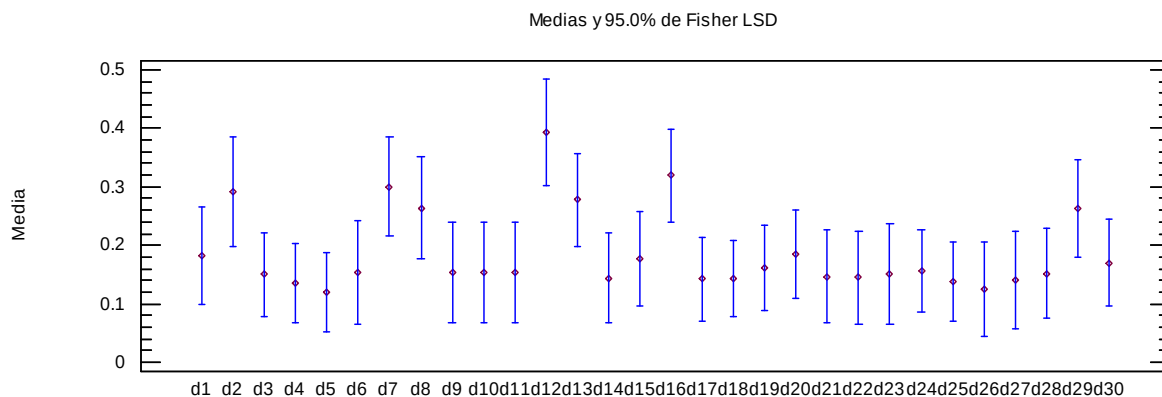


Figura 43. Comparación de medias de septiembre en el horario de 08:00 AM – 04:00 PM para el tiempo de servicio

Octubre

Se realiza el análisis descriptivo de las observaciones de octubre en el horario de 08:00 AM – 04:00 PM, mostrándose el histograma de los datos y los resultados numéricos del análisis descriptivo, donde se tiene que la cantidad de observaciones es 4291, el mínimo es 0.02 y el máximo 20.3, la media de la muestra es 0.174 y la desviación estándar de la muestra es 0.575. Además se informa que el histograma va de 0 a 21 y tiene 40 intervalos. (Ver Anexo I 2.2.1)

Resultados del FIT ALL SUMMARY

Los resultados del FIT ALL SUMMARY presentan los diferentes errores de las funciones. Luego se escoge la Distribución Lognormal por ser la mejor (menor error) de todas. (Ver Anexo I 2.2.2)

Prueba de Bondad de Ajuste

TOS = Tiempo de ocupación en el servidor.

Prueba de hipótesis

Ho= TOS sigue una Distribución Lognormal.

H1≠ TOS sigue una Distribución Lognormal.

P-Value< 0.005 para la prueba Chi-cuadrado.

Se puede concluir que para la prueba Chi-cuadrado se satisface la prueba para un nivel de significación de 0.1. De esta manera podemos dar por acertada la hipótesis nula (Ho), o sea, la Distribución Lognormal constituye un buen ajuste para las observaciones de octubre en el horario de 08:00 AM – 04:00 PM. (Ver Anexo I 2.2.3)

Comparación de medias.

En el Statgraphics se realizó una comparación entre los días del mes de octubre en el horario de 08:00 AM – 04:00 PM para determinar si hay o no diferencias significativas entre las medias.

Variables:

d_i = Días del mes del octubre. $i = \{1, 2, \dots, 30\}$

La tabla 23 descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 2.07375, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 30 variables con un nivel del 95.0% de confianza.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	19.7354	29	0.680531	2.07	0.0006
Intra grupos	1398.31	4261	0.328164		
Total (Corr.)	1418.04	4290			

Tabla 23. Tabla ANOVA de octubre en el horario de 08:00 AM – 04:00 PM para el tiempo de servicio

Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, se realizó la Prueba de Múltiples Rangos, de la lista de Opciones Tabulares.

Se han identificado 5 grupos homogéneos por el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. En la figura 44 se muestra el gráfico de comparación de medias, en el cual obtiene como resultado que existen diferencias entre las medias de los días del mes de octubre en el horario de 08:00 AM – 04:00 PM para el tiempo de servicio.

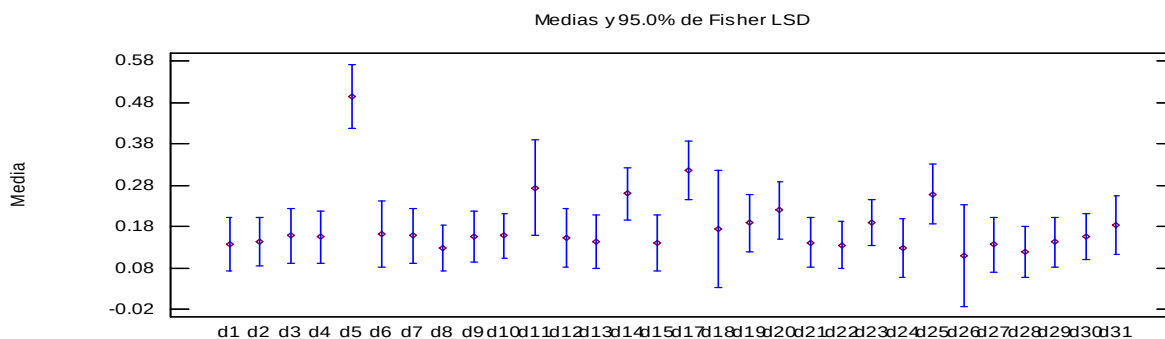


Figura 44. Comparación de medias de octubre en el horario de 08:00 AM – 04:00 PM para el tiempo de servicio

Noviembre

Se realiza el análisis descriptivo de las observaciones de noviembre en el horario de 08:00 AM – 04:00 PM, mostrándose el histograma de los datos y los resultados numéricos del análisis descriptivo, donde se tiene que la cantidad de observaciones es 2191, el mínimo es 0.02 y el máximo 6.62, la media de la muestra es 0.165 y la desviación estándar de la muestra es 0.313. Además se informa que el histograma va de 0 a 7 y tiene 40 intervalos. (Ver Anexo I 2.3.1)

Resultados del FIT ALL SUMMARY

Los resultados del FIT ALL SUMMARY presentan los diferentes errores de las funciones. Luego se escoge la Distribución Lognormal por ser la mejor (menor error) de todas. (Ver Anexo I 2.3.2)

Prueba de Bondad de Ajuste

TOS = Tiempo de ocupación en el servidor.

Prueba de hipótesis

H_0 = TOS sigue una Distribución Lognormal.

$H_1 \neq$ TOS sigue una Distribución Lognormal.

P-Value = 0.0316 para la prueba Chi-cuadrado.

Se puede concluir que para la prueba Chi-cuadrado se satisface la prueba para un nivel de significación de 0.1. De esta manera podemos dar por acertada la hipótesis nula (H_0), o sea, la Distribución Lognormal constituye un buen ajuste para las observaciones de noviembre en el horario de 08:00 AM – 04:00 PM. (Ver Anexo I 2.3.3)

Comparación de medias.

En el Statgraphics se realizó una comparación entre los días del mes de noviembre en el horario de 08:00 AM – 04:00 PM para determinar si hay o no diferencias significativas entre las medias.

Variables:

d_i = Días del mes del noviembre. $i = \{1, 2, \dots, 22\}$

La tabla 24 descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 0.941255, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 22 variables con un nivel del 95.0% de confianza.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1.94191	21	0.092472	0.94	0.5363
Intra grupos	213.09	2169	0.0982433		
Total (Corr.)	215.032	2190			

Tabla 24. Tabla ANOVA de noviembre en el horario de 08:00 AM – 04:00 PM para el tiempo de servicio

Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, se realizó la Prueba de Múltiples Rangos, de la lista de Opciones Tabulares.

Se han identificado 2 grupos homogéneos por el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. En la figura 45 se muestra el gráfico de comparación de medias, en el cual obtiene como resultado que existen diferencias entre las medias de los días del mes de noviembre en el horario de 08:00 AM – 04:00 PM para el tiempo de servicio.

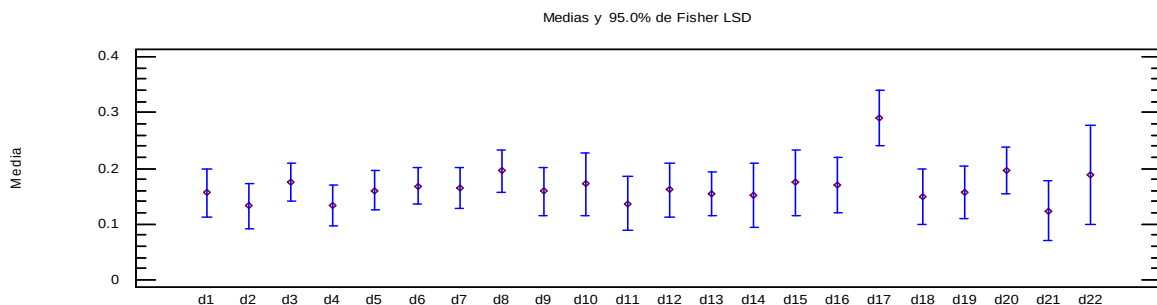


Figura 45. Comparación de medias de noviembre en el horario de 08:00 AM – 04:00 PM para el tiempo de servicio

De 04:00 PM – 12:00 AM

Septiembre

Se realiza el análisis descriptivo de las observaciones de septiembre en el horario de 04:00 PM – 12:00 AM, mostrándose el histograma de los datos y los resultados numéricos del análisis descriptivo, donde se tiene que la cantidad de observaciones es 6114, el mínimo es 0.02 y el máximo 24, la media de la muestra es 0.202 y la desviación estándar de la muestra es 0.81. Además se informa que el histograma va de 0 a 24 y tiene 40 intervalos. (Ver Anexo I 3.1.1)

Resultados del FIT ALL SUMMARY

Los resultados del FIT ALL SUMMARY presentan los diferentes errores de las funciones. Luego se escoge la Distribución Lognormal por ser la mejor (menor error) de todas. (Ver Anexo I 3.1.2)

Prueba de Bondad de Ajuste

TOS = Tiempo de ocupación en el servidor.

Prueba de hipótesis

H_0 = TOS sigue una Distribución Lognormal.

$H_1 \neq$ TOS sigue una Distribución Lognormal.

P-Value < 0.005 para la prueba Chi-cuadrado.

Se puede concluir que para la prueba Chi-cuadrado se satisface la prueba para un nivel de significación de 0.1. De esta manera podemos dar por acertada la hipótesis nula (H_0), o sea, la Distribución Lognormal constituye un buen ajuste para las observaciones de septiembre. (Ver Anexo I 3.1.3)

Comparación de medias.

En el Statgraphics se realizó una comparación entre los días del mes de septiembre en el horario de 04:00 PM – 12:00 AM para determinar si hay o no diferencias significativas entre las medias.

Variables:

d_i = Días del mes del septiembre. $i = \{1, 2, \dots, 30\}$

La tabla 25 descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 3.56895, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 30 variables con un nivel del 95.0% de confianza.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	67.1542	29	2.31566	3.57	0.0000
Intra grupos	3946.22	6082	0.648836		
Total (Corr.)	4013.37	6111			

Tabla 25. Tabla ANOVA de septiembre en el horario de 04:00 PM – 12:00 AM para el tiempo de servicio

Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, se realizó la Prueba de Múltiples Rangos, de la lista de Opciones Tabulares.

Se han identificado 4 grupos homogéneos por el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. En la figura 46 se muestra el gráfico de comparación de medias, en el cual obtiene como resultado que existen diferencias entre las medias de los días del mes de septiembre en el horario de 04:00 PM – 12:00 AM para el tiempo de servicio.

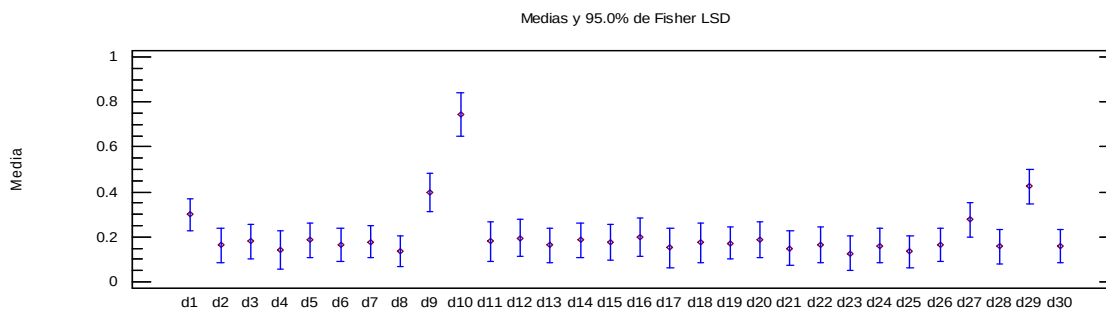


Figura 46. Comparación de medias de septiembre en el horario de 04:00 PM – 12:00 AM para el tiempo de servicio

Octubre

Se realiza el análisis descriptivo de las observaciones de octubre en el horario de 04:00 PM – 12:00 AM, mostrándose el histograma de los datos y los resultados numéricos del análisis descriptivo, donde se tiene que la cantidad de observaciones es 6009, el mínimo es 0.02 y el máximo 23.9, la media de la muestra es 0.178 y la desviación estándar de la muestra es 0.767. Además se informa que el histograma va de 0 a 24 y tiene 40 intervalos. (Ver Anexo 3.2.1)

Resultados del FIT ALL SUMMARY

Los resultados del FIT ALL SUMMARY presentan los diferentes errores de las funciones. Luego se escoge la Distribución Exponencial por ser la mejor (menor error) de todas. (Ver Anexo 3.2.2)

Prueba de Bondad de Ajuste

TOS = Tiempo de ocupación en el servidor.

Prueba de hipótesis

H_0 = TOS sigue una Distribución Exponencial.

$H_1 \neq$ TOS sigue una Distribución Exponencial.

P-Value < 0.005 para la prueba Chi-cuadrado.

Se puede concluir que para la prueba Chi-cuadrado se satisface la prueba para un nivel de significación de 0.1. De esta manera podemos dar por acertada la hipótesis nula (H_0), o sea, la Distribución Exponencial constituye un buen ajuste para las observaciones de octubre en el horario de 04:00 PM – 12:00 AM. (Ver Anexo I 3.2.3)

Comparación de medias.

En el Statgraphics se realizó una comparación entre los días del mes de octubre en el horario de 04:00 PM – 12:00 AM para determinar si hay o no diferencias significativas entre las medias.

Variables:

d_i = Días del mes del octubre. $i = \{1, 2, \dots, 29\}$

La tabla 26 descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 1.99343, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 29 variables con un nivel del 95.0% de confianza.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	32.6818	28	1.16721	1.99	0.0014
Intra grupos	3501.45	5980	0.585526		
Total (Corr.)	3534.13	6008			

Tabla 26. Tabla ANOVA de octubre en el horario de 04:00 PM – 12:00 AM para el tiempo de servicio

Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, se realizó la Prueba de Múltiples Rangos, de la lista de Opciones Tabulares.

Se han identificado 3 grupos homogéneos por el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. En la figura 47 se muestra el gráfico de comparación de medias, en el cual obtiene como resultado que existen diferencias entre las medias de los días del mes de octubre en el horario de 04:00 PM – 12:00 AM para el tiempo de servicio.

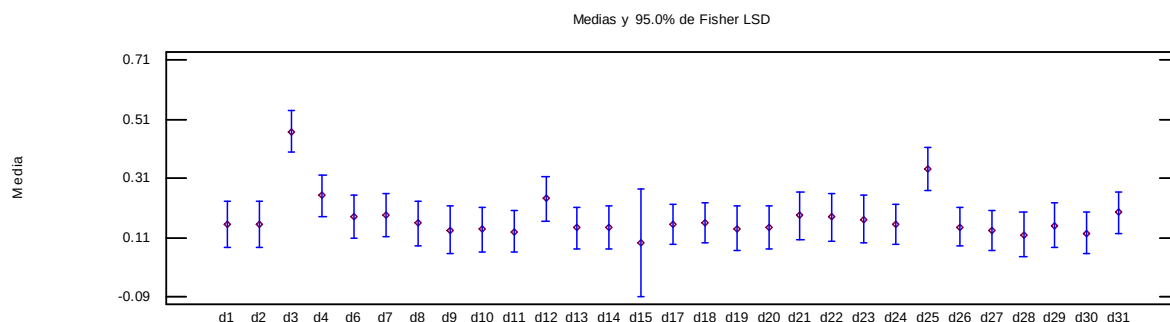


Figura 47. Comparación de medias de octubre en el horario de 04:00 PM – 12:00 AM para el tiempo de servicio

Noviembre

Se realiza el análisis descriptivo de las observaciones de noviembre en el horario de 04:00 PM – 12:00 AM, mostrándose el histograma de los datos y los resultados numéricos del análisis descriptivo, donde se tiene que la cantidad de observaciones es 3112, el mínimo es 0.02 y el máximo 18.8, la media de la muestra es 0.172 y la desviación estándar de la muestra es 0.586. Además se informa que el histograma va de 0 a 19 y tiene 40 intervalos. (Ver Anexo I 3.3.1)

Resultados del FIT ALL SUMMARY

Los resultados del FIT ALL SUMMARY presentan los diferentes errores de las funciones. Luego se escoge la Distribución Lognormal por ser la mejor (menor error) de todas. (Ver Anexo I 3.3.2)

Prueba de Bondad de Ajuste

TOS = Tiempo de ocupación en el servidor.

Prueba de hipótesis

H_0 = TOS sigue una Distribución Lognormal.

$H_1 \neq$ TOS sigue una Distribución Lognormal.

P-Value < 0.005 para la prueba Chi-cuadrado.

Se puede concluir que para la prueba Chi-cuadrado se satisface la prueba para un nivel de significación de 0.1. De esta manera podemos dar por acertada la hipótesis nula (H_0), o sea, la Distribución Lognormal constituye un buen ajuste para las observaciones de noviembre. (Ver Anexo I 3.3.3)

Comparación de medias.

En el Statgraphics se realizó una comparación entre los días del mes de noviembre en el horario de 04:00 PM – 12:00 AM para determinar si hay o no diferencias significativas entre las medias.

Variables:

d_i = Días del mes del noviembre. $i = \{1, 2, \dots, 21\}$

La tabla 27 descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 17.2202, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 21 variables con un nivel del 95.0% de confianza.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	106.923	20	5.34617	17.22	0.0000
Intra grupos	959.631	3091	0.31046		
Total (Corr.)	1066.55	3111			

Tabla 27. Tabla ANOVA de noviembre en el horario de 04:00 PM – 12:00 AM para el tiempo de servicio

Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, se realizó la Prueba de Múltiples Rangos, de la lista de Opciones Tabulares.

Se han identificado 3 grupos homogéneos por el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. En la figura 48 se muestra el gráfico de comparación de medias, en el cual obtiene como resultado que existen diferencias entre las medias de los días del mes de noviembre en el horario de 04:00 PM – 12:00 AM para el tiempo de servicio.

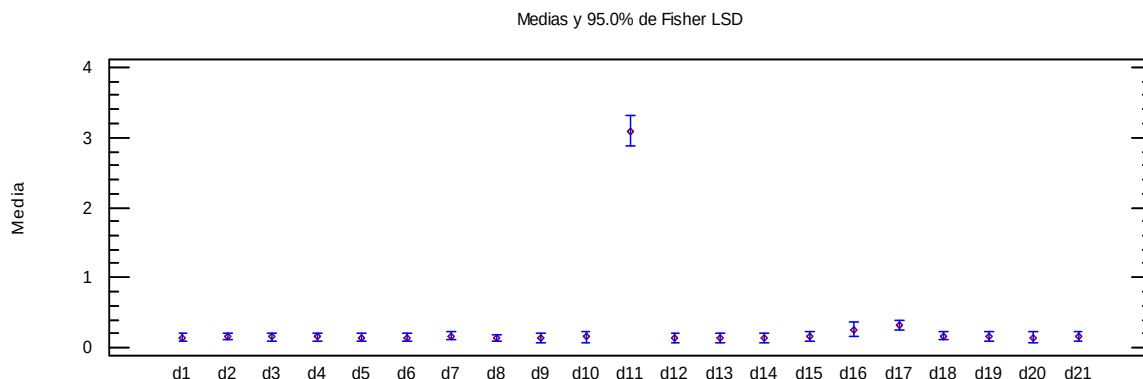


Figura 48. Comparación de medias de noviembre en el horario de 04:00 PM – 12:00 AM para el tiempo de servicio

Con estos resultados se decide determinar las distribuciones de los días del mes de septiembre, octubre y noviembre en períodos de 8 horas para el tiempo de servicio.

Distribución	Mes
Anexo J.	Anexo J 1.
Anexo J.	Anexo J 2.
Anexo J.	Anexo J 3.

Tabla 28. Tabla Anexos de distribuciones de septiembre, octubre y noviembre en períodos de 8 horas para el tiempo de llegada

3.3 Validación del modelo de simulación

La validación se llevó a cabo mediante la comparación estadística (prueba de hipótesis de una población para la media con varianza desconocida) entre los resultados del modelo de simulación con lectura de datos históricos y los resultados del modelo de simulación con generación de datos aleatorios.

Resultados del modelo de lectura de datos históricos

Los resultados muestran el valor medio y la desviación estándar registrados durante la simulación para cada una de las magnitudes bajo estudio.

Se observa que las conexiones simultáneas son de 3 usuarios como promedio, con una desviación estándar () de 2.04. (Ver Anexo K 1)

Resultados del modelo de generación de datos aleatorios

Se observa que las conexiones simultáneas son de 2 usuarios como promedio, con una desviación estándar () de 0.76. (Ver Anexo K 2)

La tabla 29 muestra los resultados de ambos modelos para la variable cantidad de usuarios conectados simultáneamente.

Variable	Modelo de lectura de datos histórico	Modelo de generación de datos aleatorios	Tamaño de la muestra (n)
	μ	x	
CS	3	2	24 h

Tabla 29. Resultados del modelo de lectura de datos históricos y del modelo de generación de datos aleatorios

Donde:

CS: Conexión simultánea

Prueba de hipótesis

- Hipótesis:
 $H_0: \mu = \mu_0$ (No existen diferencias significativas)
 $H_1: \mu \neq \mu_0$ (Existen diferencias significativas)

- Nivel de significación:
 $\alpha = 0.05$

- Regla de decisión:
 Rechazar H_0 si
 $|T| > T\left(1 - \frac{\alpha}{2}\right)(n - 1)$

- Cálculo del estadígrafo:

$$T = \frac{X - \mu_0}{\sigma / \sqrt{n}}$$

$$T = \frac{2 - 3}{0.76 / \sqrt{24}} = \frac{-1}{0.76 / 4.89} = -6.45$$

$$|-6.45| > T\left(1 - \frac{0.05}{2}\right)(24 - 1)$$

$$6.45 > T(0.95)(23)$$

$$6.45 < 11.68$$

No se rechaza H_0 , por lo que no existen diferencias significativas.

En la figura 49 se muestra el gráfico de comparación de variables, en el cual obtiene como resultado que no existen diferencias significativas para un nivel de significación de 0,05.

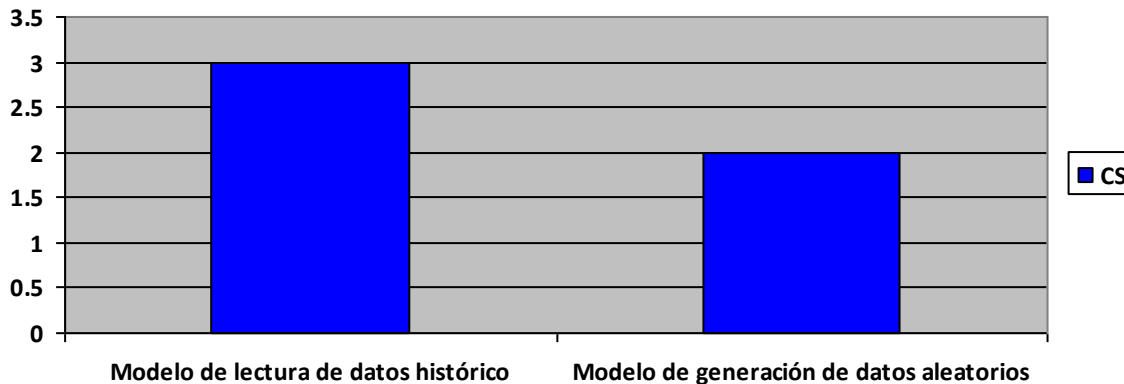


Figura 49. Comparación de variables

La simulación no da resultados óptimos ni exactos, sino aproximaciones que se hacen más exactas cuando se amplía el número de datos. En este caso el resultado del modelo de generación de datos aleatorios constituye una buena aproximación al resultado del modelo de lectura de datos históricos.

3.4 Análisis de resultados

En este epígrafe se muestran los resultados del trimestre, septiembre, octubre, noviembre, diciembre y de los meses por períodos de 8 horas.

3.4.1 Resultados del trimestre

Se observa que el ancho de banda disponible como promedio es de 196 Kbps con una desviación estándar de 26.3, el ancho de banda utilizado como promedio es de 60.2 Kbps con una desviación estándar de 26.3 Kbps, las conexiones simultaneas son de 2 usuarios como promedio con una desviación estándar de

0.783, la velocidad de conexión promedio es de 16.8 Kbps con una desviación estándar de 19.4. (Ver Anexo L)

3.4.1 Resultados del mes de septiembre, octubre y noviembre

Septiembre

Se observa que el ancho de banda disponible como promedio es de 196 Kbps con una desviación estándar de 26.2, el ancho de banda utilizado como promedio es de 59.7 Kbps con una desviación estándar de 26.2 Kbps, las conexiones simultaneas son de 2 usuarios como promedio con una desviación estándar de 0.78, la velocidad de conexión promedio es de 16.8 Kbps con una desviación estándar de 19.4. (Ver Anexo M 1)

Octubre

Se observa que el ancho de banda disponible como promedio es de 199 Kbps con una desviación estándar de 24.3, el ancho de banda utilizado como promedio es de 57.4 Kbps con una desviación estándar de 24.3 Kbps, las conexiones simultaneas son de 2 usuarios como promedio con una desviación estándar de 0.723, la velocidad de conexión promedio es de 16.8 Kbps con una desviación estándar de 19.4. (Ver Anexo M 2)

Noviembre

Se observa que el ancho de banda disponible como promedio es de 196 Kbps con una desviación estándar de 27.1, el ancho de banda utilizado como promedio es de 60 Kbps con una desviación estándar de 27.1 Kbps, las conexiones simultaneas son de 2 usuarios como promedio con una desviación estándar de 0.808, la velocidad de conexión promedio es de 16.8 Kbps con una desviación estándar de 19.4. (Ver Anexo M 3)

3.1 Resultados del mes de septiembre, octubre y noviembre por períodos de 8 horas

De 12:00 AM – 08:00 AM

Septiembre

Se observa que el ancho de banda disponible como promedio es de 201 Kbps con una desviación estándar de 23.3, el ancho de banda utilizado como promedio es de 55.2 Kbps con una desviación estándar de 23.3 Kbps, las conexiones simultaneas son de 2 usuarios como promedio con una desviación estándar de 0.666, la velocidad de conexión promedio es de 16.8 Kbps con una desviación estándar de 19.4. (Ver Anexo N 1.1.1)

Octubre

Se observa que el ancho de banda disponible como promedio es de 204 Kbps con una desviación estándar de 22.6, el ancho de banda utilizado como promedio es de 52.2 Kbps con una desviación estándar de 22.6 Kbps, las conexiones simultaneas son de 2 usuarios como promedio con una desviación estándar de 0.666, la velocidad de conexión promedio es de 16.8 Kbps con una desviación estándar de 19.4. (Ver Anexo N 1.1.2)

Noviembre

Se observa que el ancho de banda disponible como promedio es de 170 Kbps con una desviación estándar de 53.1, el ancho de banda utilizado como promedio es de 86.4 Kbps con una desviación estándar de 53.1 Kbps, las conexiones simultaneas son de 3 usuarios como promedio con una desviación estándar de 1.59, la velocidad de conexión promedio es de 22.1 Kbps con una desviación estándar de 17.2. (Ver Anexo N 1.1.3)

De 08:00 AM – 04:00 PM

Septiembre

Se observa que el ancho de banda disponible como promedio es de 199 Kbps con una desviación estándar de 23.9, el ancho de banda utilizado como promedio es de 57.4 Kbps con una desviación estándar de 23.9 Kbps, las conexiones simultaneas son de 2 usuarios como promedio con una desviación estándar de

0.712, la velocidad de conexión promedio es de 16.8 Kbps con una desviación estándar de 19.4. (Ver Anexo N 1.2.1)

Octubre

Se observa que el ancho de banda disponible como promedio es de 198 Kbps con una desviación estándar de 24.9, el ancho de banda utilizado como promedio es de 58 Kbps con una desviación estándar de 24.9 Kbps, las conexiones simultaneas son de 2 usuarios como promedio con una desviación estándar de 0.741, la velocidad de conexión promedio es de 16.8 Kbps con una desviación estándar de 19.4. (Ver Anexo 1.2.2)

Noviembre

Se observa que el ancho de banda disponible como promedio es de 200 Kbps con una desviación estándar de 22.4, el ancho de banda utilizado como promedio es de 56.3 Kbps con una desviación estándar de 22.4 Kbps, las conexiones simultaneas son de 2 usuarios como promedio con una desviación estándar de 0.666, la velocidad de conexión promedio es de 16.8 Kbps con una desviación estándar de 19.4. (Ver Anexo 1.2.3)

De 04:00 PM – 12:00 AM

Septiembre

Se observa que el ancho de banda disponible como promedio es de 161 Kbps con una desviación estándar de 48.8, el ancho de banda utilizado como promedio es de 94.6 Kbps con una desviación estándar de 48.8 Kbps, las conexiones simultaneas son de 7 usuarios como promedio con una desviación estándar de 8.32, la velocidad de conexión promedio es de 15.3 Kbps con una desviación estándar de 8.11. (Ver Anexo 1.3.1)

Octubre

Se observa que el ancho de banda disponible como promedio es de 167 Kbps con una desviación estándar de 43.8, el ancho de banda utilizado como promedio es

de 89.2 Kbps con una desviación estándar de 43.8 Kbps, las conexiones simultaneas son de 3 usuarios como promedio con una desviación estándar de 1.3, la velocidad de conexión promedio es de 24.8 Kbps con una desviación estándar de 15.3. (Ver Anexo 1.3.2)

Noviembre

Se observa que el ancho de banda disponible como promedio es de 172 Kbps con una desviación estándar de 48.2, el ancho de banda utilizado como promedio es de 83.9 Kbps con una desviación estándar de 48.2 Kbps, las conexiones simultaneas son de 3 usuarios como promedio con una desviación estándar de 2, la velocidad de conexión promedio es de 27.4 Kbps con una desviación estándar de 7.31. (Ver Anexo 1.3.3)

3.5 Conclusiones parciales

Este capítulo parte del análisis estadístico del trimestre, del mes de septiembre, octubre, noviembre y de períodos de 8 horas para cada mes, demostrando que tanto el tiempo de llegada como el tiempo de servicio se corresponden con distribuciones generales. Mediante la prueba estadística de comparación de medias se demostró la existencia de diferencias entre los días del trimestre, los meses y los períodos. En consecuencia con este resultados se determinó las distribuciones diarias para la obtención de mejores resultados con el modelo de simulación. Se validó el modelo de simulación de generación de datos aleatorios contra el modelo de simulación de lectura de datos históricos. Finalmente, el capítulo concluye con la obtención de los resultados del trimestre, del mes de septiembre, octubre, noviembre y de períodos de 8 horas para cada mes.

Conclusiones generales

La carencia de un modelo de matemático que describa el funcionamiento del Servicio de Acceso Remoto de la Red Telemática de la UCF constituyó el punto de partida de la presente investigación, que concluyó con el desarrollo de un modelo de simulación utilizado para determinar la relación número de usuarios versus el ancho de banda disponible.

Tomando en consideración los objetivos trazados se puede concluir que:

- Se realizó un análisis del proceso de Servicio de Acceso Remoto de la Red Telemática de la UCF, y fueron seleccionadas las metodologías y herramientas a utilizar.
- Se realizó el diseño preliminar de un modelo de simulación mediante la aproximación de flujos físico.
- Debido a la imposibilidad del modelo matemático de teoría de colas se desarrolló un modelo de simulación mediante una metodología de desarrollo de modelos de simulación que posibilitó determinar la relación número de usuarios versus ancho de banda disponible del Servicio de Acceso remoto de la UCF, utilizando varios módulos de Arena 10.0.
- Se realizó la validación del modelo de simulación comparándolo con los datos reales del Servicio de Acceso remoto de la UCF.

Recomendaciones

Los objetivos trazados con la realización de este trabajo fueron cumplidos, se sugiere tomar esta propuesta solo como la primera fase de un proyecto más ambicioso.

Para ello, se recomienda para futuros trabajos:

- Completar el estudio estadístico del tiempo llegada y de servicio por semanas para determinar los días de la semana que presentan mayor tráfico en la red.
- Continuar perfeccionando el modelo de simulación diseñado, programando la introducción de las características esenciales de forma interactiva para que pueda ser aplicable a cualquier universidad del país.

Referencias bibliográficas

- [1] Ramón Carlos Suárez, Tecnologías de la Información y la Comunicación. Introducción a los sistemas de información y de telecomunicación, 1st ed. España: Ideaspropias Editorial, 2007.
- [2] “soporte.udg.mx --- TeleCom Coordinación de Telecomunicaciones y Redes.” [Online]. Available: http://soporte.udg.mx/tutoriales/conf_conexion/winnt/index.html. [Accessed: 09-Apr-2012].
- [3] “Definición de módem - Qué es, Significado y Concepto.” [Online]. Available: <http://definicion.de/modem/>. [Accessed: 02-May-2012].
- [4] “Velocidad de conexión - Wikipedia, la enciclopedia libre.” [Online]. Available: http://es.wikipedia.org/wiki/Velocidad_de_conexi%C3%B3n. [Accessed: 07-Jun-2012].
- [5] “Canales de Comunicación de datos - Análogo, Digital, Baudio y Baudio, Capacidad de Canal y Anchura de banda.” [Online]. Available: http://www.ligaturesoft.com/spanish/data_communications/Canales-de-Comunicacion-de-Datos.html. [Accessed: 06-Jun-2012].
- [6] “Definición de Ancho de Banda - Significado y definición de Ancho de Banda.” [Online]. Available: <http://www.mastermagazine.info/termino/3854.php>. [Accessed: 02-May-2012].
- [7] Ricardo Cao Abad, Introducción a la Simulación y la Teoría de Colas, 1st ed. Coruña (España): NETBIBLO, S. L, 2002.
- [8] “Biografía de Andréi Nikoláievich Kolmogorov.” [Online]. Available: <http://www.biografiasyvidas.com/biografia/k/kolmogorov.htm>. [Accessed: 02-Apr-2012].
- [9] A. Kufmann, Métodos y Modelos de la Investigación de Operaciones, 4th ed. Cuba: Pueblo y Educación, 1975.
- [10] G. Lieberman and F. Hillier, Introducción a la investigación de operaciones. McGraw-Hill, 1997.

- [11] Mohammad R. Azarang and Eduardo García Dunna, Simulación y Análisis de Modelos Estocásticos, 1st ed. México: McGRAW-WILL, 1996.
- [12] Kamlesh Mathur and Daniel Solow, Investigación de Operaciones. El arte de la toma de decisiones, 1st ed. México: Prentice-Hall Hispanoamericana. S.A, 1996.
- [13] H. A. Taha, Investigación de operaciones. 1993.
- [14] Manuel Cortés Cortés, Introducción a la Investigación de Operaciones, 1st ed. Cuba: Editorial Universidad de Cienfuegos, 1999.
- [15] G. Lieberman and F. Hillier, Introducción a la investigación de operaciones. McGraw-Hill, 1997.
- [16] "Simulación," 05-Mar-2012. [Online]. Available: <http://www.fib.upc.edu/retro-informatica/avui/simulacio.html>. [Accessed: 05-Mar-2012].
- [17] "Lander Simulation & Training Solutions» Formación con simulación» El mundo en movimiento» Historia de la simulación," 05-Mar-2012. [Online]. Available: <http://www.landersistimulation.com/formacion-con-simulacion/el-mundo-en-movimiento/historia-de-la-simulacion/>. [Accessed: 05-Mar-2012].
- [18] "Ridelio Miranda." [Online]. Available: <http://10.14.16.4/rmiranda/>. [Accessed: 07-Jun-2012].
- [19] Maria Amparo Moya Sanz, "Aplicación De Un Modelo De Simulación A La Gestión De Las Listas De Espera De Consultas Externas De Cirugía De Un Ospital Comarcal," Universidad De València Facultad De Medicina, 2005.
- [20] María de Lourdes Machín Villavicencio, "Modelación Matemática del área comercial de una sucursal bancaria del BPA en la Provincia de Cienfuegos," Universidad de Cienfuegos "Carlos Rafael Rodríguez" Facultad de Ingeniería Informática, 2010.
- [21] Yusnel Díaz Fernández, "Modelos para el dimensionamiento de un centro de atención telefónica en la dirección territorial de la Empresa de Telecomunicaciones de Cuba en Cienfuegos," Universidad de Cienfuegos "Carlos Rafael Rodríguez" Facultad de Ingeniería Informática, 2010.
- [22] WIN QSB. .
- [23] Arena. Rockwell Software.

- [24] Input Analyzer. Rockwell Software.
- [25] Statgraphics Centurion XV. .
- [26] Output Analyzer. Rockwell Software.

Bibliografía

- [1] María Amparo Moya Sanz, “Aplicación De Un Modelo De Simulación A La Gestión De Las Listas De Espera De Consultas Externas De Cirugía De Un Ospital Comarcal,” Universidad De Valéncia Facultad De Medicina, 2005.
- [2] *Arena*. Rockwell Software.
- [3] “Biografía de Andréi Nikoláievich Kolmogorov,” 02-Apr-2012. [Online]. Available: <http://www.biografiasyvidas.com/biografia/k/kolmogorov.htm>. [Accessed: 02-Apr-2012].
- [4] “Canal de Comunicación - EcuRed,” 06-Jun-2012. [Online]. Available: http://www.ecured.cu/index.php/Canal_de_Comunicaci%C3%B3n. [Accessed: 06-Jun-2012].
- [5] “Canal de comunicaciones - Wikitel,” 06-Jun-2012. [Online]. Available: http://es.wikitel.info/wiki/Canal_de_comunicaciones. [Accessed: 06-Jun-2012].
- [6] “Canales de Comunicación de datos - Análogo, Digital, Baudio y Baudio, Capacidad de Canal y Anchura de banda,” 06-Jun-2012. [Online]. Available: http://www.ligaturesoft.com/spanish/data_communications/Canales-de-Comunicacion-de-Datos.html. [Accessed: 06-Jun-2012].
- [7] “Definición de Ancho de Banda - Significado y definición de Ancho de Banda,” 02-May-2012. [Online]. Available: <http://www.mastermagazine.info/termino/3854.php>. [Accessed: 02-May-2012].
- [8] “Definición de módem - Qué es, Significado y Concepto,” 02-May-2012. [Online]. Available: <http://definicion.de/modem/>. [Accessed: 02-May-2012].
- [9] “Fundamentos de investigación de operaciones para administración - Google Libros,” 24-Feb-2012. [Online]. Available: http://books.google.com.cu/books?id=CL3E0b_6F_cC&pg=PA83&dq=actualidad+de+la+teoria+de+colas&hl=es&sa=X&ei=xsxHT_G9CoLpsQKgkejQCA&ved=0CDwQ6AEwAQ#v=onepage&q=actualidad%20de%20la%20teoria%20de%20colas&f=false. [Accessed: 24-Feb-2012].
- [10] *Input Analyzer*. Rockwell Software.
- [11] G. Lieberman and F. Hillier, *Introducción a la investigación de operaciones*.

- McGraw-Hill, 1997.
- [12] Manuel Cortés Cortés, *Introducción a la Investigación de Operaciones*, 1st ed. Cuba: Editorial Universidad de Cienfuegos, 1999.
- [13] “Introducción a la Simulación y a la Teoría de Colas - Ricardo Cao, Ricardo Cao Abad - Google Libros,” 22-Feb-2012. [Online]. Available: http://books.google.com.cu/books?id=IET6IPBm2vMC&pg=PA113&lpg=PA113&dq=actualidad+de+la+teoria+de+colas&source=bl&ots=kl75PY_cie&sig=veQpZUAVewiSyWO2fZgUCQX4qio&hl=es&sa=X&ei=szFFT-j1F4n3ggeMqu2XBA&ved=0CCEQ6AEwAA#v=onepage&q=actualidad%20de%20la%20teoria%20de%20colas&f=false. [Accessed: 22-Feb-2012].
- [14] Ricardo Cao Abad, *Introducción a la Simulación y la Teoría de Colas*, 1st ed. Coruña (España): NETBIBLO, S. L, 2002.
- [15] H. A. Taha, *Investigación de operaciones*. 1993.
- [16] Kamlesh Mathur and Daniel Solow, *Investigación de Operaciones. El arte de la toma de decisiones*, 1st ed. México: Prentice-Hall Hispanoamericana. S.A, 1996.
- [17] “Lander Simulation & Training Solutions» Formación con simulación» El mundo en movimiento» Historia de la simulación,” 05-Mar-2012. [Online]. Available: <http://www.landersistimulation.com/formacion-con-simulacion/el-mundo-en-movimiento/historia-de-la-simulacion/>. [Accessed: 05-Mar-2012].
- [18] “Líneas de espera,” 22-Feb-2012. [Online]. Available: <http://lineasdeespera.tripod.com/origen.htm>. [Accessed: 22-Feb-2012].
- [19] “Líneas de espera- teoría de colas - Libro 969 - TOMA DE DECISIONES A TRAVÉS DE LA INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES,” 22-Feb-2012. [Online]. Available: <http://www.eumed.net/libros/2011b/969/lineas%20de%20espera%20teoria%20de%20colas.html>. [Accessed: 22-Feb-2012].
- [20] A. Kufmann, *Métodos y Modelos de la Investigación de Operaciones*, 4th ed. Cuba: Pueblo y Educación, 1975.
- [21] María de Lourdes Machín Villavicencio, “Modelación Matemática del área comercial de una sucursal bancaria del BPA en la Provincia de Cienfuegos,”

- Universidad de Cienfuegos “Carlos Rafael Rodríguez” Facultad de Ingeniería Informática, 2010.
- [22] Yusnel Díaz Fernández, “Modelos para el dimensionamiento de un centro de atención telefónica en la dirección territorial de la Empresa de Telecomunicaciones de Cuba en Cienfuegos,” Universidad de Cienfuegos “Carlos Rafael Rodríguez” Facultad de Ingeniería Informática, 2010.
- [23] *Output Analyzer*. Rockwell Software.
- [24] “Ridelio Miranda,” 07-Jun-2012. [Online]. Available: <http://10.14.16.4/rmiranda/>. [Accessed: 07-Jun-2012].
- [25] “Simulación,” 05-Mar-2012. [Online]. Available: <http://www.fib.upc.edu/retro-informatica/avui/simulacio.html>. [Accessed: 05-Mar-2012].
- [26] Mohammad R. Azarang and Eduardo García Dunna, *Simulación y Análisis de Modelos Estocásticos*, 1st ed. México: McGRAW-WILL, 1996.
- [27] “soporte.udg.mx --- TeleCom Coordinación de Telecomunicaciones y Redes,” 09-Apr-2012. [Online]. Available: http://soporte.udg.mx/tutoriales/conf_conexion/winnt/index.html. [Accessed: 09-Apr-2012].
- [28] *Statgraphics Centurión XV*. .
- [29] “Tecnologías de la información y la comunicación - Suárez y Alonso, Ramón Carlos - Google Libros,” 28-Feb-2012. [Online]. Available: <http://books.google.com.cu/books?id=oPRegn3QhpgC&printsec=frontcover&dq=Tecnolog%C3%ADas+de+la+informaci%C3%B3n+y+la+comunicaci%C3%B3n&hl=es&sa=X&ei=9fJMT7vZD6TpsQL1koEc&ved=0CDAQ6AEwAA#v=onepage&q=Tecnolog%C3%ADas%20de%20la%20informaci%C3%B3n%20y%20la%20comunicaci%C3%B3n&f=false>. [Accessed: 28-Feb-2012].
- [30] Ramón Carlos Suárez, *Tecnologías de la Información y la Comunicación. Introducción a los sistemas de información y de telecomunicación*, 1st ed. España: Ideaspropias Editorial, 2007.
- [31] “teorema_de_shannon.pdf.”.
- [32] “Teoría de colas - EcuRed,” 22-Feb-2012. [Online]. Available: http://www.ecured.cu/index.php/Teor%C3%ADa_de_colas#Aplicaciones_de_I

a_teor.C3.ADa_de_colas. [Accessed: 22-Feb-2012].

[33] "US-4.pdf." .

[34] "Velocidad de conexión - Wikipedia, la enciclopedia libre," 07-Jun-2012.

[Online]. Available:

http://es.wikipedia.org/wiki/Velocidad_de_conexi%C3%B3n. [Accessed: 07-Jun-2012].

[35] "Ventajas Y Desventajas De La Simulación," 07-Jun-2012. [Online]. Available:

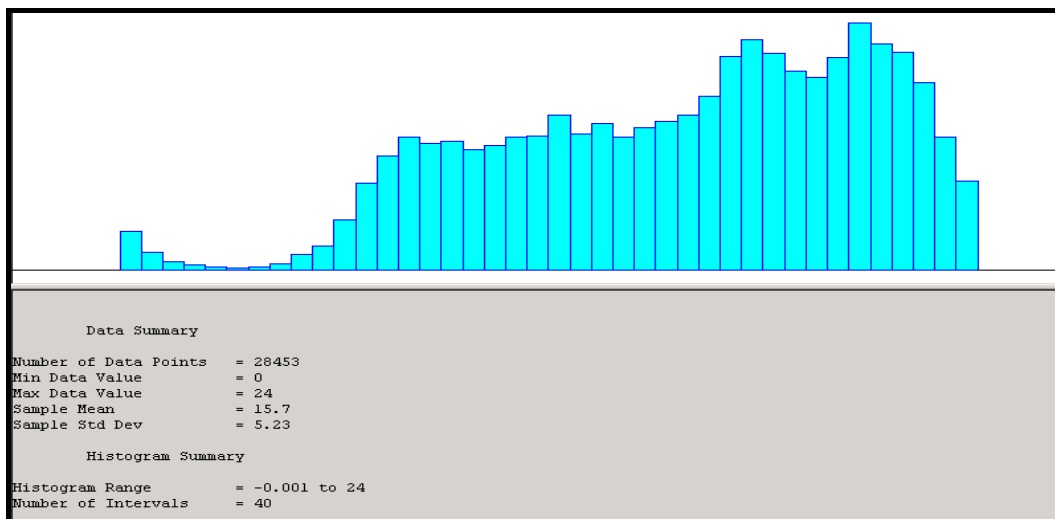
<http://www.mitecnologico.com/Main/VentajasYDesventajasDeLaSimulacion>.

[Accessed: 07-Jun-2012].

Anexos

Anexo A. Análisis estadístico del trimestre para el tiempo de llegada

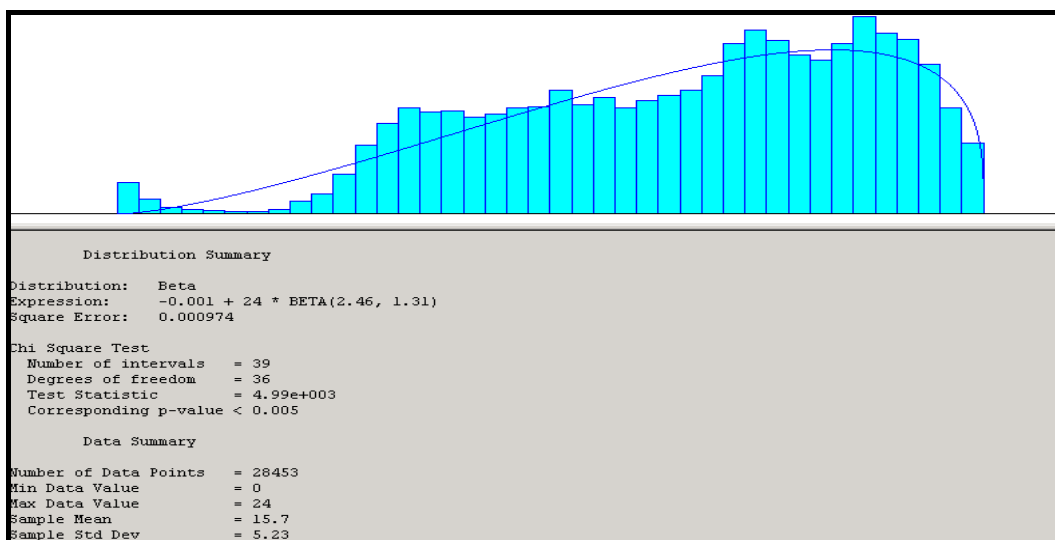
Anexo A 1. Histograma y análisis descriptivo



Anexo A 2. Resultados del FIT ALL SUMMARY

Fit All Summary	
Data File: F:\memoria\Modelo 4\Corridas\Periodos\Noviembre\12 AM - 8 AM\Análisis estadístico\arribos.txt	
Function	Sq Error
Beta	0.0173
Triangular	0.0282
Normal	0.037
Weibull	0.0444
Uniform	0.0538
Erlang	0.062
Gamma	0.0635
Lognormal	0.0764
Exponential	0.0768

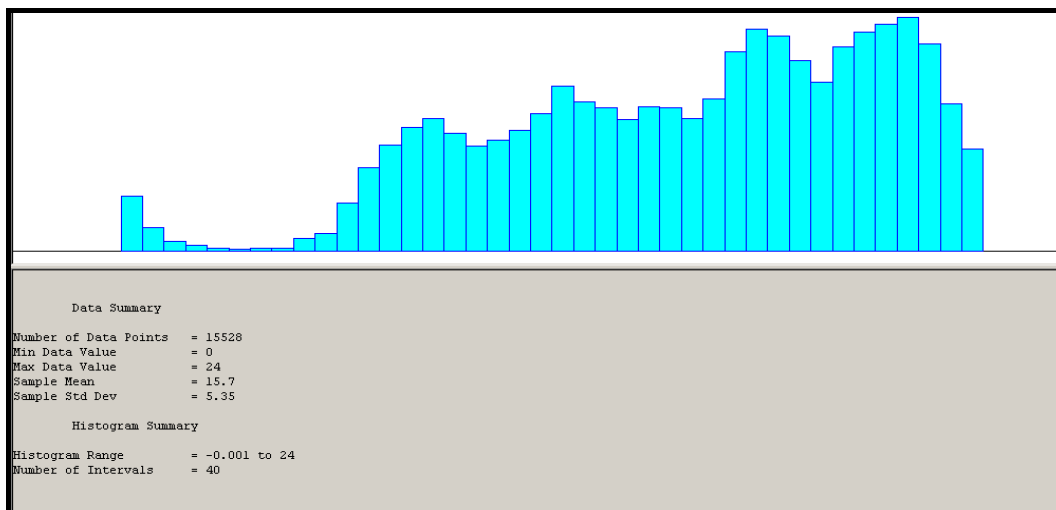
Anexo A 3. Resultados del ajuste a la distribución Beta



Anexo B. Análisis estadístico del mes de septiembre, octubre y noviembre para el tiempo de llegada

Anexo B 1. Análisis estadístico del mes de septiembre

Anexo B 1.1. Histograma y análisis descriptivo

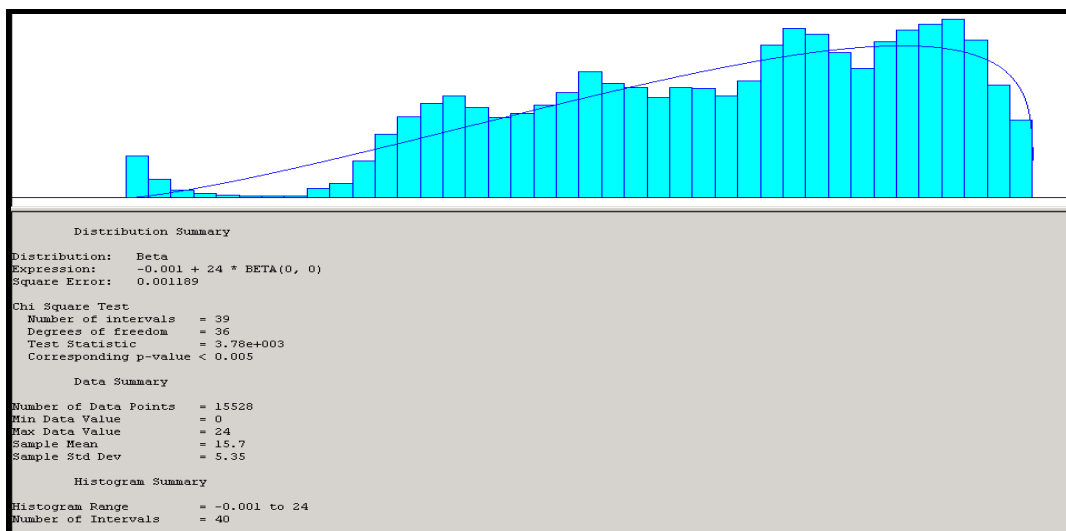


Anexo B 1.2. Resultados del FIT ALL SUMMARY

Fit All Summary	
Data File: E:\Red UCR\Análisis estadístico\Input Analyzer\Septiembre\datos septiembre.txt	
Function	Sq Error

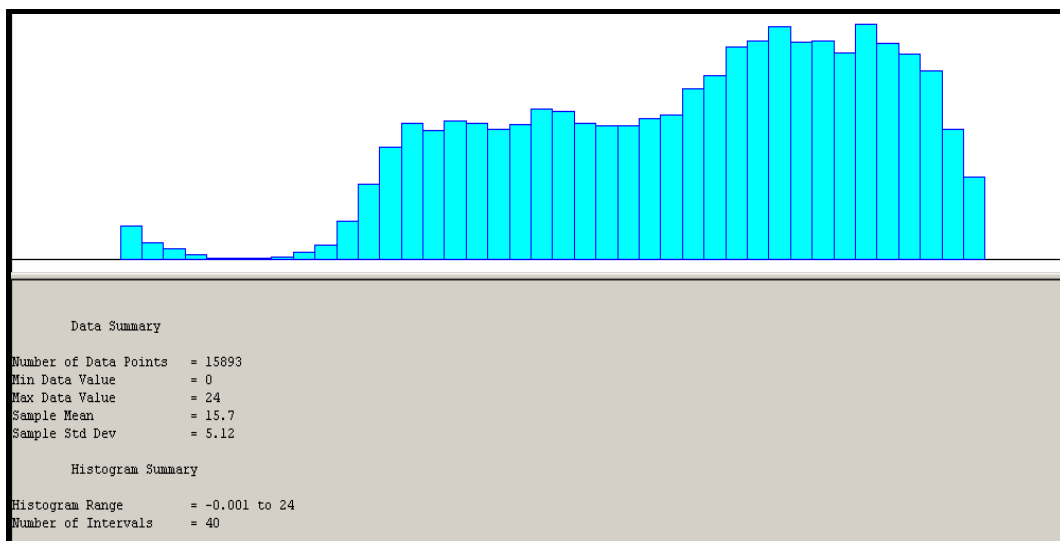
Beta	0.00119
Triangular	0.00147
Normal	0.00425
Weibull	0.00581
Erlang	0.00638
Gamma	0.0067
Uniform	0.00944
Lognormal	0.0114
Exponential	0.0228

Anexo B 1.3. Resultados del ajuste a la distribución Beta



Anexo B 2. Análisis estadístico del mes de Octubre

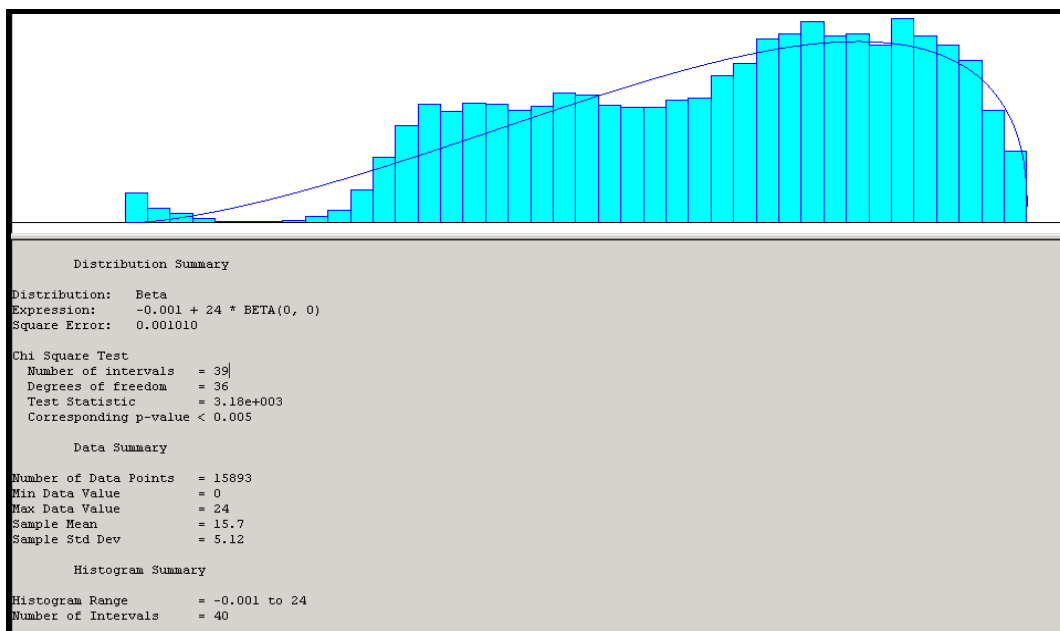
Anexo B 2.1 Histograma y análisis descriptivo



Anexo B 2.2. Resultados del FIT ALL SUMMARY

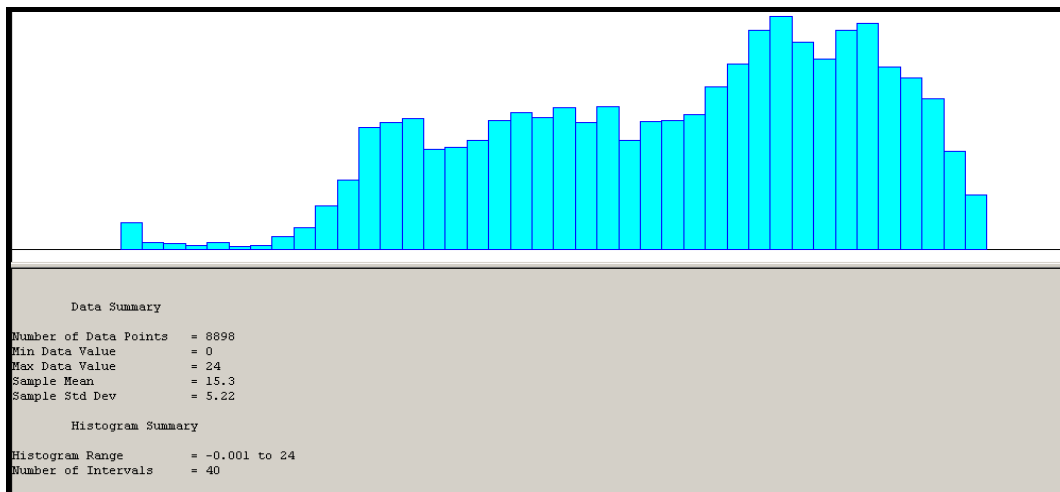
Fit All Summary	
Data File: E:\Red UCf\Análisis estadístico\Input Analyzer\Octubre\datos octubre.txt	
Function	Sq Error
Beta	0.00101
Triangular	0.0018
Normal	0.00394
Erlang	0.0055
Gamma	0.00563
Weibull	0.00607
Lognormal	0.009
Uniform	0.0101
Exponential	0.0236

Anexo B 2.3. Resultados del ajuste a la distribución Beta



Anexo B 3. Análisis estadístico del mes de Noviembre

Anexo B 3.1 Histograma y análisis descriptivo

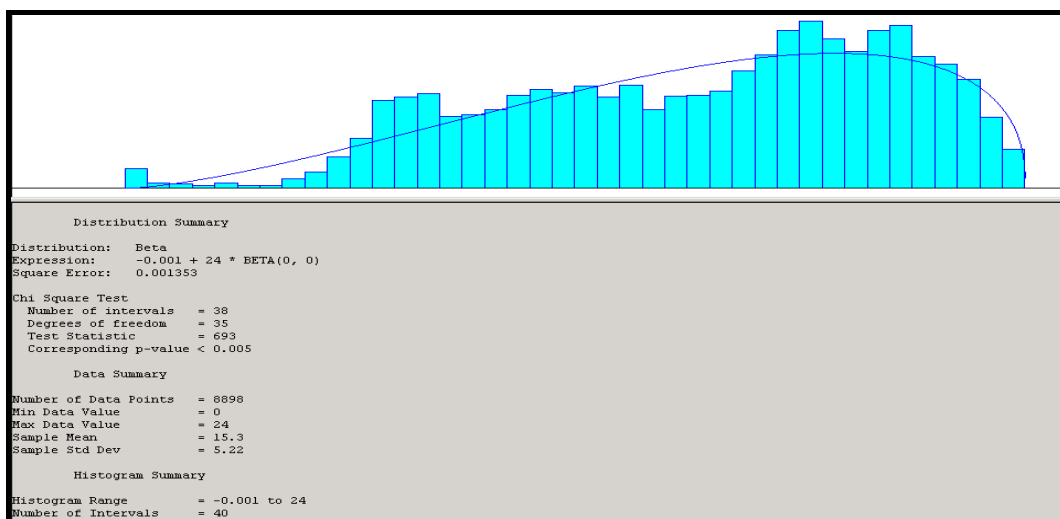


Anexo B 3.2. Resultados del FIT ALL SUMMARY

Fit All Summary	
Data File: E:\Red UCF\Análisis estadístico\Input Analyzer\Septiembre\datos septiembre.txt	
Function	Sq Error

Beta	0.00119
Triangular	0.00147
Normal	0.00425
Weibull	0.00581
Erlang	0.00638
Gamma	0.0067
Uniform	0.00944
Lognormal	0.0114
Exponential	0.0228

Anexo B 3.3. Resultados del ajuste a la distribución Beta



Anexo C. Distribuciones de los días del mes de septiembre, octubre y noviembre para el tiempo de llegada

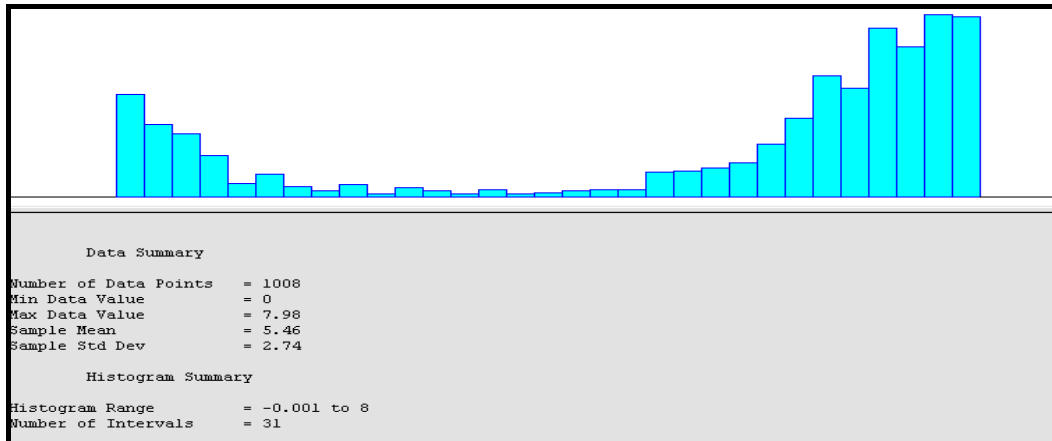
	Trimestre		
Día	Septiembre	Octubre	Noviembre
1	24 * BETA(1.95, 0.931)	24 * BETA(2.54, 1.34)	24 * BETA(2.51, 1.19)
2	24 * BETA(2.24, 1.09)	24 * BETA(2.72, 1.53)	24 * BETA(2.39, 1.2)
3	TRIA(-0.001, 22.3, 24)	24 * BETA(2.38, 1.2)	24 * BETA(2.87, 1.39)
4	-0.001+24 * BETA(2.59, 1.54)	24 * BETA(2.65, 1.28)	TRIA(0, 22.1, 24)
5	24 * BETA(2.89, 1.51)	NORM(10.2, 3.62)	24 * BETA(2.58, 1.33)
6	TRIA(0, 22.1, 24)	11 + 13 * BETA(1.27, 1.22)	-0.001+24*BETA(2.43, 1.6)
7	-0.001+24 * BETA(2.68, 1.18)	24 * BETA(2.73, 1.34)	24 * BETA(2.8, 1.56)
8	24 * BETA(2.51, 1.22)	24 * BETA(2.74, 1.63)	24 * BETA(2.79, 1.6)
9	-0.001+24 * BETA(2.26, 1.26)	-0.001+24 * BETA(2.55, 1.56)	TRIA(0, 18.9, 24)
10	24 * BETA(1.52, 0.923)	24 * BETA(2.92, 1.64)	TRIA(4, 18.9, 24)
11	24 * BETA(2.08, 1.29)	24 * BETA(1.92, 0.976)	TRIA(0, 15.5, 18)
12	24 * BETA(4.06, 1.58)	TRIA(0, 21.1, 23)	10 + 14 * BETA(1.29, 1.4)
13	1 + 23 * BETA(2.51, 1.4)	TRIA(2, 21.4, 24)	24 * BETA(2.44, 1.61)
14	24 * BETA(2.17, 1.1)	24 * BETA(2.62, 1.48)	24 * BETA(2.66, 1.39)
15	24 * BETA(1.58, 0.983)	1 + WEIB(12.3, 3.75)	24 * BETA(2.67, 1.38)
16	-0.001+24 * BETA(1.79, 1.11)		ERLA(3.24, 4)
17	24 * BETA(2.31, 1.3)	8 + 16 * BETA(1.47, 1.16)	24 * BETA(2.36, 1.12)
18	24 * BETA(2.39, 1.37)	-0.001+24*BETA(2.06, 0.931)	TRIA(0, 20, 24)
19	24 * BETA(2.4, 1.21)	24 * BETA(2.22, 1.06)	24 * BETA(2.47, 1.39)
20	-0.001+24 * BETA(1.97, 1.15)	TRIA(0, 20.8, 24)	24 * BETA(2.7, 1.57)
21	24 * BETA(2.12, 1.14)	24 * BETA(2.52, 1.52)	24 * BETA(2.23, 1.23)
22	24 * BETA(2.05, 1.13)	24 * BETA(2.68, 1.61)	NORM(7.99, 2.05)
23	24 * BETA(2.49, 1.19)	24 * BETA(2.79, 1.64)	
24	24 * BETA(2.36, 1.29)	24 * BETA(2.85, 1.28)	
25	24 * BETA(2.76, 1.47)	24 * BETA(2.57, 1.28)	
26	24 * BETA(2.37, 1.17)	24 * BETA(2.45, 1.23)	
27	24 * BETA(2.74, 1.34)	24 * BETA(2.45, 1.23)	
28	TRIA(0, 23.3, 24)	24 * BETA(2.33, 1.34)	
29	24 * BETA(2.56, 1.23)	24 * BETA(2.59, 1.44)	
30	24 * BETA(2.57, 1.3)	24 * BETA(2.57, 1.46)	
31		-0.001+24 * BETA(2.15, 1.07)	

Anexo D. Análisis estadístico del mes de septiembre, octubre y noviembre por períodos de 8 horas para el tiempo de llegada

Anexo D 1. De 12:00 AM – 08:00 AM

Anexo D 1.1. Análisis estadístico del mes de septiembre

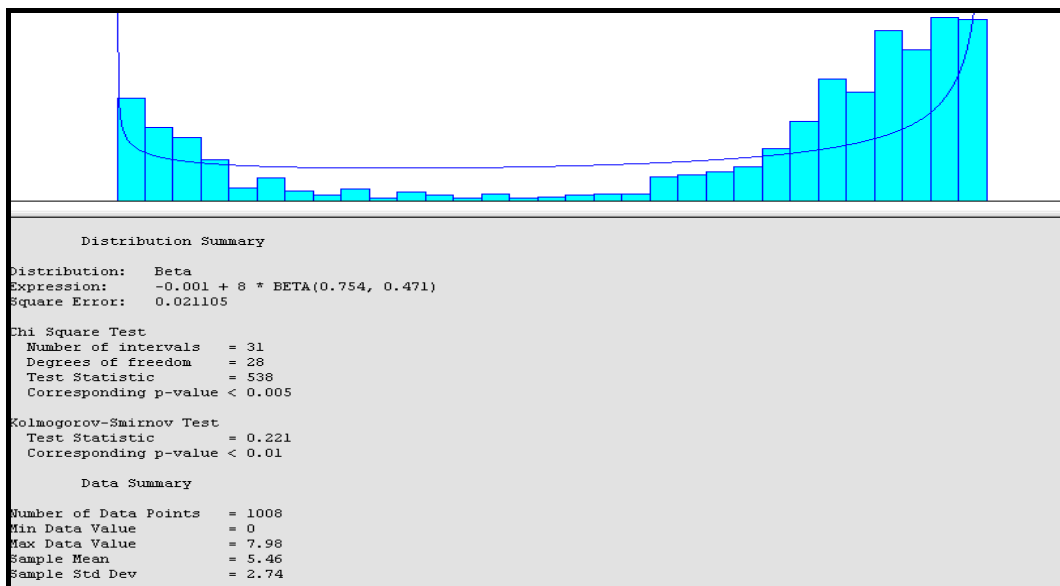
Anexo D 1.1.1. Histograma y análisis descriptivo



Anexo D 1.1.2. Resultados del FIT ALL SUMMARY

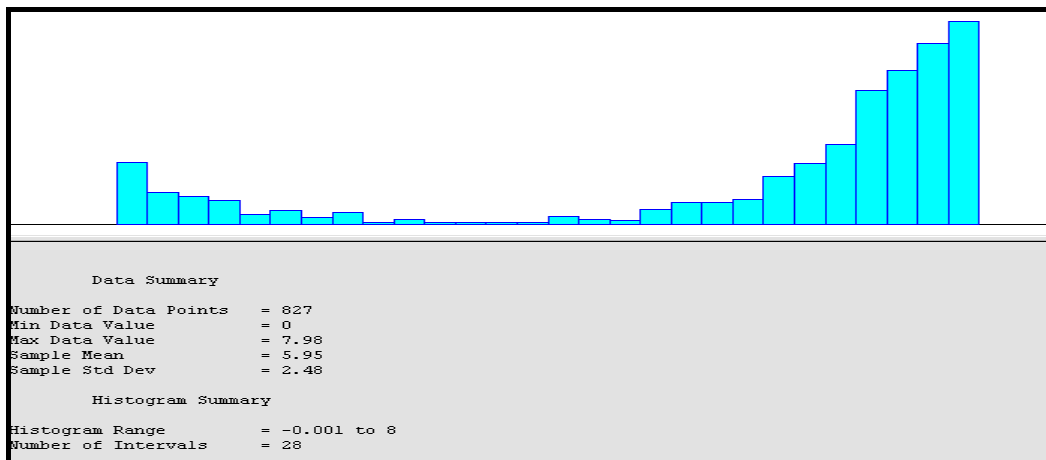
Fit All Summary	
Data File: F:\memoria\Modelo 4\Corridas\Periodos\Septiembre\12 AM - 8 AM\Análisis Estadístico\arribos.txt	
Function	Sq Error
Beta	0.0211
Triangular	0.035
Uniform	0.0407
Normal	0.0447
Exponential	0.0551
Erlang	0.0551
Weibull	0.0556
Gamma	0.0561
Lognormal	0.0608

Anexo D 1.1.3. Resultados del ajuste a la distribución Beta



Anexo D 1.2. Análisis estadístico del mes de octubre

Anexo D 1.2.1. Histograma y análisis descriptivo

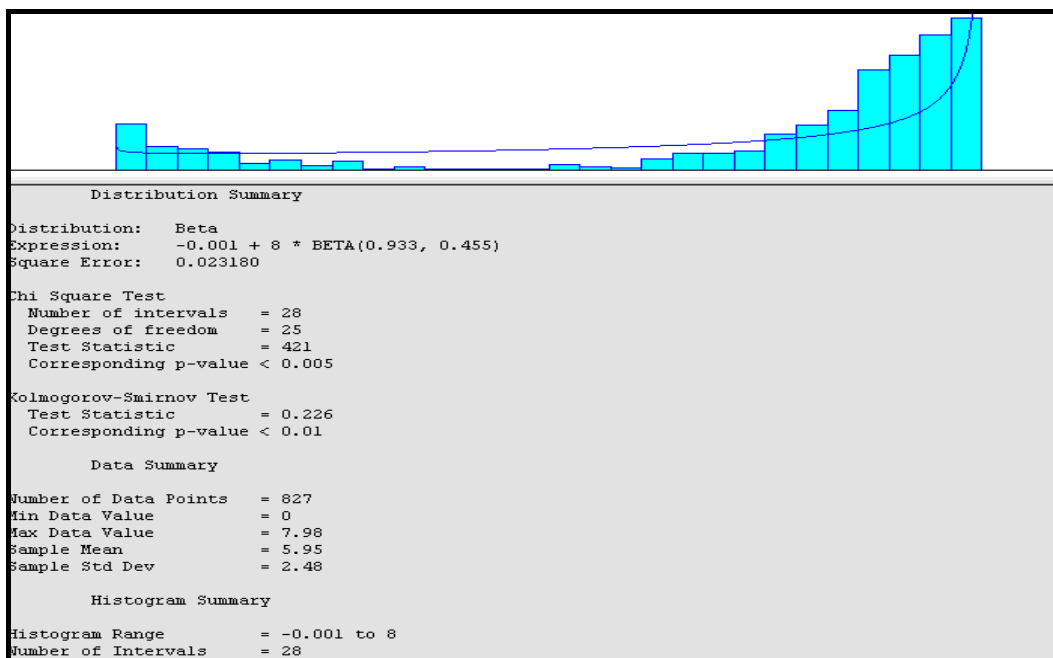


Anexo D 1.2.2. Resultados del FIT ALL SUMMARY

Fit All Summary	
Data File: F:\memoria\Modelo 4\Corridas\Periodos\Octubre\12 AM - 8 AM\Análisis Estadístico\arribos.txt	
Function Sq Error	

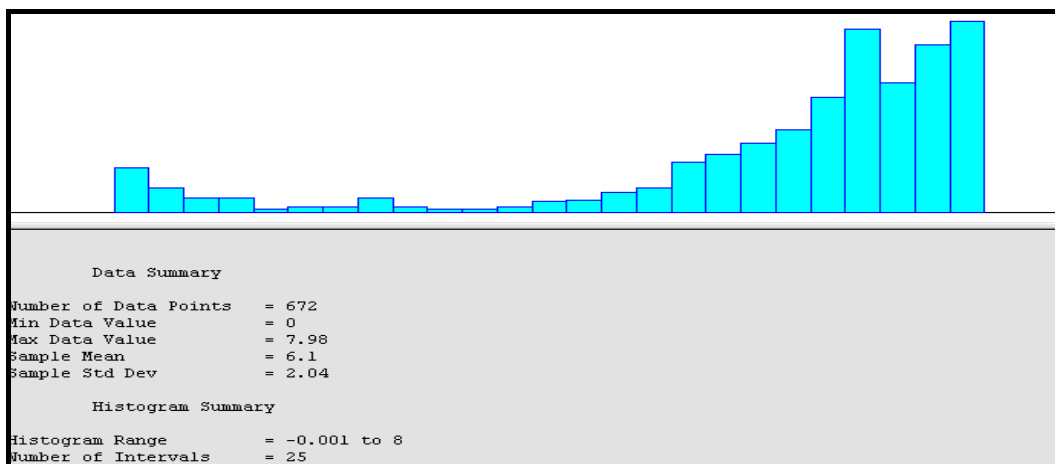
Beta	0.0232
Triangular	0.0437
Normal	0.0592
Uniform	0.0628
Weibull	0.0722
Erlang	0.0787
Gamma	0.0795
Exponential	0.0817
Lognormal	0.0875

Anexo D 1.2.3. Resultados del ajuste a la distribución Beta



Anexo D 1.3. Análisis estadístico del mes de noviembre

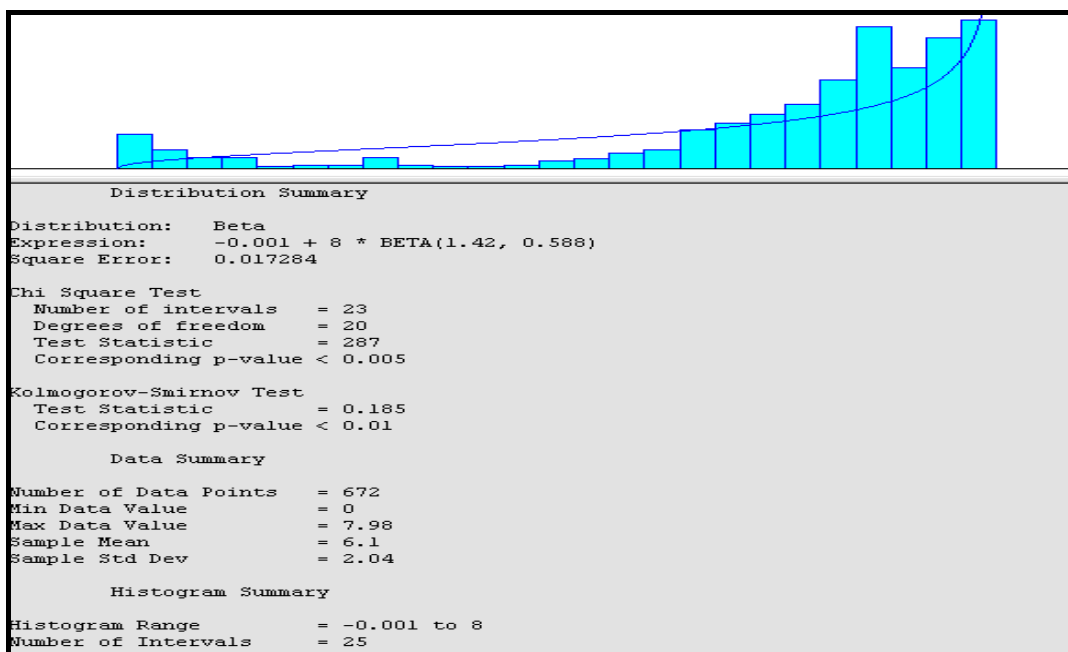
Anexo D 1.3.1. Histograma y análisis descriptivo



Anexo D 1.3.2. Resultados del FIT ALL SUMMARY

Fit All Summary	
Data File: F:\memoria\Modelo 4\Corridas\Periodos\Octubre\12 AM - 8 AM\Análisis Estadístico\arribos.txt	
Function	Sq Error
Beta	0.0232
Triangular	0.0437
Normal	0.0592
Uniform	0.0628
Weibull	0.0722
Erlang	0.0787
Gamma	0.0795
Exponential	0.0817
Lognormal	0.0875

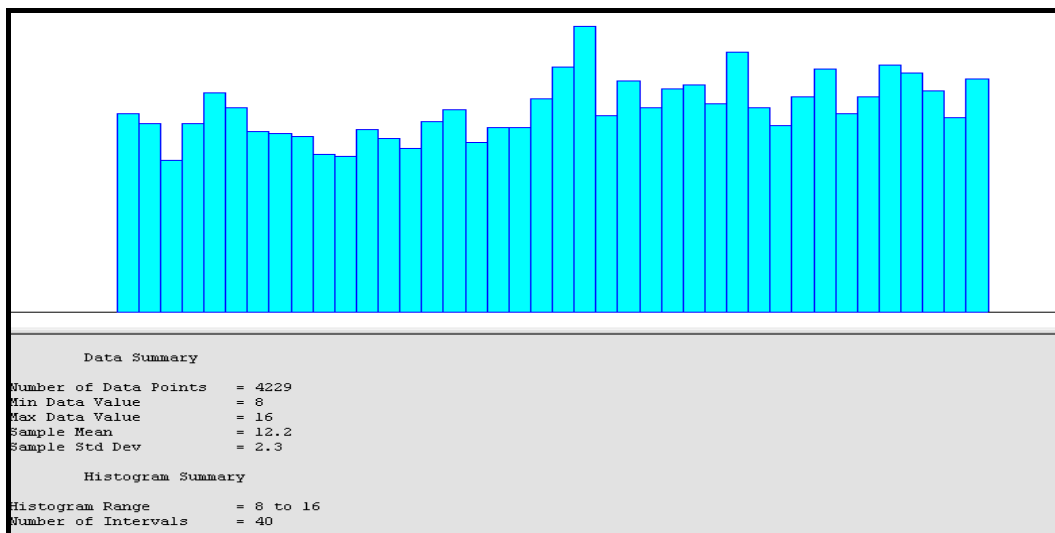
Anexo D 1.3.3. Resultados del ajuste a la distribución Beta



Anexo D 2. De 08:00 AM – 04:00 PM

Anexo D 2.1. Análisis estadístico del mes de septiembre

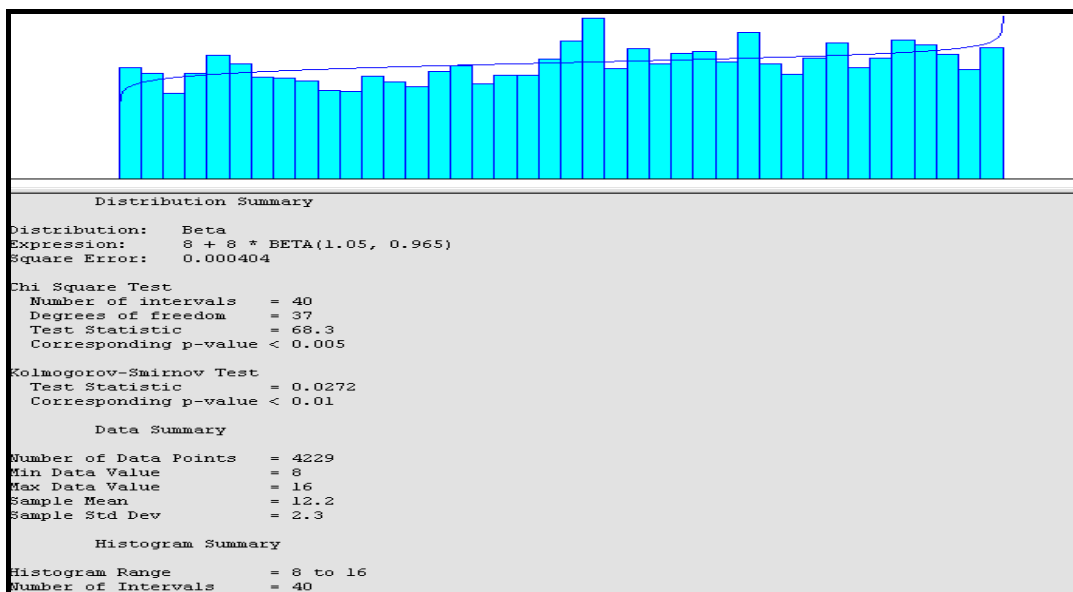
Anexo D 2.1.1. Histograma y análisis descriptivo



Anexo D 2.1.2. Resultados del FIT ALL SUMMARY

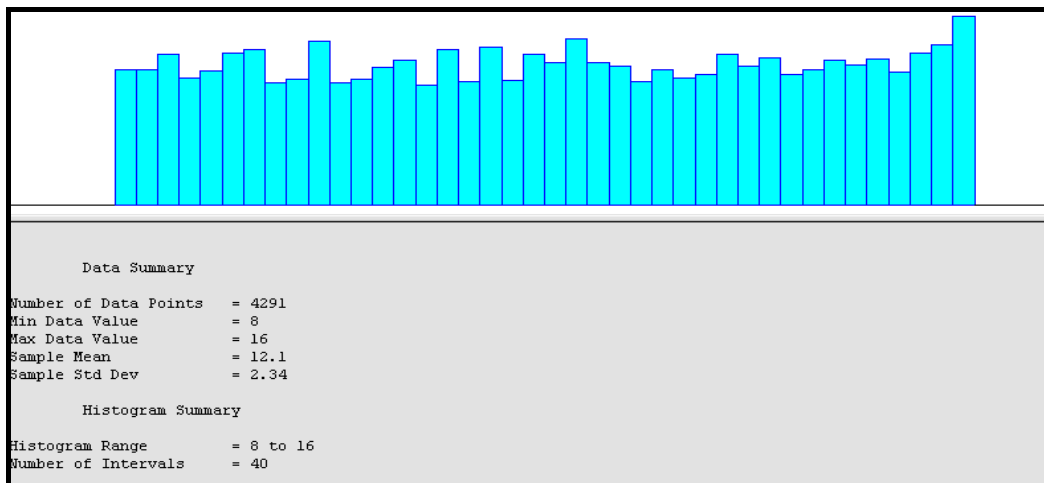
Fit All Summary	
Data File: F:\memoria\Modelo 4\Corridas\Periodos\Septiembre\8 AM - 4 PM\Análisis Estadístico\arribos.txt	
Function	Sq Error
Beta	0.000404
Uniform	0.000519
Normal	0.00348
Weibull	0.00502
Gamma	0.00547
Erlang	0.00551
Triangular	0.008
Exponential	0.00807
Lognormal	0.00885

Anexo D 2.1.3. Resultados del ajuste a la distribución Beta



Anexo D 2.2. Análisis estadístico del mes de octubre

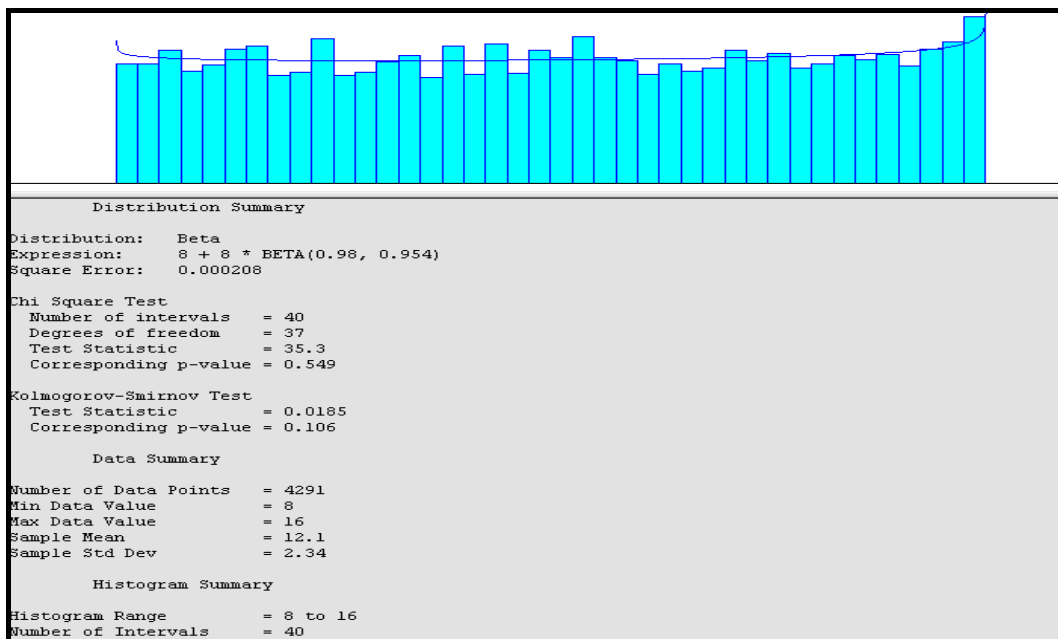
Anexo D 2.2.1. Histograma y análisis descriptivo



Anexo D 2.2.2. Resultados del FIT ALL SUMMARY

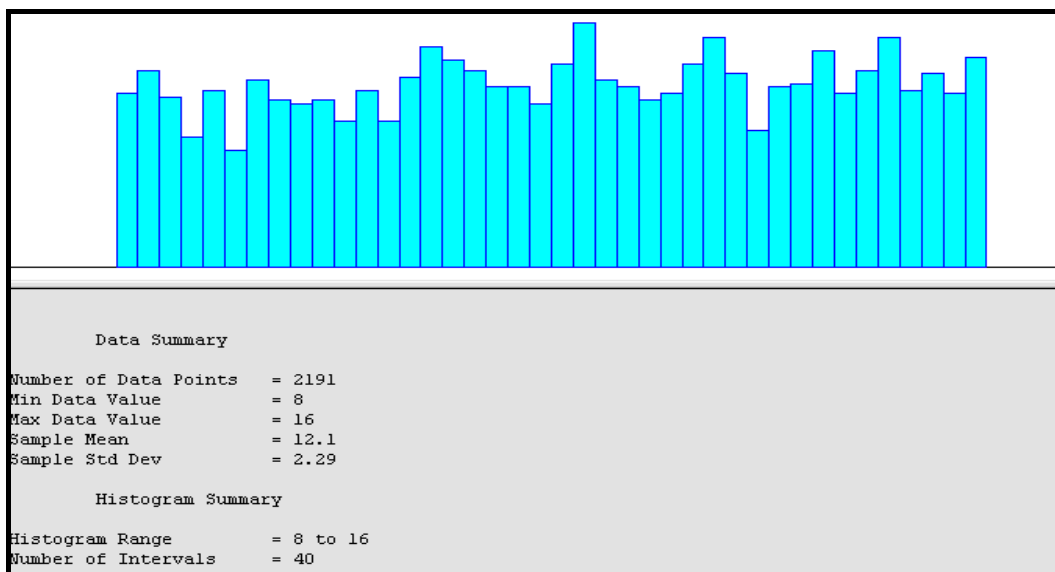
Fit All Summary	
Data File: F:\memoria\Modelo 4\Corridas\Periodos\Octubre\8 AM - 4 PM\Análisis Estadístico\arribos.txt	
Function	Sq Error
Beta	0.000208
Uniform	0.000264
Normal	0.00374
Weibull	0.00421
Gamma	0.00461
Erlang	0.00477
Exponential	0.00688
Lognormal	0.00759
Triangular	0.00777

Anexo D 2.2.3. Resultados del ajuste a la distribución Beta



Anexo D 2.3. Análisis estadístico del mes de noviembre

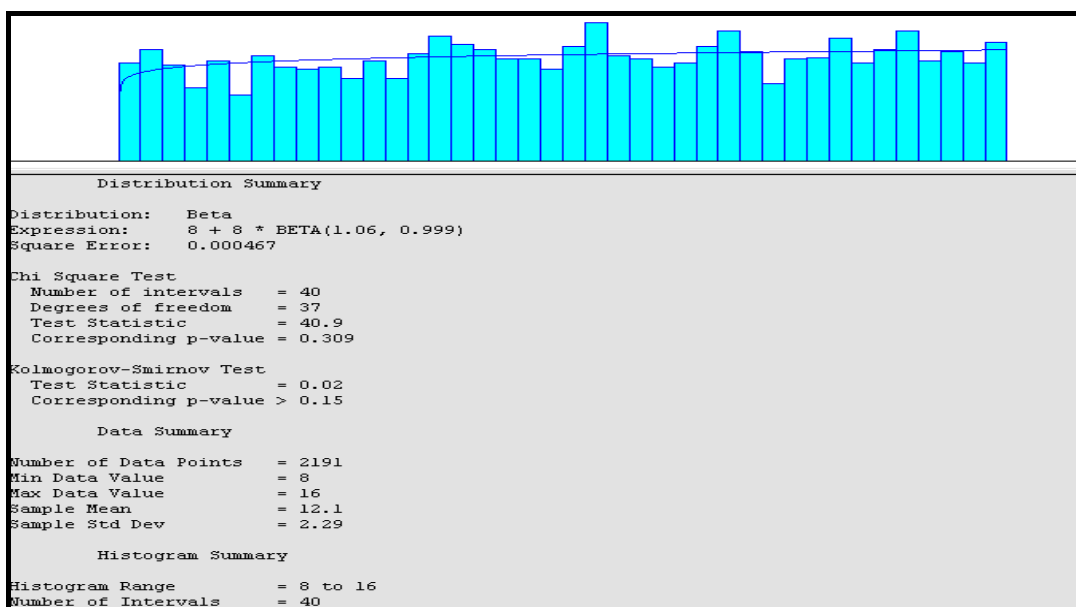
Anexo D 2.3.1. Histograma y análisis descriptivo



Anexo D 2.3.2. Resultados del FIT ALL SUMMARY

Fit All Summary	
Data File: F:\memoria\Modelo 4\Corridas\Periodos\Noviembre\8 AM - 4 PM\Análisis Estadístico\arribos.txt	
Function	Sq Error
Beta	0.000467
Uniform	0.000521
Normal	0.00337
Weibull	0.00447
Gamma	0.00505
Erlang	0.00506
Exponential	0.0078
Triangular	0.00797
Lognormal	0.00869

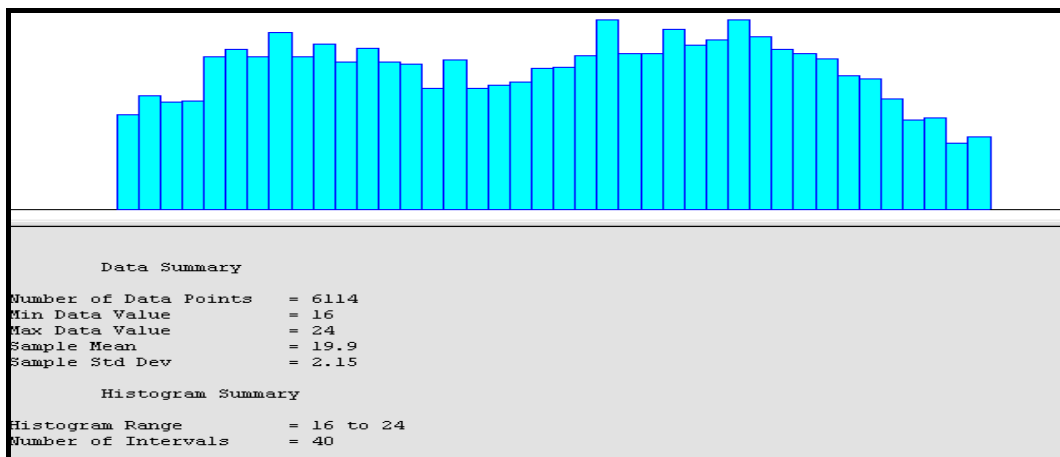
Anexo D 2.3.3. Resultados del ajuste a la distribución Beta



Anexo D 3. De 04:00 PM – 12:00 AM

Anexo D 3.1. Análisis estadístico del mes de septiembre

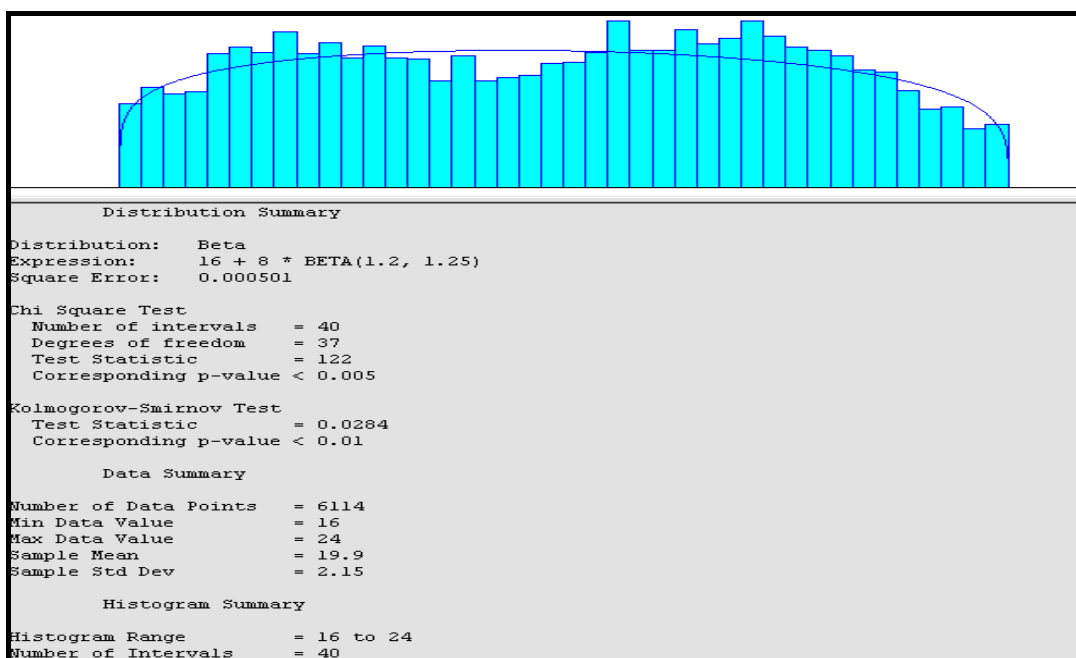
Anexo D 3.1.1. Histograma y análisis descriptivo



Anexo D 3.1.2. Resultados del FIT ALL SUMMARY

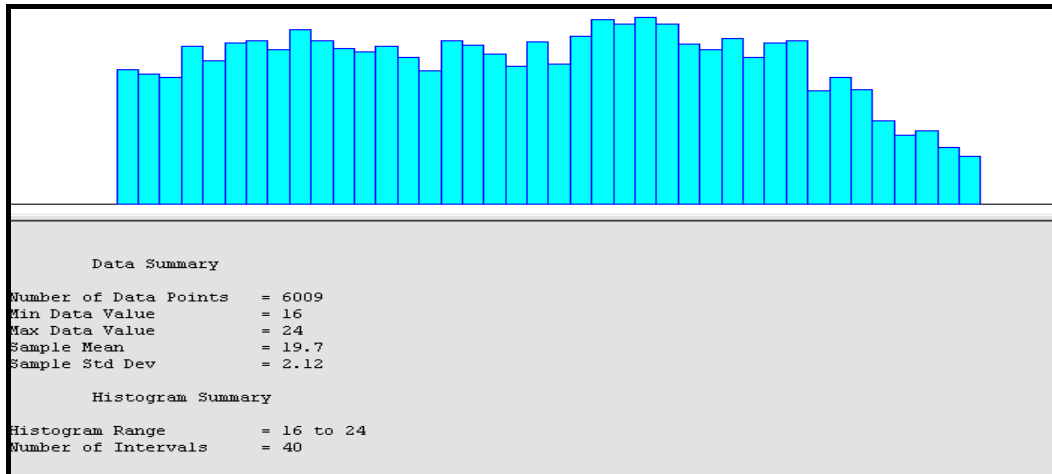
Fit All Summary	
Data File: F:\memoria\Modelo 4\Corridas\Periodos\Septiembre\4 PM - 12 AM\Análisis Estadístico\arribos.txt	
Function	Sq Error
Beta	0.000501
Uniform	0.00113
Normal	0.00284
Gamma	0.00367
Erlang	0.0037
Weibull	0.00449
Triangular	0.00573
Lognormal	0.00632
Exponential	0.00775

Anexo D 3.1.3. Resultados del ajuste a la distribución Beta



Anexo D 3.2. Análisis estadístico del mes de octubre

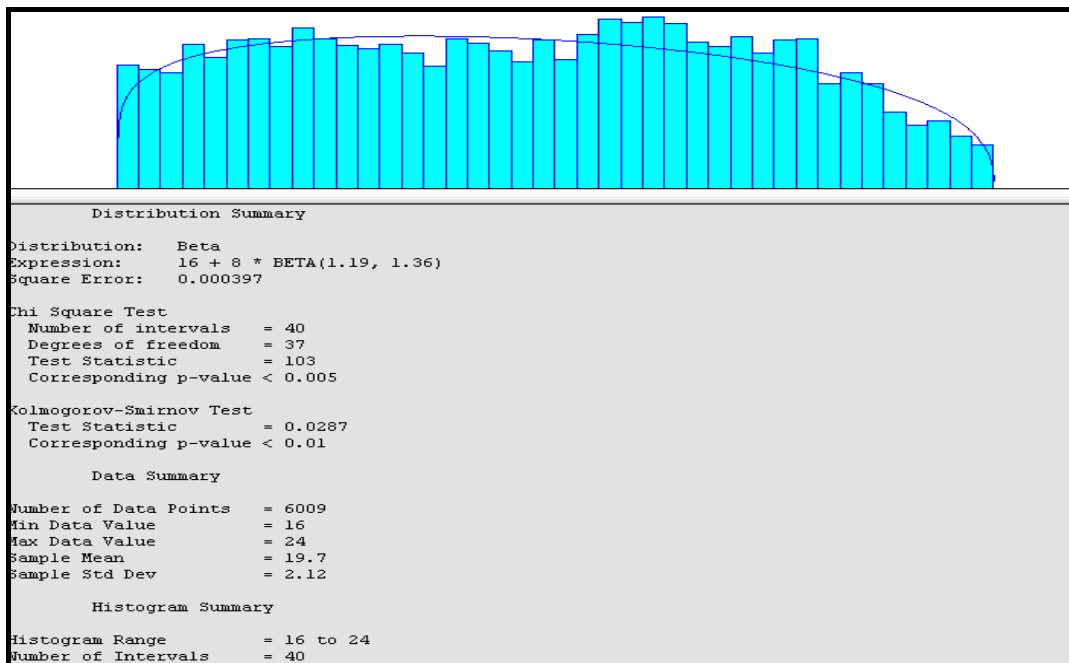
Anexo D 3.2.1. Histograma y análisis descriptivo



Anexo D 3.2.2. Resultados del FIT ALL SUMMARY

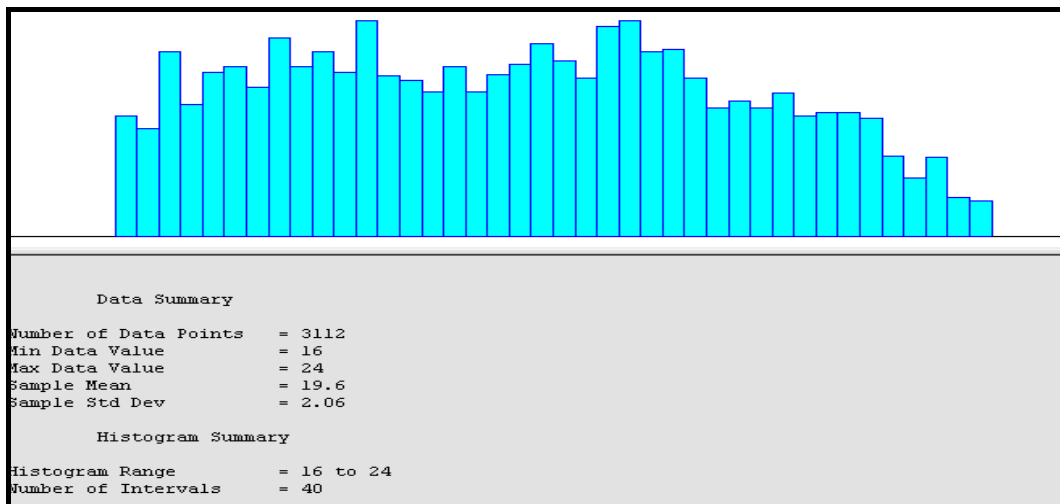
Fit All Summary	
Data File: F:\memoria\Modelo 4\Corridas\Periodos\Octubre\4 PM - 12 AM\Análisis Estadístico\arribos.txt	
Function	Sq Error
Beta	0.000397
Uniform	0.00139
Normal	0.00247
Gamma	0.00351
Erlang	0.00355
Weibull	0.00381
Triangular	0.00548
Lognormal	0.00662
Exponential	0.00681

Anexo D 3.2.3. Resultados del ajuste a la distribución Beta



Anexo D 3.3. Análisis estadístico del mes de noviembre

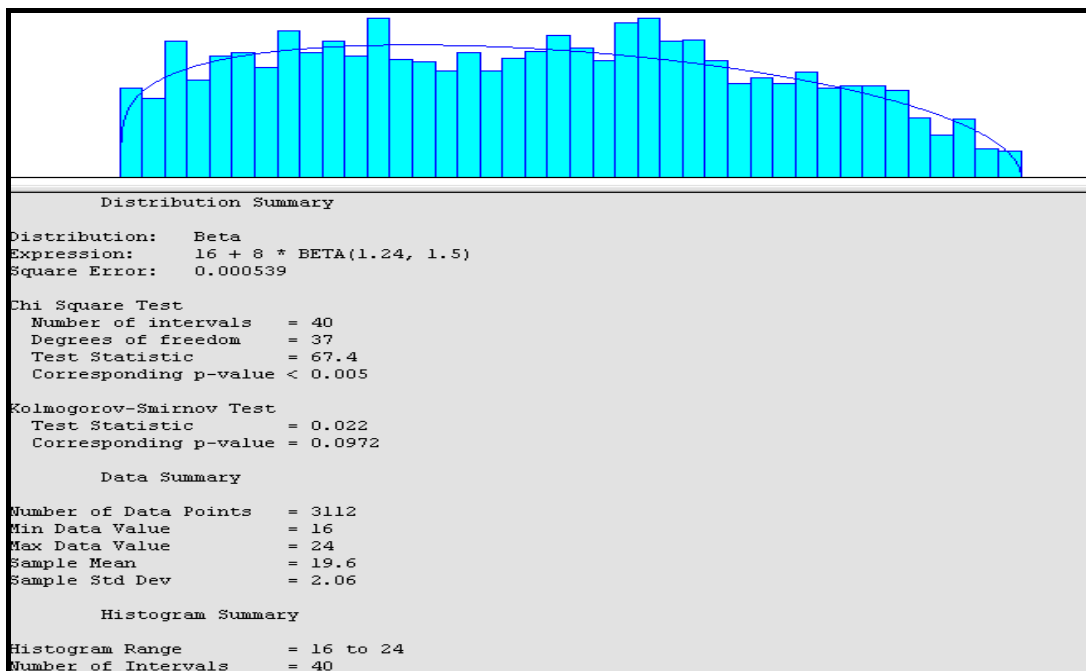
Anexo D 3.3.1. Histograma y análisis descriptivo



Anexo D 3.3.2. Resultados del FIT ALL SUMMARY

Fit All Summary	
Data File: F:\memoria\Modelo 4\Corridas\Periodos\Noviembre\4 PM - 12 AM\Análisis estadístico\arribos.txt	
Function	Sq Error
Beta	0.000539
Uniform	0.00216
Weibull	0.00227
Normal	0.00234
Erlang	0.0031
Gamma	0.00313
Triangular	0.00438
Lognormal	0.00598
Exponential	0.00711

Anexo D 3.3.3. Resultados del ajuste a la distribución Beta



Anexo E. Distribuciones de los días del mes de septiembre, octubre y noviembre en períodos de 8 horas para el tiempo de llegada

Anexo E1. Distribuciones de los días del mes de septiembre en períodos de 8 horas para el tiempo de llegada

	Septiembre		
Día	De 12:00 AM – 08:00 AM	De 08:00 AM – 04:00 PM	De 04:00 PM – 12:00 AM
1	$8 * \text{BETA}(0.544, 0.765)$	$9.1 + 6.9 * \text{BETA}(1.29, 1.05)$	$16 + 8 * \text{BETA}(1.13, 1.17)$
2	$8 * \text{BETA}(0.664, 0.581)$	$\text{NORM}(13.6, 1.85)$	$16 + 8 * \text{BETA}(1.02, 1.29)$
3	$-0.001 + 8 * \text{BETA}(0.547, 0.385)$	$8 + 8 * \text{BETA}(1.01, 1.18)$	$16 + 8 * \text{BETA}(1.16, 1.29)$
4	$-0.001 + 797 * \text{BETA}(0.334, 0.277)$	$8 + 8 * \text{BETA}(0.995, 1.18)$	$16 + 8 * \text{BETA}(1.19, 1.34)$
5	$0.26 + 7.74 * \text{BETA}(2.15, 0.634)$	$8 + 8 * \text{BETA}(1.13, 1.03)$	$16 + 8 * \text{BETA}(1.03, 1.21)$
6	$8 * \text{BETA}(1.75, 0.711)$	$8 + 8 * \text{BETA}(0.944, 0.85)$	$16 + 8 * \text{BETA}(1.14, 1.24)$
7	$-0.001 + 8 * \text{BETA}(0.573, 0.392)$	$8 + 8 * \text{BETA}(0.928, 0.651)$	$16 + 8 * \text{BETA}(1.2, 1.28)$
8	$8 * \text{BETA}(1.39, 0.58)$	$8 + 8 * \text{BETA}(0.938, 0.73)$	$16 + 8 * \text{BETA}(1.18, 1.35)$
9	$-0.001 + 8 * \text{BETA}(0.79, 0.44)$	$\text{UNIF}(8, 16)$	$16 + 8 * \text{BETA}(0.887, 1.03)$
10	$8 * \text{BETA}(0.657, 0.36)$	$8 + 5.83 * \text{BETA}(1.14, 1.58)$	$17.4 + 6.62 * \text{BETA}(1.4, 1.15)$
11	$8 * \text{BETA}(0.677, 0.441)$	$8 + 8 * \text{BETA}(1.01, 1.07)$	$\text{NORM}(20.3, 1.7)$
12	$\text{UNIF}(0.53, 1.9)$	$10 + 6 * \text{BETA}(1.43, 0.984)$	$16 + 8 * \text{BETA}(0.993, 1.1)$
13	$1 + 7 * \text{BETA}(1.53, 0.662)$	$8 + 8 * \text{BETA}(1.03, 0.928)$	$16 + 8 * \text{BETA}(1.36, 1.59)$
14	$8 * \text{BETA}(1.16, 0.54)$	$8 + 8 * \text{BETA}(1.09, 0.999)$	$16 + 8 * \text{BETA}(1.22, 1.07)$
15	$8 * \text{BETA}(0.612, 0.491)$	$8 + 8 * \text{BETA}(1.07, 1.02)$	$16 + 8 * \text{BETA}(1.07, 1.06)$
16	$-0.001 + 8 * \text{BETA}(0.703, 0.427)$	$8 + 7.96 * \text{BETA}(1.1, 1.23)$	$16 + 8 * \text{BETA}(1.38, 1.25)$
17	$8 * \text{BETA}(1.03, 0.57)$	$8 + 8 * \text{BETA}(0.952, 0.91)$	$16 + 8 * \text{BETA}(0.895, 0.985)$
18	$8 * \text{BETA}(0.742, 0.384)$	$8 + 8 * \text{BETA}(1.13, 1.07)$	$16 + 8 * \text{BETA}(1.62, 1.36)$
19	$8 * \text{BETA}(1.02, 0.543)$	$8 + 8 * \text{BETA}(1.2, 1.09)$	$16 + 8 * \text{BETA}(1.39, 1.36)$
20	$-0.001 + 8 * \text{BETA}(0.537, 0.401)$	$8 + 8 * \text{BETA}(1.16, 1.13)$	$16 + 8 * \text{BETA}(1.12, 1.19)$
21	$8 * \text{BETA}(0.893, 0.543)$	$8 + 8 * \text{BETA}(0.938, 0.984)$	$16 + 8 * \text{BETA}(1.27, 1.41)$
22	$8 * \text{BETA}(0.893, 0.543)$	$8 + 8 * \text{BETA}(1.05, 1.08)$	$16 + 8 * \text{BETA}(1.25, 1.28)$
23	$8 * \text{BETA}(0.883, 0.458)$	$8 + 8 * \text{BETA}(0.929, 0.758)$	$16 + 8 * \text{BETA}(1.17, 1.32)$
24	$8 * \text{BETA}(0.681, 0.454)$	$8 + 8 * \text{BETA}(0.993, 1.09)$	$16 + 8 * \text{BETA}(1.28, 1.38)$
25	$8 * \text{BETA}(0.359, 0.28)$	$8 + 8 * \text{BETA}(0.965, 0.96)$	$16 + 8 * \text{BETA}(1.39, 1.68)$
26	$8 * \text{BETA}(0.665, 0.395)$	$8 + 8 * \text{BETA}(1.14, 1.06)$	$16 + 8 * \text{BETA}(1.21, 1.28)$
27	$8 * \text{BETA}(1.15, 0.481)$	$8 + 8 * \text{BETA}(0.866, 0.681)$	$16 + 8 * \text{BETA}(1.12, 1.32)$
28	$8 * \text{BETA}(0.588, 0.443)$	$8 + 8 * \text{BETA}(0.979, 0.938)$	$16 + 8 * \text{BETA}(1.42, 1.17)$
29	$8 * \text{BETA}(1.14, 0.448)$	$8 + 8 * \text{BETA}(1.26, 0.918)$	$16 + 8 * \text{BETA}(1.31, 1.37)$

30	$8 * \text{BETA}(0.746, 0.306)$	$8 + 8 * \text{BETA}(1.23, 0.916)$	$16 + 8 * \text{BETA}(1.22, 1.3)$
----	---------------------------------	------------------------------------	-----------------------------------

Anexo E2. Distribuciones de los días del mes de octubre en períodos de 8 horas para el tiempo de llegada

	Octubre		
Día	De 12:00 AM – 08:00 AM	De 08:00 AM – 04:00 PM	De 04:00 PM – 12:00 AM
1	$8 * \text{BETA}(0.44, 0.32)$	$8 + 8 * \text{BETA}(1.12, 1.17)$	$16 + 8 * \text{BETA}(1.46, 1.49)$
2	$8 * \text{BETA}(1.22, 0.504)$	$8 + 8 * \text{BETA}(1.02, 0.926)$	$16 + 8 * \text{BETA}(1.47, 1.61)$
3	$8 * \text{BETA}(1.15, 0.494)$	$8 + 8 * \text{BETA}(0.844, 0.795)$	$16 + 8 * \text{BETA}(1.02, 1.11)$
4	$8 * \text{BETA}(1.13, 0.463)$	$8 + 8 * \text{BETA}(1.07, 0.898)$	$16 + 8 * \text{BETA}(1.48, 1.45)$
5	$8 * \text{BETA}(0.942, 0.429)$	$8 + 8 * \text{BETA}(0.73, 0.819)$	
6		$11 + 5 * \text{BETA}(1.22, 1.33)$	$16 + 8 * \text{BETA}(1.28, 1.45)$
7	$8 * \text{BETA}(1.24, 0.49)$	$8 + 8 * \text{BETA}(0.895, 0.795)$	$16 + 8 * \text{BETA}(1.42, 1.56)$
8	$8 * \text{BETA}(0.864, 0.54)$	$8 + 8 * \text{BETA}(1.2, 1.25)$	$16 + 8 * \text{BETA}(1.17, 1.49)$
9	$-0.001 + 8 * \text{BETA}(0.49, 0.322)$	$8 + 8 * \text{BETA}(0.943, 0.957)$	$16 + 8 * \text{BETA}(0.913, 1.26)$
10	$8 * \text{BETA}(0.891, 0.514)$	$8 + 8 * \text{BETA}(1.17, 1.07)$	$16 + 8 * \text{BETA}(1.25, 1.45)$
11	$8 * \text{BETA}(0.777, 0.528)$	$8 + 3 * \text{BETA}(0.68, 0.819)$	$\text{TRIA}(16, 17.3, 24)$
12	$8 * \text{BETA}(1.15, 0.487)$	$8 + 8 * \text{BETA}(0.779, 0.817)$	$16 + 7 * \text{BETA}(1.16, 1.41)$
13	$2.2 + 5.8 * \text{BETA}(3.33, 0.773)$	$8 + 8 * \text{BETA}(0.853, 0.829)$	$16 + 8 * \text{BETA}(1.25, 1.45)$
14	$8 * \text{BETA}(1.32, 0.461)$	$8 + 8 * \text{BETA}(0.903, 0.796)$	$16 + 8 * \text{BETA}(1.23, 1.51)$
15	$1.36 + 6.64 * \text{BETA}(2.73, 0.68)$	$8 + 8 * \text{BETA}(1.51, 1.66)$	$\text{NORM}(17.2, 0.392)$
16			
17		$8 + 8 * \text{BETA}(1.07, 0.957)$	$16 + 8 * \text{BETA}(0.979, 1.16)$
18	$-0.001 + 8 * \text{BETA}(0.663, 0.44)$	$8 + 8 * \text{BETA}(0.404, 0.355)$	$16 + 8 * \text{BETA}(0.961, 1.2)$
19	$8 * \text{BETA}(0.669, 0.431)$	$8 + 8 * \text{BETA}(0.836, 0.792)$	$16 + 8 * \text{BETA}(1.61, 1.35)$
20	$8 * \text{BETA}(1.32, 0.489)$	$8 + 8 * \text{BETA}(1.15, 1.2)$	$16 + 8 * \text{BETA}(1.27, 1.47)$
21	$8 * \text{BETA}(1.4, 0.529)$	$8 + 8 * \text{BETA}(1.02, 0.922)$	$16 + 8 * \text{BETA}(1.09, 1.3)$
22	$8 * \text{BETA}(1.25, 0.452)$	$8 + 8 * \text{BETA}(0.985, 1.1)$	$16 + 8 * \text{BETA}(1.33, 1.53)$
23	$8 * \text{BETA}(0.624, 0.545)$	$8 + 8 * \text{BETA}(1.23, 1.07)$	$16 + 8 * \text{BETA}(1.08, 1.27)$
24	$8 * \text{BETA}(2.02, 0.579)$	$8 + 8 * \text{BETA}(0.96, 0.81)$	$16 + 8 * \text{BETA}(1.13, 1.28)$
25	$0.22 + 7.78 * \text{BETA}(2.35, 0.592)$	$8 + 6.9 * \text{BETA}(1.3, 1.64)$	$16 + 8 * \text{BETA}(1.37, 1.49)$
26		$14.1 + 1.87 * \text{BETA}(1.2, 1.06)$	$16 + 8 * \text{BETA}(1.21, 1.37)$
27	$8 * \text{BETA}(0.814, 0.521)$	$8 + 8 * \text{BETA}(1.02, 1.13)$	$16 + 8 * \text{BETA}(1.08, 1.23)$
28	$0.02 + 7.98 * \text{BETA}(2.41, 0.761)$	$8 + 8 * \text{BETA}(0.996, 1.14)$	$16 + 8 * \text{BETA}(0.941, 1.03)$
29	$8 * \text{BETA}(0.928, 0.47)$	$8 + 8 * \text{BETA}(1.09, 0.894)$	$16 + 8 * \text{BETA}(0.943, 1.14)$

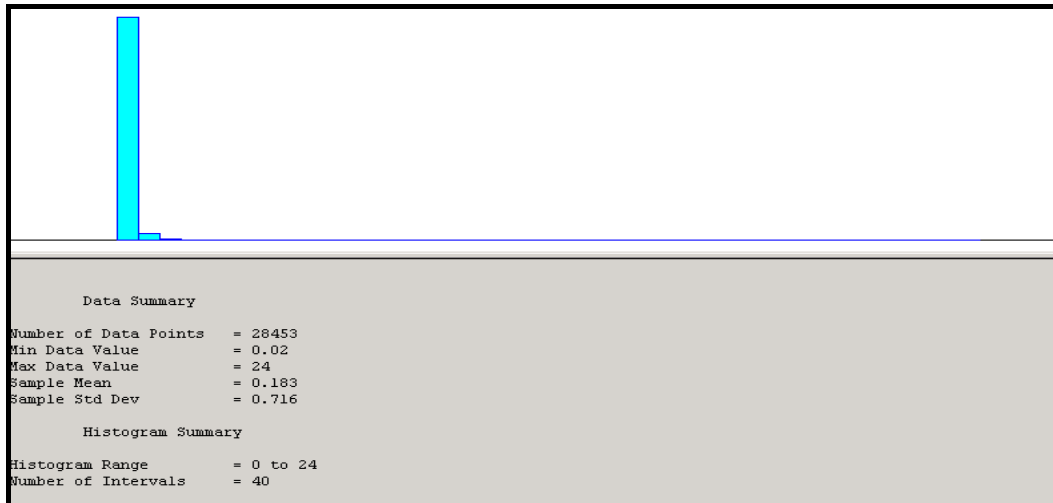
30	$8 * \text{BETA}(0.531, 0.415)$	$8 + 8 * \text{BETA}(1.04, 1.14)$	$16 + 8 * \text{BETA}(1.24, 1.41)$
31	$-0.001 + 8 * \text{BETA}(0.596, 0.316)$	$8 + 8 * \text{BETA}(1.16, 0.963)$	$16 + 8 * \text{BETA}(1.28, 1.29)$

Anexo E3. Distribuciones de los días del mes de noviembre en períodos de 8 horas para el tiempo de llegada

	Noviembre		
Día	De 12:00 AM – 08:00 AM	De 08:00 AM – 04:00 PM	De 04:00 PM – 12:00 AM
1	$8 * \text{BETA}(1.24, 0.537)$	$8 + 8 * \text{BETA}(0.887, 0.952)$	$16 + 8 * \text{BETA}(1.32, 1.37)$
2	$8 * \text{BETA}(0.724, 0.404)$	$8 + 8 * \text{BETA}(1.27, 1.08)$	$16 + 8 * \text{BETA}(1.04, 1.2)$
3	$8 * \text{BETA}(1.47, 0.576)$	$\text{UNIF}(8, 16)$	$16 + 8 * \text{BETA}(1.46, 1.57)$
4	$8 * \text{BETA}(1.06, 0.513)$	$8 + 8 * \text{BETA}(0.988, 0.916)$	$16 + 8 * \text{BETA}(1.17, 1.18)$
5	$8 * \text{BETA}(0.9, 0.429)$	$8 + 8 * \text{BETA}(1.09, 1.01)$	$16 + 8 * \text{BETA}(1.18, 1.27)$
6	$-0.001 + 8 * \text{BETA}(0.795, 0.403)$	$8 + 8 * \text{BETA}(1.04, 0.954)$	$16 + 8 * \text{BETA}(1.48, 1.85)$
7	$8 * \text{BETA}(3.24, 0.893)$	$8 + 8 * \text{BETA}(1.09, 0.967)$	$16 + 8 * \text{BETA}(1.27, 1.9)$
8	$8 * \text{BETA}(3.4, 0.976)$	$8 + 8 * \text{BETA}(1.03, 0.894)$	$16 + 8 * \text{BETA}(1.23, 1.83)$
9	$8 * \text{BETA}(2.78, 0.901)$	$8 + 8 * \text{BETA}(1.02, 0.856)$	$16 + 8 * \text{BETA}(1.32, 2.1)$
10	$4 + 4 * \text{BETA}(1.44, 0.973)$	$8 + 8 * \text{BETA}(1.12, 0.703)$	$16 + 8 * \text{BETA}(1.26, 1.74)$
11	$8 * \text{BETA}(2.41, 0.859)$	$8 + 8 * \text{BETA}(1.15, 0.897)$	$16 + \text{LOGN}(0.602, 0.525)$
12		$10 + 6 * \text{BETA}(1.51, 1.44)$	$16 + 8 * \text{BETA}(1.28, 1.69)$
13	$8 * \text{BETA}(1.51, 0.506)$	$8 + 8 * \text{BETA}(0.792, 0.86)$	$16 + 8 * \text{BETA}(1.19, 1.57)$
14	$8 * \text{BETA}(2.64, 1.02)$	$8 + 8 * \text{BETA}(0.988, 0.916)$	$16 + 8 * \text{BETA}(1.21, 1.62)$
15	$8 * \text{BETA}(1.29, 0.381)$	$8 + 8 * \text{BETA}(1.17, 1.33)$	$16 + 8 * \text{BETA}(1.39, 1.86)$
16	$8 * \text{BETA}(1.22, 0.403)$	$8 + 8 * \text{BETA}(0.99, 1.45)$	$16 + 8 * \text{BETA}(0.837, 0.853)$
17	$8 * \text{BETA}(0.445, 0.566)$	$8.03 + 7.97 * \text{BETA}(1.2, 1.06)$	$16 + 8 * \text{BETA}(2.84, 2.19)$
18	$0.25 + 7.75 * \text{BETA}(1.89, 0.563)$	$8 + 8 * \text{BETA}(1.43, 1.28)$	$16 + 8 * \text{BETA}(1.32, 1.62)$
19	$8 * \text{BETA}(1.8, 0.547)$	$8 + 8 * \text{BETA}(0.963, 1.1)$	$16 + 8 * \text{BETA}(1.37, 1.61)$
20	$8 * \text{BETA}(0.791, 0.423)$	$8 + 8 * \text{BETA}(1.05, 0.974)$	$16 + 8 * \text{BETA}(0.932, 1.27)$
21	$8 * \text{BETA}(2.54, 0.675)$	$8 + 8 * \text{BETA}(0.856, 0.934)$	$16 + 8 * \text{BETA}(1.13, 1.34)$
22	$8 * \text{BETA}(2.03, 0.465)$	$\text{TRIA}(8, 8.87, 11.9)$	

Anexo F. Análisis estadístico del trimestre para el tiempo de servicio

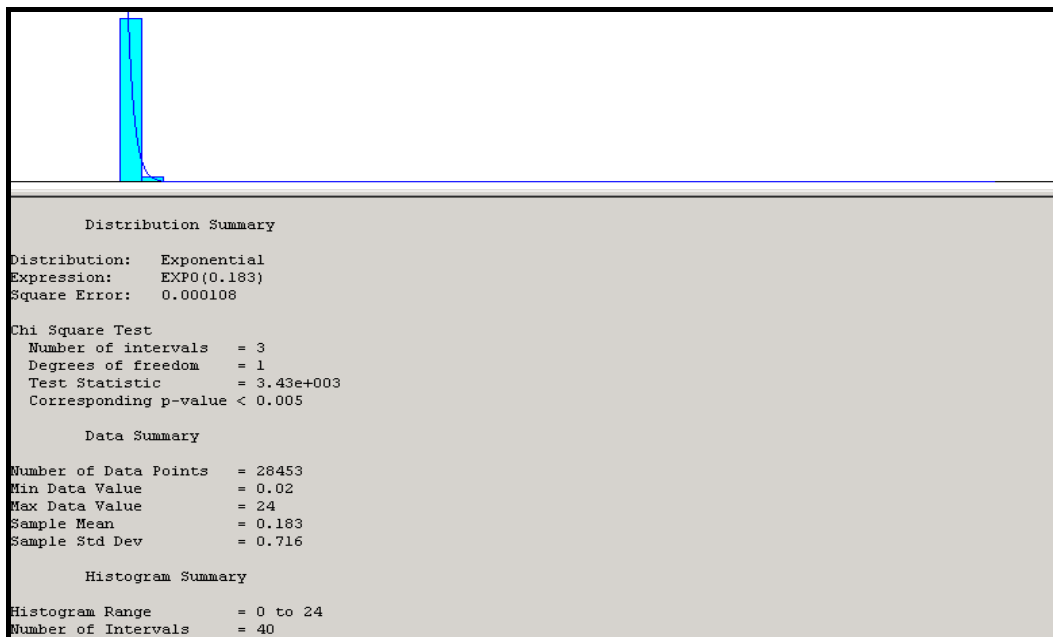
Anexo F 1. Histograma y análisis descriptivo



Anexo F 2. Resultados del FIT ALL SUMMARY

Fit All Summary	
Data File: E:\memoria\Modelo 4\Corridas\Trimestre\Programa-Tesi Trimestre\Análisis estadístico\Servicio\datos trimestre.txt	
Function	Sq Error
Erlang	0.000108
Exponential	0.000108
Lognormal	0.000354
Weibull	0.0126
Gamma	0.016
Beta	0.0915
Normal	0.438
Triangular	0.874
Uniform	0.891

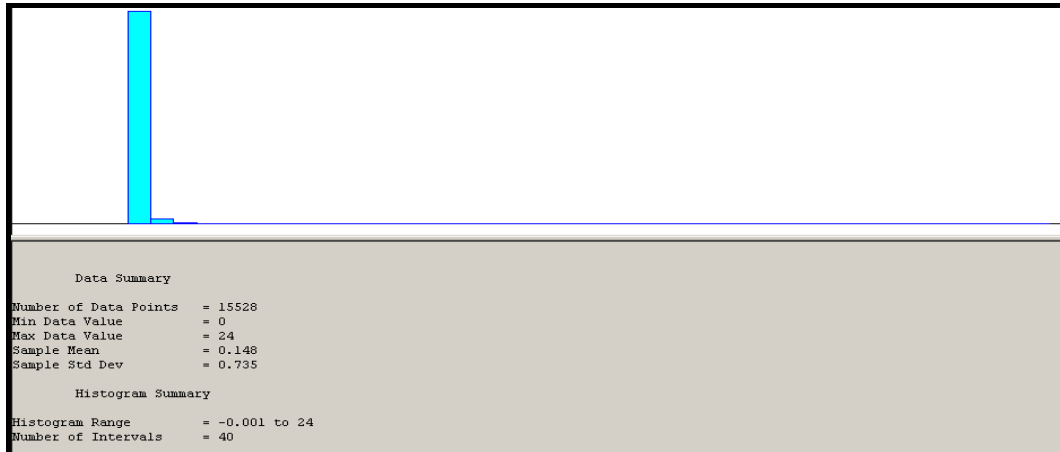
Anexo F 3. Resultados del ajuste a la distribución Exponencial



Anexo G. Análisis estadístico del mes de septiembre, octubre y noviembre para el tiempo de servicio

Anexo G 1. Análisis estadístico del mes de septiembre

Anexo G 1.1. Histograma y análisis descriptivo



Anexo G 1.2. Resultados del FIT ALL SUMMARY

Fit All Summary	
Data File: E:\Red UCf\Análisis estadístico\Input Analyzer\Tiempo de ocupacion\Septiembre\datos septiembre.txt	
Function	Sq Error

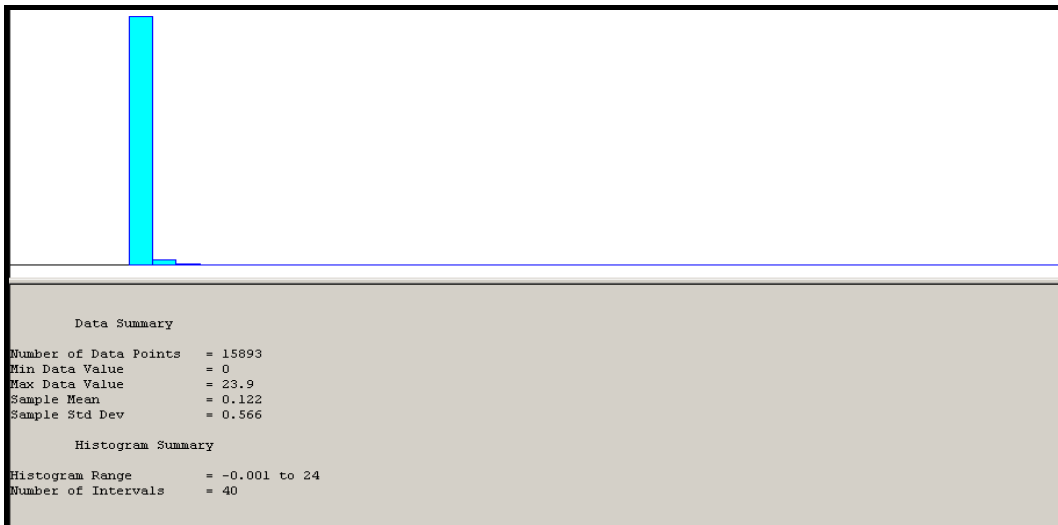
Weibull	5.46e-005
Exponential	0.00049
Erlang	0.00049
Beta	0.0962
Gamma	0.108
Lognormal	0.178
Normal	0.457
Triangular	0.884
Uniform	0.902

Anexo G 1.3. Resultados del ajuste a la distribución Weibull



Anexo G 2. Análisis estadístico del mes de Octubre

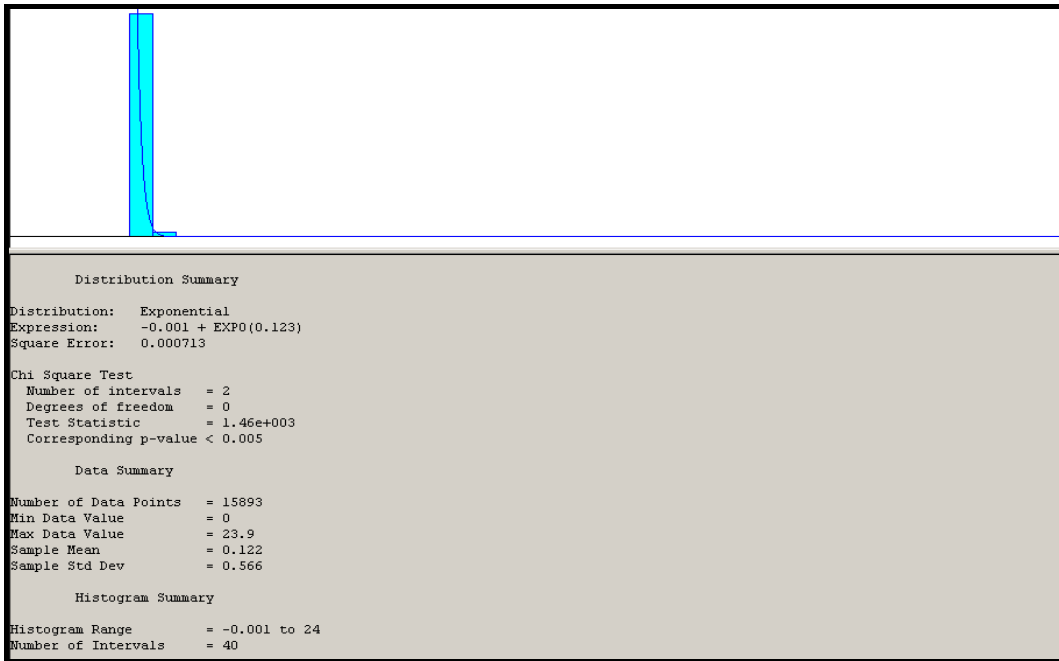
Anexo G 2.1 Histograma y análisis descriptivo



Anexo G 2.2. Resultados del FIT ALL SUMMARY

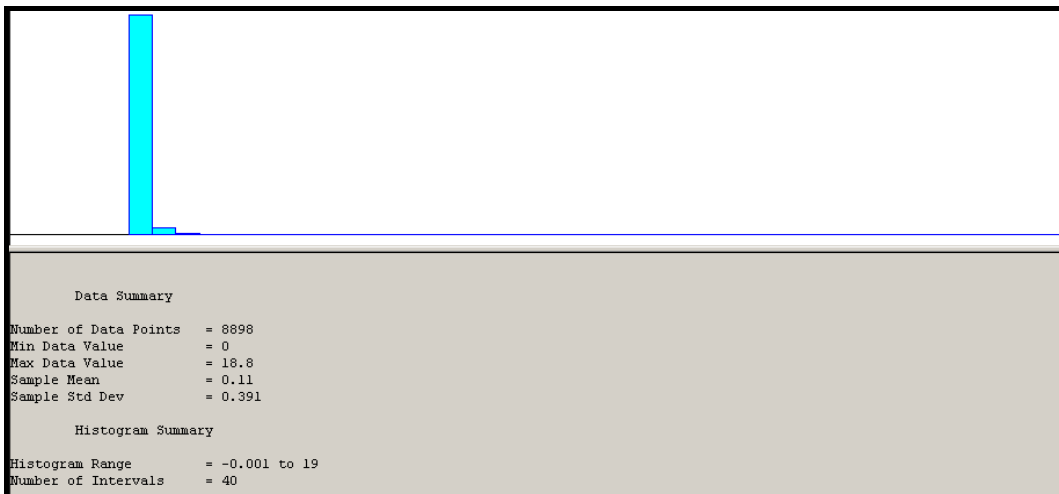
Fit All Summary	
Data File: E:\Red UCf\Análisis estadístico\Input Analyzer\Tiempo de ocupacion\Octubre\datos octubre.txt	
Function	Sq Error
Erlang	0.000713
Exponential	0.000713
Weibull	0.000735
Beta	0.101
Gamma	0.11
Lognormal	0.203
Normal	0.364
Triangular	0.9
Uniform	0.917

Anexo G 2.3. Resultados del ajuste a la distribución Exponencial



Anexo G 3. Análisis estadístico del mes de Noviembre

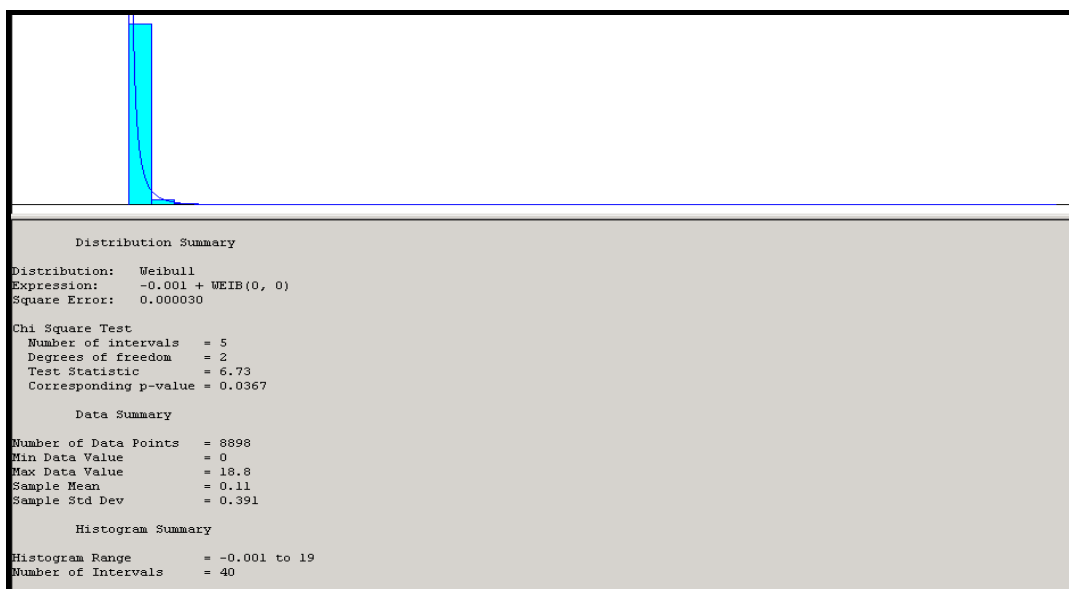
Anexo G 3.1 Histograma y análisis descriptivo



Anexo G 3.2. Resultados del FIT ALL SUMMARY

Fit All Summary	
Data File: E:\Red UCF\Análisis estadístico\Input Analyzer\Tiempo de ocupación\Noviembre\datos noviembre.txt	
Function	Sq Error
-----	-----
Weibull	3.01e-005
Exponential	0.00112
Erlang	0.00112
Beta	0.092
Gamma	0.102
Lognormal	0.185
Normal	0.289
Triangular	0.876
Uniform	0.893

Anexo G 3.3. Resultados del ajuste a la distribución Weibull



Anexo H. Distribuciones de los días del mes de septiembre, octubre y noviembre para el tiempo de llegada

	Meses		
Día	Septiembre	Octubre	Noviembre
1	LOGN(0.235, 0.516)	WEIB(0.128, 0.825)	LOGN(0.147, 0.214)
2	LOGN(0.154, 0.281)	2 * BETA(0.407, 5.07)	LOGN(0.14, 0.205)
3	WEIB(0.142, 0.812)	EXPO(0.333)	LOGN(0.154, 0.249)
4	LOGN(0.13, 0.191)	WEIB(0.147, 0.732)	LOGN(0.124, 0.191)
5	LOGN(0.137, 0.222)	EXPO(0.412)	LOGN(0.142, 0.219)
6	LOGN(0.143, 0.222)	LOGN(0.166, 0.274)	LOGN(0.142, 0.226)
7	LOGN(0.155, 0.27)	2.29 * BETA(0.287, 3.63)	2.73 * BETA(0.253, 4.12)
8	EXPO(0.176)	LOGN(0.127, 0.199)	LOGN(0.138, 0.207)
9	EXPO(0.28)	LOGN(0.131, 0.203)	LOGN(0.132, 0.2)
10	WEIB(0.219, 0.52)	LOGN(0.142, 0.222)	LOGN(0.154, 0.262)
11	LOGN(0.157, 0.273)	WEIB(0.128, 0.829)	EXPO(0.393)
12	WEIB(0.17, 0.674)	LOGN(0.161, 0.268)	LOGN(0.143, 0.214)
13	LOGN(0.163, 0.281)	2 * BETA(0.334, 4.15)	LOGN(0.147, 0.23)
14	WEIB(0.136, 0.793)	WEIB(0.138, 0.722)	LOGN(0.139, 0.216)
15	WEIB(0.15, 0.672)	WEIB(0.127, 0.913)	LOGN(0.177, 0.282)

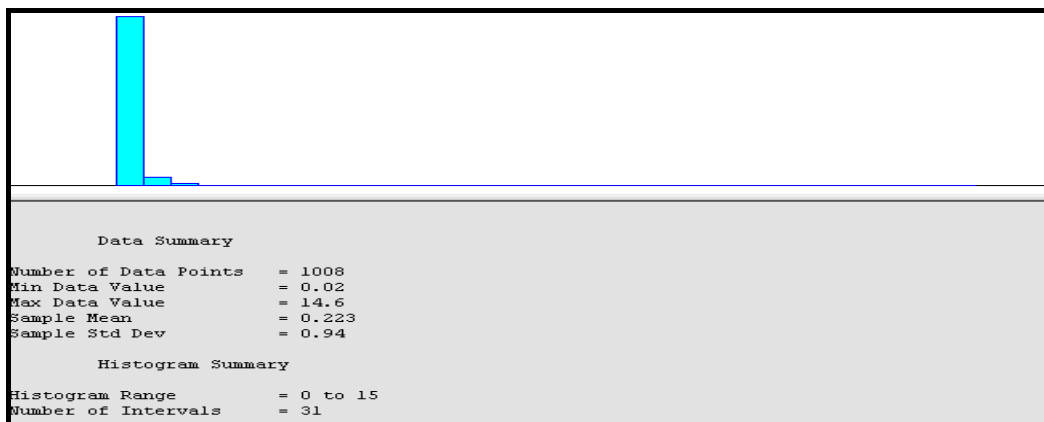
16	WEIB(0.15, 0.672)		LOGN(0.153, 0.255)
17	LOGN(0.138, 0.22)	LOGN(0.166, 0.272)	EXPO(0.297)
18	LOGN(0.148, 0.256)	WEIB(0.144, 0.855)	LOGN(0.147, 0.234)
19	LOGN(0.15, 0.234)	LOGN(0.149, 0.245)	LOGN(0.153, 0.251)
20	EXPO(0.226)	LOGN(0.157, 0.263)	LOGN(0.159, 0.267)
21	LOGN(0.152, 0.252)	LOGN(0.15, 0.237)	LOGN(0.136, 0.218)
22	LOGN(0.146, 0.238)	WEIB(0.135, 0.839)	WEIB(0.137, 0.856)
23	LOGN(0.128, 0.182)	WEIB(0.151, 0.783)	
24	LOGN(0.143, 0.229)	LOGN(0.143, 0.219)	
25	LOGN(0.123, 0.192)	EXPO(0.298)	
26	LOGN(0.148, 0.23)	LOGN(0.138, 0.19)	
27	WEIB(0.14, 0.685)	LOGN(0.129, 0.184)	
28	LOGN(0.142, 0.208)	LOGN(0.115, 0.161)	
29	EXPO(0.351)	LOGN(0.151, 0.224)	
30	LOGN(0.156, 0.258)	LOGN(0.128, 0.186)	
31		LOGN(0.183, 0.299)	

Anexo I. Análisis estadístico del mes de septiembre, octubre y noviembre por períodos de 8 horas para el tiempo de servicio

Anexo I 1. De 12:00 AM – 08:00 AM

Anexo I 1.1. Análisis estadístico del mes de septiembre

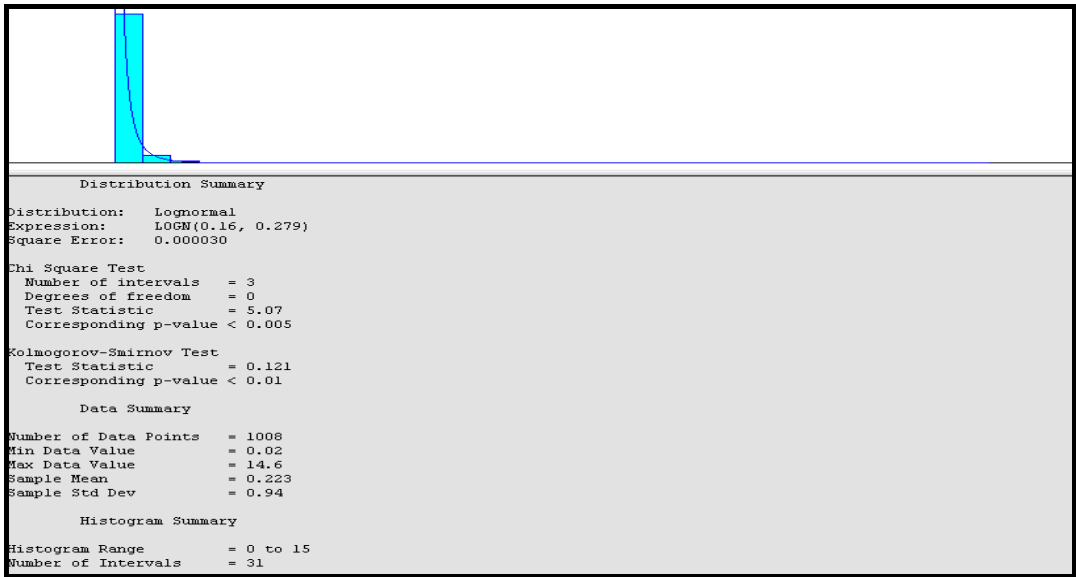
Anexo I 1.1.1. Histograma y análisis descriptivo



Anexo I 1.1.2. Resultados del FIT ALL SUMMARY

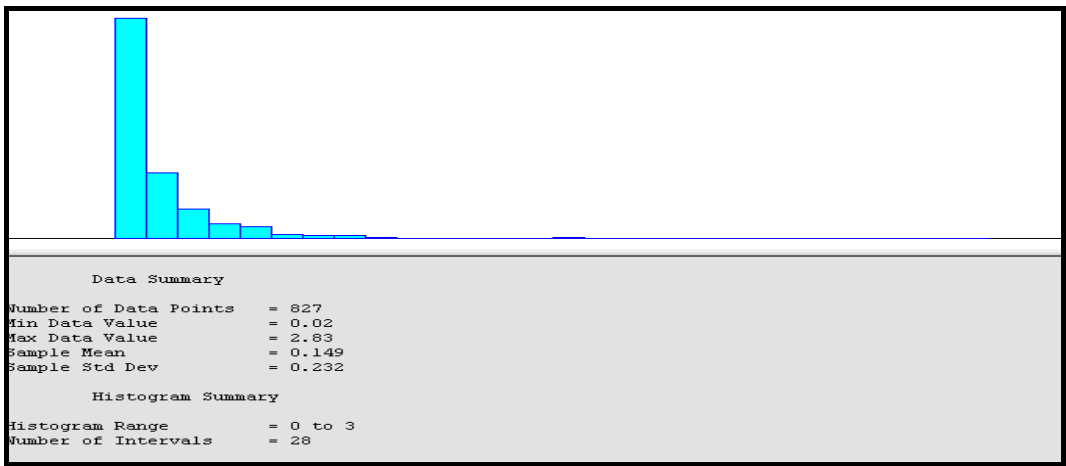
Fit All Summary	
Data File: F:\memoria\Modelo 4\Corridas\Periodos\Septiembre\12 AM - 8 AM\Análisis Estadístico\servicio.txt	
Function	Sq Error
Lognormal	2.95e-005
Weibull	0.00223
Erlang	0.0044
Exponential	0.0044
Beta	0.028
Gamma	0.0361
Normal	0.554
Triangular	0.804
Uniform	0.827

Anexo I 1.1.3. Resultados del ajuste a la distribución Lognormal



Anexo I 1.2. Análisis estadístico del mes de octubre

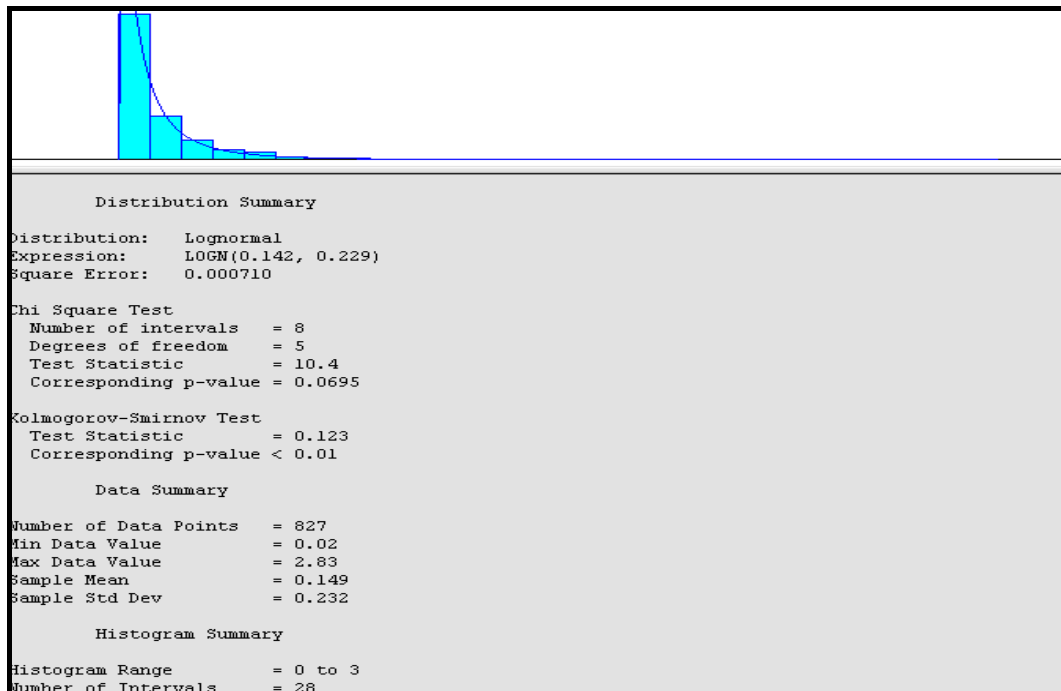
Anexo I 1.2.1. Histograma y análisis descriptivo



Anexo I 1.2.2. Resultados del FIT ALL SUMMARY

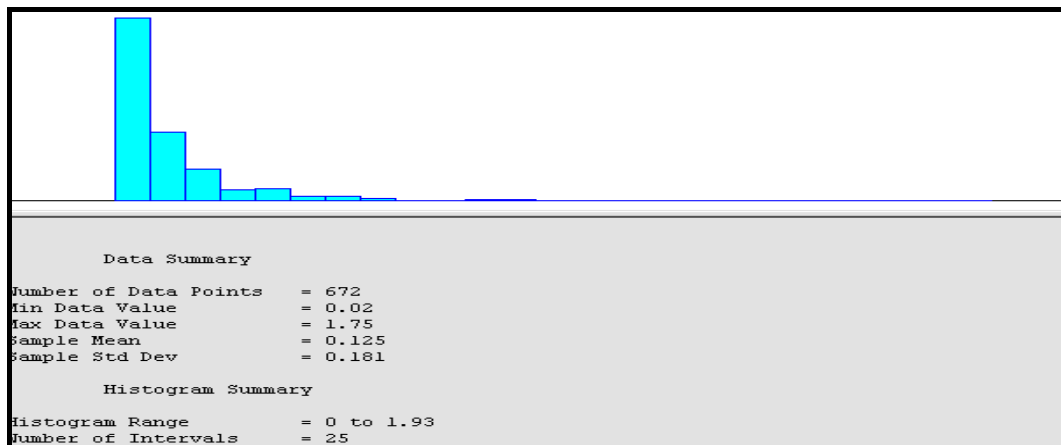
Fit All Summary	
Data File: F:\memoria\Modelo 4\Corridas\Periodos\Octubre\12 AM - 8 AM\Análisis Estadístico\servicio.txt	
Function	Sq Error
Lognormal	0.00071
Weibull	0.00353
Beta	0.00355
Gamma	0.0126
Exponential	0.0159
Erlang	0.0159
Normal	0.209
Triangular	0.35
Uniform	0.383

Anexo I 1.2.3. Resultados del ajuste a la distribución Lognormal



Anexo I 1.3. Análisis estadístico del mes de noviembre

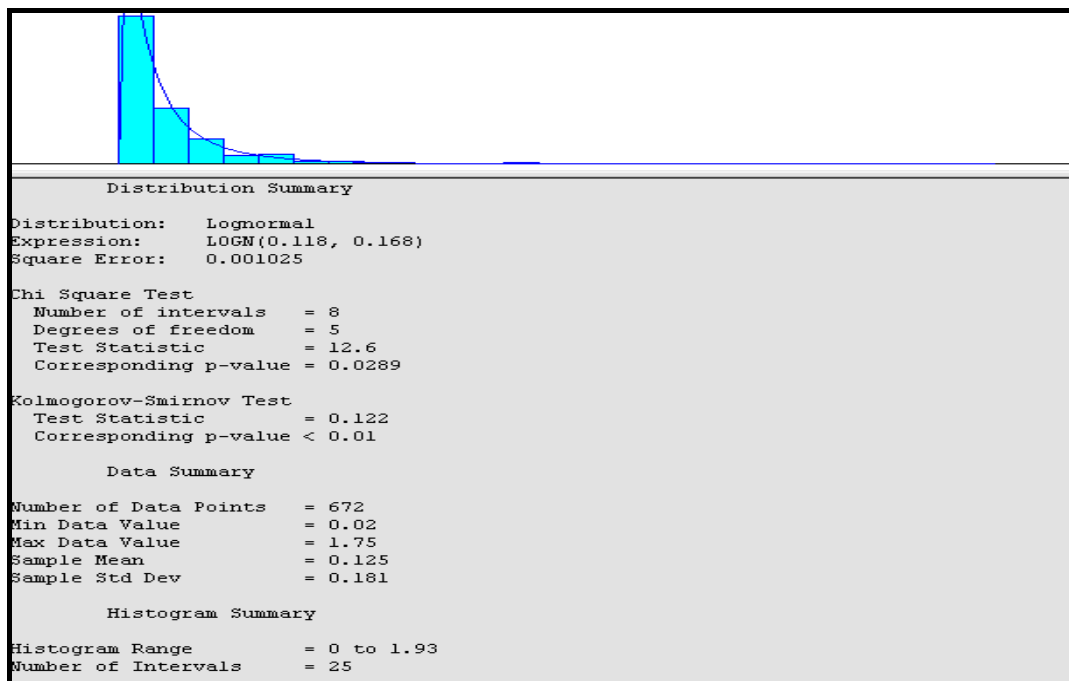
Anexo I 1.3.1. Histograma y análisis descriptivo



Anexo I 1.3.2. Resultados del FIT ALL SUMMARY

Fit All Summary	
Data File: F:\memoria\Modelo 4\Corridas\Periodos\Noviembre\12 AM - 8 AM\Análisis estadístico\servicio.txt	
Function	Sq Error
Lognormal	0.00103
Weibull	0.00643
Beta	0.00755
Gamma	0.0138
Exponential	0.0142
Erlang	0.0142
Normal	0.183
Triangular	0.294
Uniform	0.33

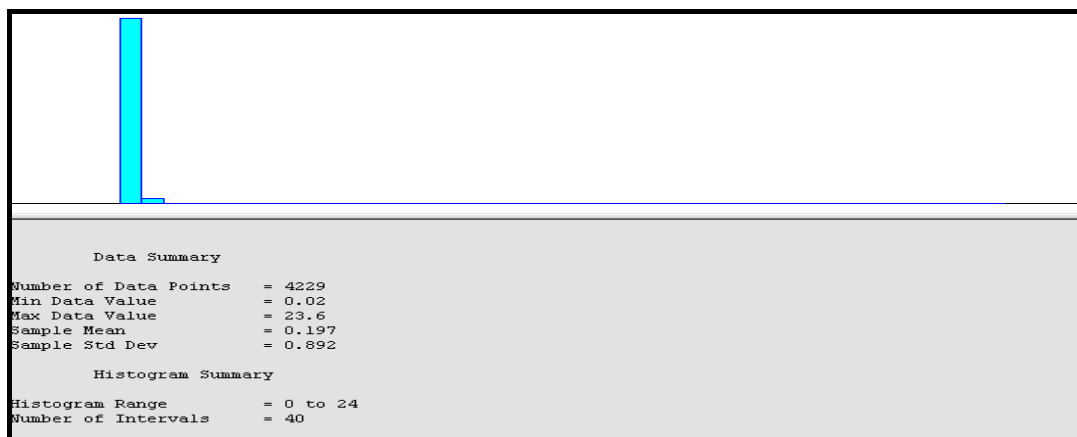
Anexo I 1.3.3. Resultados del ajuste a la distribución Lognormal



Anexo I 2. De 08:00 AM – 04:00 PM

Anexo I 2.1. Análisis estadístico del mes de septiembre

Anexo I 2.1.1. Histograma y análisis descriptivo

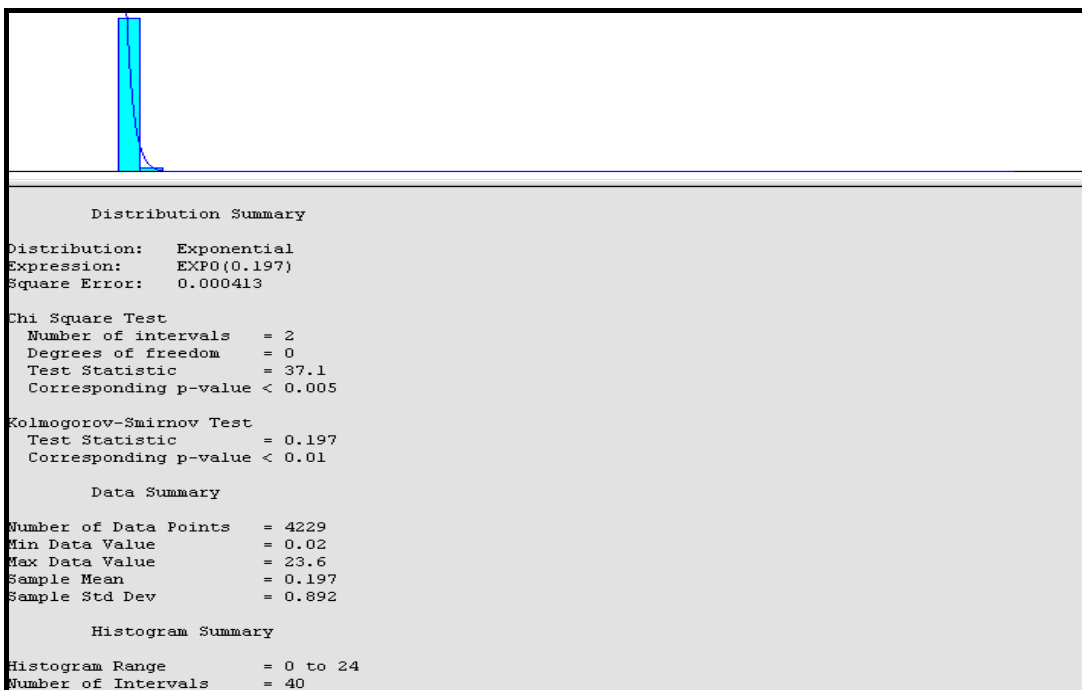


Anexo I 2.1.2. Resultados del FIT ALL SUMMARY

```
Fit All Summary
Data File: F:\memoria\Modelo 4\Corridas\Periodos\Septiembre\8 AM - 4 PM\Análisis Estadístico\servicio.txt

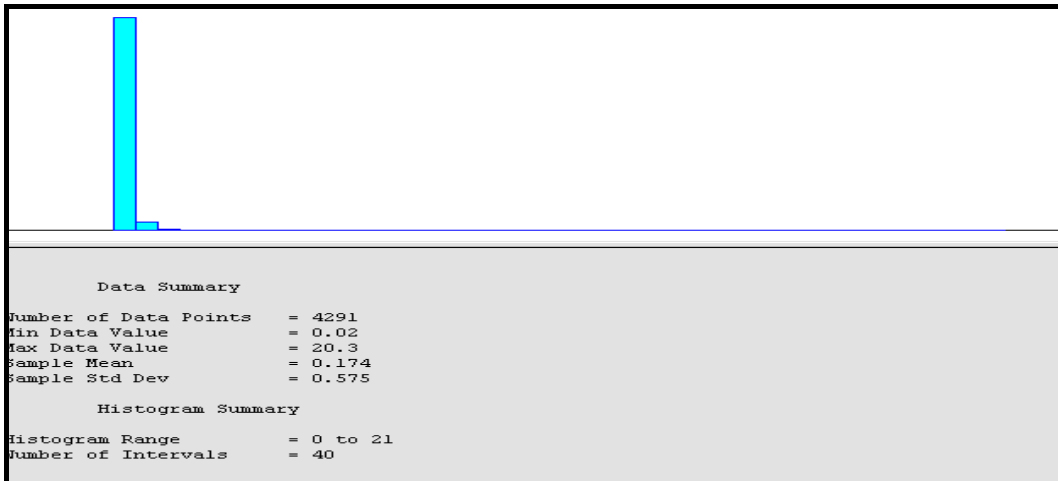
Function      Sq Error
-----
Erlang        0.000413
Exponential    0.000413
Weibull       0.000427
Lognormal     0.000747
Gamma         0.0278
Beta          0.0942
Normal        0.524
Triangular    0.879
Uniform       0.897
```

Anexo I 2.1.3. Resultados del ajuste a la distribución Exponencial



Anexo I 2.2. Análisis estadístico del mes de octubre

Anexo I 2.2.1. Histograma y análisis descriptivo



Anexo I 2.2.2. Resultados del FIT ALL SUMMARY

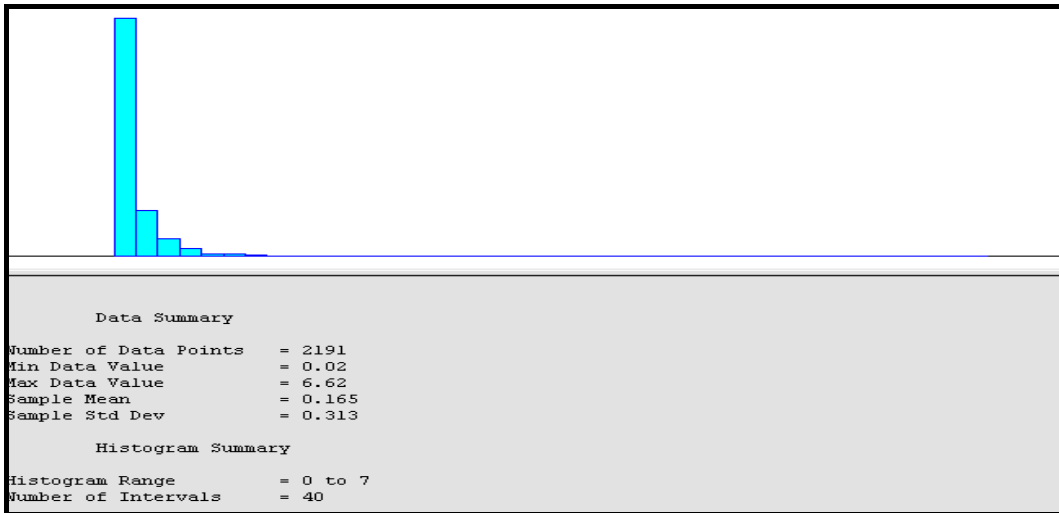
Fit All Summary	
Data File: F:\memoria\Modelo 4\Corridas\Periodos\Octubre\8 AM - 4 PM\Análisis Estadístico\servicio.txt	
Function	Sq Error
Lognormal	7.63e-005
Exponential	0.000121
Erlang	0.000121
Weibull	0.000184
Gamma	0.0117
Beta	0.0853
Normal	0.392
Triangular	0.859
Uniform	0.877

Anexo I 2.2.3. Resultados del ajuste a la distribución Lognormal

Distribution Summary	
Distribution:	Lognormal
Expression:	LOGN(0.149, 0.242)
Square Error:	0.000076
Chi Square Test	
Number of intervals	= 4
Degrees of freedom	= 1
Test Statistic	= 19.6
Corresponding p-value	< 0.005
Kolmogorov-Smirnov Test	
Test Statistic	= 0.115
Corresponding p-value	< 0.01
Data Summary	
Number of Data Points	= 4291
Min Data Value	= 0.02
Max Data Value	= 20.3
Sample Mean	= 0.174
Sample Std Dev	= 0.575
Histogram Summary	
Histogram Range	= 0 to 21
Number of Intervals	= 40

Anexo I 2.3. Análisis estadístico del mes de noviembre

Anexo I 2.3.1. Histograma y análisis descriptivo

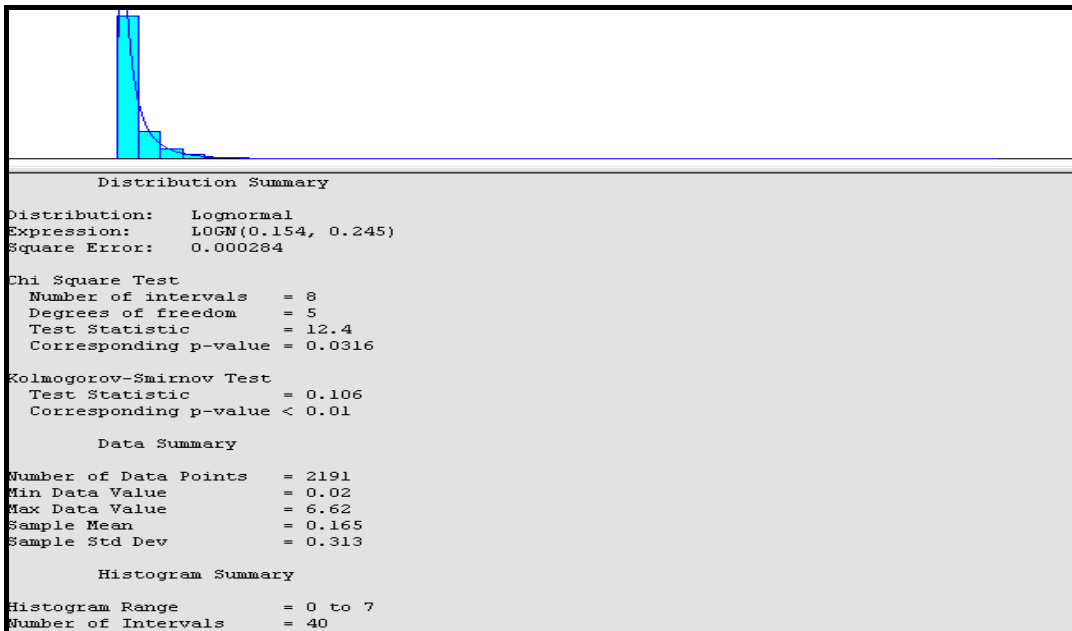


Anexo I 2.3.2. Resultados del FIT ALL SUMMARY

Fit All Summary
Data File: F:\memoria\Modelo 4\Corridas\Periodos\Noviembre\8 AM - 4 PM\Análisis Estadístico\servicio.txt

Function	Sq Error
Lognormal	0.000284
Weibull	0.00584
Beta	0.0122
Erlang	0.0157
Exponential	0.0157
Gamma	0.0167
Normal	0.298
Triangular	0.53
Uniform	0.551

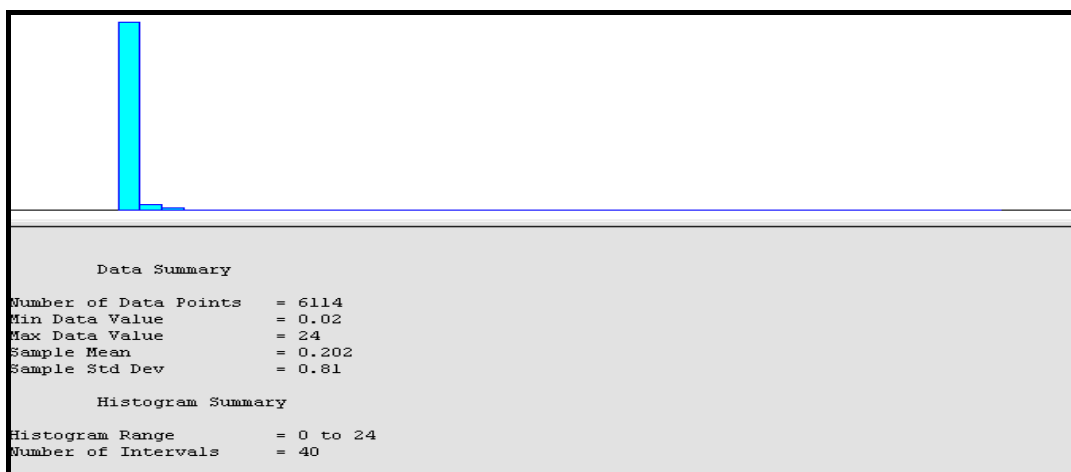
Anexo I 2.3.3. Resultados del ajuste a la distribución Lognormal



Anexo I 3. De 04:00 PM – 12:00 AM

Anexo I 3.1. Análisis estadístico del mes de septiembre

Anexo I 3.1.1. Histograma y análisis descriptivo

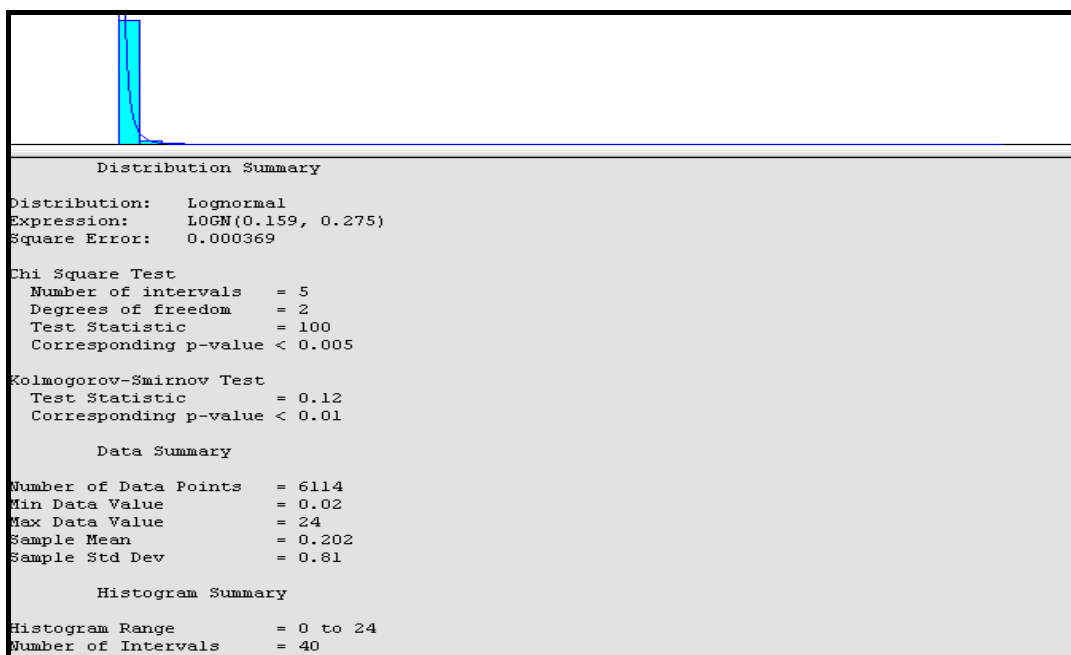


Anexo I 3.1.2. Resultados del FIT ALL SUMMARY

Fit All Summary	
Data File: F:\memoria\Modelo 4\Corridas\Periodos\Septiembre\4 PM - 12 AM\Análisis Estadístico\servicio.txt	
Function	Sq Error

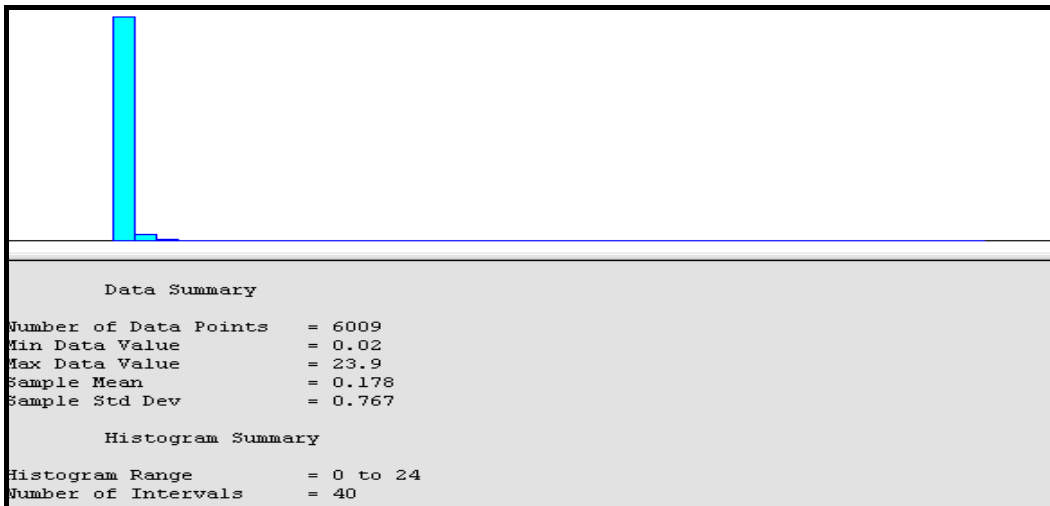
Lognormal	0.000369
Exponential	0.000389
Erlang	0.000389
Weibull	0.00213
Gamma	0.0215
Beta	0.0851
Normal	0.469
Triangular	0.854
Uniform	0.871

Anexo I 3.1.3. Resultados del ajuste a la distribución Lognormal



Anexo I 3.2. Análisis estadístico del mes de octubre

Anexo I 3.2.1. Histograma y análisis descriptivo

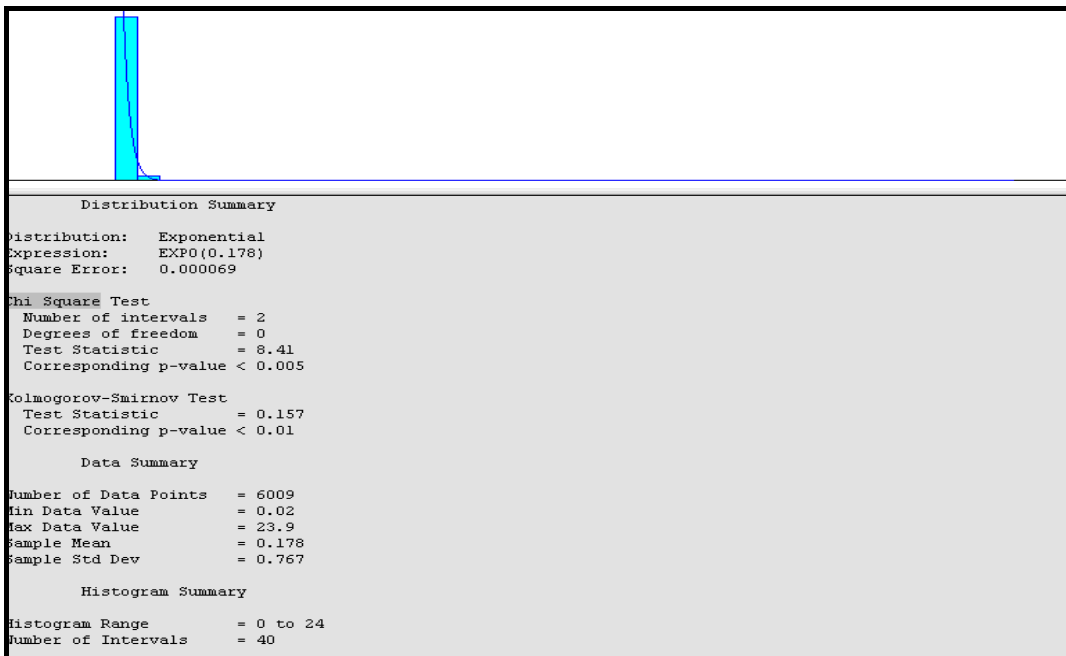


Anexo I 3.2.2. Resultados del FIT ALL SUMMARY

Fit All Summary
Data File: F:\memoria\Modelo 4\Corridas\Periodos\Octubre\4 PM - 12 AM\Análisis Estadístico\servicio.txt

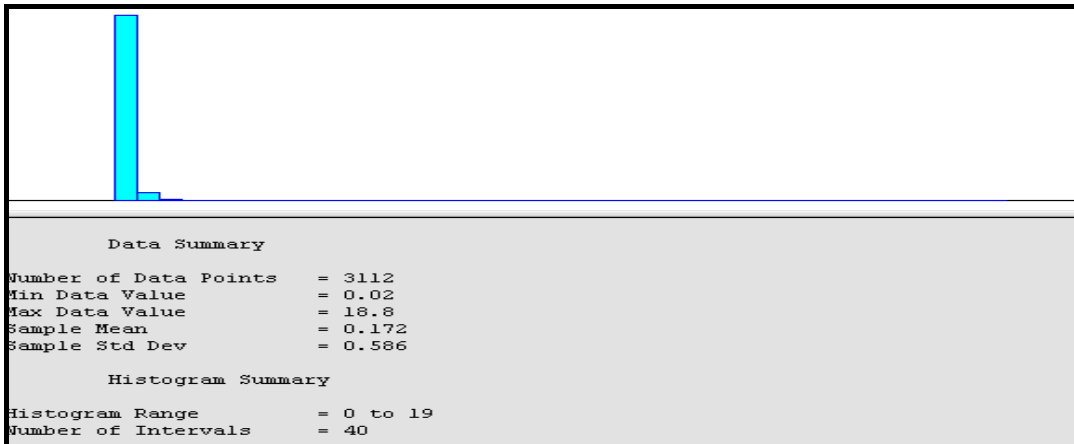
Function	Sq Error
Erlang	6.86e-005
Exponential	6.86e-005
Weibull	0.000196
Lognormal	0.000231
Gamma	0.014
Beta	0.0925
Normal	0.467
Triangular	0.878
Uniform	0.896

Anexo I 3.2.3. Resultados del ajuste a la distribución Exponencial



Anexo I 3.3. Análisis estadístico del mes de noviembre

Anexo I 3.3.1. Histograma y análisis descriptivo

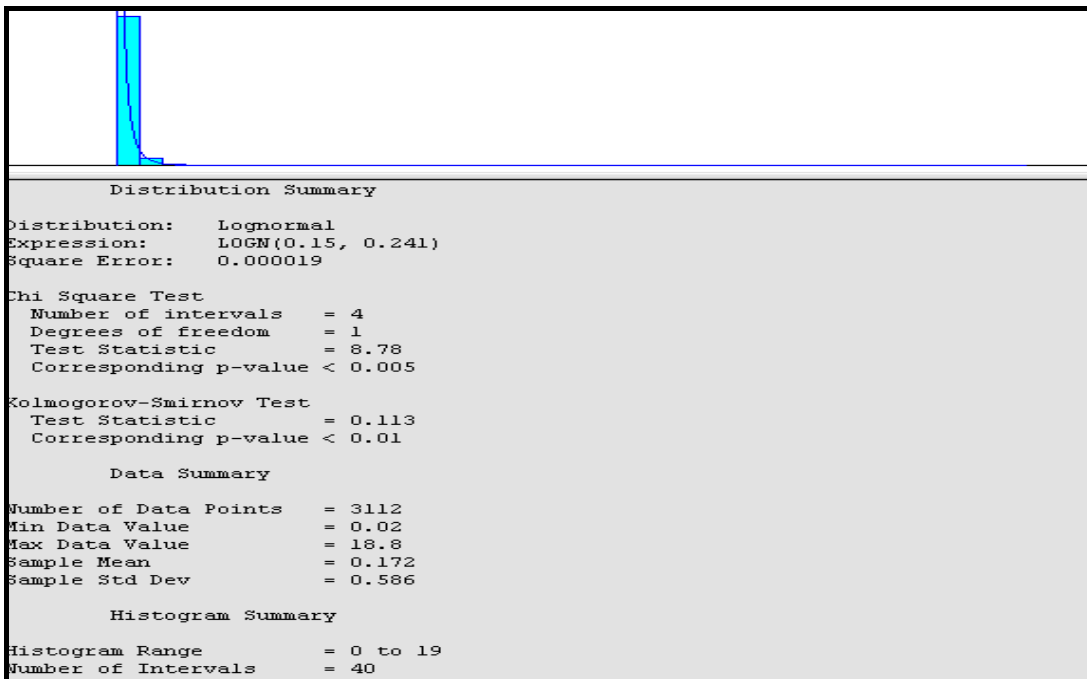


Anexo I 3.3.2. Resultados del FIT ALL SUMMARY

Fit All Summary
Data File: F:\memoria\Modelo 4\Corridas\Periodos\Noviembre\4 PM - 12 AM\Análisis estadístico\servicio.txt

Function	Sq Error
Lognormal	1.92e-005
Exponential	0.000254
Erlang	0.000254
Weibull	0.000265
Gamma	0.00971
Beta	0.0763
Normal	0.419
Triangular	0.835
Uniform	0.853

Anexo I 3.3.3. Resultados del ajuste a la distribución Beta



Anexo J. Distribuciones de los días del mes de septiembre, octubre y noviembre en períodos de 8 horas para el tiempo de servicio

Anexo J 1. Distribuciones de los días del mes de septiembre en períodos de 8 horas para el tiempo de servicio

	Septiembre		
Día	De 12:00 AM – 08:00 AM	De 08:00 AM – 04:00 PM	De 04:00 PM – 12:00 AM
1	WEIB(0.394, 0.435)	LOGN(0.16, 0.247)	WEIB(0.194, 0.668)
2	LOGN(0.133, 0.206)	WEIB(0.161, 0.619)	LOGN(0.147, 0.261)
3	GAMM(0.106, 1.16)	1.24 * BETA(0.427, 3.1)	LOGN(0.161, 0.284)
4	BETA(0.621, 1.50236)	LOGN(0.13, 0.201)	LOGN(0.136, 0.194)
5	EXPO(0.0754)	LOGN(0.111, 0.161)	LOGN(0.171, 0.305)
6	LOGN(0.0895, 0.0972)	LOGN(0.145, 0.236)	LOGN(0.154, 0.245)
7	WEIB(0.152, 0.867)	WEIB(0.144, 0.601)	LOGN(0.155, 0.262)
8	LOGN(0.177, 0.343)	EXPO(0.264)	WEIB(0.174, 0.582)
9	LOGN(0.13, 0.194)	LOGN(0.139, 0.233)	WEIB(0.174, 0.582)
10	LOGN(0.184, 0.237)	WEIB(0.191, 0.498)	WEIB(0.25, 0.514)
11	LOGN(0.116, 0.174)	WEIB(0.156, 0.846)	WEIB(0.14, 0.733)
12	BETA(0.196, 0.185178)	WEIB(0.182, 0.59)	LOGN(0.19, 0.37)
13	LOGN(0.151, 0.215)	EXPO(0.278)	LOGN(0.153, 0.244)
14	BETA(0.557, 1.71671)	LOGN(0.134, 0.226)	LOGN(0.164, 0.286)
15	LOGN(0.154, 0.235)	LOGN(0.165, 0.273)	LOGN(0.165, 0.289)
16	LOGN(0.169, 0.308)	WEIB(0.141, 0.595)	LOGN(0.167, 0.285)
17	LOGN(0.177, 0.284)	WEIB(0.135, 0.912)	LOGN(0.128, 0.207)
18	WEIB(0.149, 0.699)	LOGN(0.137, 0.213)	LOGN(0.16, 0.307)
19	WEIB(0.0999, 0.964)	WEIB(0.152, 0.902)	LOGN(0.155, 0.255)
20	WEIB(0.249, 0.6)	EXPO(0.186)	LOGN(0.159, 0.271)
21	LOGN(0.303, 0.546)	LOGN(0.146, 0.236)	LOGN(0.134, 0.209)
22	WEIB(0.115, 0.809)	WEIB(0.132, 0.852)	LOGN(0.155, 0.243)
23	LOGN(0.168, 0.238)	LOGN(0.136, 0.204)	LOGN(0.117, 0.16)
24	WEIB(0.124, 0.822)	LOGN(0.146, 0.22)	LOGN(0.143, 0.239)
25	LOGN(0.139, 0.231)	LOGN(0.125, 0.191)	LOGN(0.12, 0.189)
26	LOGN(0.213, 0.367)	LOGN(0.116, 0.171)	LOGN(0.157, 0.24)
27	LOGN(0.125, 0.194)	EXPO(0.14)	WEIB(0.156, 0.649)
28	GAMM(0.0614, 1.46)	LOGN(0.149, 0.225)	1.89 * BETA(0.354, 3.92)
29	WEIB(0.164, 0.712)	EXPO(0.262)	EXPO(0.424)
30	LOGN(0.155, 0.266)	WEIB(0.146, 0.805)	WEIB(0.147, 0.867)

Anexo J 2. Distribuciones de los días del mes de octubre en períodos de 8 horas para el tiempo de servicio

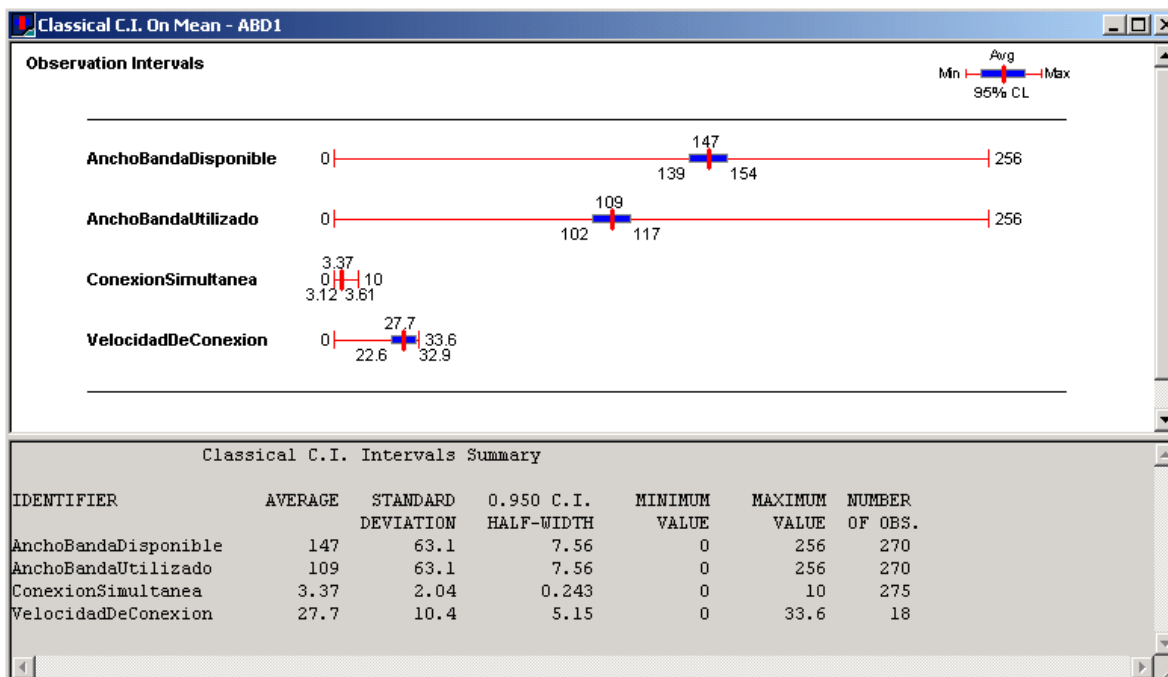
	Octubre		
Día	De 12:00 AM – 08:00 AM	De 08:00 AM – 04:00 PM	De 04:00 PM – 12:00 AM
1	LOGN(0.143, 0.237)	WEIB(0.125, 0.861)	LOGN(0.136, 0.219)
2	LOGN(0.147, 0.235)	LOGN(0.134, 0.212)	LOGN(0.152, 0.23)
3	WEIB(0.134, 0.908)	LOGN(0.155, 0.264)	WEIB(0.167, 0.56)
4	LOGN(0.102, 0.158)	LOGN(0.156, 0.223)	WEIB(0.151, 0.675)
5	LOGN(0.198, 0.367)	WEIB(0.158, 0.544)	
6		LOGN(0.159, 0.24)	LOGN(0.169, 0.291)
7	BETA(0.604, 1.70324)	WEIB(0.146, 0.878)	LOGN(0.168, 0.323)
8	LOGN(0.164, 0.29)	LOGN(0.119, 0.183)	5 * BETA(0.124, 3.78)
9	LOGN(0.102, 0.152)	LOGN(0.141, 0.23)	WEIB(0.124, 0.88)
10	LOGN(0.177, 0.412)	LOGN(0.15, 0.239)	WEIB(0.128, 0.889)
11	BETA(0.567, 2.3417)	EXPO(0.273)	WEIB(0.126, 0.946)
12	LOGN(0.237, 0.542)	LOGN(0.152, 0.235)	EXPO(0.241)
13	WEIB(0.15, 0.67)	LOGN(0.14, 0.216)	2 * BETA(0.319, 4.18)
14	LOGN(0.125, 0.216)	LOGN(0.181, 0.374)	LOGN(0.135, 0.218)
15	GAMM(0.122, 1.22)	LOGN(0.134, 0.205)	GAMM(0.069, 1.33)
16			
17		LOGN(0.205, 0.389)	LOGN(0.149, 0.224)
18	LOGN(0.13, 0.201)	WEIB(0.163, 0.892)	LOGN(0.153, 0.247)
19	LOGN(0.147, 0.229)	WEIB(0.163, 0.805)	LOGN(0.132, 0.205)
20	EXPO(0.143)	LOGN(0.133, 0.204)	LOGN(0.133, 0.204)
21	GAMM(0.0748, 1.45)	LOGN(0.136, 0.212)	WEIB(0.163, 0.839)
22	EXPO(0.0931)	LOGN(0.125, 0.194)	LOGN(0.167, 0.271)
23	LOGN(0.175, 0.257)	LOGN(0.172, 0.316)	LOGN(0.155, 0.271)
24	GAMM(0.17, 0.901)	LOGN(0.128, 0.176)	1.4 * BETA(0.398, 3.24)
25	LOGN(0.108, 0.159)	WEIB(0.169, 0.673)	EXPO(0.339)
26		WEIB(0.109, 0.979)	LOGN(0.144, 0.201)
27	BETA(0.696, 1.81372)	LOGN(0.124, 0.17)	BETA(0.523, 2.69712)
28	WEIB(0.14, 0.848)	LOGN(0.108, 0.147)	LOGN(0.115, 0.157)
29	BETA(0.82, 2.28445)	LOGN(0.142, 0.193)	LOGN(0.148, 0.231)
30	WEIB(0.12, 0.742)	LOGN(0.144, 0.215)	LOGN(0.115, 0.159)
31	LOGN(0.148, 0.217)	WEIB(0.175, 0.921)	LOGN(0.189, 0.32)

Anexo J 3. Distribuciones de los días del mes de noviembre en períodos de 8 horas para el tiempo de servicio

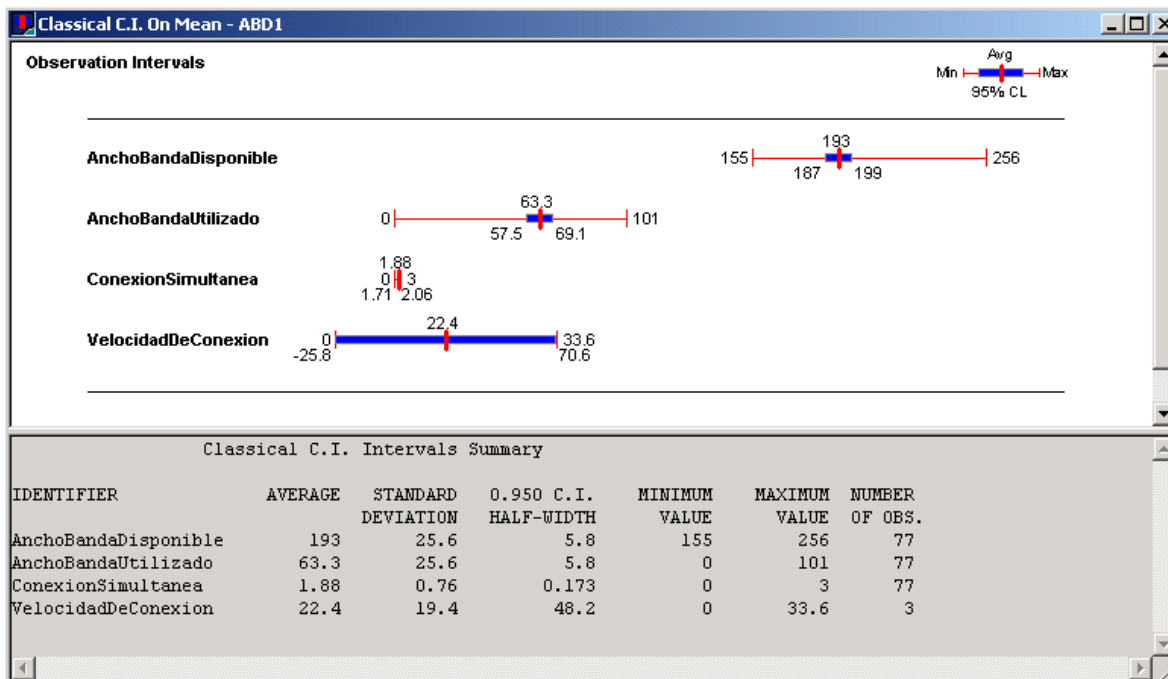
	Noviembre		
Día	De 12:00 AM – 08:00 AM	De 08:00 AM – 04:00 PM	De 04:00 PM – 12:00 AM
1	LOGN(0.146, 0.174)	BETA(0.502, 1.46393)	LOGN(0.139, 0.198)
2	EXPO(0.0681)	LOGN(0.135, 0.178)	LOGN(0.157, 0.255)
3	LOGN(0.137, 0.169)	LOGN(0.17, 0.295)	LOGN(0.146, 0.23)
4	WEIB(0.119, 0.937)	LOGN(0.132, 0.188)	LOGN(0.12, 0.195)
5	LOGN(0.116, 0.184)	LOGN(0.151, 0.243)	WEIB(0.136, 0.884)
6	LOGN(0.116, 0.175)	LOGN(0.151, 0.25)	WEIB(0.134, 0.861)
7	LOGN(0.0864, 0.121)	WEIB(0.151, 0.876)	LOGN(0.153, 0.254)
8	LOGN(0.107, 0.132)	LOGN(0.151, 0.267)	LOGN(0.132, 0.198)
9	LOGN(0.106, 0.133)	WEIB(0.153, 0.737)	LOGN(0.13, 0.201)
10	GAMM(0.12, 1.03)	LOGN(0.155, 0.295)	WEIB(0.147, 0.899)
11	EXPO(0.114)	LOGN(0.134, 0.187)	WEIB(0.574, 0.379)
12		LOGN(0.167, 0.231)	LOGN(0.124, 0.189)
13	LOGN(0.182, 0.276)	LOGN(0.148, 0.221)	WEIB(0.127, 0.847)
14	LOGN(0.114, 0.206)	GAMM(0.133, 1.15)	LOGN(0.135, 0.209)
15	LOGN(0.214, 0.397)	LOGN(0.179, 0.321)	EXPO(0.164)
16	LOGN(0.0932, 0.129)	LOGN(0.151, 0.241)	EXPO(0.256)
17	BETA(0.403, 0.805613)	LOGN(0.228, 0.425)	WEIB(0.195, 0.663)
18	GAMM(0.0909, 1.26)	WEIB(0.126, 0.801)	WEIB(0.155, 0.848)
19	BETA(0.49, 1.62187)	LOGN(0.151, 0.267)	LOGN(0.153, 0.248)
20	LOGN(0.199, 0.39)	WEIB(0.153, 0.737)	LOGN(0.145, 0.208)
21	LOGN(0.0835, 0.119)	LOGN(0.105, 0.147)	LOGN(0.169, 0.281)
22	BETA(0.628, 1.60477)	LOGN(0.175, 0.341)	

Anexo K. Validación de modelo de simulación

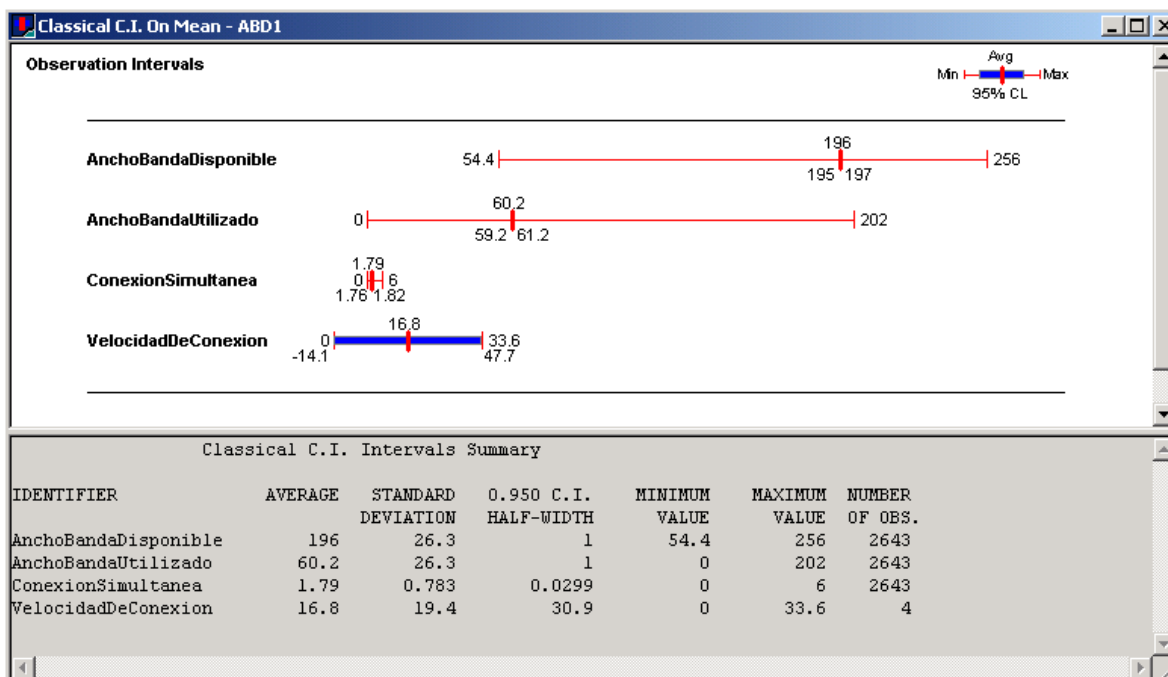
Anexo K 1. Resultados del modelo de lectura de datos históricos



Anexo K 2. Resultados del modelo de generación de datos aleatorios

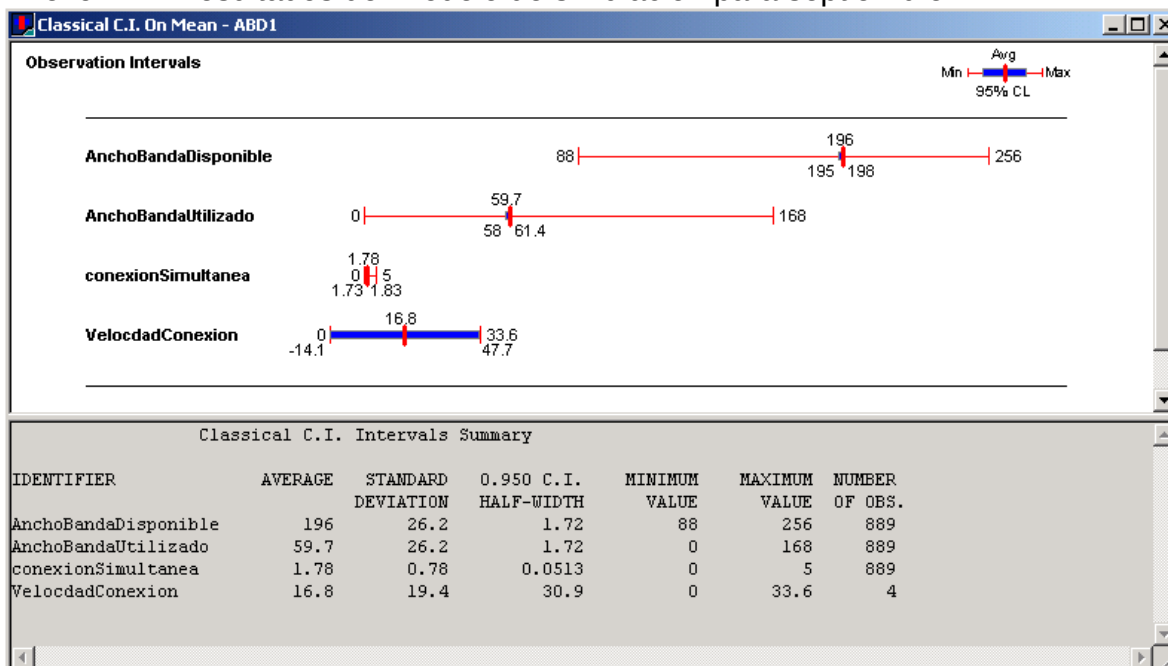


Anexo L. Resultados del modelo de simulación para el trimestre

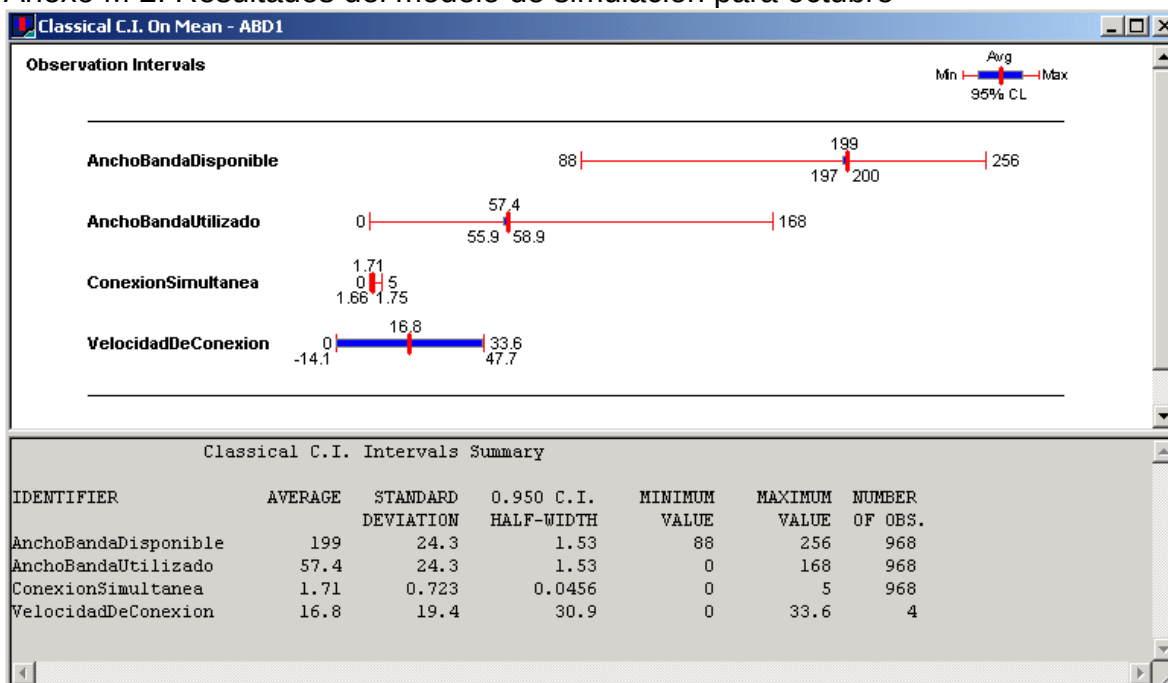


Anexo M. Resultados del modelo de simulación para septiembre, octubre y noviembre.

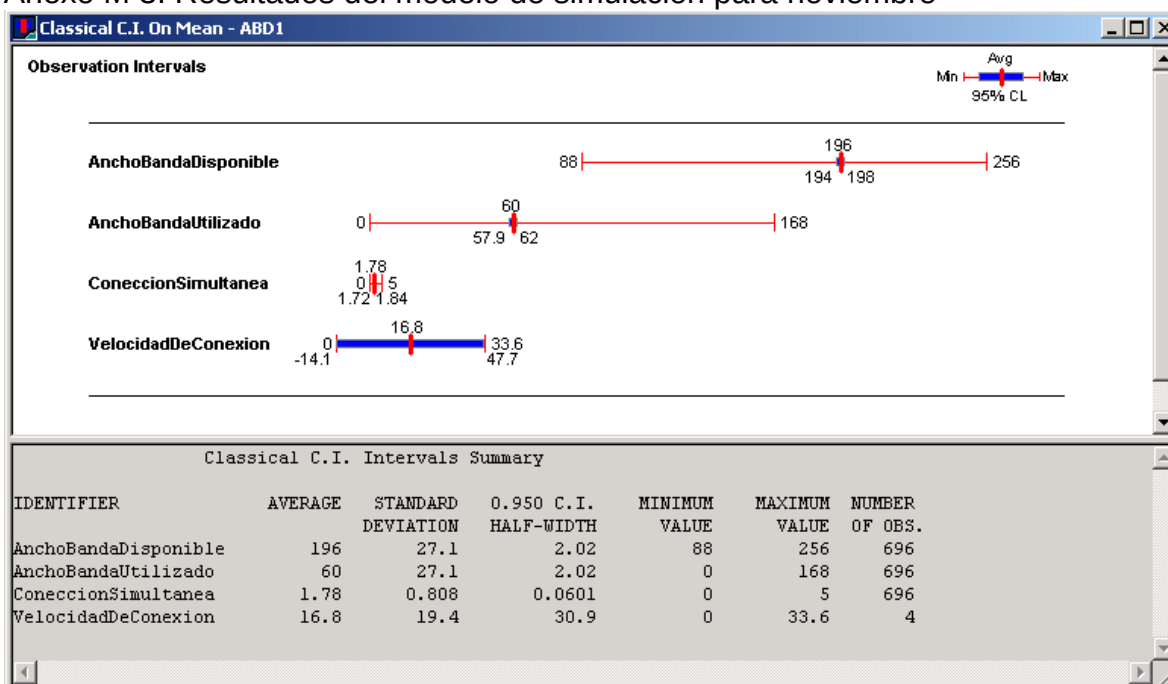
Anexo M 1. Resultados del modelo de simulación para septiembre



Anexo M 2. Resultados del modelo de simulación para octubre



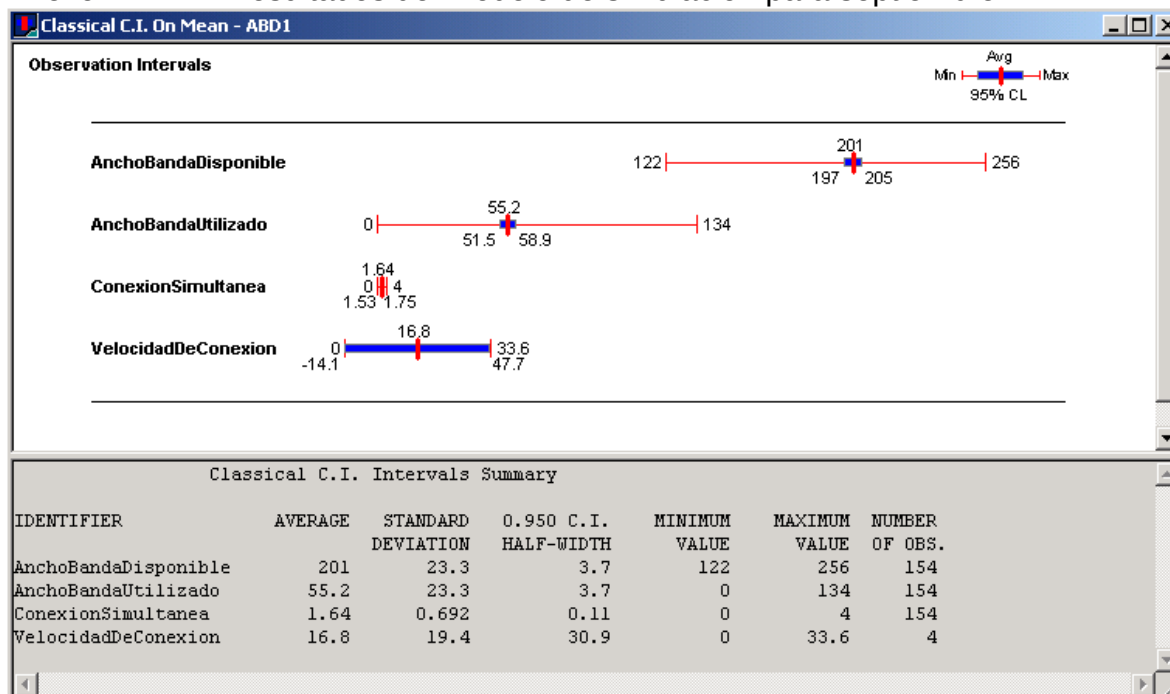
Anexo M 3. Resultados del modelo de simulación para noviembre



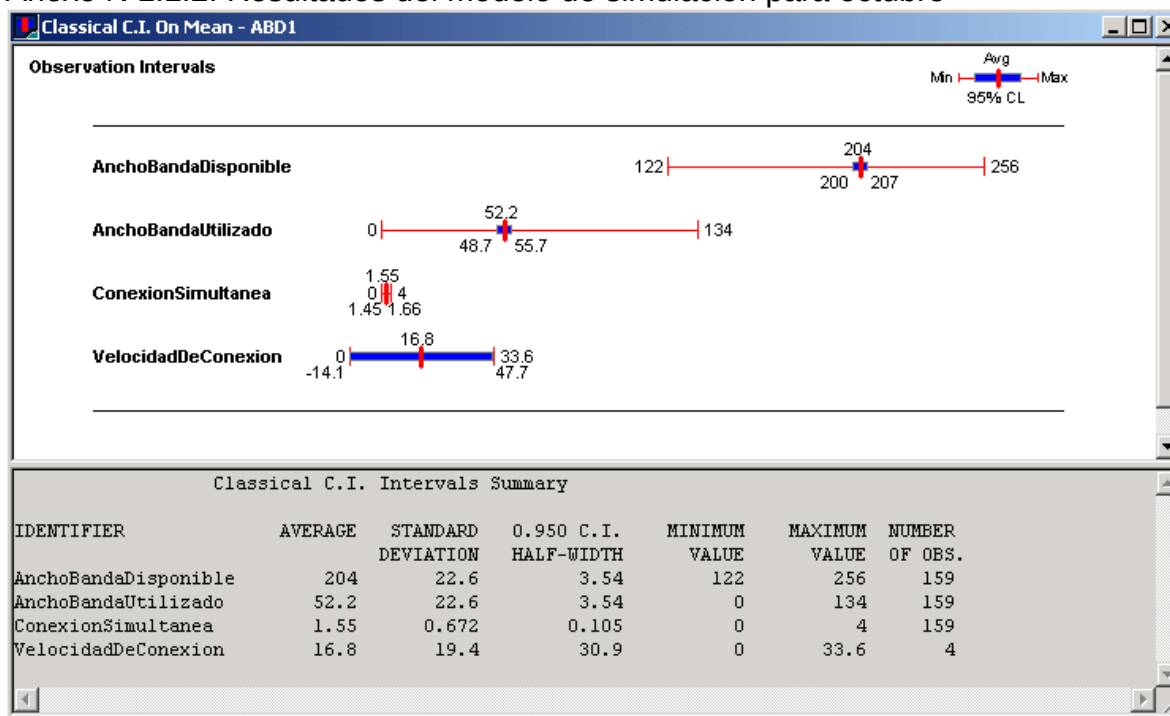
Anexo N 1. Resultados del modelo de simulación para septiembre, octubre y noviembre por períodos de 8 horas.

Anexo N 1.1. Resultados del modelo de simulación de 12:00 AM - 8:00 AM

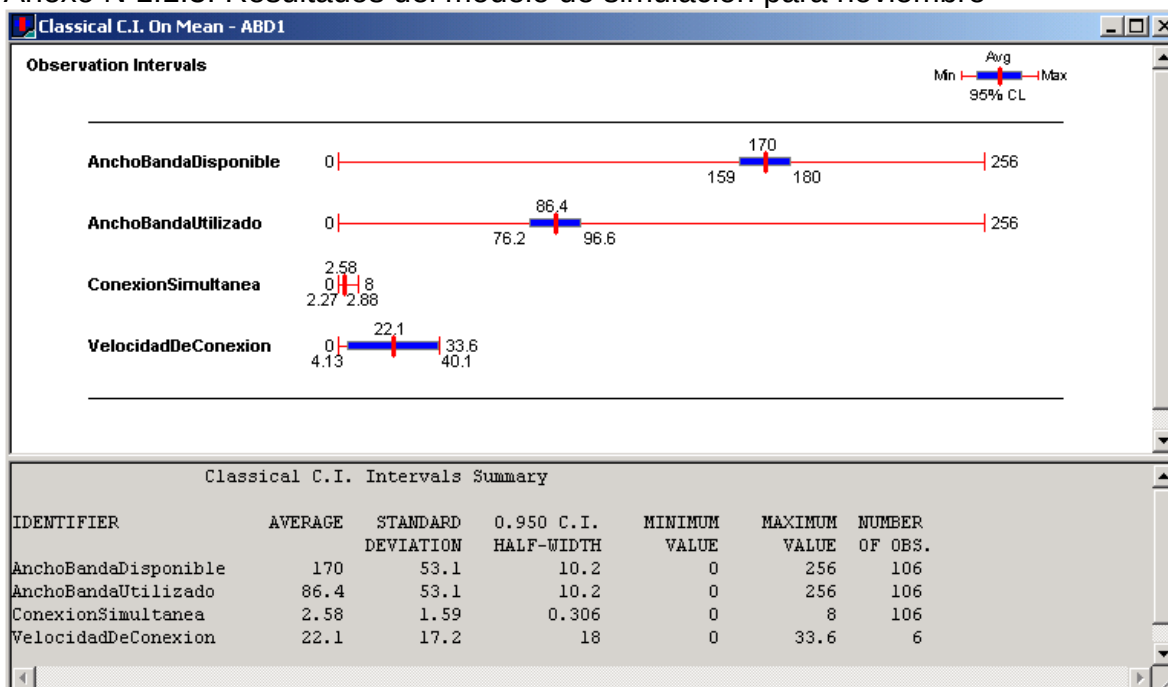
Anexo N 1.1.1. Resultados del modelo de simulación para septiembre



Anexo N 1.1.2. Resultados del modelo de simulación para octubre

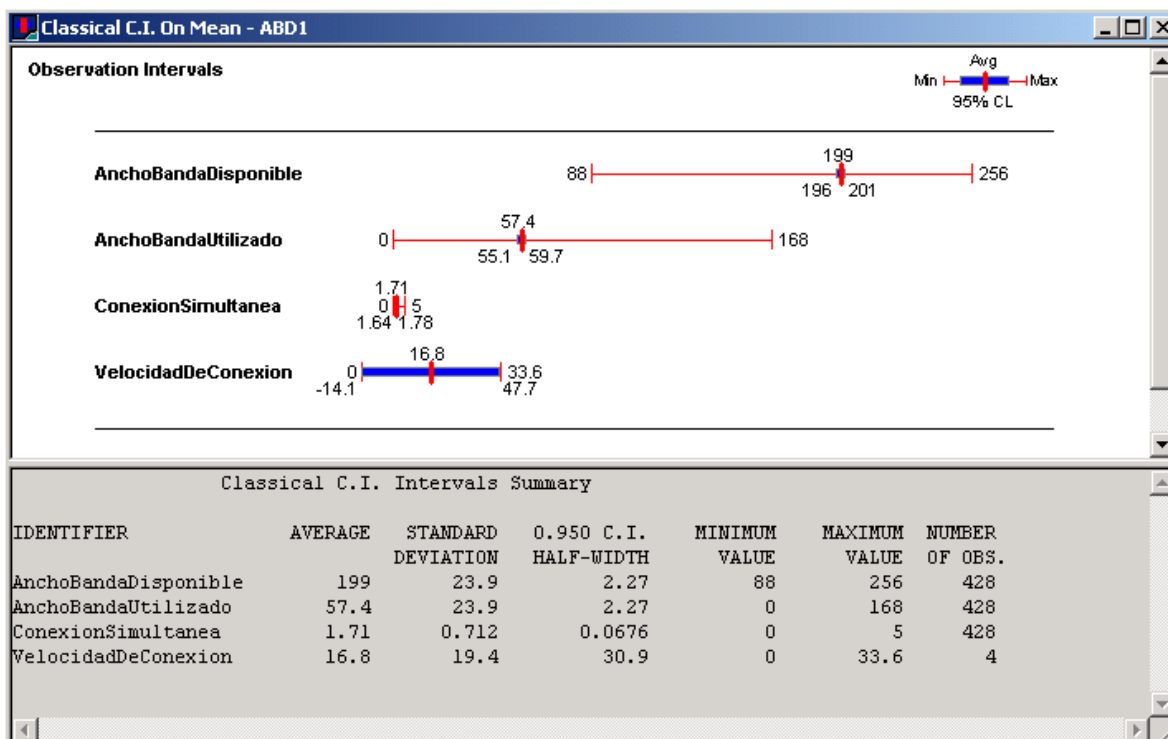


Anexo N 1.1.3. Resultados del modelo de simulación para noviembre

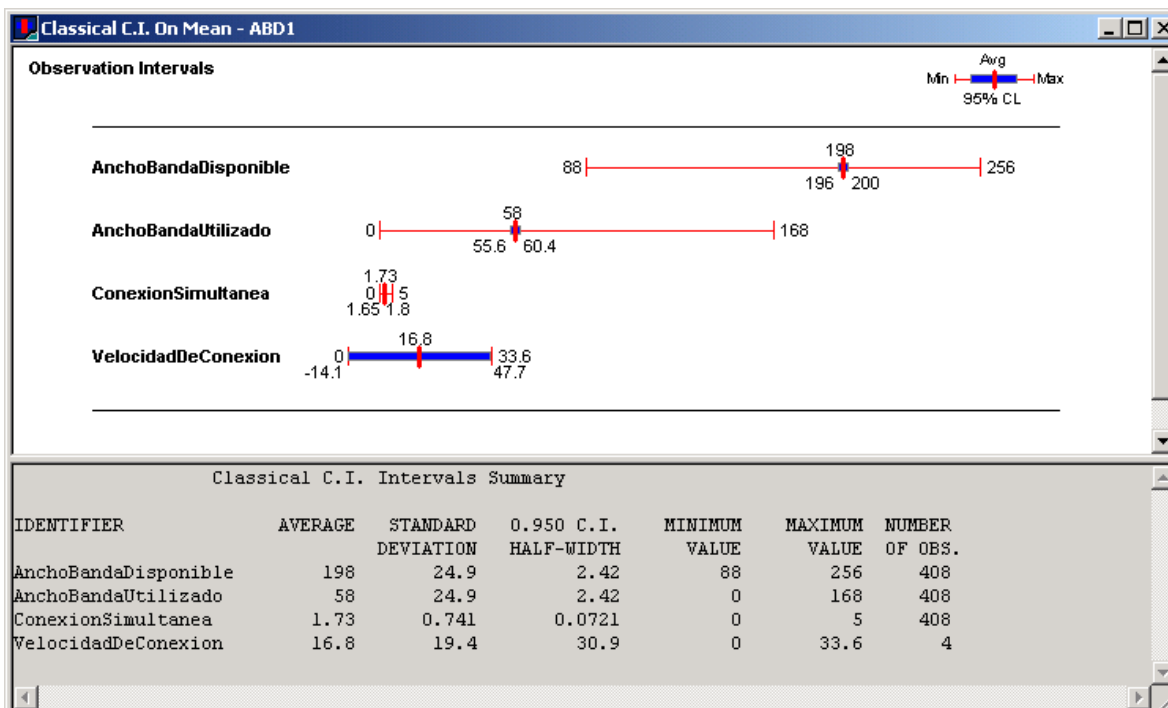


Anexo N 1.2. Resultados del modelo de simulación de 08:00 AM - 04:00 PM

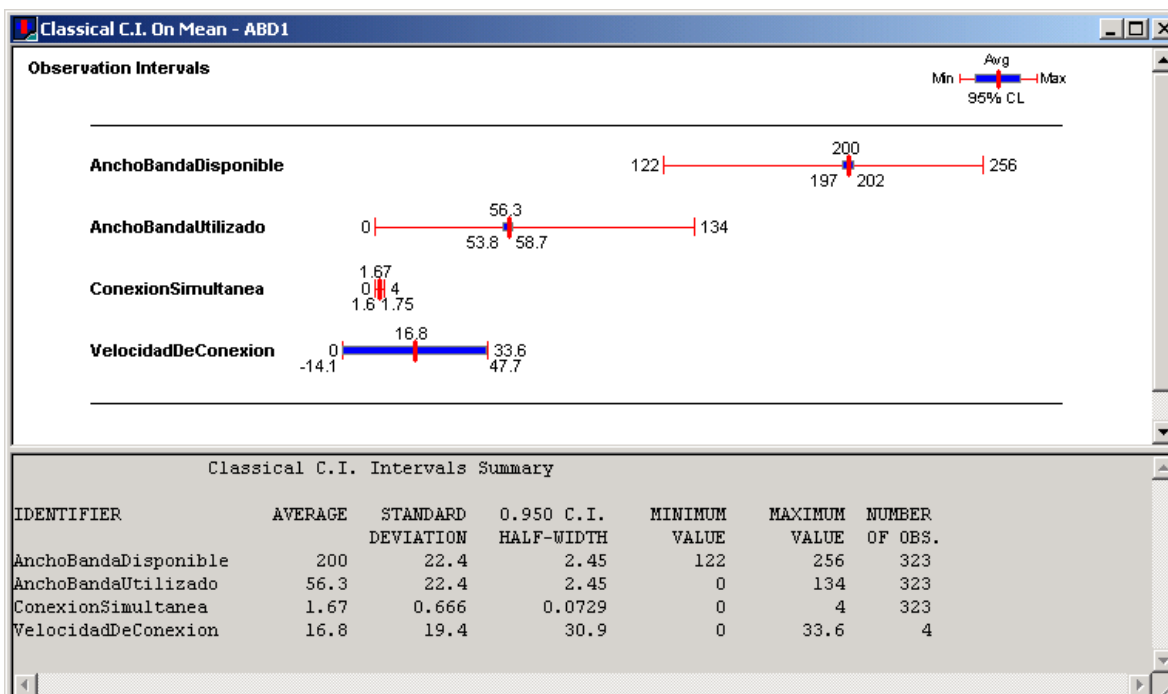
Anexo N 1.2.1. Resultados del modelo de simulación para septiembre



Anexo N 1.2.2. Resultados del modelo de simulación para octubre

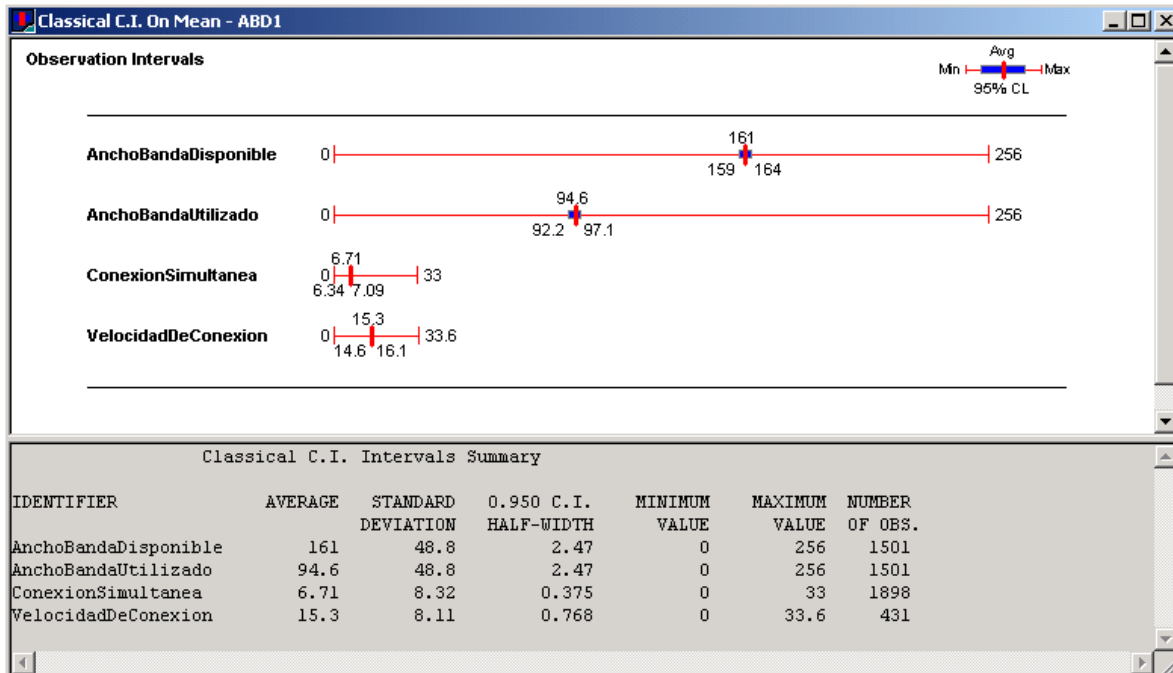


Anexo N 1.2.3. Resultados del modelo de simulación para noviembre

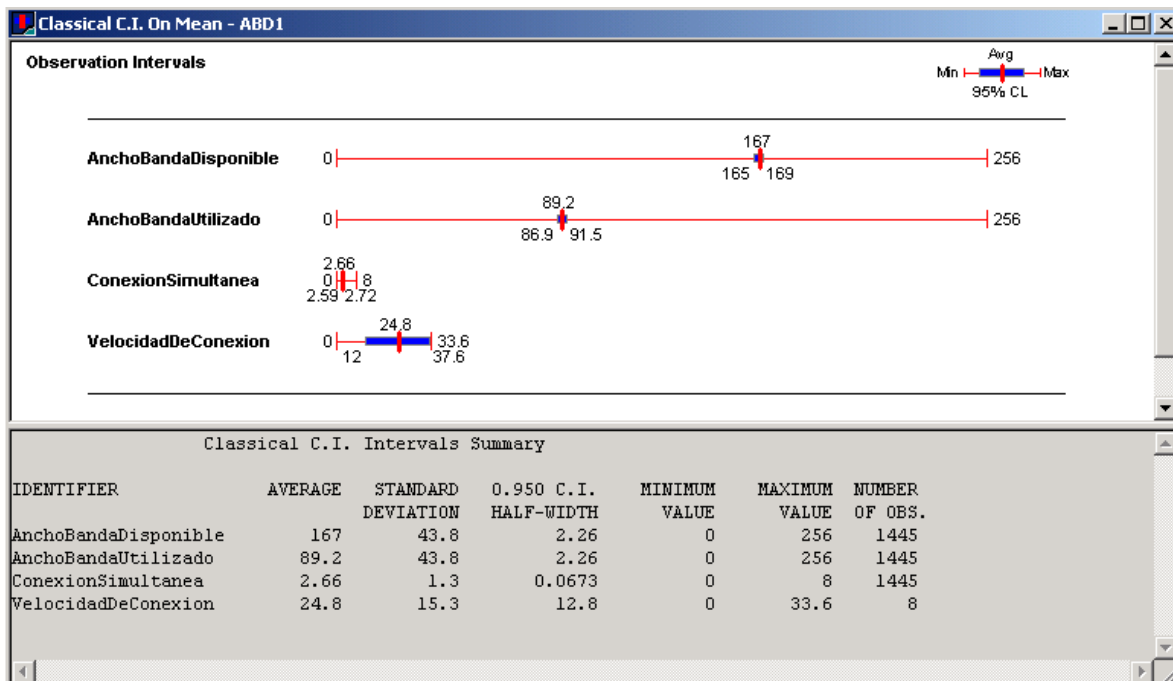


Anexo N 1.3. Resultados del modelo de simulación de 04:00 PM - 12:00 AM

Anexo N 1.3.1. Resultados del modelo de simulación para septiembre



Anexo N 1.3.2. Resultados del modelo de simulación para octubre



Anexo N 1.3.3. Resultados del modelo de simulación para noviembre

