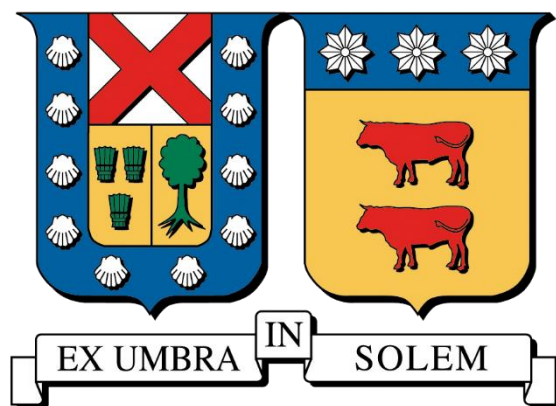


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS

VALPARAÍSO – CHILE



**DIAGNÓSTICO Y SIMULACIÓN COMPUTACIONAL DE
UN SERVICIO DE ALIMENTACIÓN DE LA UTFSM DESDE
EL ENFOQUE DE TEORÍA DE FILAS**

LUCÍA VERÓNICA SANTANA MONTECINOS

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL

PROFESOR GUÍA: SR. FRANCISCO YURASZECK E.

PROFESOR CORREFERENTE: SR. VÍCTOR ALBORNOZ S.

6 DE SEPTIEMBRE 2017

Agradecimientos

Antes que todo, quiero agradecer a mi familia, en especial a mi mamá Alicia, mi papá Eladio, mi hermano Arturo, mi tía María Elena y mis abuelas por todo el apoyo que me han brindado en esta etapa.

Agradezco también a Vivi y Felipe, por ser los primeros amigos que conocí en la universidad y por mantener esa amistad durante todos estos años. A los otros amigos que conocí en estos años: Carol, Dany, Juano, Pauli, Álvaro, Esteban y a todos los demás, por hacer mi paso por la universidad mucho más agradable. A Rocío, por mantener esta amistad del colegio a pesar de la distancia.

A todo el equipo del Comedor Solidario, en especial a David por todo el trabajo que ha hecho por mantener esta bella iniciativa. También a Pepe, Jaime, Mena, Nico, Daniel, Solange, Ronald y a todos los que estuvieron antes y aportaron con su grano de arena.

A Cote, Paty y Nico, por acompañarme en la hermosa y difícil etapa del intercambio. Y a los chicos de intercambio que conocí acá en Valparaíso: Alina, Iker, Idri, Renata, Judith, Michelle, Camille, Tesla, Keller, Jhon, Luis David y Jeisson. Gracias a todos por acompañarme en tantas aventuras.

Por último, agradecer a mi profesor guía y a los chicos que me ayudaron con la toma de datos, en especial a José.

Resumen Ejecutivo

En el presente trabajo se analizó el servicio de alimentación de la Universidad Técnica Federico Santa María (Casa Central) desde el punto de vista de la teoría de filas. Se enfocó el análisis en tres aspectos: parámetros del sistema en funcionamiento, simulación del sistema bajo distintas configuraciones y factores que inciden en la satisfacción de los usuarios desde el punto de vista operacional.

Para poder realizar el estudio se hizo un registro de los tiempos de llegada y salida de los usuarios durante una hora de funcionamiento y, además, se tomó una encuesta mediante muestreo aleatorio a la salida, la cual fue respondida por 105 personas, en la cual se pedía evaluar el servicio utilizado según el tiempo de espera. Los datos fueron válidos en el 97% de la toma de tiempos y en el 98% de las encuestas.

Con los registros de los tiempos, se pudieron obtener los parámetros del sistema, tales como tiempos de espera y servicio, niveles de inventario, capacidad y tasas de llegada y flujo.

Luego, se utilizó el software de simulación Arena para determinar cómo varían los tiempos, los inventarios y la utilización del sistema a medida que se alteran los demás parámetros. Se obtuvo que mediante el aumento de la capacidad y la agrupación de recursos es posible disminuir el tiempo de espera y el número promedio de personas que se encuentran en la fila. En particular, el tiempo de espera disminuye en promedio un 73% al aumentar la capacidad en un 50% y en un 99% al agrupar los cuatro servidores, sin aumento de la capacidad.

En el estudio del comportamiento de los usuarios, se comprobó la hipótesis planteada en varios estudios similares, que el nivel de satisfacción es inversamente proporcional al tiempo de espera, siendo en promedio el tiempo de espera máximo aceptable de 3 minutos. Adicionalmente, y para un nivel de significancia del 95%, existen diferencias significativas entre los estudiantes y el resto de la población, pues los estudiantes en promedio califican el servicio con 0,7 puntos menos. Además, se obtuvo una tasa de omisión de la fila del 20% y que varía entre 0% y 60% según el número de personas que se encuentran en la fila.

En conclusión, la satisfacción de los usuarios del servicio de alimentación depende del tiempo que pasan estos dentro del sistema y de lo aglomerado que se encuentre aquel. Estos parámetros dependen principalmente de la utilización del sistema, que es la relación entre la tasa de llegada (demanda) y la capacidad, la cual se mantiene en un 100% durante el período observado.

Por lo tanto, las posibles mejoras al funcionamiento del sistema, y, en consecuencia, la menor insatisfacción de las personas que lo utilizan, apunta a disminuir la utilización del sistema. Las soluciones propuestas son: aumentar la capacidad del sistema, alterar el patrón de demanda, con el fin de que esta se distribuya de forma más equitativa y la agrupación de recursos, específicamente de los servidores.

Índice de Contenidos

1. INTRODUCCIÓN	1
2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	2
3. OBJETIVOS	3
3.1. Objetivo General	3
3.2. Objetivos Específicos	3
4. MARCO TEÓRICO	4
4.1. Teoría de filas	4
4.1.1. Conceptos básicos de teoría de filas	4
4.1.2. Capacidad y cuellos de botella	4
4.1.3. Ley de Little	6
4.2. Sistemas estacionarios y procesos de Poisson	8
4.2.1. Proceso de llegada estacionario	8
4.2.2. Distribución exponencial	8
4.2.3. Procesos de Poisson	9
4.2.4. Proceso de Poisson compuesto	10
4.3. Problemas de líneas de espera	11
4.3.1. Origen de las líneas de espera	11
4.3.2. Procesamiento de las unidades en línea de espera	12
4.4. Ajuste de modelos de regresión lineal	13
4.4.1. En qué consiste un modelo de regresión lineal	13
4.4.2. Métodos para obtener una regresión lineal	13
4.4.3. Interpretación de un modelo de regresión lineal	14
4.4.3.1. Test de hipótesis	14
4.4.3.2. Dócima individual	15
4.4.3.3. Análisis de varianza	15
4.4.3.4. Dócima de Durbin y Watson	16
4.4.3.5. VIF	16

5. ANTECEDENTES	17
5.1. Descripción del sistema analizado	17
5.2. Estudios sobre líneas de espera	19
5.2.1. Acciones para reducir variabilidad	19
5.2.2. Acciones para reducir tiempo de espera	19
5.3. Estudios sobre satisfacción de los usuarios en un sistema con líneas de espera	20
5.3.1. Estimación del costo de prestar el servicio y su relación con la satisfacción de los usuarios	20
5.3.2. Cómo afecta el tiempo de espera a la satisfacción	20
5.3.3. Cómo afecta la aglomeración a la satisfacción	21
6. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN	22
7. METODOLOGÍA	24
7.1. Descripción de la evaluación del servicio	24
7.1.1. Tomas de datos preliminares	25
7.2. Cálculo de parámetros	25
7.2.1. Tiempos de espera, servicio y flujo	25
7.2.2. Inventario	25
7.2.3. Tasa de flujo	26
7.2.4. Capacidad	26
7.2.5. Llegadas	27
7.2.5.1. Proceso estacionario	27
7.2.5.2. Proceso de Poisson compuesto	27
7.3. Ficha técnica encuesta	28
7.4. Medición de la satisfacción de los usuarios hacia el servicio	29
7.5. Cómo se hará la relación entre satisfacción y aglomeración	29
7.6. Cómo se hará la relación entre la satisfacción y el tiempo de espera	29
7.6.1. Ajuste del modelo multivariable en SPSS	30

7.7. Cómo se realizarán las simulaciones	31
7.7.1. Conceptos previos acerca del uso del software utilizado	31
7.7.2. Cálculo de parámetros previos a la simulación	32
7.7.2.1. Comportamiento de las llegadas	32
7.7.2.2. Capacidad de los recursos	32
7.7.2.3. Otros parámetros relacionados al flujo de personas dentro del proceso	32
7.7.3. Proceso de simulación	33
8. ANÁLISIS DE RESULTADOS	34
8.1. Características generales del funcionamiento del sistema	34
8.2. Niveles de inventario	37
8.3. Tasa de flujo	38
8.4. Relación entre inventario, tasa de flujo y tiempo de flujo	40
8.5. Capacidad del proceso	41
8.6. Proceso estacionario	42
8.7. Tiempo entre llegadas	46
8.7.1. Análisis del tiempo entre llegadas para dos intervalos	47
8.7.2. Análisis del tiempo entre llegadas para tres intervalos	48
8.7.3. Distribución de los tiempos entre llegadas	50
8.7.4. Distribución del número de llegadas	51
8.8. Simulación del proceso en software Arena	52
8.8.1. Cálculo de parámetros utilizados	52
8.8.1.1. Comportamiento de las llegadas	52
8.8.1.2. Capacidad de los recursos	52
8.8.1.3. Características del flujo del proceso	53
8.8.1.4. Parámetros para distintas configuraciones del servicio	53
8.8.2. Resultados simulaciones en software Arena	54
8.8.2.1. Comparación entre datos experimentales y simulación	54

8.8.2.2. Simulación del sistema con distintas tasas de llegada durante 12 minutos de funcionamiento	55
8.8.2.3. Simulación del sistema con distintas configuraciones durante 12 minutos de funcionamiento	56
8.8.2.4. Simulación del sistema con distintas configuraciones durante 21 minutos de funcionamiento	57
8.8.2.5. Simulación del sistema con distintas configuraciones durante 1 hora de funcionamiento	58
8.8.2.6. Simulación del sistema con pooling de líneas de servicio con tasa control	58
8.8.2.7. Utilización del sistema	59
8.8.3. Comentarios	60
8.9. Relación entre la satisfacción del usuario y la aglomeración	60
8.10. Relación entre la satisfacción del usuario y el tiempo de flujo	61
8.10.1. Datos generales de la encuesta	61
8.10.2. Análisis univariado de nota-tiempo	63
8.10.3. Análisis multivariable	66
8.10.3.1. Primer modelo multivariable	66
8.10.3.2. Segundo modelo multivariable	66
8.10.3.3. Comentarios	67
9. CONCLUSIONES	70
9.1. Métodos de análisis	70
9.2. Resultados obtenidos e implicaciones teóricas	70
9.2.1. Valores experimentales	70
9.2.2. Resultados de las simulaciones computacionales	71
9.2.3. Modelo de satisfacción de los usuarios	71
9.3. Recomendaciones	72
9.4. Limitaciones	73

ÍNDICE DE CONTENIDOS

9.4.1. Limitaciones en la toma de datos	73
9.4.2. Limitaciones en el uso del software Arena	73
9.4.3. Limitaciones en los modelos utilizados para medir satisfacción	74
Bibliografía	75
A. ANEXO	78
A.1. Distribución de los tiempos de servicio por servidor	78
A.1.1. Distribución de los tiempos de servicio para el servidor nº1	78
A.1.1. Distribución de los tiempos de servicio para el servidor nº2	78
A.1.1. Distribución de los tiempos de servicio para el servidor nº3	79
A.1.1. Distribución de los tiempos de servicio para el servidor nº4	79
A.2. Diagramas de caja y bigotes de tiempos de servicio por servidor	80
A.2.1. Diagrama de caja y bigotes del tiempo de servicio para el servidor nº1	80
A.2.1. Diagrama de caja y bigotes del tiempo de servicio para el servidor nº2	80
A.2.1. Diagrama de caja y bigotes del tiempo de servicio para el servidor nº3	81
A.2.1. Diagrama de caja y bigotes del tiempo de servicio para el servidor nº4	81
A.3. Ajuste de distribuciones de los tiempos entre llegadas realizadas en software Easyfit	82
A.3.1. Ajuste tiempos entre llegadas para 2 intervalos de tiempo	82
A.3.2. Ajuste tiempos entre llegadas para 3 intervalos de tiempo	83
A.4 Resultados de simulación en software Arena	85
A.4.1. Simulación del sistema con distintas tasas de llegada durante 12 minutos de funcionamiento	85
A.4.2. Simulación del sistema con distintas configuraciones durante 12 minutos de funcionamiento para tasa control	86

A.4.3. Simulación del sistema con distintas configuraciones durante 12 minutos de funcionamiento para tasa máxima	87
A.4.4. Simulación del sistema con distintas configuraciones durante 21 minutos de funcionamiento	88
A.4.5. Simulación del sistema con distintas configuraciones durante 1 hora de funcionamiento	89
A.5. Resultados modelo explicativo n°1 realizado en software SPSS	90
A.5.1. Tabla de variables	90
A.5.2. Tabla resumen del modelo	90
A.5.3. Tabla ANOVA	91
A.5.4. Coeficientes del modelo	91
A.5.5. Estadísticas de los residuales	92
A.5.6. Histograma de los residuales	92
A.5.7. Residuales en función de la variable Ocupación	93
A.5.8. Residuales en función de la variable Tiempo de espera	93
A.6. Resultados modelo explicativo n°2 realizado en software SPSS	94
A.6.1. Tabla de variables	94
A.6.2. Tabla resumen del modelo	94
A.6.3. Tabla ANOVA	94
A.6.4. Coeficientes del modelo	95
A.6.5. Estadísticas de los residuales	96
A.6.6. Histograma de los residuales	96
A.6.7. Residuales en función de la variable Ocupación	97
A.6.8. Residuales en función de la variable Tiempo de flujo	97

Índice de Figuras

4.1. Ejemplo de sistema con fila y varios servidores. Fuente: Mathematics.....	4
4.2. Explicación de la ley de Little. Fuente: The practical performance analyst.	7
5.3. Diagrama simplificado del sistema. Fuente: Elaboración propia.	17
5.4. Diagrama de flujo del servicio. Fuente: Elaboración propia.	18
7.5. Planilla de Excel con los datos observados. Fuente: Elaboración propia.	25
8.6. Tiempo de espera experimental. Fuente: Elaboración propia.	35
8.7. Tiempo de servicio experimental. Fuente: Elaboración propia.	35
8.8. Tiempo de flujo experimental. Fuente: Elaboración propia.	36
8.9. Comparación del nivel de inventario de la fila y los servidores por minuto. Fuente: Elaboración propia.	37
8.10. Nivel de inventario por servidor por minuto. Fuente: Elaboración propia.	38
8.11. Comparación entre llegadas por minuto y tasa de flujo. Fuente: Elaboración propia.	39
8.12. Comparación entre el número de personas en la fila y las tasas de llegada y salida. Fuente: Elaboración propia.	39
8.13. Diferencia entre valor teórico y experimental de inventario. Fuente: Elaboración propia.	41
8.14. Diagrama de flujo con capacidades del sistema. Fuente: Elaboración propia.	42
8.15. Llegadas por minuto. Fuente: Elaboración propia.	43
8.16. Llegadas acumuladas por minuto. Fuente: Elaboración propia.	43
8.17. Llegadas acumuladas por minuto con dos intervalos, para el primer intervalo. Fuente: Elaboración propia.	44
8.18. Llegadas acumuladas por minuto con dos intervalos, para el segundo intervalo. Fuente: Elaboración propia.	44
8.19. Llegadas acumuladas por minuto con tres intervalos, para el primer intervalo. Fuente: Elaboración propia.	45
8.20. Llegadas acumuladas por minuto con tres intervalos, para el segundo intervalo. Fuente: Elaboración propia.	45

ÍNDICE DE FIGURAS

8.21. Llegadas acumuladas por minuto con tres intervalos, para el tercer intervalo. Fuente: Elaboración propia.	46
8.22. Tiempo entre llegadas en segundos. Fuente: Elaboración propia.	46
8.23. Ajuste del tiempo entre llegadas en dos intervalos para el intervalo n°1. Fuente: Easyfit.	47
8.24. Ajuste del tiempo entre llegadas en dos intervalos para el intervalo n°2. Fuente: Easyfit.	48
8.25. Ajuste del tiempo entre llegadas en tres intervalos para el intervalo n°1. Fuente: Easyfit.	49
8.26. Ajuste del tiempo entre llegadas en tres intervalos para el intervalo n°2. Fuente: Easyfit.	49
8.27. Ajuste del tiempo entre llegadas en tres intervalos para el intervalo n°3. Fuente: Easyfit.	50
8.28. Distribución de los tiempos de servicio para el servidor n°2. Fuente: Elaboración propia.	52
8.29. Diagrama del proceso modelado en el software Arena. Fuente: Arena.	53
8.30. Utilización promedio de las líneas de servicio para tasa control. Fuente: Elaboración propia.	59
8.31. Utilización promedio de las líneas de servicio para tasa máxima. Fuente: Elaboración propia.	60
8.32. Gráfico de relación entre aglomeración y omisiones en la fila. Fuente: Elaboración propia.	61
8.33. Sexo de los encuestados. Fuente: Elaboración propia.	62
8.34. Ocupación de los encuestados. Fuente: Elaboración propia.	63
8.35. Histograma de las notas. Fuente: Elaboración propia.	63
8.36. Gráfico de nota vs tiempo de espera. Fuente: Elaboración propia.	64
8.37. Gráfico de nota vs tiempo de servicio. Fuente: Elaboración propia.	64
8.38. Gráfico de nota vs tiempo de flujo. Fuente: Elaboración propia.	65

ÍNDICE DE FIGURAS

8.39. Comportamiento de las variables en función de la variable Ocupación.	
Fuente: SPSS.	68
8.40. Comportamiento de las variables en función de la variable Sexo.	
Fuente: SPSS.	69

Índice de Tablas

8.1. Tiempos promedio de permanencia en el sistema. Fuente: Elaboración propia.	34
8.2. Cuadro comparativo entre los servidores. Fuente: Elaboración propia.	38
8.3. Niveles de inventario promedio en la fila y por cada servidor. Fuente: Elaboración propia.	40
8.4. Tiempos promedio de espera y servicio por servidor. Fuente: Elaboración propia. ...	40
8.5. Tasa de flujo por servidor. Fuente: Elaboración propia.	40
8.6. Tiempos de flujo en las líneas de servicio. Fuente: Elaboración propia.	41
8.7. Parámetros de los tiempos entre llegadas por intervalos. Fuente: Elaboración propia.	51
8.8. Distribución del número de llegadas por intervalo. Fuente: Elaboración propia.	51
8.9. Promedios de la distribución de las llegadas. Fuente: Elaboración propia.	51
8.10. Tasas reales de llegadas. Fuente: Elaboración propia.	51
8.11. Valores de la distribución uniforme de los tiempos de servicio. Fuente: Elaboración propia.	53
8.12. Probabilidades de elección de las líneas de servicio. Fuente: Elaboración propia.	54
8.13. Tiempos de servicio. Fuente: Elaboración propia.	54
8.14. Comparación entre datos experimentales y simulación. Fuente: Arena.	55
8.15. Simulación del sistema durante 12 minutos con tasa de llegada variable. Fuente: Arena.	55
8.16. Simulación del funcionamiento del sistema a tasa control durante 12 minutos con configuración variable. Fuente: Arena.	56
8.17. Simulación del funcionamiento del sistema a tasa máxima durante 12 minutos con configuración variable. Fuente: Arena.	57
8.18. Simulación del funcionamiento del sistema durante 21 minutos con seis líneas de servicio. Fuente: Arena.	57

ÍNDICE DE TABLAS

8.19. Simulación del funcionamiento del sistema durante 1 hora con seis líneas de servicio. Fuente: Arena.	58
8.20. Simulación del funcionamiento del sistema con pooling de líneas de servicio con tasa control. Fuente: Arena.	58
8.21. Nota según intervalos de tiempo de espera. Fuente: Elaboración propia.	65
8.22. Nota según intervalos de tiempo de flujo. Fuente: Elaboración propia.	65

1. Introducción

La teoría de filas se dedica al estudio de las líneas de espera dentro de un sistema. Esta teoría estudia factores como el tiempo de espera promedio, niveles de inventario y la capacidad de trabajo del sistema. Una de las aplicaciones que existen de la teoría de colas, es la modelación de sistemas en los cuales una serie de clientes demandan un servicio, el cual posee una cierta capacidad limitada, y que, en consecuencia, pueden producirse esperas desde que un cliente llega al sistema hasta que es atendido.

Este tiempo que deben esperar los clientes depende de una serie de factores como la tasa de llegadas, la capacidad del sistema y el número de servidores que pueden atender simultáneamente (Ata y Van Mieghem, 2008). Además, a partir del tiempo de espera y de la tasa de llegadas, es posible determinar el número promedio de personas que se encuentran en la línea de espera (Little y Graves, 2008).

Desde el punto de vista de los clientes, el tiempo de espera es el factor más importante que influye en su nivel de satisfacción con el servicio prestado (Dharmawiya et al., 2012), existiendo una relación negativa entre ambos factores (Davis y Vollmann, 1990). Las personas tienden a sobreestimar el tiempo que esperan en la fila (Langer y Saegart, 1977) y dentro de las causas de este fenómeno están la importancia que le da cada cliente a su tiempo (Davis y Vollmann, 1990) y el nivel de aglomeración percibido (Hui y Bateson, 1991).

Teniendo en cuenta la importancia de la teoría de filas y la relación que se puede establecer entre la gestión de operaciones (capacidad, tiempo de espera, entre otros) y el marketing (satisfacción de clientes) es que se ha planteado la necesidad de analizar el caso principal de la UTFSM según este foco. Este sistema es utilizado por personas pertenecientes a la comunidad universitaria para almorzar. Como el tiempo para almorzar es limitado, el caso presenta una alta demanda en poco tiempo, lo que trae largas filas de espera.

Dentro de las hipótesis planteadas, se plantea que los usuarios se sienten más insatisfechos a medida que aumenta su tiempo de espera.

En el presente estudio se plantea encontrar la relación, si es que existe, entre la satisfacción y el tiempo de espera y, en base a eso, definir una configuración de funcionamiento del servicio que deje satisfechos a los usuarios y que a la vez sea viable desde el punto de vista operacional.

2. Problema de investigación:

Las filas de espera tienen dos causas causas, la falta de capacidad y la variabilidad. Debido a que para los clientes esperar es una experiencia desagradable (Davis y Vollmann, 1990) los encargados de prestar el servicio suelen tomar medidas para aumentar la capacidad, alterar el patrón de demanda de los clientes o disminuir la variabilidad de los tiempos de servicio.

Para el prestador del servicio, es importante conocer cuánto tiempo esperan sus clientes para recibir el servicio, pues un cliente insatisfecho puede no volver, lo que se traduce en pérdidas económicas. Es por esto que se utiliza un enfoque integral entre marketing y operaciones, en donde el objetivo es encontrar el nivel de servicio que minimice el costo de prestar el servicio más el de las pérdidas por clientes no satisfechos.

Desde el punto de vista de los clientes, la espera es un proceso indeseable, que produce emociones negativas y esto afecta al nivel de satisfacción que tienen ellos con el servicio que utilizan. Según los estudios de Dharmawiya et al. (2012) y de Knutson (2000) el tiempo de espera percibido es la principal causa de insatisfacción, y la percepción que tienen las personas de su tiempo depende de varios otros factores, como la aglomeración, el aburrimiento y la criticidad del tiempo para cada persona.

Existen estudios que muestran los factores que determinan el nivel de conformidad de los clientes con el servicio y que relacionan el tiempo de espera con una menor satisfacción y muchos de ellos han analizado servicios donde el producto es comida (restaurantes, comida rápida, comedores universitarios, etc.).

En base a la documentación existente, y tomando en cuenta que el comedor de la Universidad Técnica Federico Santa María presenta un problema evidente a simple vista, que es la excesiva fila que se produce durante la hora peak del almuerzo, alrededor de las 13:00, lo cual puede conllevar a aumentar el nivel de estrés e insatisfacción del alumnado que utiliza el comedor para almorzar.

Por esta razón es que se ha decidido aplicar la metodología de estudios similares a este servicio, con el fin de analizar ciertos parámetros dentro del servicio (tiempo de espera, número de personas en la fila, utilización del sistema, entre otros) y además de determinar si efectivamente el tiempo de espera y el tamaño de la fila influyen en la satisfacción de los usuarios.

3. Objetivos:

3.1 Objetivo General:

Diagnóstico y simulación computacional del servicio de alimentación de la UTFSM Campus Valparaíso, a través de la medición de tiempos de espera y de la relación de éstos con el nivel de satisfacción de los usuarios, para obtener distintas configuraciones de los servidores que permitan un mejor uso del servicio.

3.2 Objetivos específicos:

- Plantear un método eficiente de evaluación del servicio, mediante la investigación de casos similares, para realizar un diagnóstico adecuado.
- Evaluar el funcionamiento del servicio de alimentación para el período de noviembre de 2016, mediante métodos cualitativos y cuantitativos, para obtener un diagnóstico de su funcionamiento.
- Establecer una relación entre el tiempo de espera y el nivel de satisfacción de los usuarios, utilizando métodos econométricos, para la posterior modelación del sistema.
- Simular distintas configuraciones de funcionamiento para el servicio, utilizando softwares adecuados, para realizar una evaluación de éstas y contrastarlas con la situación actual.

4. Marco Teórico:

4.1 Teoría de filas

4.1.1 Conceptos básicos de teoría de filas

La teoría de filas corresponde al estudio de las líneas de espera dentro de un sistema, la cual utiliza métodos matemáticos y estadísticos. Esta teoría permite modelar sistemas en los cuales una cantidad de usuarios demanda un servicio, para lo cual deben esperar su turno para ser atendidos. La situación a estudiar es idónea para ser representada como un sistema con filas, pues como se ha visto anteriormente, consiste en un conjunto de servidores que atienden a los clientes, los cuales deben esperar un tiempo en la fila para ser atendidos.

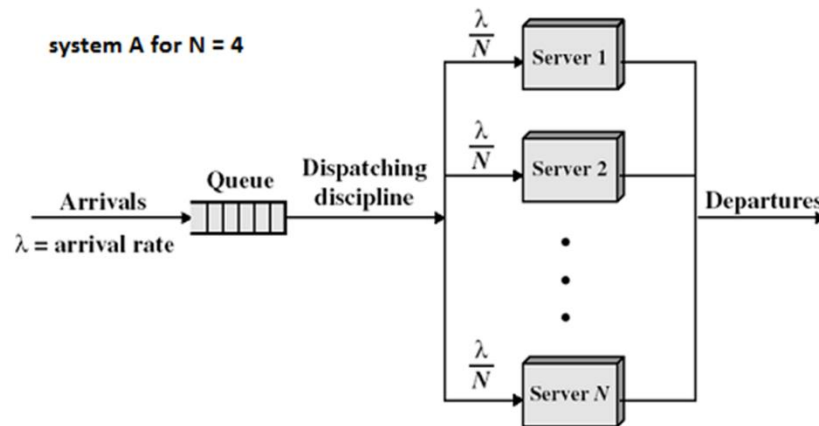


Figura 4.1. Ejemplo de sistema con fila y varios servidores. Fuente: Mathematics.

En la Figura 4.1 se puede observar el modelo de un sistema con clientes que llegan a una tasa λ y deben esperar en una fila única antes de ser atendidos por N servidores. La tasa de llegada, definida como λ , denota el flujo de personas que ingresan a la fila por unidad de tiempo, también puede ser entendida como el inverso del lapso entre dos llegadas consecutivas. Una vez que el cliente es atendido, éste circula a una tasa μ , que es la tasa de flujo, definida como el número de clientes que puede atender un servidor por una unidad de tiempo, la tasa de atención máxima también se conoce como capacidad.

Para medir qué porcentaje de la capacidad está siendo ocupada en el proceso se emplea el concepto de la utilización, que corresponde al cociente entre la tasa de llegada y la capacidad del sistema. Un sistema es factible cuando la utilización es menor al 100%, es decir, la tasa de llegada de clientes es menor a la tasa de atención de éstos, de lo contrario la fila de espera crecerá indefinidamente.

4.1.2 Capacidad y cuellos de botella

La capacidad de un proceso corresponde a la máxima cantidad que éste puede producir, lo cual no es necesariamente la cantidad real que el proceso realiza. Aplicando esta definición a la teoría de filas, la capacidad del sistema es la máxima cantidad de clientes que pueden ser

atendidos por unidad de tiempo. La capacidad puede ser medida tanto en un recurso o proceso individual como en la totalidad del proceso.

Esta capacidad se calcula como el inverso del tiempo de flujo, el cual es la cantidad de tiempo que demora una persona en ser atendida en condiciones óptimas.

Cuando se tiene un conjunto de diferentes actividades dentro de un proceso, los elementos que ingresan deben recorrer algunas o todas las actividades, por lo que la capacidad del proceso completo está determinada por la capacidad del proceso más lento, o sea, del que tiene menor capacidad. Este proceso con menor capacidad, que ralentiza el flujo de clientes, se denomina “cuello de botella”. Más formalmente, la capacidad de un proceso con n recursos en serie se puede expresar como:

$$Cap. del proceso = Min \{Cap. del recurso 1, \dots, Cap. del recurso n\} \quad (4.1)$$

Cuando existen dos o más recursos que trabajan en paralelo, entonces la capacidad del proceso completo queda determinada por:

$$Capacidad del proceso = \sum_{i=1}^n Capacidad del recurso i \quad (4.2)$$

La capacidad de un proceso afecta a la tasa de flujo de aquel, pues la tasa de flujo no puede superar la capacidad, pero no es el único factor que la afecta. Si se da el caso de que la demanda es menor a la capacidad, la tasa de flujo será igual a la demanda, a menos que exista acumulación de inventario. También puede ocurrir que los recursos necesarios para que el proceso funcione (también llamados “inputs”) no sean suficientes para producir a la tasa que determine la capacidad o la demanda, por lo cual el flujo estará limitado por estos. Entonces se puede expresar que la tasa de flujo es el mínimo entre la capacidad, la demanda y la oferta de recursos, y que el tope máximo para esta tasa está fijado por la capacidad del proceso.

Existe una relación entre la tasa de flujo del proceso, el tiempo y las unidades producidas, la cual se puede expresar como:

$$Tasa de flujo = \frac{Unidades}{Tiempo} \quad (4.3)$$

Por lo tanto, y a partir de esa relación, se puede determinar el tiempo que se demora el proceso en terminar X unidades de producto, suponiendo una tasa de flujo constante, o las unidades producidas durante un intervalo de tiempo. En la mayoría de las situaciones, la tasa de flujo no es constante a través del tiempo, ya que depende de la capacidad, la demanda y los recursos que posee el sistema para que los procesos funcionen.

En la situación analizada en este trabajo, la demanda es igual al número de personas que ingresan a almorzar al comedor, la capacidad está determinada por el número de líneas de servicio que las atienden, cuyo máximo es de cuatro servidores en paralelo funcionando. Por último, los recursos que utiliza este proceso son la mano de obra, es decir, los trabajadores que se encargan de preparar y servir los almuerzos, y la materia prima, que son los alimentos. Asumiendo que no existen problemas de suministros, se puede ignorar el apartado de recursos y concentrarse solo en la demanda y en la capacidad, que son los determinantes de

la tasa de flujo. Así es, cuando existe una baja tasa de ingreso al comedor, la tasa de flujo estará determinada por la demanda, y cuando el ingreso de personas supera a la capacidad, la tasa de flujo será igual a la capacidad.

4.1.3 Ley de Little

Además de la capacidad, existen otros indicadores que se usan para medir el desempeño de un proceso. Para poder definir estos indicadores, primero se tiene que definir cuál es la unidad de flujo que transita por el proceso, la cual generalmente es un producto en una cadena de producción. Para el caso estudiado, la unidad de flujo corresponde a las personas que han sido atendidas por alguno de los servidores.

Los tres indicadores que se usan para evaluar un proceso son:

- **Inventario:** Corresponde al número de unidades de flujo que están circulando dentro del proceso.
- **Tiempo de flujo:** Es el tiempo que le toma a una unidad de flujo circular por todo el proceso, esto incluye los tiempos de espera.
- **Tasa de flujo:** Como se ha dicho antes, la tasa de flujo es el número de unidades de flujo que transitan por unidad de tiempo. Para la mayoría de los procesos en operaciones, la tasa de flujo se calcula como la tasa de salida de unidades de flujo del sistema.

Para el proceso analizado, el inventario se puede subdividir en dos componentes, existe un inventario de las personas que esperan en la cola para ingresar al casino, y el inventario de personas que están siendo atendidas.

Se puede notar que, si se disminuye el tiempo de flujo, también lo debería hacer el inventario, pues si una persona toma menos tiempo en pasar por el sistema, habrá menos personas en él. Esta relación se llama Ley de Little.

$$\text{Inventario promedio} = \text{Tasa de flujo promedio} * \text{Tiempo de flujo promedio} \quad (4.4)$$

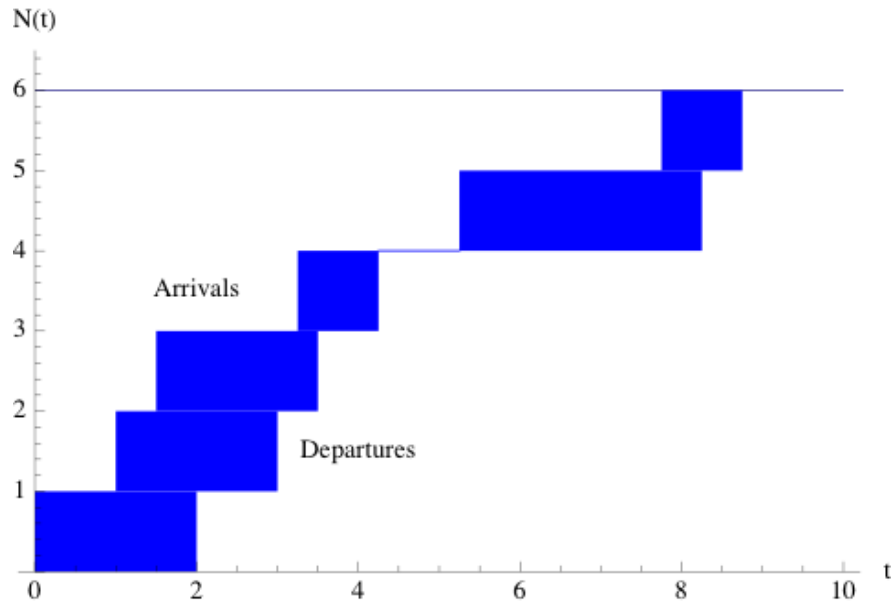


Figura 4.2. Explicación de la ley de Little. Fuente: The practical performance analyst, 2° edición.

En la Figura 4.2, se muestran los ingresos y las salidas de usuarios en un sistema durante un período de tiempo $t = 10$. Tanto los ingresos como las salidas se muestran acumuladas en el tiempo. En cualquier momento t , la distancia vertical entre ambas líneas representa la cantidad de personas que se encuentran en el sistema, es decir, el inventario.

La distancia horizontal muestra el tiempo de flujo. Se puede notar que esta distancia no es la misma para todos los usuarios, pues la duración de la atención y de la espera no necesariamente debe ser igual para todos, ya que los tiempos de espera y servicio presentan variabilidad. La tasa de flujo está representada por la pendiente de ambas líneas.

A pesar de que el gráfico muestra los parámetros en un instante determinado de tiempo, también se puede obtener los valores promedio del inventario, la tasa de flujo y el tiempo de flujo durante el día. Si se evalúan esos valores en la fórmula de Little, se observa que la ley de cumple, en efecto, no importa la disciplina de la cola o la variabilidad presente, pues la Ley de Little toma valores promedio. Esta fórmula es útil para obtener uno de los parámetros cuando se tienen solo 2 de ellos.

Para poder aplicar la fórmula propuesta por Little y Graves (2008), se requiere que el proceso sea estacionario. En caso de sistemas no estacionarios, se requiere de dos condiciones adicionales:

- El inventario inicial y final de unidades de flujo debe ser cero. También llamada condición de borde.
- Todas las unidades de flujo que ingresan completan el servicio y posteriormente salen del sistema. Es decir, no existen clientes perdidos.

4.2 Sistemas estacionarios y procesos de Poisson

4.2.1 Proceso de llegada estacionario

Para Cachon y Terwiesch (2009) se requiere conocer el comportamiento de las llegadas de las personas a la fila para poder realizar los análisis y simulaciones del sistema, es por esto que plantean dos preguntas con respecto a las llegadas:

- ¿Es el proceso de llegada estacionario?
- ¿Los tiempos entre llegadas están distribuidos de forma exponencial?

Se dice que un proceso de llegada es estacionario si para cualquier intervalo de tiempo, el número esperado de llegadas solo depende de la longitud del intervalo de tiempo, y no del tiempo de inicio de este intervalo. Cuando un proceso no es estacionario, se dice que presenta estacionalidades, es decir, que el número esperado de llegadas depende del tiempo en el cual se empieza a medir, por ejemplo, un restaurante que esté abierto todo el día tendrá más llegada de clientes a la hora del almuerzo o de la cena, por lo tanto, las llegadas al restaurante no son estacionarias, pues existe mayor demanda a ciertas horas.

Si se tiene un proceso que no es estacionario, se puede subdividir en intervalos de tiempo más pequeños, en donde cada intervalo tiene su propia tasa de llegada λ . Así, cada uno de los sub procesos de llegada si es estacionario.

4.2.2 Distribución exponencial

Una variable aleatoria T tiene distribución exponencial con parámetro λ , $T \sim \text{Exp}(\lambda)$, si su función de distribución está dada por:

$$F_T(t) = P(T \leq t) = 1 - e^{-\lambda t}, \quad t \geq 0 \quad (4.5)$$

Equivalentemente, T tiene densidad $f_T(t)$, dada por:

$$f_T(t) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda t}, & t \geq 0 \\ 0, & t < 0 \end{cases} \quad (4.6)$$

Esta distribución tiene el siguiente valor esperado:

$$E[T] = \int_{-\infty}^{\infty} t f_T(t) dt = \int_0^{\infty} t \lambda e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda} \quad (4.7)$$

De manera similar, se puede obtener el valor de $E[T^2]$ realizando integración por partes.

$$E[T^2] = \int_0^{\infty} t^2 \lambda e^{-\lambda t} dt = \frac{2}{\lambda^2} \quad (4.8)$$

Por lo tanto, la varianza de la distribución exponencial es:

$$\text{Var}(T) = E[T^2] - (E[T])^2 = \frac{1}{\lambda^2} \quad (4.9)$$

Y dado que la desviación estándar es la raíz cuadrada de la varianza, se tiene que la desviación estándar es igual a la media, por lo que el coeficiente de variación es igual a 1.

Además, la distribución exponencial tiene la propiedad de “pérdida de memoria”, que implica que el número de eventos dentro de un intervalo de tiempo es independiente de los eventos que hayan ocurrido antes. Es decir:

$$P(T > t + s \mid T > t) = P(T > s) \quad (4.10)$$

Para demostrar esta propiedad se hace uso de la propiedad de probabilidad condicional.

$$P(T > t + s \mid T > t) = \frac{P(T > t+s)}{P(T > t)} = \frac{e^{-\lambda(t+s)}}{e^{-\lambda t}} = e^{-\lambda s} = P(T > s) \quad (4.11)$$

4.2.3 Procesos de Poisson

Un proceso de Poisson es un proceso estocástico en tiempo continuo que consiste en contar eventos raros que ocurren a lo largo del tiempo. El tiempo que transcurre entre dos eventos consecutivos sigue una distribución exponencial con parámetro $\lambda \geq 0$. Este proceso cuenta en tiempo continuo los eventos $\{N_t, t \geq 0\}$, en donde N_t es el número de eventos ocurridos desde el instante cero hasta el instante t , y cumple con las siguientes propiedades:

1. $N(0) = 0$.
2. Si $s \leq t$, entonces $N_s \leq N_t$.
3. Para todo $n > 0$ y $0 < t_1 < t_2 < \dots < t_n$, las variables aleatorias $N_{t_1}, N_{t_2} - N_{t_1}, \dots, N_{t_n} - N_{t_{n-1}}$ son independientes.
4. Para todo $h > 0$ y $t \in \mathbb{R}^+$, N_h y $N_{t-h} - N_t$ tienen la misma distribución.
5. $P\{N(h) = 1\} = \lambda h + o(h)$.
6. $P\{N(h) \geq 2\} = o(h)$.

Donde $o(h)$ es una función tal que:

$$\lim_{h \rightarrow 0} \frac{o(h)}{h} = 0 \quad (4.12)$$

7. Las variables aleatorias N_t tienen distribución Poisson con parámetro λt .
8. Si T_k denota el tiempo transcurrido entre el $(k-1)$ -ésimo evento hasta el k -ésimo, entonces T_k es una variable aleatoria con distribución exponencial con parámetro λ .
9. Si S_n denota el tiempo transcurrido desde el inicio del conteo hasta el n -ésimo evento, entonces S_n tiene distribución Gamma con parámetros (n, λ) .

Entre las aplicaciones del proceso de Poisson se cuentan: número de accidentes de tránsito en alguna zona específica, número de goles anotados en un partido, solicitudes de documentos en servidores de internet y la llegada de personas a una fila de espera.

Para este último caso, se tiene que el tiempo entre dos llegadas consecutivas AT_i y AT_{i+1} , definido por $IA_i = AT_{i+1} - AT_i$, sigue una distribución exponencial, se dice que el proceso de llegada es un proceso de tipo Poisson. Por lo tanto:

$$P\{IA \leq t\} = 1 - e^{\frac{-1}{at}} \quad (4.13)$$

En donde t es un tiempo cualquiera y a es el tiempo entre llegadas promedio. Entonces se tiene que:

$$\lambda = \frac{1}{a} \quad (4.14)$$

Generalmente los procesos de filas de espera son procesos de Poisson, pues las llegadas son aleatorias, aunque suelen darse casos en donde las llegadas no están distribuidas exponencialmente, generalmente esto ocurre cuando se toman medidas para disminuir la aleatoriedad del proceso, por ejemplo, en una consulta médica en donde los pacientes deben pedir hora antes de ir (Cachon y Terwiesch, 2009). Cuando el proceso es de tipo Poisson se pueden aplicar todas las propiedades de la distribución exponencial.

4.2.4 Proceso de Poisson compuesto

En un proceso ordinario de Poisson solo puede ocurrir un evento a la vez, por lo tanto, existen múltiples situaciones en que el proceso de Poisson simple no es suficiente para modelarlas.

El proceso de Poisson compuesto combina un proceso de Poisson ordinario con otra variable aleatoria que debe ser independiente del proceso de Poisson. En este proceso los “saltos” entre los eventos siguen la distribución de Poisson, pero cada evento toma un valor aleatorio, que puede modelarse como otra distribución de probabilidad.

Sean Y_i el valor que toma el evento i y $S(t)$ el valor que toma el proceso de Poisson compuesto hasta el instante t . Entonces la distribución compuesta de $S(t)$ satisface:

$$S(t) = \sum_{i=1}^{N(t)} Y_i \quad (4.15)$$

En donde $N(t)$ representa el número de eventos que han ocurrido hasta el instante t , el cual es un proceso de Poisson ordinario.

El valor esperado del proceso de Poisson compuesto se puede calcular mediante la ecuación de Wald, la cual es una identidad que permite calcular el valor esperado de una suma de variables aleatorias.

$$E[S(t)] = E[E(S(t)|N(t))] = E[N(t)E(Y)] = E[N(t)]E[Y] = \lambda t E[Y] \quad (4.16)$$

Mediante la misma ecuación, se puede despejar el valor de la varianza.

$$\begin{aligned} Var(S(t)) &= E[Var(S(t)|N(t))] + Var(E[S(t)|N(t)]) \\ &= E[N(t)Var(Y)] + Var(N(t)E[Y]) \\ &= Var(Y)E[N(t)] + E[Y]^2 Var(N(t)) \\ &= Var(Y)\lambda t + E[Y]^2 \lambda t \\ &= \lambda t (Var(Y) + E[Y]^2) \end{aligned} \quad (4.17)$$

$$= \lambda t E[Y^2] \quad (4.18)$$

Beard et al. (1984) propone modelar una situación mediante un proceso de Poisson compuesto cuando existen dos variables que deben ser estudiadas dentro de un proceso de Poisson como, por ejemplo:

- Las llegadas de clientes a una tienda. Cada cliente gasta un monto aleatorio de dinero.
- Las llegadas de usuarios a una página web. Cada usuario permanece un período aleatorio de tiempo en el sitio.
- Las fallas en un sistema. La frecuencia de éstas se modela como Poisson simple y la duración de la reparación es una variable aleatoria.
- Los terremotos. La frecuencia de terremotos en un determinado lugar sigue una distribución exponencial mientras que la intensidad de éstos es una variable aleatoria.

Las llegadas de los usuarios al casino de la UTFSM ocasionalmente ocurren en grupos, por lo que un proceso Poisson ordinario no puede modelar de forma óptima el proceso de llegadas, ya que habría valores de tiempos entre llegadas iguales a cero. Aplicando la metodología propuesta por Beard et al. (1984), un proceso de Poisson compuesto es una mejor forma de representar el proceso analizado.

Para este proceso en particular, las variables son:

- Distribución de los tiempos entre eventos, en donde un evento consiste en una llegada, ya sea de una o más personas.
- Distribución del tamaño de las llegadas, es decir, cuántas personas llegaron juntas en cada evento.

En base a lo anterior, se definen los siguientes parámetros:

- $F(\lambda)$: distribución de los tiempos entre llegadas, la cual es exponencial con parámetro λ .
- $N(t)$: número de llegadas ocurridas hasta el instante t .
- Y_i : número de personas que llegan simultáneamente en cada evento.
- θ : número promedio de personas que llegan simultáneamente en cada evento.
- $S(t)$: número de personas que han llegado hasta el instante t .

4.3 Problemas de líneas de espera

4.3.1 Origen de las líneas de espera

Cuando el usuario ingresa al sistema, debe permanecer una cierta cantidad de tiempo esperando en la cola para ser atendido, esta cola puede ser física (fila en un banco o supermercado) o virtual (esperando mientras se es atendido por alguien en un callcenter).

Este tiempo de espera en la fila puede tener dos causas:

- Cuando la tasa de demanda excede la capacidad del sistema, es decir, se tiene una utilización por sobre el 100% durante algún intervalo de tiempo. Ocurre cuando la

capacidad es constante, pero la demanda presenta estacionalidades, por lo que inevitablemente en algunos momentos la demanda sobrepasará la capacidad. Si esta situación se diera durante todo el tiempo, la fila crecería indefinidamente y el sistema no sería viable.

- Producto de la variabilidad. Anupindi et al. (2005) indican que las filas de espera se forman cuando existe variabilidad en los tiempos entre llegada y los tiempos de proceso, aunque la tasa de llegada promedio sea menor a la capacidad. Dado que la causa de la creación de líneas de espera es la variabilidad, el tiempo de espera para el consumidor es incierto. Mayor utilización de los recursos genera mayores tiempos de espera (Davis, 1990).

La variabilidad dentro de un sistema puede producirse por múltiples razones, las cuales Cachon y Terwiesch (2009) clasifican en cuatro categorías:

- Variabilidad en las llegadas, siendo la principal causa de variabilidad.
- Variabilidad en los tiempos de actividad o de servicio, debido a que estas actividades son desarrolladas por personas. También ocurre porque algunos clientes necesitan mayor tiempo de atención para una misma actividad.
- Variabilidad debido a la disponibilidad de recursos. Los recursos pueden no estar disponibles debido a fallas, ausencia de operadores, entre otros.
- Variabilidad debido a múltiples rutas cuando existe más de un proceso dentro del sistema, debido a que la ruta que puede tomar cada unidad de flujo es aleatoria.

Para Cachon y Terwiesch (2009), el principal origen de la variabilidad se encuentra en el comportamiento de las llegadas, pues bajo un proceso de Poisson estas son completamente aleatorias. A diferencia de los tiempos de servicio y la disponibilidad de recursos que tienen un menor componente de aleatoriedad.

La fórmula para calcular el tiempo de espera es:

$$W_q = \frac{p}{m} * \frac{u^{\sqrt{2(m+1)}-1}}{1-u} * \frac{CV_a^2 + CV_p^2}{2} \quad (4.19)$$

En donde p es el tiempo de servicio, m el número de recursos, u la utilización, CV_a y CV_p los coeficientes de varianza de los tiempos entre llegadas y los tiempos de servicio. La utilización del sistema se entiende como la relación entre la capacidad y la demanda y se calcula como:

$$u = \frac{p}{a*m} \quad (4.20)$$

4.3.2 Procesamiento de las unidades en línea de espera

Cuando se tiene una fila con personas esperando ser atendidas, se requiere decidir en qué orden estas personas entrarán al servidor que realizará su atención. Existen ciertas reglas para tomar esas decisiones, las cuales pueden ser basadas en el tiempo de servicio (SPT: shortest procesing time) o ser independientes del tiempo de servicio (FIFO: first in first out, según prioridad). En el caso de un proceso en donde todos los clientes pasan por el mismo proceso y requieren del mismo tiempo de servicio, la regla utilizada es la FIFO, es decir, se atiende a

la persona que llegó primero. Esta regla tiene además la ventaja de presentar una menor variabilidad en los tiempos de espera.

4.4 Ajuste de modelos de regresión lineal

4.4.1 En qué consiste un modelo de regresión lineal

Un modelo de regresión lineal es un modelo matemático que se usa para aproximar la relación de dependencia entre una variable dependiente Y , un grupo de variables independientes X_i y un término aleatorio u , también llamado error o perturbación. Este modelo se puede expresar de la siguiente manera:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \cdots + \beta_n X_n + u \quad (4.21)$$

En donde β_0 es la intersección o constante y los β_i ($i > 0$) representan la influencia que tienen las variables regresoras sobre la variable dependiente.

Este modelo de regresión lineal proviene del método de los mínimos cuadrados, que consiste en minimizar la suma de los cuadrados de las perturbaciones u_i . Estas perturbaciones son aleatorias y son la diferencia entre el Y estimado y el Y observado.

Los supuestos bajo los que opera el modelo de regresión lineal, según Gujarati y Porter (2009), son:

1. El modelo es lineal en los parámetros.
2. Valores fijos de X o valores de X independientes del término de error. Es decir, la covarianza entre cada X_i y los u_i debe ser cero.

$$\text{cov}(u_i, X_{ki}) = 0 \quad \forall i, k \quad (4.22)$$

3. La esperanza de las perturbaciones debe ser igual a cero.

$$E(u_i) = 0 \quad \forall i \quad (4.23)$$

4. Homoscedasticidad o varianza constante de u_i .

$$\text{var}(u_i) = \sigma^2 \quad (4.24)$$

5. Ausencia de autocorrelación entre las perturbaciones.

$$\text{cov}(u_i, u_j) = 0 \quad i \neq j \quad (4.25)$$

6. El número de observaciones debe ser mayor al número de parámetros por estimar.
7. Debe haber variación en los valores de las variables X .
8. No debe existir multicolinealidad, es decir, no debe haber relación lineal exacta entre las variables X .
9. No hay sesgo de especificación.

4.4.2 Métodos para obtener una regresión lineal

Cuando se plantea realizar un modelo de regresión lineal múltiple, con varias variables regresoras, se debe determinar si todas las variables deben incluirse o no en el modelo. Cuando existen muchas variables regresoras en el modelo suelen haber problemas de multicolinealidad, violando uno de los supuestos del MRL. Además, la varianza del modelo crece conforme crece el número de variables independientes.

Es por esto que existen procedimientos para determinar cuáles variables deben incluirse en el modelo, éstos son:

- **Eliminación progresiva (Backward Stepwise Regression):** Este procedimiento parte con el modelo de regresión con todas las variables regresoras y en cada etapa se elimina la variable menos influyente según el contraste individual de la prueba t de Student o la F de Fisher hasta una cierta regla de parada.
Los inconvenientes de la eliminación progresiva son que se necesita de mucho tiempo de cálculo si existen muchas variables regresoras y que puede conllevar a problemas de multicolinealidad. La ventaja es que se evita la eliminación de variables significativas.
- **Introducción progresiva (Forward Stepwise Regression):** Es el inverso del procedimiento anterior, en cada etapa se agrega la variable más significativa hasta una regla de parada.
Tiene la ventaja de necesitar menos tiempo de cálculo, pero pueden aparecer errores de especificación porque las variables introducidas permanecen en el modelo, aunque el algoritmo en pasos sucesivos incorpore nuevas variables que aportan información de las primeras. Además, el algoritmo puede fallar si el contraste conjunto es significativo, pero los individuales no lo son, pues no deja entrar más variables al modelo.
- **Regresión paso a paso (Stepwise Regression):** Este método es una combinación de los dos anteriores, comienza como el procedimiento de introducción progresiva, pero en cada etapa se plantea si todas las variables introducidas deben permanecer. El algoritmo termina cuando no pueden entrar ni salir más variables.
Este algoritmo tiene todas las ventajas del modelo de introducción progresiva, pero lo mejora pues no mantiene fijas las variables que ya han ingresado en una etapa, evitando los problemas de multicolinealidad.

4.4.3 Interpretación de un modelo de regresión lineal

4.4.3.1 Test de hipótesis

Una hipótesis estadística es una aseveración sobre el valor de uno o varios parámetros (Devore, 2008), e incluso de una distribución de probabilidad completa. En cualquier prueba de hipótesis existen dos hipótesis contradictorias, el objetivo es determinar con evidencia empírica, cual es la hipótesis correcta.

La hipótesis nula denotada por H_0 , es la pretensión de que inicialmente se cree cierta. La hipótesis alternativa, H_a , es la aseveración contradictoria a H_0 .

La hipótesis nula será rechazada en favor de la alternativa solo si la evidencia muestral indica que H_0 es falsa. Si la muestra no contradice fuertemente a H_0 , se continuará creyendo en la veracidad de la hipótesis nula. Las dos posibles conclusiones derivadas de un análisis de prueba de hipótesis son rechazar H_0 o no rechazar H_0 .

Un procedimiento de prueba es una regla, basada en datos muestrales, para decidir si se rechaza H_0 . Este se especifica por:

- Un estadístico de prueba, una función de los datos muestrales en los cuales ha de basarse la decisión.
- Una zona de rechazo, el conjunto de todos los valores estadísticos de prueba por los cuales la hipótesis nula será rechazada.

El nivel de significación de una prueba estadística se define como la probabilidad de tomar la decisión de rechazar la hipótesis nula cuando ésta es verdadera. Esta decisión se toma a menudo con el p-valor, si éste es menor al nivel de significación, la hipótesis nula es rechazada. Habitualmente se trabaja con un nivel de significación del 5%.

4.4.3.2 Dócima individual

Para determinar si los parámetros β_i del modelo de regresión lineal son significativos, es decir, son distintos de cero, se realiza un test de hipótesis en donde el estadístico de prueba sigue una distribución t de Student con $n - 2$ grados de libertad. Las hipótesis planteadas son:

$$H_0: \beta_i = 0 \quad (4.26)$$

$$H_a: \beta_i \neq 0 \quad (4.27)$$

Si el nivel de significancia obtenido es menor al 5%, entonces la hipótesis nula se rechaza, por lo tanto, el coeficiente β_i es estadísticamente distinto de cero.

4.4.3.3 Análisis de varianza

Para determinar qué tan bien explicado se encuentra un modelo de regresión lineal se utiliza el valor R^2 , que está determinado por:

$$R^2 = 1 - \frac{SCE}{SCT} \quad (4.28)$$

En donde SCE es la suma de los cuadrados de los errores y SCT la suma total de los cuadrados. El valor R^2 puede variar entre 0 y 1, en donde mientras más alto el valor mayor es la proporción de variación observada que puede ser explicada con el modelo.

Un análisis más complejo de la varianza permite determinar si existen diferencias significativas entre las medias poblacionales de los datos alterando los valores de determinados factores.

Para determinar si los valores de las medias son estadísticamente significativos se realiza la prueba F de Fisher, en donde el estadístico se calcula de la siguiente manera:

$$F = \frac{SCR/t-1}{SCE/N-t} \quad (4.29)$$

En donde t es el número de variables regresoras, N el número de datos. SCR mide la variación debido al factor estudiado y SCE la variación dentro de cada factor.

La hipótesis nula corresponde a que las medias poblacionales son iguales y la hipótesis alternativa indica que al menos dos medias son distintas. Mientras mayor es el valor del estadístico F mayores son las variaciones entre los distintos grupos.

Si el nivel de significancia de F es menor al 5% se rechaza la hipótesis nula y por lo tanto existen diferencias significativas para los distintos factores analizados.

4.4.3.4 Dócima de Durbin y Watson

Para determinar si existe autocorrelación entre los residuales se utiliza el estadístico de Durbin y Watson, el cual se calcula utilizando los e_t , que representan los residuales asociados a la observación t .

$$d = \frac{\sum_{t=2}^T (e_t - e_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^T e_t^2} \quad (4.30)$$

El valor del estadístico de prueba d se debe comparar con los valores de críticos superiores a inferiores para el tamaño de la muestra, número de variables regresoras y nivel de significancia, $d_{U,\alpha}$ y $d_{L,\alpha}$.

- Si $d < d_{L,\alpha}$, existe evidencia estadística de que los términos de error están autocorrelacionados positivamente.
- Si $d > d_{U,\alpha}$, no hay evidencia estadística de que los términos de error están autocorrelacionados positivamente.
- Si $d_{L,\alpha} < d < d_{U,\alpha}$, la prueba no es concluyente.
- Si $(4 - d) < d_{L,\alpha}$, existe evidencia estadística de que los términos de error están autocorrelacionados negativamente.
- Si $(4 - d) > d_{U,\alpha}$, no hay evidencia estadística de que los términos de error están autocorrelacionados negativamente.
- Si $d_{L,\alpha} < (4 - d) < d_{U,\alpha}$, la prueba no es concluyente.

Para el estudio realizado, con un tamaño de muestra de 102, dos variables regresoras y un nivel de significancia del 5%, los valores críticos son:

$$d_L = 1,63$$

$$d_U = 1,72$$

4.4.3.5 VIF

Una forma sencilla de medir la multicolinealidad es mediante el factor de inflación de la varianza (VIF). Los VIF miden qué tanto aumenta la varianza de regresión estimado si los predictores están correlacionados.

Si todos los VIF son 1 significa que no existe multicolinealidad. Mientras mayores los valores de los VIF más relacionadas están las variables independientes. Se suele aceptar que valores de VIF mayores a 10 indican un problema de multicolinealidad.

5. Antecedentes

5.1 Descripción del sistema analizado

El sistema con el cual se trabaja es el comedor principal de la Universidad Técnica Federico Santa María, ubicado en el Patio Central de la Casa Central en Valparaíso. Este comedor funciona de lunes a viernes entre 11:30 a 14:30 para el almuerzo, y entre 17:30 a 19:10 para la cena.

En el horario de almuerzo, que es el más concurrido, acuden tanto estudiantes como profesores y funcionarios de la universidad.

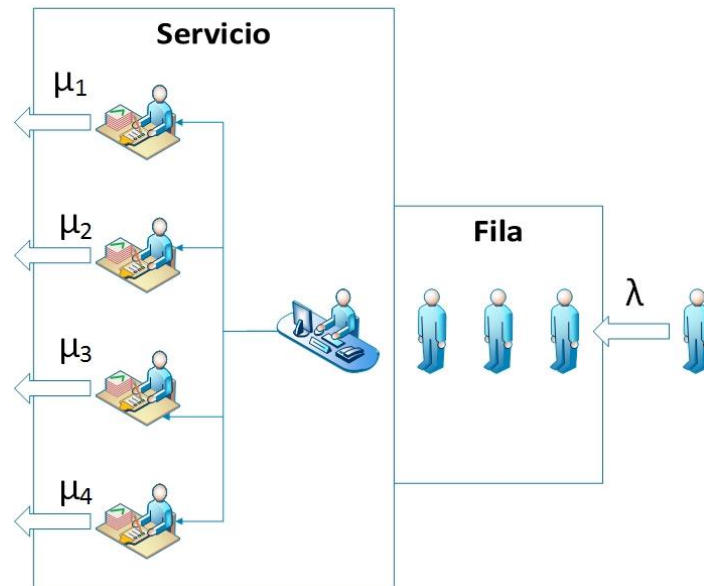


Figura 5.3. Diagrama simplificado del sistema. Fuente: Elaboración propia.

Cuando un usuario desea hacer uso del servicio de alimentación, ingresa al comedor por una puerta que es accesible desde el Patio Central, si el servicio presenta una alta demanda, debe esperar en una fila antes de entrar. Los usuarios llegan al comedor a una tasa λ [$\frac{personas}{min}$].

Después de la puerta de ingreso, se encuentran dos recepcionistas, encargadas de recoger los tickets de almuerzo o de validar la credencial del alumno (en el caso de que los almuerzos se encuentren habilitados en la credencial). Luego de validar su ingreso los usuarios pueden pasar a una de las cuatro líneas de servicio existentes.

Debido a que la capacidad de las líneas de servicio es menor a la capacidad de las recepcionistas, se produce otra fila entre la recepción y las líneas de servicio, el tamaño de esta fila está limitado por el espacio físico de las instalaciones del comedor.

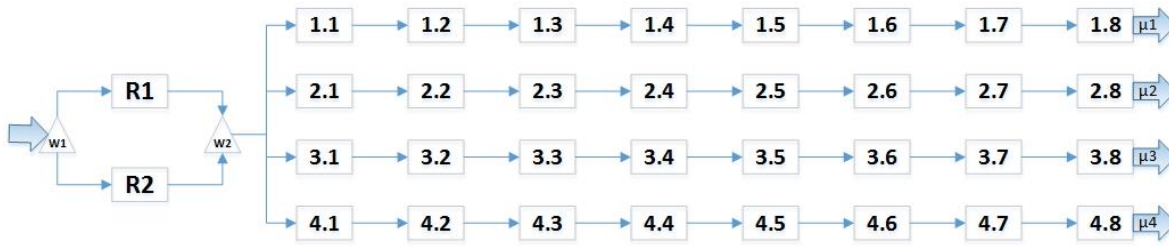


Figura 5.4. Diagrama de flujo del servicio. Fuente: Elaboración propia.

En las líneas de servicio los usuarios deben retirar su comida, las líneas son atendidas por un grupo de operarios (de los cuales 2 a 3 se encuentran entregando la comida en la línea y el resto se encarga de cocinar), los cuales se encargan de traer la comida desde la cocina y preparar las porciones. Existen 8 estaciones dentro de cada línea, en las cuales los usuarios retiran alguno de los siguientes elementos:

- Bandeja y pan
- Cubiertos
- Bebestible
- Postre
- Ensalada
- Plato principal
- Sopa
- Extras (salsas, bebidas)

Una vez que el usuario ha retirado su almuerzo, sale de la línea y se dirige a alguno de los comedores. Existen dos salidas: una para las líneas 1 y 3, que solo sirven almuerzos normales, y otra para las líneas 2 y 4, que además de servir el menú normal, sirven menú de dieta y vegetariano. Las personas salen de cada línea a una tasa $\mu_i \left[\frac{\text{usuarios}}{\text{minuto}} \right]$.

En los horarios de mayor congestión, se produce una fila antes de ingresar al comedor. Algunos usuarios, descontentos con tener que esperar, se saltan puestos en la fila e ingresan directamente al módulo de atención. Además, existe un porcentaje de usuarios que se retira de la fila, que corresponde al 3%.

Es relevante conocer que en el servicio analizado la mayoría de sus usuarios no pagan por utilizar el comedor, pues este costo es cubierto por la universidad y que, por motivos de dinero y tiempo, estos usuarios no tienen otra opción para ir a almorzar en caso de sentirse insatisfechos con el sistema. Por lo tanto, algunos de los estudios relacionados al comportamiento de las personas en una situación de líneas de espera no aplican a este tipo de servicios. En particular, en este tipo de servicios los usuarios raramente tienen el control para decidir si vuelven o no a utilizar el servicio, pero si pueden decidir otras variables como a qué hora ir a almorzar, y si respetan la fila existente o no.

5.2 Estudios sobre líneas de espera

5.2.1 Acciones para reducir variabilidad

Cuando existe variabilidad en los tiempos entre llegadas o en el tiempo de proceso existirán filas, aunque la tasa promedio de llegadas sea menor a la capacidad. Como no es deseable desde el punto de vista del cliente la existencia de filas (Taylor, 1994), es recomendable tomar medidas que disminuyan el tiempo de espera.

Existen dos tipos de medidas aplicables, una es aumentar la capacidad y la otra es disminuir la variabilidad ya sea de las llegadas de los usuarios o del proceso.

Dado que la principal fuente de variabilidad proviene de las llegadas, las acciones más comunes para reducirla son alterando las llegadas de los clientes, por ejemplo, citándolos a determinadas horas. Como los tiempos de espera son variables en el tiempo y dependen de la tasa de llegadas (Patrick y Puterman, 2008), es posible que los mismos clientes decidan alterar sus patrones de llegadas e ingresar a la fila en el momento en que se encuentre más vacía con el propósito de reducir su tiempo de espera (Hui y Bateson, 1991).

Es imposible eliminar por completo la variabilidad de las llegadas, por muchas acciones correctivas que se tomen, ésta solo se puede disminuir (Cachon y Terwiesch, 2009). Como las llegadas son difíciles de controlar, se puede utilizar el control de demanda, con el objetivo de reducir la demanda en los momentos peak y trasladar esa demanda hacia otros horarios en los que el servicio está menos ocupado (Anupindi et al., 2005).

Otra opción es disminuir la variabilidad en el tiempo de servicio mediante la estandarización de tareas, el preprocesamiento de algunas y la limitación de la variedad de productos. Además de disminuir la variabilidad estas acciones disminuyen el tiempo de proceso y por lo tanto aumentan la capacidad.

5.2.2 Acciones para reducir tiempo de espera

Cuando se tiene un proceso con varias estaciones de trabajo, se pueden agrupar estas estaciones en una sola, procedimiento conocido como “pooling”. El pooling puede ser aplicado a filas de espera, recursos y tareas.

El agrupamiento de recursos se suele realizar cuando éstos realizan actividades idénticas. En este caso, el recurso resultante tendrá una capacidad igual a la suma de las capacidades individuales de los recursos agrupados.

También se pueden agrupar varias filas de espera como una sola, al igual que en el pooling de recursos, este procedimiento es más conveniente cuando las actividades dentro del proceso son similares.

La ventaja del pooling es la reducción del tiempo de espera, debido al aprovechamiento de las economías de escala y de gama (Ata y Van Mieghem, 2008). Estas ventajas son más notorias al realizar agrupación de recursos por sobre agrupación de filas (Mandelbaum y

Reiman, 1998), para procesos independientes entre sí y para valores de utilización altos (Cachon y Terwiesch, 2009).

Para sistemas en donde la calidad de la atención sea un factor importante, puede resultar contraproducente realizar pooling, pues este disminuye la calidad del servicio (Jouini et al., 2008) y los beneficios no son suficientes como para paliar las desventajas. Es por esto que el pooling es conveniente para unificar procesos altamente estandarizados (Song et al., 2013).

Davis (1990) propone que agregar más capacidad mediante la adición de trabajadores disminuye el tiempo de espera, debido a que disminuye la utilización del sistema. Agregando capacidad el beneficio podría aumentar, por la atención de más usuarios, o disminuir por el costo de tener a esos trabajadores extras.

5.3 Estudios sobre satisfacción de los usuarios en un sistema con líneas de espera

5.3.1 Estimación del costo de prestar el servicio y su relación con la satisfacción de los usuarios

La interacción del cliente con el servicio se puede ver desde un foco que integra el marketing con la gestión de operaciones. Este foco integrado busca disminuir el costo total de proveer un servicio y el costo de espera del cliente.

Davis (1990) define el costo de espera como una relación entre varios factores, entre ellos el costo de que el cliente se vaya sin ser atendido, la decisión de ese cliente de no volver nunca más y la decisión del cliente de contarle a su círculo cercano acerca de la mala experiencia utilizando el servicio. El autor concluye que, el costo debe ser medido como la satisfacción del usuario y que la forma más fácil de medirla es mediante el tiempo de espera, aunque no se conozca la relación exacta entre ambas variables.

Particularmente, en el servicio analizado, las tasas de deserción son bajas y el costo es poco relevante debido a la naturaleza del servicio prestado. Pero si es relevante la cantidad de personas que, debido a la insatisfacción con el servicio, se saltan puestos en la fila para evitar esperar por su atención, lo cual aumenta el tiempo de espera de los usuarios que, si respetan la fila, y, por ende, su insatisfacción.

5.3.2 Cómo afecta el tiempo de espera a la satisfacción

Está ampliamente documentado que el tiempo de espera afecta la percepción que tienen los clientes o usuarios del servicio que están utilizando. Dharmawirya et al. (2012) demostró que, de entre siete factores a considerar, la rapidez es el más importante para los clientes que consumen comida rápida. Knutson (2000) realizó el mismo estudio, pero solo con estudiantes universitarios y arrojó el mismo resultado. Además, Zhao et al. (2002) identificaron que la rapidez de servicio es uno de los factores más importantes en la industria del servicio y que los clientes perciben la espera por ser atendidos como una experiencia negativa. El mismo estudio de Dharmawirya et al. (2012), arrojó que el máximo tiempo de espera tolerable es de 3,7 minutos.

En el estudio de Hornik (1984), quedó demostrado que los clientes sobreestiman su propio tiempo de espera, y que este tiempo estimado tiene más peso que el tiempo real de espera para calificar la calidad del servicio (Katz et al., 1991). Jones y Peppiatt (1996) hallaron que, para tiempos de espera menores a 5 minutos, las personas sobreestiman su tiempo de espera en un 40%.

Dado que un mayor tiempo de espera es algo indeseable para los consumidores (Davis y Vollmann, 1990), algunos tratan de controlar la variable “tiempo de espera” decidiendo en qué momento entrar a la fila (Hui y Bateson, 1991), prefiriendo ingresar cuando el servicio está menos ocupado.

Existen algunas variables que influyen en el tiempo de espera percibido por el cliente y en el tiempo de espera máximo que se puede tolerar. Cuando el servicio está muy ocupado, los usuarios sobreestiman su tiempo de espera y, por lo tanto, están menos satisfechos (Langer y Saegart, 1977). También existe un factor denominado criticidad del tiempo, que indica qué tan importante es para el cliente ese tiempo que ocupa en esperar para ser atendido, en el estudio de Davis y Vollmann (1990), los clientes que llegaban en horario de trabajo o estudios y disponían de menos tiempo para almorzar se sentían más insatisfechos que los clientes que disponían de más tiempo para los mismos tiempos de espera.

Adicionalmente, cuando los usuarios deben pasar por dos o más etapas de espera, el impacto más negativo sobre la satisfacción lo tiene la primera etapa de espera (Davis y Vollmann, 1990; Dharmawirya et al., 2012).

5.3.3 Cómo afecta la aglomeración a la satisfacción

Stokols (1972) realiza la distinción entre densidad y aglomeración (“crowding”) en las filas de espera. La densidad se refiere a la condición física en términos de parámetros espaciales. En cambio, la aglomeración percibida es un sentimiento desagradable percibido por una persona, y está estrechamente relacionada a la densidad (Langer y Saegart, 1997).

Hui y Bateson (1991) hallaron que la densidad de personas en la línea de espera es directamente proporcional a la congestión percibida y tiene una relación inversa con el control percibido sobre la situación. El control se define como la necesidad de demostrar competencia, superioridad y dominio sobre el ambiente (White, 1959). A mayor control percibido por el usuario, mayor es su satisfacción.

El sentimiento de aglomeración aumenta cuando las personas notan el número de clientes en el sistema y éste comienza a generar sentimientos de inconformidad (Stokols, 1972). La aglomeración percibida conlleva a estrés, ansiedad e irritación (Saegert et al., 1975; Sundstrom, 1975) y, en consecuencia, disminución de la satisfacción con el servicio. Langer y Saegart (1977) encontraron que individuos que percibieron aglomeración durante una salida a hacer compras se sintieron menos satisfechos con la experiencia que los que no percibieron el ambiente saturado.

6. Hipótesis de Investigación

Las hipótesis de investigación planteadas se pueden agrupar en dos categorías: hipótesis relacionadas al comportamiento de las filas de espera e hipótesis relacionadas a la satisfacción de los usuarios del servicio de alimentación de la UTFSM.

Con respecto a la teoría de filas, existen tres fórmulas relevantes que permiten monitorear los parámetros dentro de las líneas de espera:

$$W_q = \frac{p}{m} * \frac{u^{\sqrt{2(m+1)}-1}}{1-u} * \frac{CV_a^2 + CV_p^2}{2} \quad (6.31)$$

$$L = \mu * W \quad (6.32)$$

$$L_q = \lambda * W_q \quad (6.33)$$

A partir de las ecuaciones 6.32 y 6.33, propuestas por Little y Graves, que relacionan inventario, tasa de flujo y tiempo de flujo, es posible determinar cómo varía el número de personas en la fila en función de la tasa de llegadas y el tiempo de espera. Si bien no existen estudios que indiquen el cumplimiento de la Ley de Little en sistemas no estacionarios, se espera encontrar una relación entre las variables que sea similar.

Suponiendo que el tiempo de servicio es constante, y que L y μ tienen un límite que es alcanzado una vez que la tasa de llegadas iguala o supera a la capacidad del sistema. Entonces se tiene que, si aumenta la tasa de llegadas, debería producirse un aumento en el número de personas que se encuentran en la fila y, además, un aumento de la tasa de flujo hasta que ésta llegue a su máximo.

Si la tasa de llegadas sigue aumentando por sobre la capacidad, debería aumentar el número de personas, pero dado que la tasa de flujo no puede seguir aumentando, este aumento se traspa al otro factor de la ecuación, el tiempo de flujo. Con el supuesto de tiempo de servicio constante, solo puede aumentar el tiempo de espera. Considerando que el sistema no es estacionario no se puede esperar que la relación entre las variables inventario, tasa y tiempo sean lineales, pero si debe existir algún tipo de relación.

H1: Al aumentar la tasa de llegadas, también lo hace el número de personas que se encuentran esperando en la fila y el tiempo que deben esperar antes de ser atendidas.

Por medio de la simulación computacional, se espera analizar el comportamiento de la variable tiempo de espera en función de cambios en las tasas de llegada y capacidad del sistema. Utilizando como base la ecuación n°1, se espera que al aumentar la utilización del sistema aumente el tiempo de espera. Un aumento en la capacidad, manteniendo la tasa de llegadas constante, disminuye la utilización, mientras tanto que un aumento en la tasa de llegadas, sin variación en la capacidad, aumenta la utilización y por lo tanto el tiempo de espera.

H2: Al agregar capacidad al sistema, disminuirá el tiempo de espera.

Dentro de las acciones que permiten reducir el tiempo de espera, Ata y Van Mieghem (2008) proponen el pooling, o agrupación de recursos, como método para lograr este objetivo. El sistema analizado actualmente realiza pooling en la fila de espera que se encuentra previa a la recepción. Se plantea realizar simulaciones computacionales agregando una fila extra, es decir, eliminando parte del pooling, para determinar si el tiempo de espera aumenta. Además, al implementar pooling en las líneas de servicio, utilizando una sola línea con capacidad igual a la capacidad total del sistema, el tiempo de espera debería disminuir y de manera más significativa que con el pooling de fila (Mandelbaum y Reiman, 1998).

H3: El tiempo de espera de los usuarios disminuye al realizar pooling o agrupación de recursos. Este efecto es más notorio al agrupar las líneas de servicio que al agrupar la fila.

En cuanto a la satisfacción, existen varios estudios que se dedican a encontrar cuáles son los factores que influyen en el comportamiento de los consumidores. Dharmawiya et al. (2012), indica que el tiempo de espera tiene una gran influencia dentro del nivel de conformidad de un consumidor de comida rápida, por sobre variables como el precio o la calidad de la comida. Davis y Vollmann (1990) encontraron una relación inversa entre el tiempo de espera y la satisfacción. Además, el tiempo de espera percibido por cada usuario no es igual al tiempo de espera real, y depende de algunos factores como la criticidad del tiempo para la persona en particular y la aglomeración percibida (Langer y Saegart, 1977).

De los estudios previos, se concluye que existen dos variables que influyen en la satisfacción y que son sencillas de medir: el tiempo de espera real y el nivel de aglomeración, considerando este último como el número de personas que se encuentran en la fila. Se propone que existe una relación inversa entre el nivel de satisfacción y estas dos variables.

H4: A mayor tiempo de espera, el nivel de satisfacción de los usuarios disminuye.

H5: A mayor número de personas que se encuentran en la fila al momento en que llega un usuario, más insatisfecho se siente éste.

7. Metodología:

7.1 Descripción de la evaluación del servicio

Para la toma de datos se utilizó la metodología usada por Dharmawiya et al. (2012), en la cual se midió la hora de ingreso a la fila, la hora de ingreso al servicio y la hora de salida del servicio. Además, a la salida se les tomó una encuesta a algunas personas tomadas al azar, en donde se les pedirá evaluar la calidad del servicio en función del tiempo de espera para ser atendidos.

Para medir los tiempos de ingreso y salida se utilizaron cámaras de video y relojes, los cuales estaban coordinados. Se usaron tres cámaras: una cámara estaba ubicada al final de la fila y se movía a medida que la fila lo hacía, la segunda quedó fija en la puerta de ingreso al casino y la última se ubicó junto a dos de las salidas y que además de registrar los tiempos también registró los resultados de la encuesta. Las mediciones de las dos salidas restantes se hicieron manualmente, utilizando también un reloj coordinado y dos observadores.

Las encuestas se realizaron mediante muestreo aleatorio simple a la salida de dos de las líneas, las cuales quedaron registradas en una de las cámaras de video. El método para encuestar fue distinto al utilizado por McGuire et al., (2010), quienes entregaron cuestionarios escritos que debían ser rellenados por los clientes, debido a la complejidad que implicaba pedirle a los usuarios que rellenen un cuestionario, considerando el poco tiempo disponible que tienen.

Sasser et al. (1978) identificó tres modelos distintos para evaluar la satisfacción del usuario con el servicio, estos son:

- Un solo atributo.
- Un atributo importante y pequeñas contribuciones de otros atributos secundarios.
- Varios atributos que tienen el mismo peso.

El atributo más fácil de medir, y que según la bibliografía (Dharmawiya et al., 2012) tiene más peso dentro de la satisfacción de los usuarios, es el tiempo de espera. Pero con el objetivo de realizar una investigación más completa, se realizarán modelos del tipo I y III. Debido a limitaciones en la medición, solo se tomaron en cuenta las siguientes variables para evaluar la satisfacción del usuario:

- Tiempo de espera: definido como el tiempo que transcurre desde que el usuario ingresa a la cola hasta que pasa por la puerta de ingreso al comedor. Este tiempo puede ser cero si no existe cola al momento en que el usuario llega.
- Tiempo de servicio: definido como el tiempo que transcurre desde que el usuario pasa por la puerta de ingreso al comedor hasta que sale por una de las líneas con su bandeja de almuerzo.
- Tiempo de flujo: definido como la suma del tiempo de espera y el tiempo de servicio.
- Sexo: se utilizó como variable de control.

- Ocupación: se utilizó como variable de control. Se separó a los usuarios en dos categorías: estudiantes de la UTFSM y los que no son estudiantes (profesores, trabajadores de la universidad, otros).

7.1.1 Tomas de datos preliminares

En los estudios de McGuire et al. (2010) y Dharmawirya et al. (2012), la toma de datos se hizo con cronómetro y a mano, lo cual se intentó replicar en un ensayo de toma de datos. Pero el flujo de usuarios es muy alto y el método utilizado no dio abasto, por lo cual se tomó la decisión de utilizar cámaras. Además, como la entrada y la salida están separadas, era muy difícil realizar el seguimiento a un usuario por todo el proceso.

También se realizó un ensayo general de la toma de datos con las cámaras, el cual dio resultados positivos.

7.2 Cálculo de parámetros

7.2.1 Tiempos de espera, servicio y flujo

N°	Ingreso fila	Inicio atención	Salida	N° Servidor	Nota	Tiempo espera	Tiempo servicio	Tiempo flujo
1	12:05:23	12:05:23	12:07:40	1		0:00:00	0:02:17	0:02:17
2	12:05:26	12:05:26	12:07:43	2		0:00:00	0:02:17	0:02:17
3	12:05:32	12:05:32	12:08:11	2		0:00:00	0:02:39	0:02:39
4	12:05:32	12:05:32	12:08:09	2		0:00:00	0:02:37	0:02:37
5	12:05:43	12:05:43	12:07:27	4	6	0:00:00	0:01:44	0:01:44
6	12:05:57	12:05:57	12:07:49	4		0:00:00	0:01:52	0:01:52
7	12:06:00	12:06:00	12:08:14	4	6	0:00:00	0:02:14	0:02:14
8	12:06:01	12:06:01	12:08:07	4	7	0:00:00	0:02:06	0:02:06
9	12:06:08	12:06:08	12:08:33	2	6	0:00:00	0:02:25	0:02:25
10	12:06:08	12:06:08	12:08:25	2		0:00:00	0:02:17	0:02:17

Figura 7.5. Planilla de Excel con los datos observados. Fuente: Elaboración propia.

En los videos fueron registradas las horas de ingreso a la cola, de ingreso al servicio y de salida una vez finalizada la atención para cada persona. En base a esos datos se pueden calcular los tiempos de espera (TE), de servicio (TS) y de flujo o total de permanencia en el sistema (TT).

$$TE = \text{Hora inicio atención} - \text{Hora ingreso a la cola} \quad (7.34)$$

$$TS = \text{Hora fin atención} - \text{Hora inicio atención} \quad (7.35)$$

$$TT = TE + TS \quad (7.36)$$

Notar que el tiempo de servicio medido no corresponde al tiempo real de servicio, pues entre la recepción y las líneas de servicio se puede producir una espera adicional. La fórmula para calcular el tiempo real de servicio se explica en el apartado 7.2.4.

7.2.2 Inventario

Con los datos de las horas de ingreso y salida, se calculó el inventario de personas por cada minuto, con la siguiente fórmula.

$$I_t = I_{t-1} + Ingresos_t - Salidas_t \quad (7.37)$$

Los niveles de inventario fueron calculados para la cola y para cada una de las cuatro líneas de servicio.

7.2.3 Tasa de flujo

Debido a que el proceso no cumple con las condiciones impuestas por Little y Graves (año) para que sea aplicable la ecuación de la Ley de Little, la tasa de flujo debió ser calculada midiendo el número de salidas de cada línea de servicio por unidad de tiempo.

La tasa no se puede obtener por ley de Little, porque el proceso no es estacionario y no se cumplen las condiciones de borde (existen valores de inventario inicial y final) así que se contaron las salidas por minuto y se tomó un promedio para calcularla. Posteriormente, se compararán los valores experimentales con los valores teóricos según la ley de Little.

7.2.4 Capacidad

Como se explicó anteriormente, en la *Figura 5.4*, los usuarios ingresan al sistema por medio de dos recepcionistas, las cuales reciben el ticket de almuerzo o validan la credencial. Este trámite es breve y toma entre 1 y 3 segundos. Luego los usuarios deben dirigirse hacia alguna de las líneas de servicio, si las líneas están llenas, deben esperar un tiempo adicional, en cual aparece en el diagrama como $W2$.

Dado que el sistema es complejo se realizaron los siguientes supuestos para calcular la capacidad del proceso:

- Los usuarios toman hasta 3 segundos en ser registrados. Además, se toman un tiempo en decidir a cuál de las líneas de servicio ingresarán luego del registro, tiempo que se ha estimado en 10 segundos.
- La capacidad de cada una de las 8 estaciones es idéntica y no es significativa en el modelo realizado. Se utilizará solo la capacidad global de cada línea de servicio.
- Como la capacidad de las líneas de servicio es bastante menor a la de la recepción, si no hay fila antes de ingresar a la recepción, tampoco hay fila entre la recepción y las líneas. En otras palabras, para cuando la cola está vacía, el tiempo real de servicio de la línea corresponde al tiempo medido de servicio menos el tiempo que toma el usuario en pasar por la recepción y elegir una línea (estimado en 13 segundos). Entonces:

$$TS_{real} = TS_{calculado} - 13 [s] \quad (7.38)$$

- Cuando existe cola, aumenta el tiempo de atención calculado, debido a que parte de ese tiempo se ocupa en esperar a que la línea de servicio se desocupe.
- Entonces la capacidad de cada línea está determinada por:

$$Capacidad = \frac{1}{TS_{real}} \quad (7.39)$$

7.2.5 Llegadas

Para Cachon y Terwiesch (2009), existen dos preguntas que se deben plantear antes de realizar la simulación de un modelo, las cuales mejoran sustancialmente el nivel de las predicciones de éstos.

- ¿Es el proceso de llegadas estacionario, es decir, el número esperado de clientes que llegan en un intervalo de tiempo depende solo del largo del intervalo y no de la hora de inicio de éste?
- ¿Están los tiempos entre llegadas distribuidos de forma exponencial, siguiendo un proceso de Poisson?

7.2.5.1 Proceso estacionario

Los pasos para obtener un proceso de llegadas estacionario son:

1. Ordenar todos los tiempos de llegada de menor a mayor, $AT_1, \dots, AT_n$.
2. Realizar un gráfico con los ejes $x = AT_i$, $y = i$.
3. Agregar una línea recta que vaya desde la primera hasta la última llegada.
4. Si el proceso es estacionario, no deberían existir grandes desviaciones entre la línea recta y los datos. En caso de que las existan, dividir el intervalo de tiempo en intervalos de tiempo y repetir los pasos anteriores hasta obtener un proceso estacionario. El mejor criterio para determinar la desviación es utilizar el R^2 de la regresión lineal de los datos.

7.2.5.2 Proceso de Poisson compuesto

Debido a que, en el proceso de llegadas analizado, existen llegadas en grupo, Gallager (2011) recomienda utilizar un proceso de Poisson compuesto para modelar este tipo de situaciones, ya que un proceso de Poisson normal no permite trabajar con tiempos entre llegadas iguales a cero. Primero se debe calcular la tasa de saltos entre eventos como si se tratara de un proceso de Poisson normal y posteriormente ajustar esa tasa por el número de personas que llegan simultáneamente.

Para determinar si los tiempos entre llegadas se distribuyen de forma exponencial se deben seguir los siguientes pasos:

1. Calcular los tiempos entre llegadas $IA_1, \dots, IA_n$. Con $IA_i = AT_i - AT_{i-1}$.
2. Ordenar los tiempos entre llegadas de menor a mayor. En donde a_i denota el i -ésimo tiempo entre llegadas más pequeño. No se consideran llegadas simultáneas o tiempos entre llegada iguales a cero.
3. Realizar un gráfico con los ejes $x = a_i$, $y = \frac{i}{n}$.
4. Comparar el gráfico con el de una distribución exponencial de parámetro $\lambda = \frac{1}{a}$, con a igual al tiempo entre llegadas promedio.

Los pasos 3 y 4 se realizarán con la ayuda del software EasyFit, que permite realizar gráficos de datos e indicar cuáles distribuciones permiten ajustar esos datos de mejor manera mediante test de hipótesis.

Como la tasa λ está expresada en $[\frac{llegadas}{segundo}]$, se debe realizar el ajuste para pasarla a $\phi[\frac{personas}{segundo}]$.

1. Para cada unidad de tiempo medida (en este caso, segundos), determinar el número de personas que han ingresado simultáneamente a la cola. Se consideran solo los tiempos en que efectivamente hayan llegado usuarios.
2. Calcular el número promedio de personas que ingresan por cada evento o llegada.
3. Ajustar la tasa λ calculada anteriormente por el número promedio de personas.

$$\phi = \frac{\lambda}{\theta} \quad (7.40)$$

7.3 Ficha técnica encuesta

- Universo: Personas pertenecientes a la comunidad de la UTFSM Casa Central (estudiantes, profesores y funcionarios) que utilizan el servicio de alimentación ubicado en el Patio Central.
- Tamaño de la muestra: Se realizaron en total 105 encuestas. Mientras que se midieron los tiempos de entrada y/o salida de 1002 personas en el lapso de una hora. Es decir, se encuestó al 10,4% de los usuarios que utilizaron el servicio durante el tiempo en que se realizó la medición.
- Método de muestreo: Aleatorio. Se escogían personas al azar que habían utilizado el servicio.
- Recogida de información: Las encuestas fueron realizadas personalmente en las dependencias del casino a un grupo de personas aleatorias que salían de dos de los servidores que se encontraban en funcionamiento. La pregunta que se les realizó fue: “Evalúe la calidad del servicio en cuanto al tiempo que esperó para ser atendido, en escala de 1 a 7 en donde 1 es la peor nota y 7 la mejor”. Adicionalmente, se realizaron otras dos preguntas:
“¿Es usted estudiante de la Universidad Técnica Federico Santa María?”
“¿Con qué género se siente usted identificado?”
Las encuestas quedaron registradas en video.
- Fecha de realización: miércoles 23 de noviembre 2016, entre 12:05:00 y 13:06:00.
- Nivel de confianza: El error es de un 3% para la medición de los tiempos de espera y servicio y de un 2% para la encuesta.

Para calcular el nivel de confianza de la medición de los tiempos se consideraron válidos todos los datos ingresados, a excepción de los registros de personas a las que se les ve ingresar a la cola y luego desaparecen dentro de la fila. Para la encuesta se consideran erróneas las encuestas tomadas a personas a las cuáles no se les pudo determinar la hora exacta de ingreso, debido a que formaban parte del inventario inicial del servicio.

7.4 Medición de la satisfacción de los usuarios hacia el servicio

La satisfacción de los usuarios se medirá mediante dos formas:

Mediante una encuesta realizada aleatoriamente a algunos usuarios a la salida del servicio, en la cual se les realizó la siguiente pregunta: “Evalúe la calidad del servicio en cuanto al tiempo que esperó para ser atendido, en escala de 1 a 7 en donde 1 es la peor nota y 7 la mejor”.

La pregunta realizada fue la utilizada por McGuire et al. (2010), en donde evaluó la experiencia de espera en clientes de un comedor universitario. Con esta pregunta se estima el grado de satisfacción o insatisfacción de los usuarios con el servicio que se les está prestando desde el punto de vista del tiempo de espera.

La segunda forma de medir la satisfacción será por medio del análisis del número de personas que se saltan la fila de espera. La mayoría de los trabajos similares analizan las deserciones (Davis, 1990), pero debido a la imposibilidad que tienen la mayoría de los usuarios de desertar es que se analizará también el porcentaje de personas que deciden saltarse la fila como medida de insatisfacción.

7.5 Cómo se hará la relación entre satisfacción y aglomeración

Debido a que la aglomeración es un concepto subjetivo (Stokols, 1972) y difícil de medir, se utilizará como parámetro de medición la densidad, que está muy relacionada a la aglomeración (Langer y Saegart, 1977).

Se realizará un análisis que tome como variables la satisfacción, medida como el porcentaje de usuarios que se saltan la fila, y la densidad, medida como el número de personas presentes en la fila.

7.6 Cómo se hará la relación entre la satisfacción y el tiempo de espera

Siguiendo la propuesta de Sasser et al. (1978) se realizará más de un tipo de modelo. Se analizará un modelo univariable en el cual solo las variables de tiempo influyen en la satisfacción y otro modelo con todas las variables tomadas.

Para la relación univariada se realizará una regresión lineal simple en donde la variable explicativa son los tiempos de espera, de servicio y de flujo, y la variable explicada es la nota puesta al servicio. El objetivo es analizar cada una de las relaciones Nota-Tiempo por separado y así determinar cuál de todos los tiempos tiene una mayor incidencia en la percepción que tienen los usuarios del servicio. Además, se analizarán los datos generales de la muestra, como la distribución por sexo y ocupación de los encuestados y la nota promedio puesta por los usuarios.

En el caso de la relación multivariable, se busca realizar un análisis más completo, pues según los estudios de Davis y Maggard (1990) y de McGuire et al. (2010) el tiempo de espera no es la única variable relevante, sino que también influyen, entre otras cosas, características

personales de los usuarios. En este caso, además del tiempo, se analizará el impacto del sexo y de la ocupación del encuestado en la percepción que tienen del servicio.

Se realizarán dos modelos, los cuales son:

$$Nota = \beta_0 + \beta_1 * TF + \beta_2 * TS + \beta_3 * S + \beta_4 * O \quad (7.41)$$

$$Nota = \beta_0 + \beta_1 * TT + \beta_2 * S + \beta_3 * O \quad (7.42)$$

En donde:

TF: Tiempo de espera en la fila previa a la recepción, medido en segundos.

TS: Tiempo de servicio, medido en segundos. Se utilizó el tiempo de servicio nominal y no el real, debido a la dificultad de obtener un valor exacto de este último.

TT: Tiempo de flujo, es la suma del tiempo de espera y del tiempo de servicio, medido en segundos.

S: Sexo. Se considera como variable dicotómica, en donde el coeficiente toma el valor de 0 si es hombre y 1 si es mujer.

O: Ocupación. Se considera como variable dicotómica, en donde el coeficiente toma el valor de 0 si es estudiante y 1 si no lo es.

La separación entre el tiempo de flujo y los tiempos de espera y servicio se realizará debido a que el tiempo de flujo está correlacionado con los otros dos, lo cual viola uno de los principios del modelo de regresión lineal.

Los modelos se realizarán con el software SPSS.

7.6.1 Ajuste del modelo multivariable en SPSS

Para obtener los modelos de regresión lineal en el Software SPSS se utilizó la opción de regresión lineal, utilizando el método “Stepwise”. Además, se calcularon los valores de los residuales.

Por medio del software se obtendrán una serie de tablas y gráficos, cuyas interpretaciones son:

- Variables Entered/Removed: indica las variables que entran y/o salen del modelo y el criterio utilizado.
- Model Summary: muestra el valor del R^2 y el del estadístico de Durbin y Watson.
- ANOVA: muestra la tabla del análisis ANOVA, incluyendo el valor del estadístico F y su significancia.
- Coefficients: muestra los valores de los β_i y sus niveles de significancia.
- Residuals Statistics: muestra el promedio de los residuales. Se utilizará para ver si se cumple el supuesto de que la media de las perturbaciones es igual a cero.
- Chart Histogram: muestra el histograma de los residuales y los compara con una distribución normal.

- Graphs Scatter Dot: muestra los gráficos de Residuales v/s Variables independientes. Se utilizarán para determinar si hay homoscedasticidad y para determinar si existe covarianza no nula entre los residuales y los valores de los X_i .

7.7 Cómo se realizarán las simulaciones

7.7.1 Conceptos previos acerca del uso del software utilizado

El software Arena sirve para modelar y simular sistemas complejos en los cuales se requiere medir el impacto de cambios realizados en el diseño del sistema. En este caso se medirá el efecto de diferentes tasas de llegada y configuraciones de las líneas de servicio cambian las variables tiempo de flujo, inventario y utilización.

Se modeló el sistema analizado mediante un flowchart, el cual contiene los siguientes elementos:

- Create: es un módulo del Arena que permite modelar el proceso de llegadas, requiere como entradas la distribución de las llegadas y la entidad que ingresa.
- Dispose: el módulo del software que indica la salida de una entidad del proceso.
- Process: utilizado para indicar las actividades, en este caso son dos: Recibo de ticket y Entrega del almuerzo. Para cada actividad hay que indicar cuáles recursos atenderán la actividad y la distribución de los tiempos de servicio.
- Decide: el módulo Decide sirve para separar el flujo de entidades en dos o más ramas. El módulo Decide se usará para determinar la elección de la línea de servicio por parte de los usuarios y además para indicar la tasa de deserciones.
- Entity: las entidades son las unidades de flujo que circulan por el sistema. En el caso analizado, la entidad corresponde a los usuarios del servicio de alimentación.
- Resource: este módulo se utiliza para definir los recursos, su capacidad y sus costos asociados. Existen dos tipos de recursos que se utilizarán en la modelación: Recepcionistas, que atienden el proceso de Recibo de ticket, y Operarios, que atienden el proceso de Entrega del almuerzo. Los operarios se agruparán según la línea de servicio en la que sirvan, debido a la dificultad de determinar la capacidad individual de cada operario. En las simulaciones donde exista fila única, las Recepcionistas también serán agrupadas como un solo recurso.

7.7.2 Cálculo de parámetros previos a la simulación

7.7.2.1 Comportamiento de las llegadas

El software requiere la distribución de los tiempos entre llegadas. Estos tiempos entre llegadas siguen una distribución de Poisson compuesta, con parámetros λ , tasa de ocurrencia entre eventos y θ , número de personas promedio que llegan simultáneamente en cada evento.

Además, existe una opción para limitar el número máximo de llegadas, el cual corresponde al universo de personas que estudian o trabajan en la UTFSM Casa Central.

7.7.2.2 Capacidad de los recursos

Se necesita obtener la capacidad de cada recurso, que en el software corresponde al número de usuarios que cada recurso puede atender simultáneamente. Como los recursos son personas, pueden atender a un solo cliente a la vez, pero como se realizó una agrupación previa de las recepcionistas y los operarios, la capacidad será el número de trabajadores que hayan sido agrupados. En el caso de la recepción, la capacidad es de 2[clientes] y para las líneas de servicio, cada una tendrá una capacidad de 8[clientes].

Para calcular la distribución de los tiempos de servicio, la guía del usuario del software Arena (2010) sugiere utilizar las distribuciones triangular y uniforme porque son las que mejor aproximan el comportamiento del tiempo de servicio, en especial cuando las tareas son realizadas por personas. La distribución triangular es recomendable cuando no se conoce la forma exacta de la distribución, pero se pueden estimar los valores mínimo, máximo y más probable. La distribución uniforme se recomienda cuando se conocen los valores mínimos y máximos, pero no se tiene mayor información.

Para el tiempo de servicio del proceso de Recibo de ticket, se utilizará la distribución triangular con mínimo 1, valor más probable 2 y máximo 3 segundos. Se elige esta distribución por ser la mejor aproximación, ya que no se conocen los valores exactos de los tiempos de servicio.

En el caso de las líneas de servicio, se conocen los tiempos mínimos y máximos, por lo que se utilizará una distribución uniforme. Adicionalmente se realizará un gráfico de caja y bigotes para los tiempos de servicio, con el objetivo de eliminar los datos extremadamente altos o bajos y que puedan afectar en forma negativa al proceso de simulación.

7.7.2.3 Otros parámetros relacionados al flujo de personas dentro del proceso

El módulo Decide requiere de las probabilidades que tiene una entidad de tomar cada camino disponible, por lo tanto, se requiere de las tasas de deserción en cada etapa y de la probabilidad (p_i) de que un usuario elija la línea de servicio i .

$$\% \text{ Deserción} = \frac{n^{\circ} \text{ personas que desertan}}{n^{\circ} \text{ total de ingresos}} * 100 \quad (7.43)$$

$$p_i = \frac{n^{\circ} \text{ de personas que ingresan a la línea de servicio } i}{n^{\circ} \text{ total de ingresos}} * 100 \quad (7.44)$$

El número de deserciones, el número de personas que son atendidas por cada una de las líneas de servicio y el número total de ingresos son datos conocidos.

7.7.3 Proceso de simulación

Las simulaciones se realizarán en varias etapas, con el objetivo de probar el funcionamiento del sistema con distintos parámetros. En cada simulación se utilizarán 20 repeticiones.

- Etapa 1: Se simulará la situación actual y se realizará una comparación con los datos que se obtuvieron en la observación. Para esta etapa se consideran solo los intervalos de tiempo en los cuales el proceso es estacionario y la tasa de llegadas sigue un proceso de Poisson compuesto.
- Etapa 2: Se realizarán simulaciones con distintas tasas de llegada y durante distintos intervalos de tiempo con el objetivo de determinar por cuánto tiempo el sistema es estable a determinadas tasas de llegada.
- Etapa 3: Se realizarán simulaciones cambiando la configuración actual del sistema, se utilizarán las siguientes configuraciones: 4 líneas de servicio con doble fila, 5 líneas de servicio con fila única, 6 líneas de servicio con fila única y 6 líneas de servicio con doble fila. Se realizarán estas simulaciones con los mismos valores de tasa de llegada y tiempo para comparar resultados entre distintas configuraciones.
- Etapa 4: Se realizarán simulaciones agrupando todas las líneas de servicio como una sola línea de gran capacidad. Se utilizará la misma tasa de llegada para todas las simulaciones.

Mediante la prueba del sistema bajo distintos valores de tasa de llegada, capacidad (que depende de la configuración y de número de líneas de servicio) y tiempo de medición, se busca medir cómo cambian:

- Tiempos de espera, servicio y flujo.
- Niveles de inventario para fila y procesos.
- Utilización de los recursos.

8. Análisis de Resultados

8.1 Características generales del funcionamiento del sistema

Durante la medición, que se realizó durante 61 minutos en la entrada y 53 minutos en la salida del sistema, se registraron 1002 ingresos a la fila entre las 12:05:00 y las 13:06:00, de los cuales 35 desertaron, 589 alcanzaron a ser atendidos antes de las 12:58:00 y los demás se encontraban en el proceso de atención o en la cola esperando. Además, 25 usuarios estaban siendo atendidos al momento en que se inició la medición y 31 usuarios ingresaron a la fila, pero no se les ve salir en ningún momento, por lo que se consideran como datos erróneos y son eliminados a la hora de realizar la mayoría de los análisis posteriores.

De las 35 personas que se retiran del sistema, 29 se retiraron mientras esperaban en la fila y 6 después de ingresar a los servidores. El tiempo promedio que estuvieron estas personas en el sistema antes de retirarse fue de un minuto y 54 segundos. No se conocen las causas de porqué estos usuarios hicieron abandono del sistema.

Existen 826 registros de personas que logran ingresar al sistema antes de las 13:06:00 y 589 de usuarios que logran salir del sistema antes de las 12:58:00. En base a estos datos, se han obtenido los siguientes tiempos de servicio y atención.

Tiempo	Promedio	Varianza	Desviación Estándar
Fila	0:01:47	0:02:50	0:02:14
Servicio	0:03:54	0:01:11	0:01:42
Flujo	0:05:00	0:02:56	0:02:41

Tabla 8.1. Tiempos promedio de permanencia en el sistema. Fuente: Elaboración propia.

Se observa que, para el tiempo de espera, la desviación estándar es mucho mayor al promedio, fenómeno que se produce por las grandes diferencias en los tiempos de espera, como se puede ver en la Figura 8.6. La causa de esta diferencia es la variabilidad de los tiempos entre llegadas, distinguiéndose al menos dos tasas de llegada distintas durante el intervalo de medición.

Para el tiempo de flujo la desviación estándar es bastante inferior al promedio, debido a que el proceso es bastante estandarizado y esto evita la variabilidad.

El comportamiento de los tiempos a través del tiempo se ha modelado mediante gráficos de líneas, en donde el eje de las abscisas representa el número del usuario registrado (siendo el n°1 el primer usuario en ser registrado en la entrada y así sucesivamente), ordenado por tiempo de llegada a la fila de menor a mayor, y las ordenadas el tiempo en minutos.

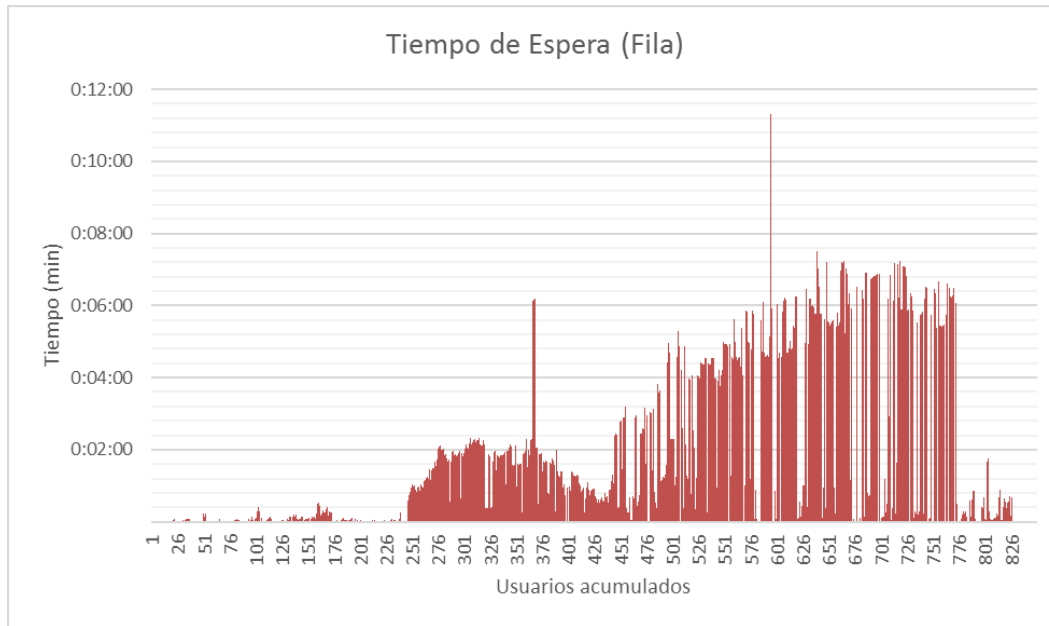


Figura 8.6. Tiempo de espera experimental. Fuente: Elaboración propia.

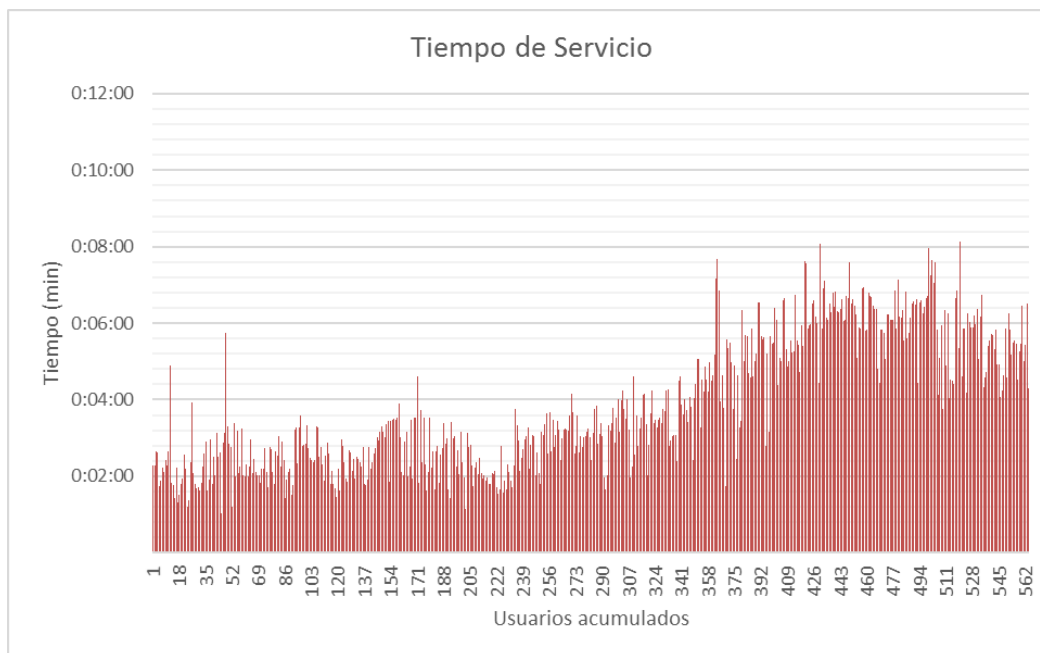


Figura 8.7. Tiempo de servicio experimental. Fuente: Elaboración propia.

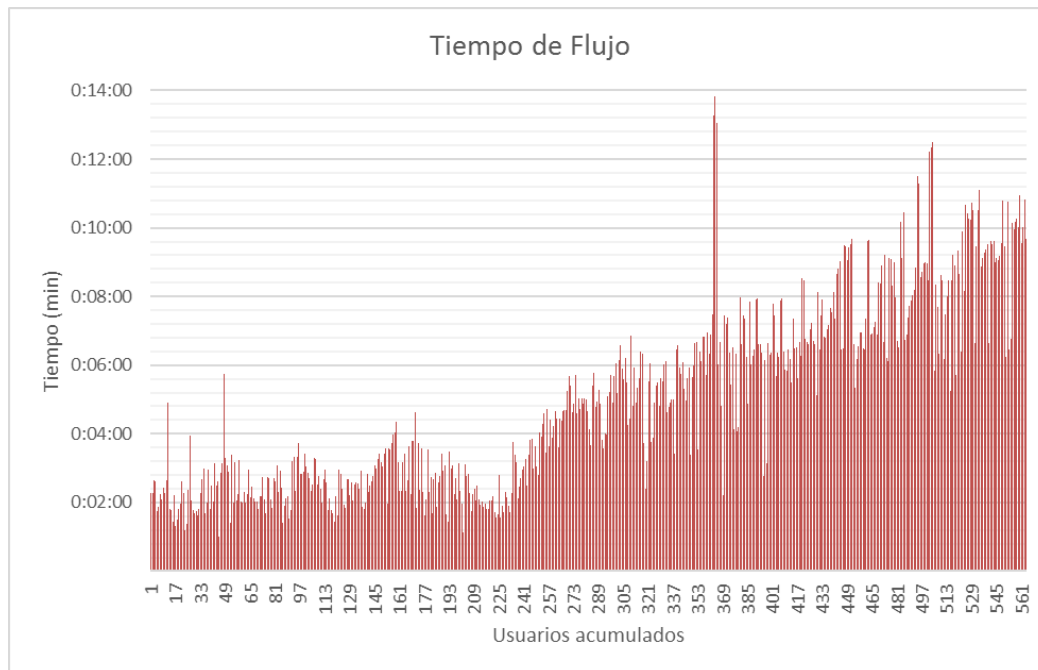


Figura 8.8. Tiempo de flujo experimental. Fuente: Elaboración propia.

Se observa que el tiempo de espera al inicio tiende a 0, pues al comenzar la toma de datos no existía cola, si no que los usuarios ingresaban directamente a las líneas de servicio. A partir de del usuario 246, el cual hizo ingreso a la cola a las 12:30:21, comienza a existir fila, siendo los tiempos de espera crecientes en el tiempo debido al aumento de la tasa de llegada.

Finalmente se observa que casi al final de las mediciones hay varios tiempos de espera iguales a 0 o muy reducidos en comparación al promedio de espera para la hora en que se ingresó. Esto ocurre porque existen usuarios, que, al ver el tamaño de la cola, prefieren ingresar directamente al sistema sin esperar su turno. Cabe destacar que en el sistema analizado no existe un control en la fila, por lo que es posible que algunos usuarios puedan saltarse lugares en la cola o entrar directamente a ser atendidos.

Durante el tiempo observado, hubo 196 personas que se saltaron puestos en la fila o entraron directamente a la recepción, lo que representa un 19,5% de todas las personas que ingresaron al sistema. Esta tasa alcanza hasta un 60% cuando el número de personas en la fila es mayor a 40.

Este comportamiento es especialmente notorio cuando existe mucha gente esperando en la cola para ingresar.

Los tiempos de servicio se mantienen constantes, con mínimas variaciones, durante la primera mitad del tiempo de medición. Luego, al producirse un aumento de las personas que llegan al sistema, el tiempo de atención también aumenta, para finalmente mantenerse relativamente constante. Los usuarios que utilizaron el servicio entre las 12:05:00 y las 12:30:00 tienen tiempos de atención promedio menores a los que lo utilizaron entre las

ANÁLISIS DE RESULTADOS

12:30:00 y las 12:52:00, siendo éstos de 2 minutos 26 segundos y 4 minutos 53 segundos respectivamente.

Tanto en el tiempo de espera como en el tiempo de servicio se obtienen datos atípicos, extremadamente altos, los cuales no son representativos de la situación modelada.

Además, se observa una correlación entre los tiempos de espera y de servicio, cuando no existe cola los tiempos de atención se mantienen bajos, mientras que al existir cola y aumentar el tiempo de espera, también lo hace el de servicio. Esta correlación se debe a que dentro del servicio existen dos estaciones (recibo de ticket y entrega de almuerzo) y entre medio de ambas se forma otra fila, la cual no pudo ser medida y ese tiempo de espera adicional se incluye dentro del tiempo de servicio.

8.2 Niveles de inventario

Para el análisis del inventario solo se consideraron las mediciones válidas, incluyendo las deserciones. En el análisis por servidor se considera hasta las 12:46:00, pues no se puede determinar en qué servidor fue atendido cada usuario hasta la salida, y las personas que ingresaron después de esa hora no alcanzan a salir al terminar el período de medición.

A continuación, se presentan mediante gráficos de línea, la evolución del número de personas en la cola y en atención por minuto. Todos los gráficos de resultados inician a las 12:05:00.

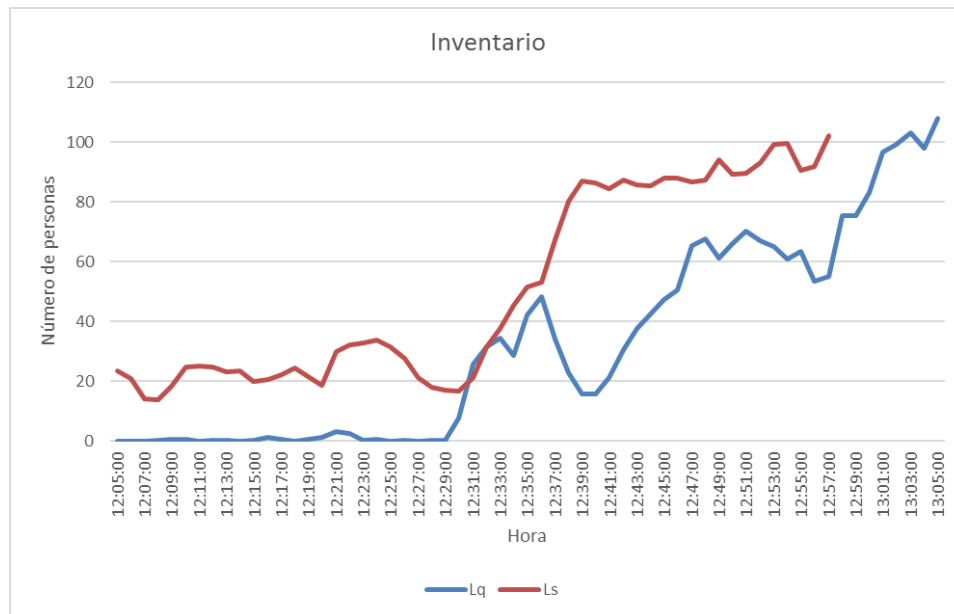


Figura 8.9. Comparación del nivel de inventario de la fila y los servidores por minuto. Fuente: Elaboración propia.

Al comienzo del período analizado, no existe cola por lo tanto el nivel de inventario se mantiene en cero, y el número de personas siendo atendidas se mantiene constante en 20. A partir de las 12:30, cuando aumenta el flujo de gente, comienza a aumentar la cantidad de personas en la fila. En tanto el número de usuarios en el servicio tiene un aumento, hasta que

llega a un tope, pues el espacio físico disponible pone un límite para el número de personas dentro del servicio.

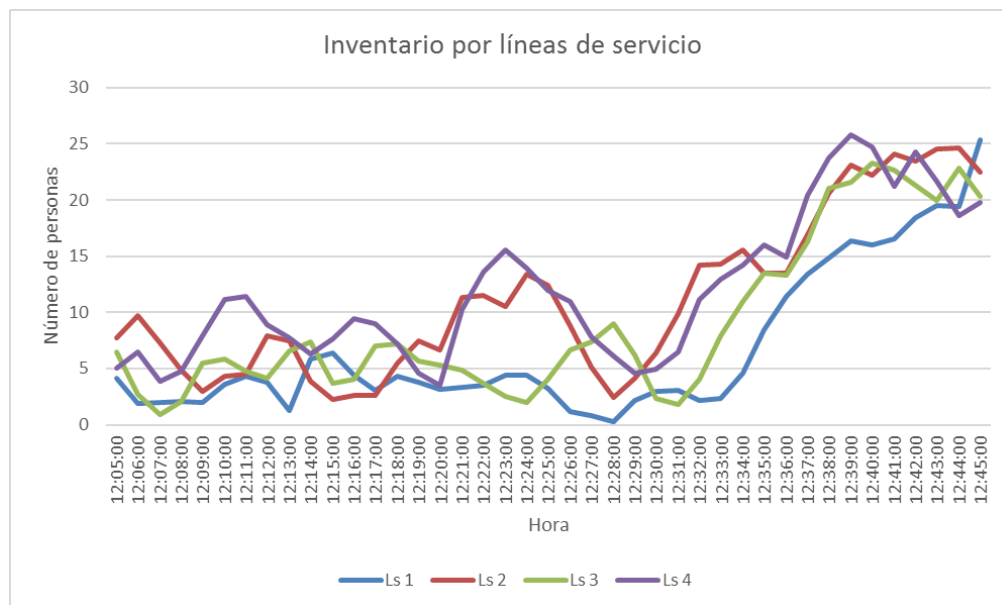


Figura 8.10. Nivel de inventario por servidor por minuto. Fuente: Elaboración propia.

Al desglosar el inventario por cada una de las líneas de servicio, se puede observar que las líneas n°2 y n°4 absorben una mayor cantidad de demanda que los otros debido a que los menús de dieta y vegetariano se sirven exclusivamente en estos servidores.

N° servidor	Tiempo de servicio promedio (min)	N° de personas atendidas	Utilización
1	04:07	112	98%
2	03:54	163	100%
3	03:48	146	100%
4	03:51	168	100%
Total	03:54	589	-

Tabla 8.2. Cuadro comparativo entre los servidores. Fuente: Elaboración propia.

El servidor n°1 presenta diferencias significativas con respecto a los demás servidores, pues atiende a muchas menos personas y presenta un tiempo de servicio mayor. Las diferencias en los tiempos de servicio pueden ser causadas por factores humanos o por falta de suministros.

8.3 Tasa de flujo

A nivel general, se calculó la tasa de flujo del proceso y se comparó con la tasa de llegada, cuyos comportamientos se muestran en el siguiente gráfico. Los datos están calculados durante los primeros 48 minutos de la medición (es decir, hasta las 12:52:59), porque a los usuarios que ingresaron después de esa hora no se les alcanza a ver en qué momento salen (estaban siendo atendidos cuando terminó la medición) y por lo tanto no se les puede calcular el tiempo de servicio.

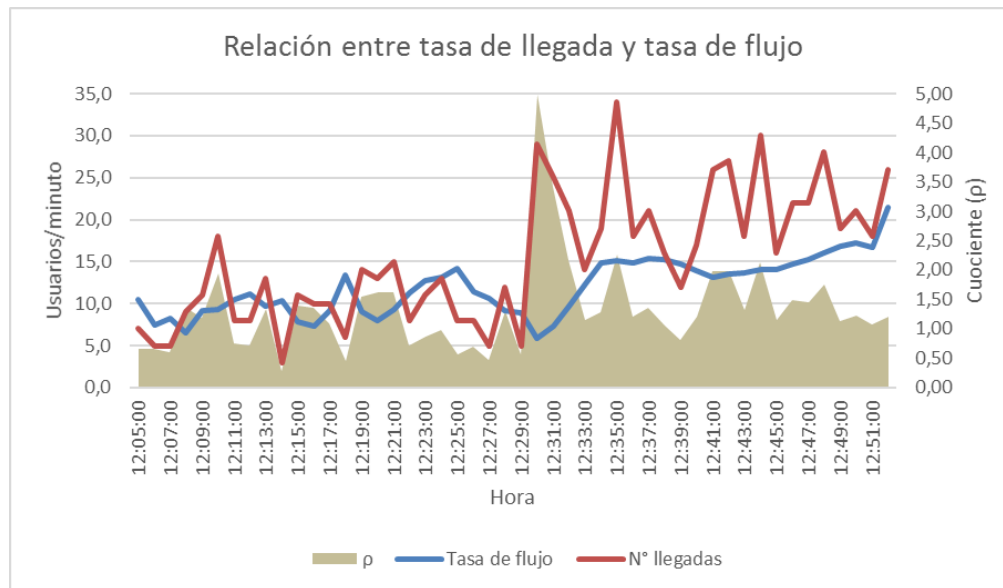


Figura 8.11. Comparación entre llegadas por minuto y tasa de flujo. Fuente: Elaboración propia.

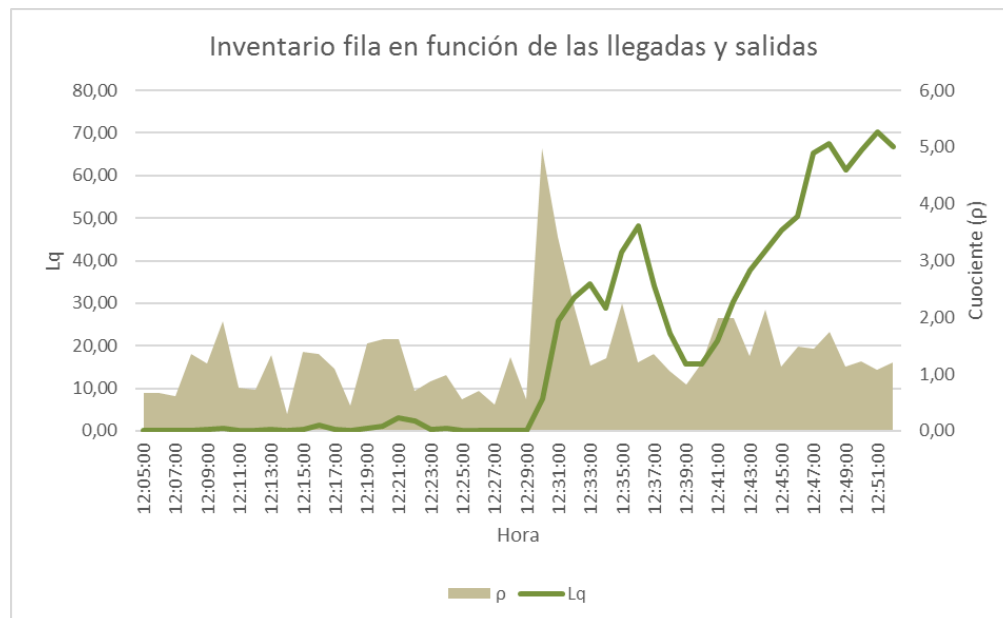


Figura 8.12. Comparación entre el número de personas en la fila y las tasas de llegada y salida. Fuente: Elaboración propia.

Existe una notoria diferencia en la tasa de llegada a partir de las 12:30, ya que a partir de ese momento las llegadas incrementan notoriamente y sobrepasan la capacidad del sistema, generando un aumento en la utilización de los recursos, lo que produce un aumento en la cantidad de personas que deben esperar en la fila y no pueden ser atendidas inmediatamente. La tasa de flujo del sistema presenta un leve aumento con el transcurso del tiempo debido al aumento de la demanda y que al principio de la medición el servicio no estaba funcionando a su máxima capacidad.

Debido a las diferencias significativas de los parámetros a través del tiempo, se han separado los datos en dos intervalos, el primero va desde las 12:05:00 hasta las 12:28:59 y el segundo entre las 12:29:00 y las 12:52:59.

En las tablas 8.3, 8.4 y 8.5 se muestran los valores de inventario, tiempo promedio y tasa de flujo para los distintos intervalos de tiempo considerados y diferenciado por cada una de las cuatro líneas de servicio.

Inventario promedio	Fila	S1	S2	S3	S4	Total Servidores
I1	0,49	3,2	6,8	5,0	8,6	23,57
I2	38,89	11,6	17,3	14,7	16,8	60,32

Tabla 8.3. Niveles de inventario promedio en la fila y por cada servidor. Fuente: Elaboración propia.

Tasa de llegada (u/min)	Tiempo espera (min)	Tiempo servicio (min)	S1 (min)	S2 (min)	S3 (min)	S4 (min)
I1	9,63	0,05	2,45	2,43	2,08	2,72
I2	20,64	2,47	4,8	4,75	4,87	4,73

Tabla 8.4. Tiempos promedio de espera y servicio por servidor. Fuente: Elaboración propia.

Tasa de flujo (u/min)	S1 (u/min)	S2 (u/min)	S3 (u/min)	S4 (u/min)	Total Servidores (u/min)
I1	1,31	2,8	2,39	3,15	9,62
I2	2,44	3,56	3,01	3,55	13,11

Tabla 8.5. Tasa de flujo por servidor. Fuente: Elaboración propia.

No existen diferencias significativas en los tiempos de servicio por cada servidor, pero si en el nivel de inventario y en la tasa de flujo.

8.4 Relación entre inventario, tasa de flujo y tiempo de flujo

La ley de Little indica que el número de personas que se encuentran en el sistema (personas que están siendo atendidas más las que están esperando) es igual al producto de la tasa de flujo por el tiempo de flujo en sistemas estacionarios. El sistema estudiado no es estacionario, pero se quiere probar si la ley de Little sirve para aproximar el inventario en casos como éste.

Con los valores de tasa de flujo y tiempo de flujo, se calculó el inventario teórico según la ley de Little y se comparó con el real, las diferencias entre los valores teóricos y reales se muestran en la Figura 8.14.

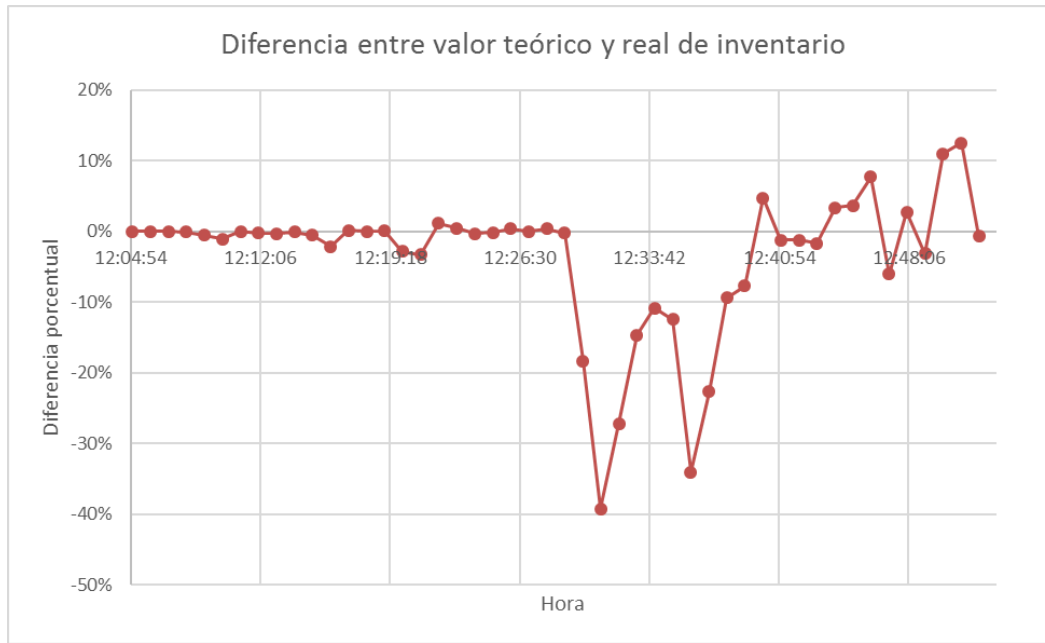


Figura 8.13. Diferencia entre valor teórico y experimental de inventario. Fuente: Elaboración propia.

Durante la primera mitad del intervalo de medición, cuando las tasas de llegada son constantes y el nivel de fila es bajo, el valor teórico del inventario es casi igual al valor real, con porcentajes de error cercanos o iguales a 0%. Cuando se produce el aumento en la tasa de llegada, y por lo tanto también la de flujo, la fórmula de Little subestima el inventario real, pero a medida que la tasa de llegadas vuelve a estabilizarse, el error de la aproximación vuelve a ser bajo.

8.5 Capacidad del proceso

Dados los tiempos de servicio y considerando los supuestos realizados en la Metodología, se tiene que el tiempo que realmente toma el usuario en pasar por la línea de atención es:

Línea	S1	S2	S3	S4
Tiempo de flujo [min]	2,28	2,26	1,91	2,55

Tabla 8.6. Tiempos de flujo en las líneas de servicio. Fuente: Elaboración propia.

Como cada línea está compuesta por 8 estaciones, pero se asume que la capacidad de cada estación es idéntica, debido a que las actividades son similares, la capacidad de la línea es:

$$Cap_L = \text{Min}\{\sum_{i=1}^8 Cap_{ESTi}\} \quad (8.45)$$

Como se asume que todas las estaciones tienen la misma capacidad, por lo tanto, el mismo tiempo de flujo, entonces:

$$Cap_{ESTi} = \frac{1}{T_{EST}} = \frac{8}{T_L} \quad (8.46)$$

$$Cap_L = \frac{8}{T_L} \quad (8.47)$$

Además, se realizó el supuesto de que las operarias en la entrada se demoran 3 segundos en registrar a un usuario, por lo tanto, las capacidades de los elementos del sistema son:

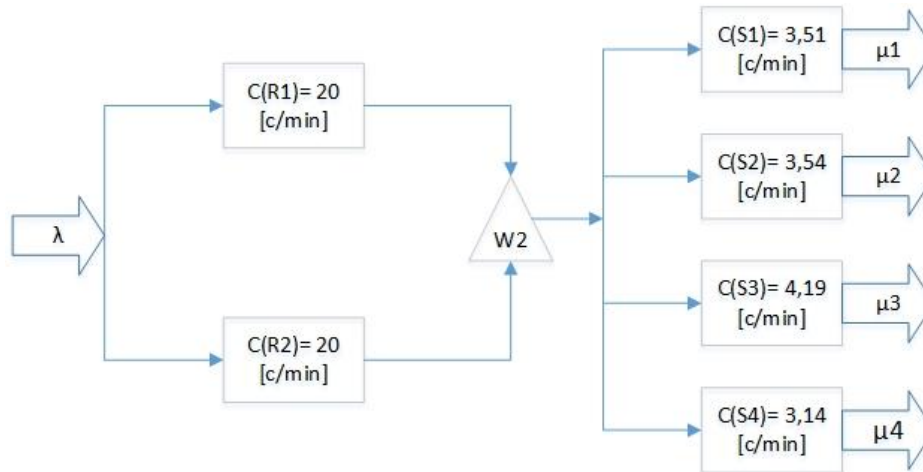


Figura 8.14. Diagrama de flujo con capacidades del sistema. Fuente: Elaboración propia.

Y la capacidad total del sistema es:

$$Cap_T = \text{Min}\{\sum_{i=1}^2 Cap_{Ri}, \sum_{i=1}^4 Cap_{Li}\} \quad (8.48)$$

Reemplazando con los valores obtenidos:

$$Cap_T = \text{Min}\{40; 14,38\} = 14,38 \left[\frac{c}{min}\right]$$

Esto implica, que para tasas de llegada mayores a $14,38 \left[\frac{c}{min}\right]$ o tiempos entre llegadas menores a $4,17[s]$ los recursos del proceso, en particular los operarios de las líneas, tendrán una alta utilización y aumentará la cantidad de usuarios en la fila y sus tiempos de espera. Después de las 12:30 la tasa de llegada se mantiene siempre por sobre ese número.

8.6 Proceso estacionario

El análisis de estacionalidad se realizó agrupando los tiempos de llegada por minuto, es decir, todas las llegadas entre las 12:05:00 y las 12:05:59 se agruparon en un solo punto, lo mismo para las llegadas entre las 12:06:00 y las 12:06:59 y así sucesivamente hasta agrupar todas las llegadas.



Figura 8.15. Llegadas por minuto. Fuente: Elaboración propia.

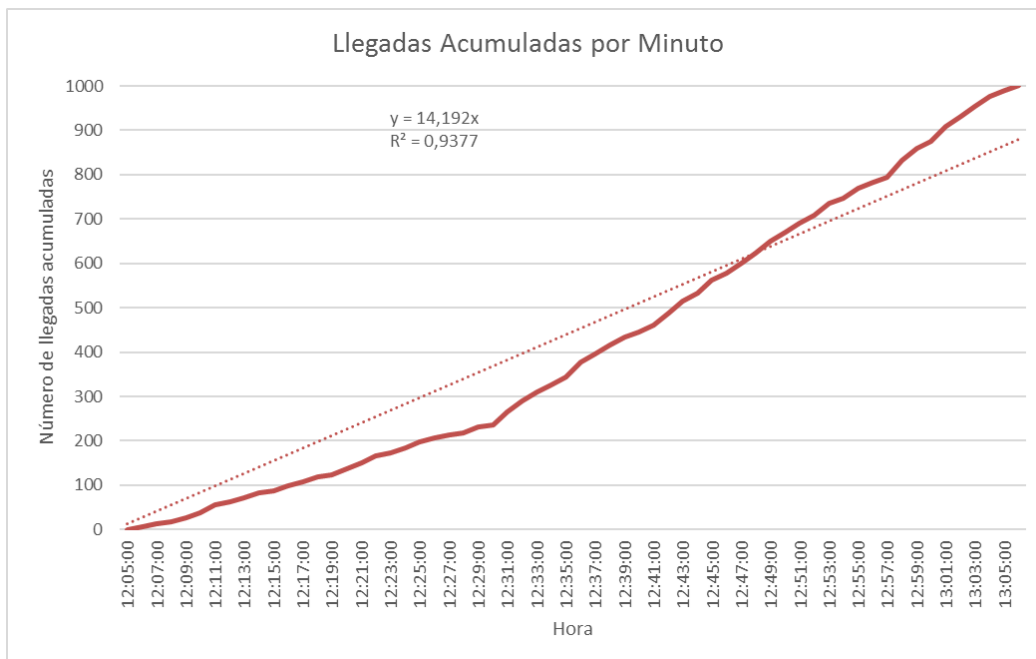


Figura 8.16. Llegadas acumuladas por minuto. Fuente: Elaboración propia.

A partir de los gráficos de llegadas por minuto y de llegadas acumuladas por minuto se observa que el proceso no es estacionario, pues la tasa de llegadas varía con el tiempo. Al trazar la línea recta que indica las llegadas esperadas si el proceso fuera estacionario se obtiene una perturbación, lo cual confirma que el proceso de llegadas no es estacionario. Sin embargo, el valor del R^2 es de 0,94; indicando que la recta es una buena aproximación del comportamiento real.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Cachon y Terwiesch (2009) indican que, si un proceso presenta estacionalidad, se debe dividir el intervalo de tiempo en intervalos más pequeños hasta que el proceso sea estacionario. Se realizan pruebas dividiendo el período analizado en dos y tres intervalos respectivamente.

Para el caso en el cual se divide el período en dos intervalos, éstos comienzan a las 12:05:00 y a las 12:35:00 respectivamente. En tanto para la división en tres intervalos, éstos inician a las 12:05:00, 12:26:00 y 12:46:00.



Figura 8.17. Llegadas acumuladas por minuto con dos intervalos, para el primer intervalo. Fuente: Elaboración propia.



Figura 8.18. Llegadas acumuladas por minuto con dos intervalos, para el segundo intervalo. Fuente: Elaboración propia.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

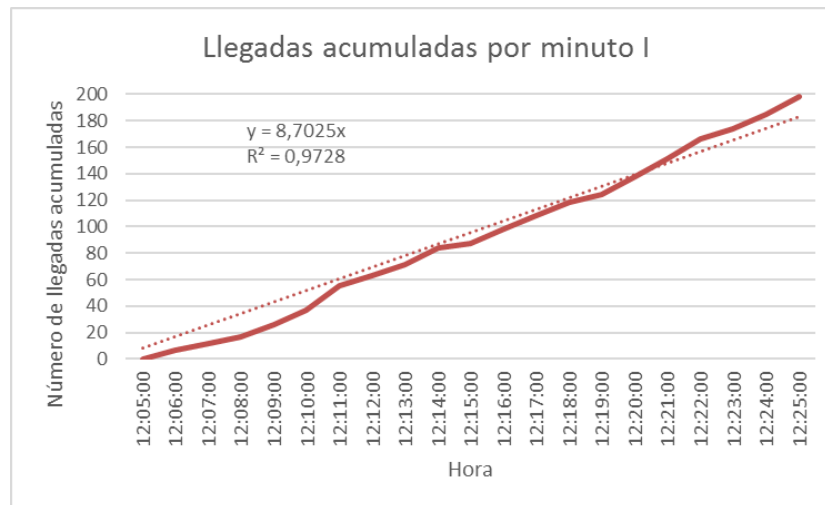


Figura 8.19. Llegadas acumuladas por minuto con tres intervalos, para el primer intervalo. Fuente: Elaboración propia.

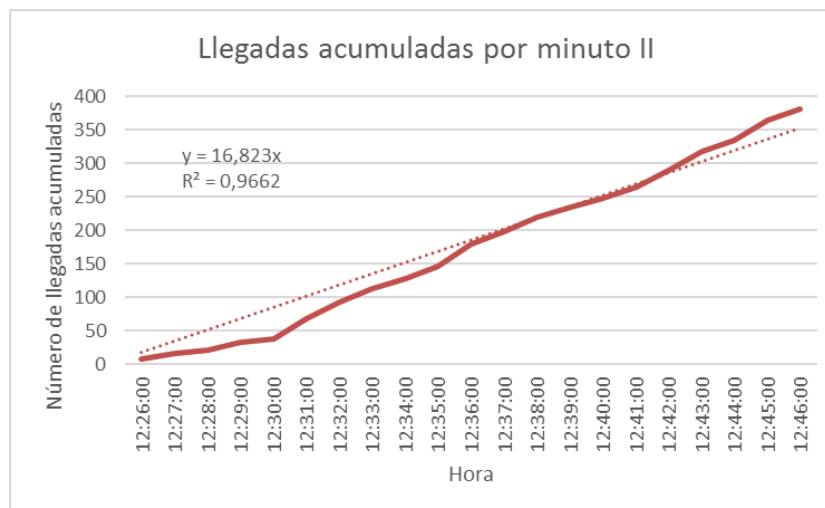


Figura 8.20. Llegadas acumuladas por minuto con tres intervalos, para el segundo intervalo. Fuente: Elaboración propia.

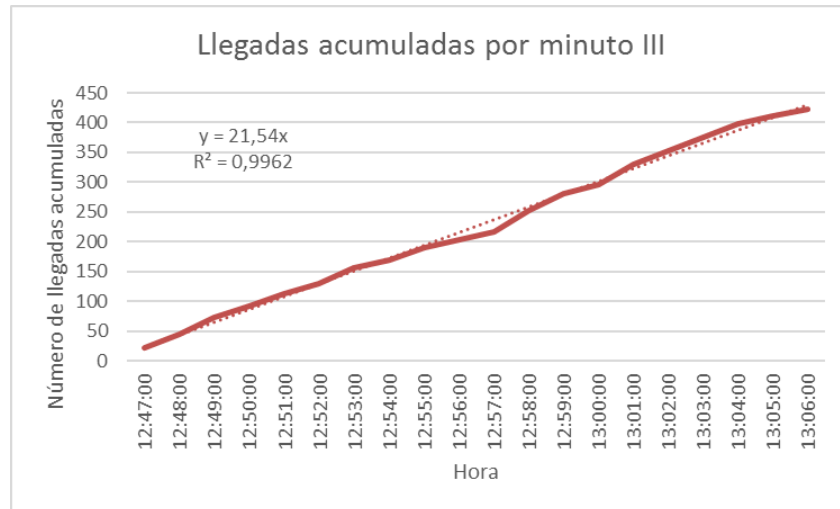


Figura 8.21. Llegadas acumuladas por minuto con tres intervalos, para el tercer intervalo.

Fuente: Elaboración propia.

Cuando se divide el período analizado en dos intervalos mejora notablemente el ajuste de la recta a los datos empíricos, obteniendo unos R^2 de 0,96 y 0,99 para cada intervalo. En el segundo intervalo la recta calza casi exactamente con los datos, mientras que en el primero existe una desviación al final.

Para tres intervalos los ajustes no mejoran en comparación al caso con dos intervalos, se obtienen valores de R^2 de 0,97; 0,96 y 0,99; por lo tanto, no es necesario seguir dividiendo el período de medición en más intervalos, pues los valores de R^2 convergen.

8.7 Tiempo entre llegadas

Para realizar el análisis de los tiempos entre llegadas también se utilizan los dos intervalos definidos en la sección anterior. Se tiene que los tiempos entre llegadas fluctúan entre 0 y 52 segundos.

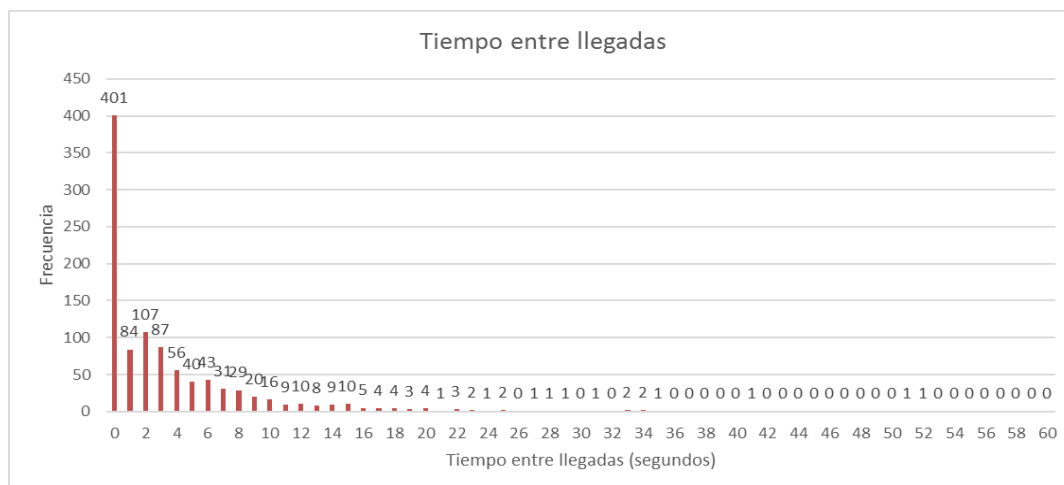


Figura 8.22. Tiempo entre llegadas en segundos. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 8.22 se muestran todos los tiempos entre llegadas entre las 12:05:00 y las 13:05:59 sin realizar la separación por intervalos y sin considerar el proceso de Poisson compuesto. Se observa que casi la mitad de las llegadas son en grupos, lo que es observable en la cantidad de tiempos entre llegada iguales a 0.

8.7.1 Análisis del tiempo entre llegadas para dos intervalos

Considerando el intervalo n°1 desde las 12:05:00 hasta las 12:34:59 y el intervalo n°2 desde las 12:35:00 hasta las 12:05:59, entonces los gráficos de los tiempos entre llegadas para cada intervalo corresponden a los que se muestran en las Figuras 8.23 y 8.24.

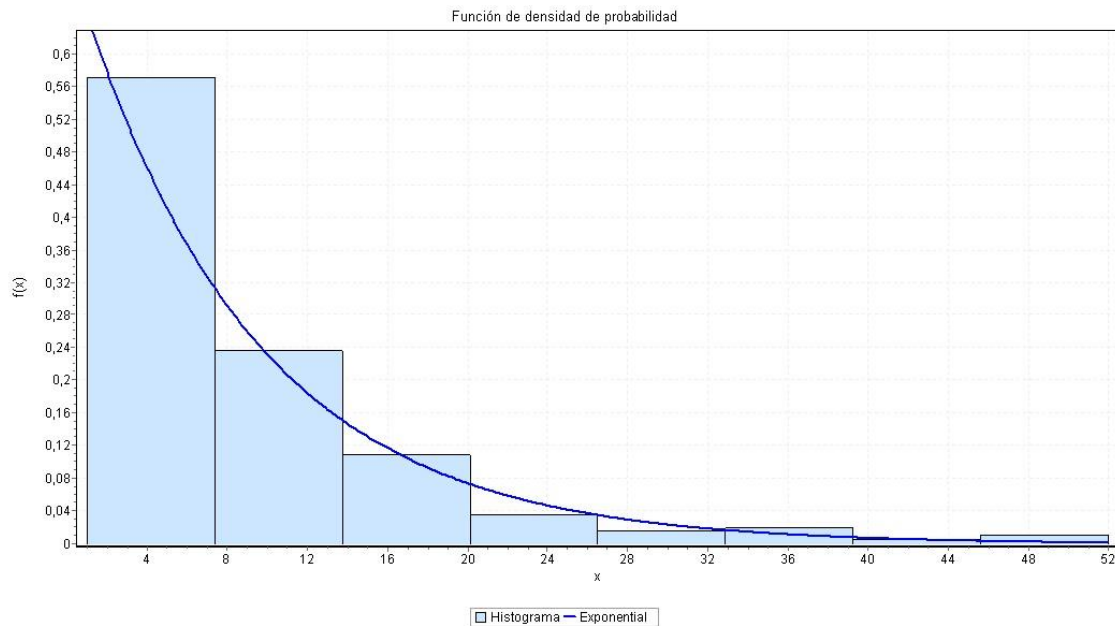


Figura 8.23. Ajuste del tiempo entre llegadas en dos intervalos para el intervalo n°1. Fuente: Easyfit.

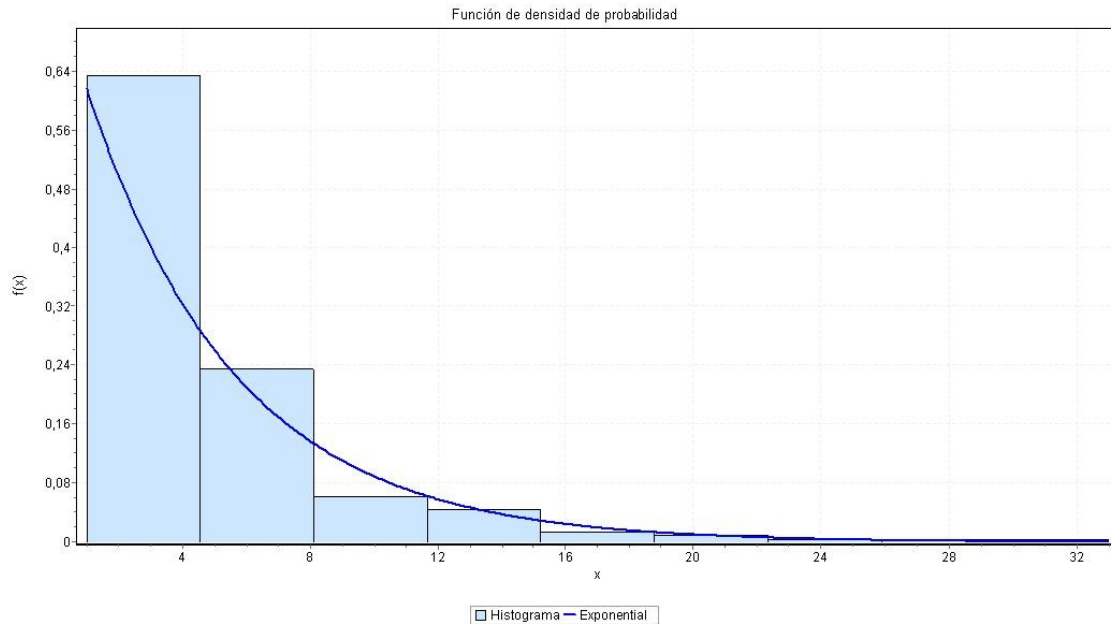


Figura 8.24. Ajuste del tiempo entre llegadas en dos intervalos para el intervalo n°2. Fuente: Easyfit.

Para determinar que distribución ajusta de mejor manera el comportamiento de los tiempos entre llegadas, se utiliza el siguiente test de hipótesis:

$$H_0: \lambda \sim F(\lambda)$$

$$H_a: \lambda \not\sim F(\lambda)$$

En donde $F(\lambda)$ es una distribución con parámetro lambda. El estadístico utilizado en esta prueba es el Chi-cuadrado.

El ajuste otorgado por el programa EasyFit, indica las distribuciones y la zona de no rechazo de la hipótesis nula para la prueba Chi-cuadrado con los respectivos valores de confianza para los cuales es válida la prueba. Las distribuciones para las cuales no se rechaza la hipótesis nula se adjuntan en el Anexo.

8.7.2 Análisis del tiempo entre llegadas para tres intervalos

Considerando que el intervalo n°1 comienza a las 12:05:00 y termina a las 12:25:59, el intervalo n°2 comienza a las 12:26:00 y termina a las 12:45:59 y el intervalo n°3 comienza a las 12:46:00 y termina a las 13:05:59, entonces los gráficos de los tiempos entre llegadas son los siguientes.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

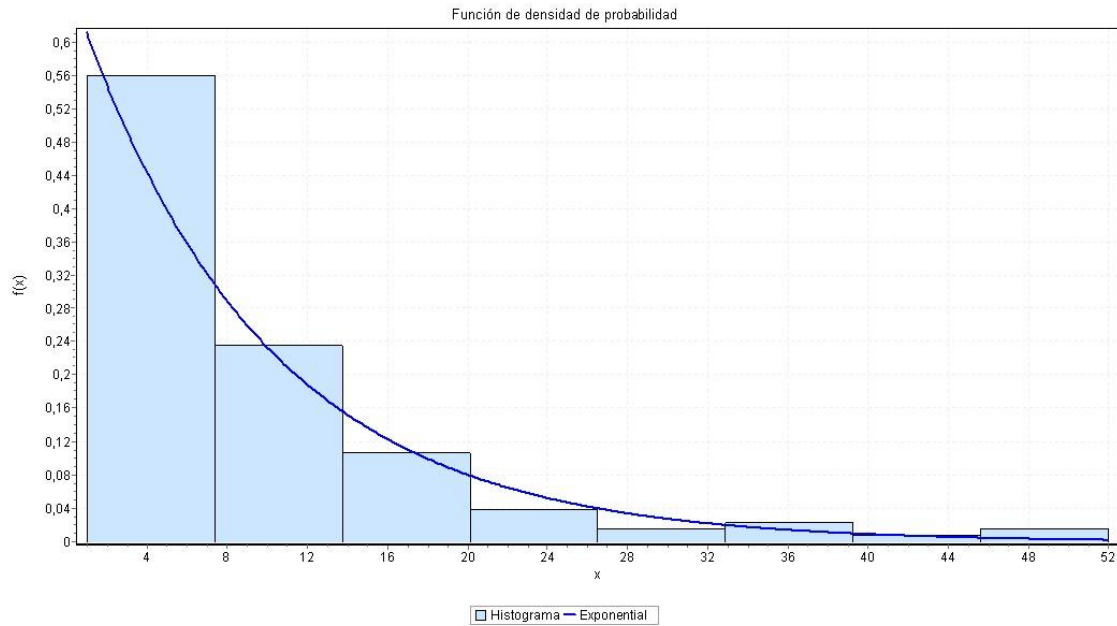


Figura 8.25. Ajuste del tiempo entre llegadas en tres intervalos para el intervalo n°1. Fuente: Easyfit

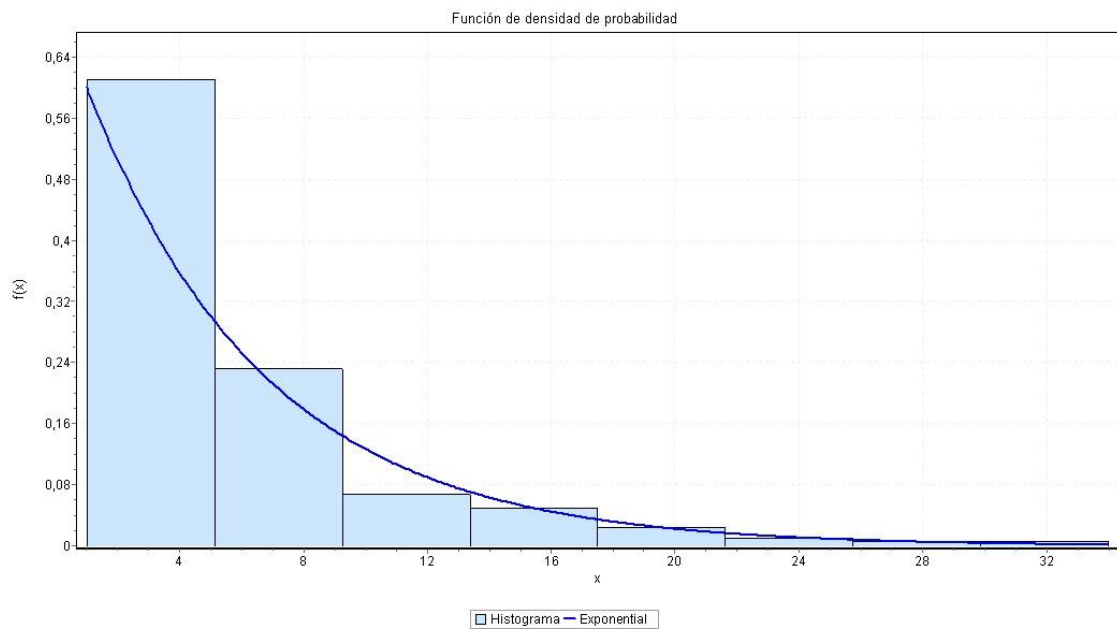


Figura 8.26. Ajuste del tiempo entre llegadas en tres intervalos para el intervalo n°2. Fuente: Easyfit.

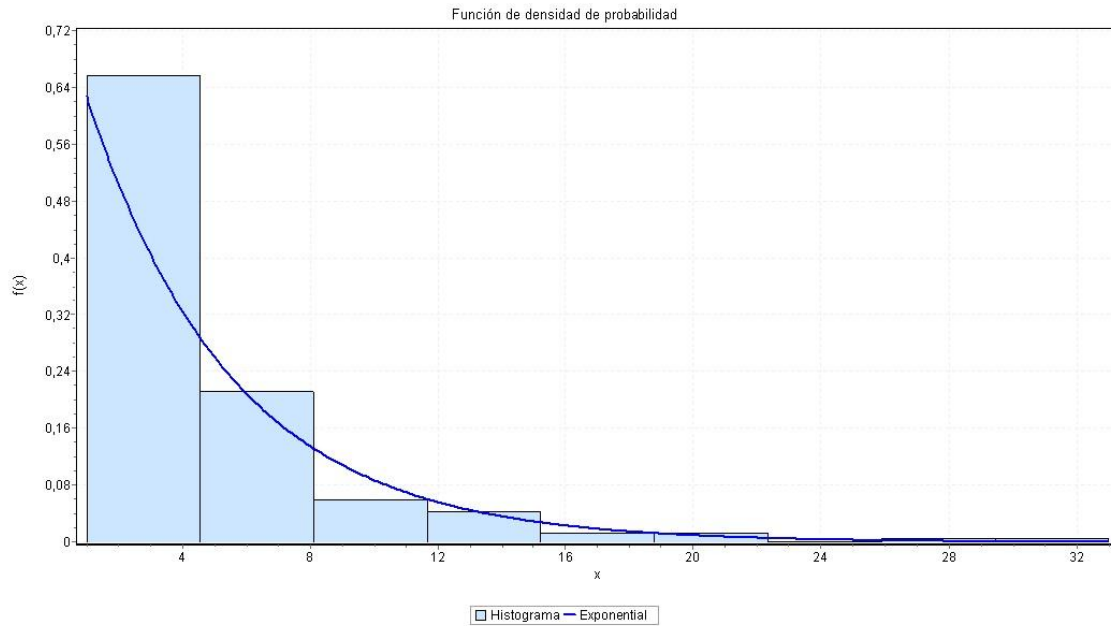


Figura 8.27. Ajuste del tiempo entre llegadas en tres intervalos para el intervalo n°3. Fuente: Easyfit.

Para determinar que distribución ajusta de mejor manera el comportamiento de los tiempos entre llegadas, se utiliza el siguiente test de hipótesis:

$$H_0: \lambda \sim F(\lambda)$$

$$H_a: \lambda \not\sim F(\lambda)$$

En donde $F(\lambda)$ es una distribución con parámetro lambda. El estadístico utilizado en esta prueba es el Chi-cuadrado.

El ajuste otorgado por el programa EasyFit, indica las distribuciones y la zona de no rechazo de la hipótesis nula para la prueba Chi-cuadrado con los respectivos valores de confianza para los cuales es válida la prueba. Las distribuciones para las cuales no se rechaza la hipótesis nula se adjuntan en el Anexo.

8.7.3 Distribución de los tiempos entre llegadas

Utilizando tres intervalos, se obtienen mejores ajustes de curva para la distribución de los tiempos entre llegadas. En particular se obtiene que para el intervalo I no se rechaza la hipótesis de que los datos se distribuyen de forma exponencial, en un test de Chi-cuadrado para un valor de significancia menor o igual al 20%. Para los intervalos II y III se rechazan las hipótesis.

La causa de porqué la tasa de ocurrencia de los eventos no es exponencial es debido a que el proceso de llegadas no es 100% aleatorio, debido a que algunos usuarios programan sus llegadas fuera del horario peak para evitar pasar un tiempo excesivo en la fila.

Intervalo	Media	Desviación Estándar	CV
I1	9,371	9,428	1,006
I2	5,779	5,262	0,911
I3	4,546	4,458	0,981

Tabla 8.7. Parámetros de los tiempos entre llegadas por intervalos. Fuente: Elaboración propia.

Para el intervalo I, no se rechazó la hipótesis de que los tiempos entre llegadas se distribuyen de forma exponencial, lo cual se puede corroborar analizando el gráfico de los datos (Figura 8.26) y el coeficiente de variación, muy cercano a 1. Por lo tanto, se puede realizar una simulación con los datos obtenidos en el primer intervalo de tiempo, bajo el supuesto de que es un proceso de Poisson.

8.7.4 Distribución del número de llegadas

Para los tres intervalos considerados en el análisis, las distribuciones del número de llegadas son:

Intervalo 1		Intervalo 2		Intervalo 3	
N° Llegadas	Frecuencia	N° Llegadas	Frecuencia	N° Llegadas	Frecuencia
1	91	1	120	1	172
2	22	2	46	2	52
3	10	3	23	3	19
4	7	4	11	4	11
5	1	5	4	5	1
6	0	6	2	6	2
7	1	7	0	7	3
8	0	8	1	8	1
9	0	9	1	9	0

Tabla 8.8. Distribución del número de llegadas por intervalo. Elaboración propia.

Los gráficos indican que la mayoría de los usuarios llegan en forma individual y que el número de llegadas simultáneas decrece rápidamente.

Los valores promedio del número de personas que llegan simultáneamente es cercano a 1, debido a que la mayoría de los usuarios llegan solos a la fila y son poco frecuentes las llegadas en grupos.

Intervalo	I1	I2	I3
Promedio (θ)	1,553	1,799	1,621

Tabla 8.9. Promedios de la distribución de las llegadas. Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto, la tasa real de llegada de personas a la fila es de:

Intervalo	I1	I2	I3
Tasa (personas/s)	0,17	0,31	0,36
Tasa (s/persona)	6,06	3,22	2,8

Tabla 8.10. Tasas reales de llegadas. Fuente: Elaboración propia.

8.8 Simulación del proceso en software Arena

8.8.1 Cálculo de parámetros utilizados

8.8.1.1 Comportamiento de las llegadas

Para el intervalo en donde los tiempos entre llegadas se distribuyen exponencialmente, el tiempo entre llegadas promedio es de 9,37 segundos y el número promedio de personas que llegan simultáneamente es de 1,55. Entonces, la tasa ajustada del proceso de Poisson compuesto es de $6,06[\frac{\text{segundos}}{\text{cliente}}]$.

8.8.1.2 Capacidad de los recursos

Existen dos tipos de recursos en el sistema analizado, las recepcionistas y los operarios de las líneas en donde se entregan los alimentos.

La capacidad del proceso de recibo de ticket ya fue definida en la Metodología, y corresponde a una distribución triangular con mínimo 1, valor más probable 2 y máximo 3 segundos.

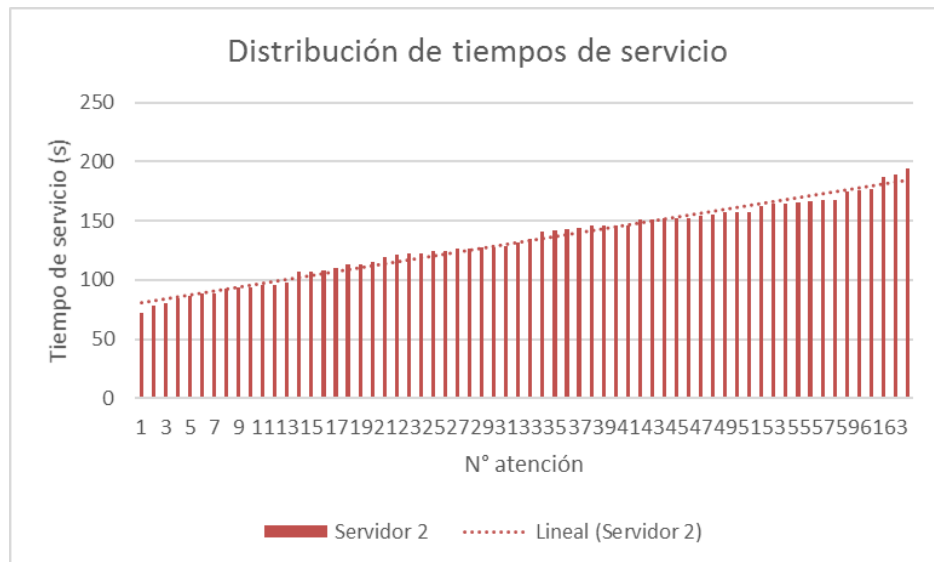


Figura 8.28. Distribución de los tiempos de servicio para el servidor n°2. Fuente: Elaboración propia.

Según se puede observar en la Figura 8.29, las capacidades de las líneas de servicio siguen una distribución uniforme, pues al trazar una línea recta desde el primer dato hasta el último no se perciben desviaciones de los datos con la recta. Los gráficos de las distribuciones de los tiempos de servicio para los 3 servidores restantes se adjuntan en el Anexo, incluyendo además los gráficos de caja y bigotes con los valores mínimos, máximos y extremos.

Los valores mínimos y máximos, en segundos, para los tiempos de servicio de cada servidor se adjuntan en la Tabla 8.11.

Servidor	Valor mínimo (seg)	Valor máximo (seg)
S1	65	223
S2	72	194
S3	55	156
S4	74	264

Tabla 8.11. Valores de la distribución uniforme de los tiempos de servicio. Fuente: Elaboración propia.

Estos valores excluyen los tiempos de servicio extremadamente altos o bajos, los cuales se encontraron mediante gráficos de cajas y bigotes.

8.8.1.3 Características del flujo del proceso

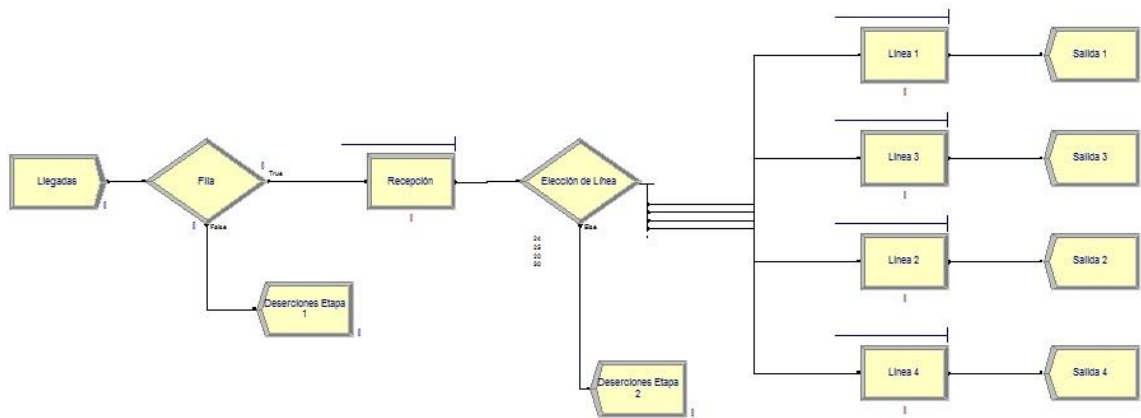


Figura 8.29. Diagrama del proceso modelado en el software Arena. Fuente: Arena.

En el proceso modelado las entidades pasan por dos módulos de decisión, el primero indica si el usuario que está esperando en la cola entra por la recepción o deserta. El segundo indica a qué línea de servicio ingresa cada persona, además incluye una opción para deserciones dentro del sistema.

En el primer módulo de decisión, la probabilidad de que un usuario continúe en el sistema es de 97%.

En el segundo módulo, las probabilidades de que el usuario escoja una línea de servicio son: 18,7% para la línea 1; 27,4% para la línea 2; 24,8% para la línea 3 y 28,1% para la línea 4. El 1% restante deserta en esta etapa.

8.8.1.4 Parámetros para distintas configuraciones del servicio

Para configuraciones con doble fila en la recepción, se considera que existen dos procesos separados de recepción y que la capacidad de cada uno corresponde a la mitad de la capacidad del proceso de recepción original. Es decir, si en el proceso original las recepcionistas podían atender a dos personas simultáneamente, en los procesos con fila doble cada recepción puede atender a un solo individuo a la vez.

Al agregar nuevas líneas de servicio cambian también las probabilidades de que una línea sea elegida, estas nuevas probabilidades son:

Línea	S1	S2	S3	S4	S5	S6
Probabilidad con 5S	15,20	21,60	20,00	22,40	19,80	-
Probabilidad con 6S	12,66	18,00	16,66	18,66	16,51	16,51

Tabla 8.12. Probabilidades de elección de las líneas de servicio. Fuente: Elaboración propia.

Estas nuevas líneas de servicio tienen idéntica capacidad que las otras líneas (8 personas siendo atendidas simultáneamente) y sus tiempos de servicio serán iguales a el tiempo de servicio promedio de las primeras cuatro líneas.

Línea de servicio	Valor mínimo (seg)	Valor máximo (seg)
S5	67	209
S6	67	209

Tabla 8.13. Tiempos de servicio. Fuente: Elaboración propia.

8.8.2 Resultados simulaciones en software Arena

Sean:

WTQ: waiting time queue, tiempo de espera.

NWQ: number waiting queue, inventario de personas en la fila.

VA Time: value added time, tiempo en que se están utilizando recursos, es la suma de los tiempos de servicio.

8.8.2.1 Comparación entre datos experimentales y simulación

Se utilizó la tasa del intervalo n°1 (6,06[segundos/cliente]) debido a su comportamiento exponencial y se realizó la comparación con los valores experimentales tomados durante ese intervalo. La simulación aporta información adicional que no pudo ser obtenida durante la toma de datos.

Variable	Simulación (21 min)	Valores experimentales (21 min)
Entradas promedio	207,5	205
Salidas promedio	183,25	175 (*) ¹
WIP	22,1	30
VA time [min]	2,19	-
Wait time [min]	0,14	(**) ²
Total time [min]	2,33	2,45
WTQ L1 [min]	0,02	-
WTQ L2 [min]	0,18	-
WTQ L3 [min]	0,03	-
WTQ L4 [min]	0,37	-
WTQ Recepción [min]	0,0005	0,05
NWQ L1	0,042	3,6 (***) ³
NWQ L2	0,562	7 (***)
NWQ L3	0,071	4,6 (***)
NWQ L4	1,022	8,6 (***)
NWQ Recepción	0,005	0,55 (***)
N° usuarios atendidos L1	39,1	30 (*)
N° usuarios atendidos L2	56	53 (*)
N° usuarios atendidos L3	50,7	38 (*)
N° usuarios atendidos L4	50,5	61 (*)
N° usuarios atendidos Recepción	200,75	205

Tabla 8.14. Comparación entre datos experimentales y simulación. Fuente: Arena.

Los valores obtenidos en la simulación son consecuentes con los valores experimentales, con la excepción del número de usuarios atendidos por cada línea de servicio. Esto es debido a que la probabilidad de elegir una línea fue calculada en base a la totalidad de los datos ingresados y no necesariamente es la misma que la del intervalo utilizado.

Adicionalmente, la simulación por medio del software proporciona estimaciones de algunos datos que no pudieron ser observados experimentalmente. Para las siguientes simulaciones se mostrarán solo algunos de los resultados, siendo el resto presentado en el **Anexo A.4**.

8.8.2.2 Simulación del sistema con distintas tasas de llegada durante 12 minutos de funcionamiento

Tasa [s/ciente]	6,06	12,12	3,22	2,80
VA Time [min]	2,12	2,12	2,07	2,07
Wait Time [min]	0,09	0,003	0,74	1,03
Total time [min]	2,21	2,13	2,81	3,10
WTQ L [min]	0,089	0,002	1,07	1,49
WTQ Recepción [min]	0,0005	0,0001	0,002	0,002
NWQ L	0,27	0,004	5,57	8,92
NWQ Recepción	0,005	0,0005	0,032	0,05

Tabla 8.15. Simulación del sistema durante 12 minutos con tasa de llegada variable. Fuente: Arena.

¹ (*) no incluye a las personas que ya se encontraban en el sistema al iniciar la medición (inventario inicial).

² (**) según los supuestos realizados, el tiempo de espera entre la recepción y el servidor, WTQ Li tiende a cero. El único waiting time que se considera es el de antes de la recepción.

³ (***) incluye usuarios que están siendo atendidos.

Para tasas de llegada grandes, mayores a la capacidad total del sistema, las filas de espera crecen rápidamente producto de la sobreutilización de los recursos, por lo tanto, el sistema deja de ser estable y no es posible realizar una simulación por todo el tiempo en que funciona el servicio.

Se halló que, al aumentar la tasa de llegadas, el tiempo de espera y el inventario de personas en la fila crece a una tasa mucho mayor a la de las llegadas.

Además, se encontró que el número de usuarios atendidos por cada línea (ver Anexo A.4) no depende solo de la probabilidad de que un usuario elija esa línea, sino que también de la capacidad de ésta.

El número de usuarios efectivamente atendidos por cada línea no depende solo de la probabilidad de elegir una línea, sino que también del nivel de utilización de ésta. A medida que aumenta la tasa de llegada, el número de usuarios atendidos no aumenta en la misma proporción, pues si bien entran más usuarios a cada una de las líneas, estos se quedan esperando en la fila cuando la utilización es alta y no alcanzan a finalizar su atención.

8.8.2.3 Simulación del sistema con distintas configuraciones durante 12 minutos de funcionamiento

Configuración	4S 2F	5S 1F	6S 1F	6S 2F
VA Time [min]	2,17	2,12	2,15	2,14
Wait Time [min]	0,12	0,049	0,012	0,017
Total time [min]	2,28	2,17	2,16	2,16
WTQ L [min]	0,155	0,048	0,014	0,013
WTQ Recepción [min]	0,004	0,0004	0,0004	0,003
NWQ L	0,508	0,126	0,032	0,027
NWQ Recepción	0,017	0,004	0,004	0,015

Tabla 8.16. Simulación del funcionamiento del sistema a tasa control durante 12 minutos con configuración variable.

Fuente: Arena.

Para una tasa de llegada menor a la capacidad del sistema original ($\phi = 6,06[\frac{\text{segundos}}{\text{cliente}}]$) se tiene que:

Al aumentar la cantidad de líneas de servicio existentes, disminuye el tiempo de espera y el inventario de personas en la fila.

Para cualquier configuración existente, se alcanza a atender al mismo número de usuarios, debido a que la tasa de llegada siempre es menor a la capacidad.

Al implementar la doble fila, aumenta el tiempo de espera y el inventario en fila de la recepción, en tanto para las líneas de servicio no existen resultados concluyentes.

Configuración	4S 2F	5S 1F	6S 1F	6S 2F
VA Time [min]	2,13	2,13	2,14	2,15
Wait Time [min]	1,11	0,63	0,42	0,44
Total time [min]	3,24	2,75	2,56	2,60
WTQ L [min]	1,55	0,90	0,58	0,58
WTQ Recepción [min]	0,010	0,002	0,002	0,009
NWQ L	9,51	4,38	2,36	2,41
NWQ Recepción	0,102	0,052	0,05	0,01

Tabla 8.17. Simulación del funcionamiento del sistema a tasa máxima durante 12 minutos con configuración variable.
Fuente: Arena.

Para una tasa de llegada mayor a la capacidad del sistema original ($\phi = 2,80[\text{segundos/cliente}]$) se tiene que:

Al aumentar la cantidad de líneas de servicio existentes, disminuye el tiempo de espera y el inventario de personas en la fila.

A mayor capacidad del sistema, se alcanza a atender a una mayor cantidad de usuarios.

Al implementar la doble fila, se mantiene el tiempo de espera total, pero aumenta el tiempo de espera de la recepción. Para las líneas de servicio los resultados no son concluyentes.

8.8.2.4 Simulación del sistema con distintas configuraciones durante 21 minutos de funcionamiento

N°	Filas/Tasa	1F – 6,06	2F – 6,06	1F – 2,8	2F – 2,8
	[s/cliente]				
VA Time [min]		2,20	2,20	2,18	2,18
Wait Time [min]		0,026	0,026	0,79	0,84
Total time [min]		2,23	2,23	2,97	3,02
WTQ L [min]		0,022	0,019	0,932	0,995
WTQ Recepción [min]		0,0004	0,003	0,002	0,010
NWQ L		0,051	0,042	3,642	3,952
NWQ Recepción		0,004	0,016	0,05	0,11

Tabla 8.18. Simulación del funcionamiento del sistema durante 21 minutos con seis líneas de servicio. Fuente: Arena.

Al aumentar la tasa de llegada disminuye el porcentaje de usuarios que alcanzan a finalizar su atención (89% para tasa control y 82% para tasa máxima).

Para la tasa control el tiempo total de espera se mantiene igual para las dos configuraciones probadas, pero para la tasa máxima al implementar doble fila aumenta el tiempo de espera.

El tiempo de espera y el inventario de fila en la recepción depende de la tasa de llegada y del tipo de fila, siendo mayores para la fila doble.

El tiempo de espera y el inventario de fila en las líneas de servicio depende solo de la tasa de llegada.

8.8.2.5 Simulación del sistema con distintas configuraciones durante 1 hora de funcionamiento

Configuración	4S 1F	4S 2F	6S 1F	6S 2F
VA Time [min]	2,23	2,26	2,23	2,23
Wait Time [min]	0,34	0,57	0,03	0,03
Total time [min]	2,57	2,83	2,26	2,26
WTQ L [min]	0,335	0,549	0,025	0,024
WTQ Recepción [min]	0,0006	0,004	0,0005	0,003
NWQ L	0,94	1,60	0,015	0,044
NWQ Recepción	0,005	0,016	0,005	0,016

Tabla 8.19. Simulación del funcionamiento del sistema durante 1 hora con seis líneas de servicio. Fuente: Arena.

Para el funcionamiento del sistema a mediano plazo (1 hora), se obtuvo que:

Para cualquier configuración, el mismo porcentaje de usuarios alcanza a completar su atención.

Al aumentar el número de líneas, y por lo tanto la capacidad del sistema, disminuye el tiempo de espera.

Al implementar una sola fila para todas las líneas, el tiempo de espera de la primera etapa disminuye.

8.8.2.6 Simulación del sistema con pooling de líneas de servicio con tasa control

Tiempo [min]	12	21	60
Entradas promedio	118,85	208,15	592,70
Salidas promedio	96,20	186,85	570,70
WIP	20,00	21,16	21,99
VA Time [min]	2,18	2,22	2,26
Wait Time [min]	0,0009	0,004	0,004
Total time [min]	2,18	2,23	2,26
WTQ L1 [min]	0,0011	0,004	0,004
WTQ Recepción [min]	0,0005	0,0005	0,0005
NWQ L1	0,012	0,038	0,034
NWQ Recepción	0,005	0,005	0,004
N° usuarios atendidos L1	114,9	201,15	575,55
N° usuarios atendidos Recepción	115,2	201,55	576,05

Tabla 8.20. Simulación del funcionamiento del sistema con pooling de líneas de servicio con tasa control. Fuente: Arena.

Al agrupar todas las líneas de servicio como un gran recurso con capacidad igual a la suma de las capacidades individuales de cada línea, se obtiene que:

Para la recepción, el tiempo de espera y el inventario de la fila se mantiene igual que en el caso original.

Para las líneas de servicio, el tiempo de espera y el inventario de la fila disminuyen en casi 100 veces, al igual que el tiempo de espera total. Además, aumenta levemente el porcentaje de usuarios que alcanzan a completar su atención.

8.8.2.6 Utilización del sistema

Se realizó una comparación de la utilización de los recursos, tanto en líneas de servicio como en la recepción, para las simulaciones realizadas a tasa control y tasa máxima.

Para las recepcionistas, la utilización solo depende de la tasa de llegada, siendo ésta de un 16% para la tasa control y 35% para la tasa máxima. Cambios en la capacidad de las líneas de servicio o en el tipo de fila no afectan la utilización.

Para las líneas de servicio, la utilización si varía en función de los cambios en las demás variables. Se adjuntan las Figuras 8.31 y 8.32 que indican cómo cambia la utilización promedio a medida que se cambian las variables “Número de líneas de servicio”, “Tiempo de funcionamiento” y “Número de filas”.

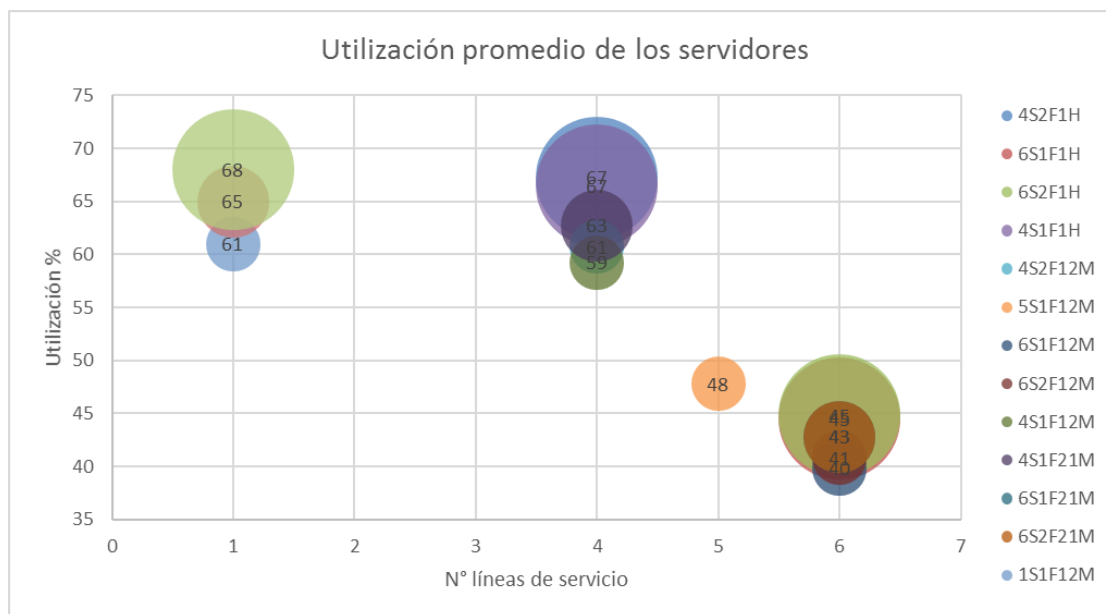


Figura 8.30. Utilización promedio de las líneas de servicio para tasa control. Fuente: Elaboración propia.

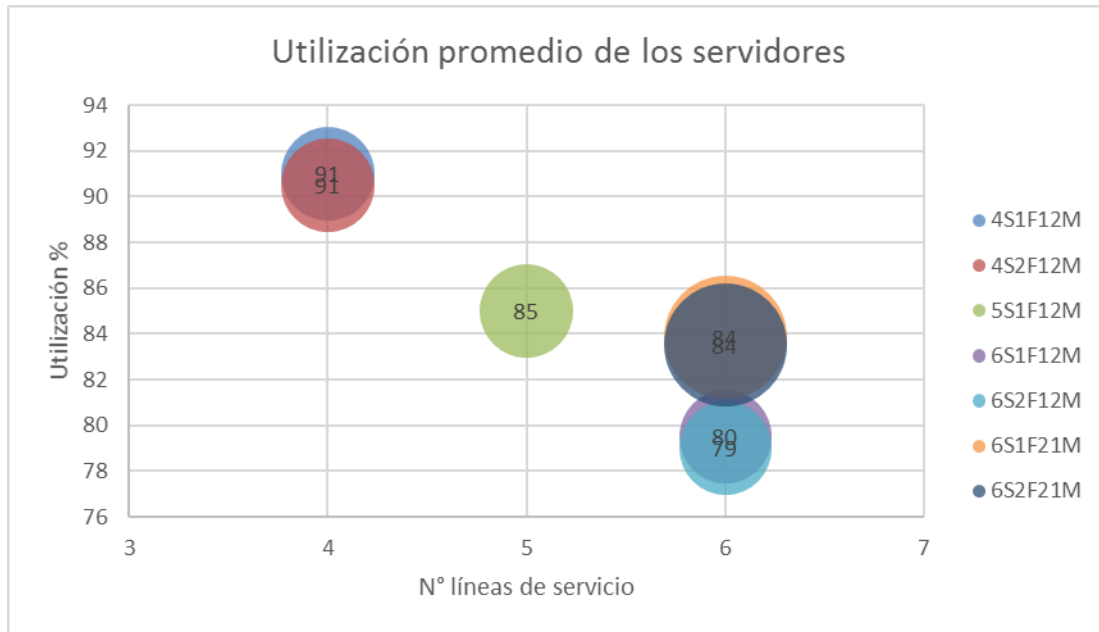


Figura 8.31. Utilización promedio de las líneas de servicio para tasa máxima. Fuente: Elaboración propia.

El tipo de fila no afecta la utilización promedio de las líneas de servicio.

Al agregar nuevas líneas de servicio disminuye la utilización de las existentes, debido al aumento en la capacidad total del sistema.

Cuando se realiza pooling, es decir, agrupar todas las líneas de servicio en una sola que absorba toda la capacidad, la utilización no varía pues la capacidad tampoco lo hace.

A mayor tasa de llegada, mayor es la utilización. En particular, para una tasa mayor a la capacidad, la utilización se mantiene cercana al 100%.

A medida que el sistema funciona por mayor tiempo, aumenta la utilización.

8.8.3 Comentarios

A partir de los resultados de las simulaciones se obtuvo que:

Cuando se trabaja con una tasa de llegada menor a la capacidad el sistema es estable a largo plazo, pudiendo funcionar sin problemas durante el tiempo que se requiere. Cuando el número de llegadas excede a la capacidad, el sistema funciona de forma limitada, pues la fila aumenta rápidamente. En el proceso real, la tasa de llegadas es variable en función del tiempo y las tasas de llegada mayores a la capacidad se producen durante un período limitado del tiempo de funcionamiento.

El tiempo de espera y el número de personas en la fila dependen principalmente de la relación entre la capacidad y la tasa de llegadas, y en menor medida del tiempo en que esté en funcionamiento el sistema. La capacidad original del sistema (14,38[clientes/min]) aumenta a 17,86[clientes/min] y 21,34[clientes/min] con 5 y 6 líneas de servicio

respectivamente, las cuales siguen siendo insuficientes para atender la demanda máxima (21,42[clientes/min]), pero si la demanda promedio.

Además, al implementar una fila adicional, aumenta el tiempo de espera en la fila de la recepción, pero no hay resultados concluyentes sobre el tiempo de espera total. Basado en los resultados de las simulaciones y en el planteamiento de Cachon y Terwiesch (2009), al agregar más filas, por ejemplo, que cada línea de servicio tenga su propia fila separada de las demás, los tiempos de espera en la primera etapa deberían aumentar aún más. Considerando que según Davis y Vollman (1990), cuando existen dos etapas de espera, la primera influye más en la satisfacción de los usuarios, no es recomendable implementar filas separadas.

Al combinar las líneas de servicio se produce una disminución notable en el tiempo de espera, tal como plantean Mandelbaum y Reiman (1998) y sin alterar la capacidad o la utilización.

8.9 Relación entre la satisfacción del usuario y la aglomeración

La satisfacción de los usuarios se midió por medio del porcentaje de omisiones en la fila, o sea, los usuarios que deciden no pasar por la fila e ingresar directamente al servicio. La aglomeración se representa por medio del número de personas en la fila.

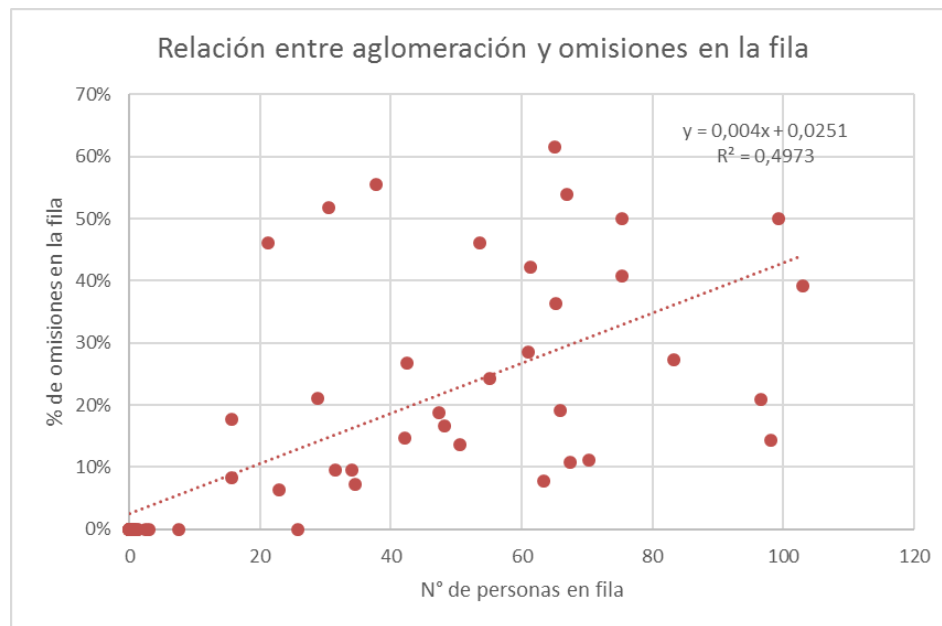


Figura 8.32. Gráfico de relación entre aglomeración y omisiones en la fila. Fuente: Elaboración propia.

Existe una relación directa entre el número de personas en la fila y el porcentaje de omisiones. Es decir, mientras más aumenta el número de personas que se encuentran esperando su atención, mayor es la aglomeración percibida por los clientes potenciales, y éstos, al sentirse incómodos e insatisfechos (Stokols, 1972) prefieren omitir la fila que hacerla y esperar por su atención.

8.10 Relación entre la satisfacción del usuario y el tiempo de flujo

Se realizaron 105 encuestas a la salida del sistema, de las cuales 103 se consideran válidas, ya que las otras dos se realizaron a personas que ya estaban siendo atendidas durante el inicio de la medición por lo cual no puede determinar con exactitud sus tiempos de espera y de atención. A los usuarios se les realizó la siguiente pregunta mientras salían de los servidores n°2 o n°4 del casino: “Evalúe la calidad del servicio en cuanto al tiempo que esperó para ser atendido, en escala de 1 a 7 en donde 1 es la peor nota y 7 la mejor”.

Para evaluar el impacto de las distintas variables en la satisfacción, se utilizaron dos de los modelos propuestos por Sasser et al. (1978), uno con una sola variable y otro en donde la satisfacción depende de un conjunto de variables, todas con la misma importancia.

8.10.1 Datos generales de la encuesta

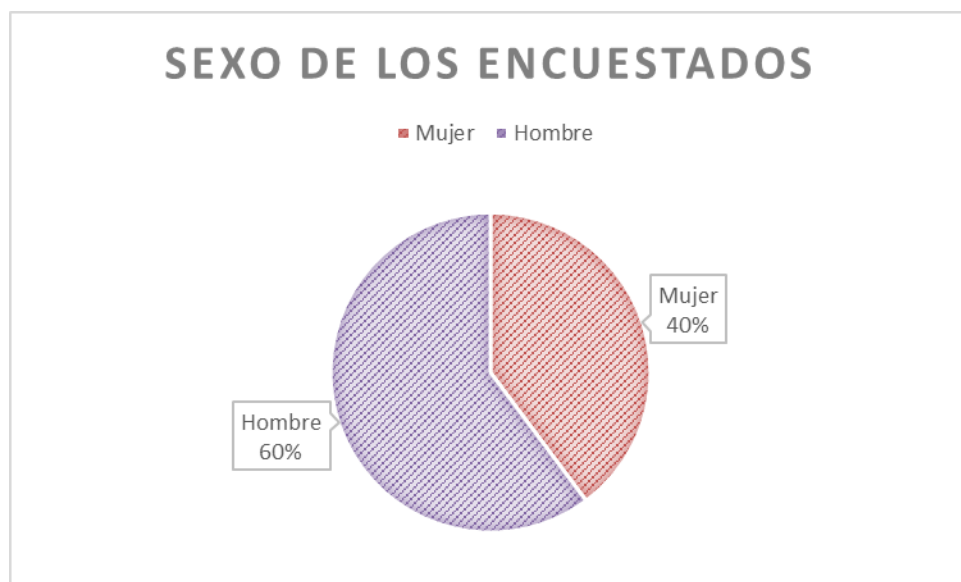


Figura 8.33. Sexo de los encuestados. Fuente: Elaboración propia.

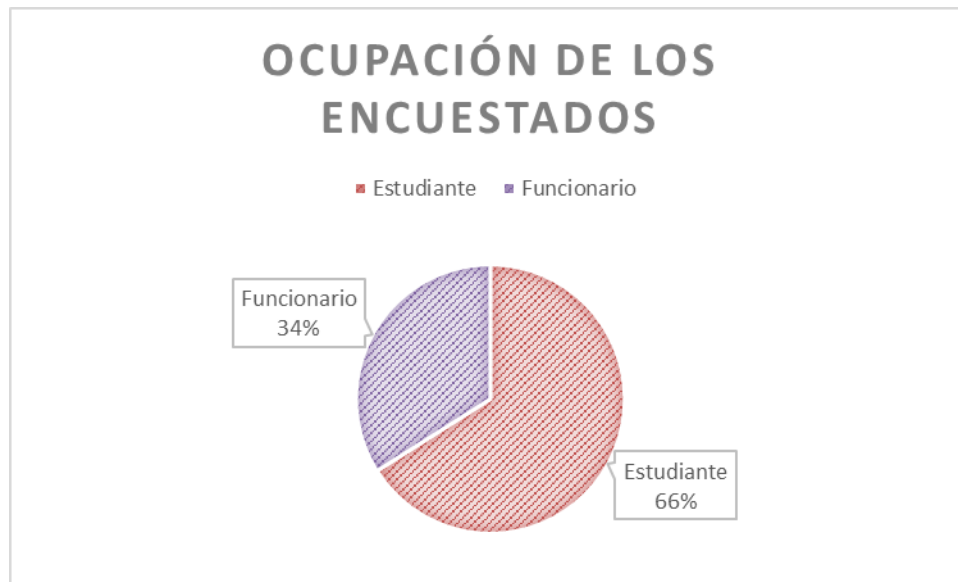


Figura 8.34. Ocupación de los encuestados. Fuente: Elaboración propia.

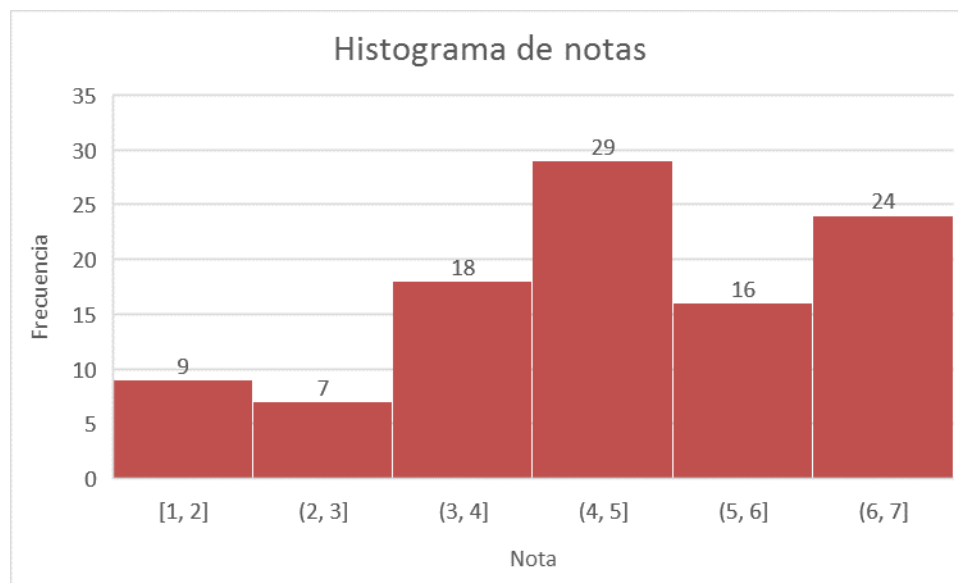


Figura 8.35. Histograma de las notas. Fuente: Elaboración propia.

La mayoría de los encuestados son estudiantes hombres, las mujeres son el 40% de los encuestados y los trabajadores de la universidad suman el 34%. La nota promedio fue de 5,01 y el 67% de los usuarios se sintió satisfecho con el tiempo que tuvo que esperar para ser atendido.

8.10.2 Análisis univariado de nota-tiempo.

A continuación, se muestran los tres gráficos que relacionan la nota con los tiempos de espera, de servicio y el tiempo de flujo. En todos los casos la relación es negativa, pues a mayor tiempo disminuye la nota puesta por el usuario. Los R^2 son muy bajos para los tres casos, siendo menor en el tiempo de servicio (0,11) y mayor para el tiempo de espera (0,26),

ANÁLISIS DE RESULTADOS

esto implica que se cumple el enunciado propuesto por Davis y Vollman (1990) y que el tiempo de espera en la primera etapa tiene una mayor incidencia que las esperas posteriores.

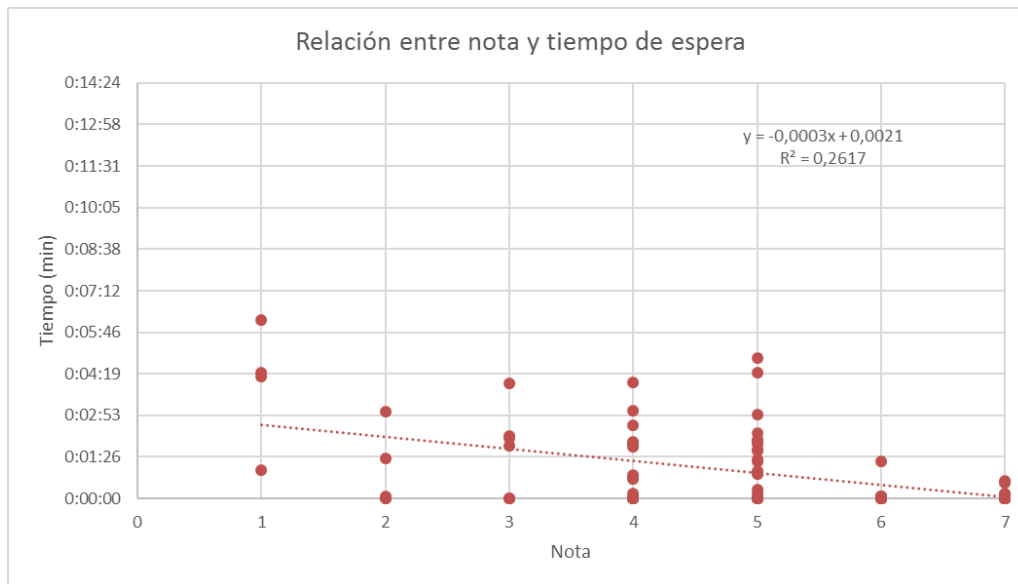


Figura 8.36. Gráfico de nota vs tiempo de espera. Fuente: Elaboración propia.

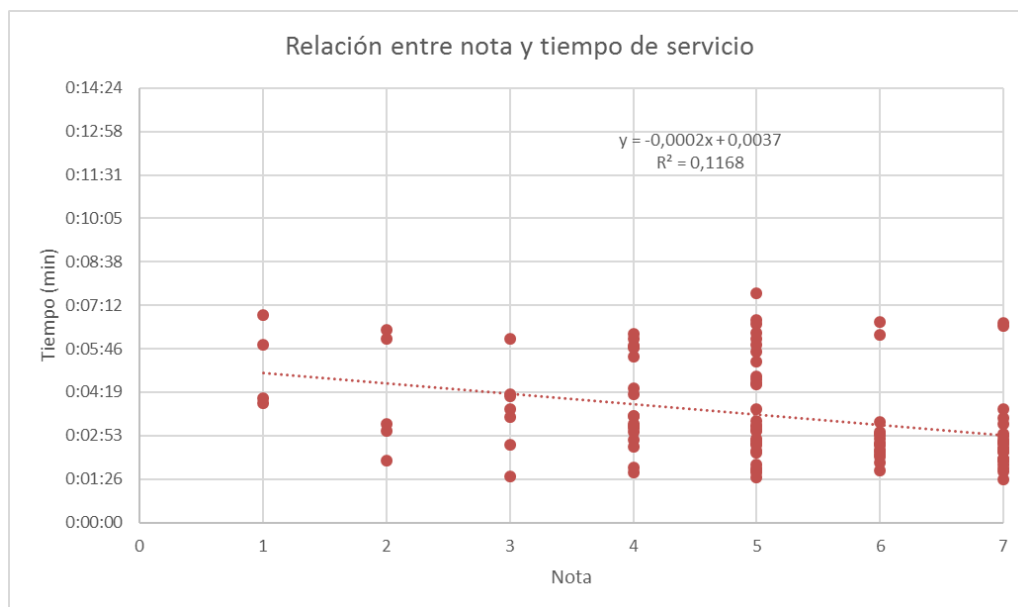


Figura 8.37. Gráfico de nota vs tiempo de servicio. Fuente: Elaboración propia.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

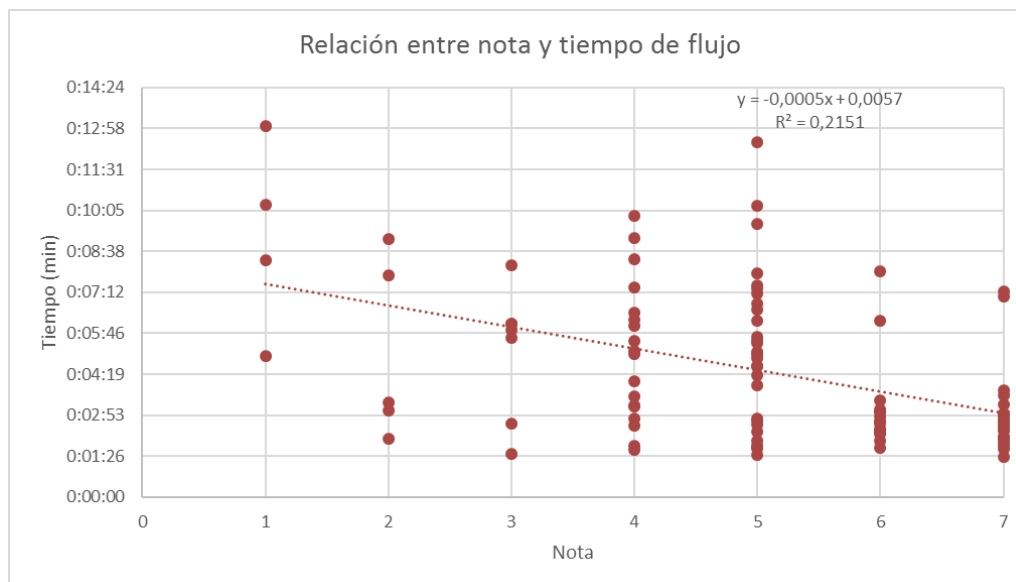


Figura 8.38. Gráfico de nota vs tiempo de flujo. Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se adjuntan las tablas que muestran la relación entre nota y tiempo por intervalos.

Tiempo en minutos	Nota promedio	Frecuencia
[0-1)	5,52	71
[1-2)	4,29	17
[2-3)	4,17	6
[3-4)	3,00	3
[4-5)	3,20	5
[5-6)	-	0
[6-7)	1,00	1

Tabla 8.21. Nota según intervalos de tiempo de espera. Fuente: Elaboración propia.

Tiempo en minutos	Nota promedio	Frecuencia
[0-2)	5,42	12
[2-4)	5,72	46
[4-6)	4,25	16
[6-8)	4,72	18
[8-10)	3,29	7
[10-12)	3,00	2
[12-14)	3,00	2

Tabla 8.22. Nota según intervalos de tiempo de flujo. Fuente: Elaboración propia.

Para tiempos de espera mayores a 3 minutos o tiempos de flujo mayores a 8 minutos, los usuarios reprueban el funcionamiento del sistema. En general, mientras más tiempo se demoren los usuarios en ser atendidos peor es la calificación otorgada.

Pero para tiempos muy grandes la muestra puede no ser significativa debido a que la mayoría de los usuarios encuestados estuvieron menos de 6 minutos entre la fila y la atención.

8.10.3 Análisis multivariable

8.10.3.1 Primer modelo multivariable

Se realizó una regresión lineal con variable explicada “Nota” y variables explicativas “Tiempo de espera”, “Tiempo de atención”, “Sexo” y “Ocupación”, utilizando el método Stepwise en el software SPSS.

El programa arrojó un modelo en donde la variable “Nota” depende de las variables explicativas “Tiempo de espera, TF” y “Ocupación”, descartándose las demás. Los resultados detallados del modelo se adjuntan en la sección Anexos.

El modelo en este caso queda como:

$$Nota = 5,246 - 0,009 * TF + 0,716 * O + \varepsilon \quad (7.45)$$

En donde ε representa el error.

Se puede observar que el tiempo de espera en la fila es inversamente proporcional a la nota, en tanto que los estudiantes tienden a evaluar peor el servicio, pues los profesores y funcionarios le ponen, en promedio, 0,716 más de nota al servicio.

Los valores de significancia para los coeficientes betas indican que ambas variables son significativas en el modelo, pero el R^2 es bastante bajo (0,303) y la prueba ANOVA indica que existen diferencias significativas entre las medias poblacionales.

El valor del VIF es muy bajo, por lo que la relación entre las variables “Tiempo de espera” y “Ocupación” es prácticamente nula. Según la prueba estadística de Durbin y Watson, no existe autocorrelación positiva, pero la prueba no es concluyente para evaluar la existencia de autocorrelación negativa.

Los residuales tienen una media de 0, pero la distribución se aleja de la distribución normal. Además, para la variable “Ocupación”, los residuales presentan distintas medias a medida que cambia el valor de la variable independiente. Y para la variable “Tiempo de espera” no se cumple el principio de homoscedasticidad, pues a menor tiempo de espera es mayor la varianza de los residuales.

8.10.3.2 Segundo modelo multivariable

Se realizó una regresión lineal con variable explicada “Nota” y variables explicativas “Tiempo de flujo”, “Sexo” y “Ocupación”, utilizando el método Stepwise.

El programa arrojó un modelo en donde la variable “Nota” depende de las variables explicativas “Tiempo de flujo, TT” y “Ocupación”, descartándose las demás. Los resultados detallados del modelo se adjuntan en la sección Anexos.

El modelo arrojado indica que la nota puede ser predicha de la siguiente forma:

$$Nota = 5,837 - 0,004 * TT + 0,714 * O + \varepsilon \quad (7.46)$$

En donde ε representa el error.

El tiempo de flujo es inversamente proporcional a la nota, pero no tanto como el tiempo en la fila. En este modelo el coeficiente que acompaña a la variable explicativa “Ocupación” es similar al del modelo n°1.

La significancia de ambos coeficientes betas es menor al 5%, por lo que ambos son significativos. El valor de R^2 es aún más bajo que en el modelo anterior (0,255). A partir de la prueba ANOVA se concluye que existen medias poblacionales distintas.

El VIF es cercano a 1, por lo tanto, las variables independientes no se encuentran relacionadas, y el estadístico de Durbin y Watson es de 2,233. Es decir, no hay ningún tipo de autocorrelación.

Los residuales tienen una media de 0 y su distribución está ligeramente desviada de la normal. Se puede observar poca covarianza entre los residuales y las variables X_i y las varianzas se mantienen constantes.

8.10.3.3 Comentarios

De los modelos obtenidos, el mejor es el modelo n°2, pues el modelo n°1 viola los principios del MRL (existencia de autocorrelación entre residuales, heterocedasticidad).

Al igual que en los estudios de Knutson (2000) y Zhao et al. (2002), se obtuvo que un mayor tiempo de flujo implica una baja percepción de la calidad del servicio y una baja satisfacción.

Según la prueba ANOVA, existen medias poblacionales significativas entre grupos de la muestra tomada, lo que indica que existen uno o más factores adicionales que inciden en el nivel de satisfacción de los usuarios tal y como lo indican Davis y Vollmann (1990). En ambos modelos la variable “Ocupación” aparece como significativa, y los estudiantes tienden a evaluar peor el servicio, probablemente porque el factor tiempo sea más crítico para ellos.

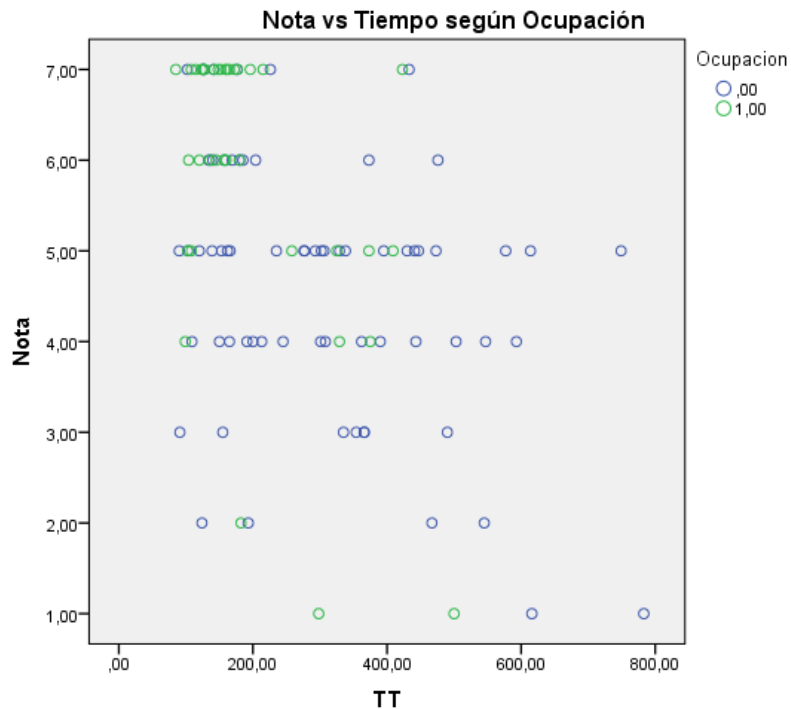


Figura 8.39. Comportamiento de las variables en función de la variable Ocupación. Fuente: SPSS.

La variable “Ocupación” toma el valor de 0 para los estudiantes y 1 para los trabajadores. En general, para tiempos reducidos (inferiores a 300 segundos) los trabajadores ponen mejores calificaciones para un mismo tiempo. Los trabajadores esperan menos tiempo que los estudiantes y ponen mejores notas.

Para tiempos de flujo inferiores a 6 minutos se puede decir que los trabajadores se sienten más satisfechos con el servicio. Para tiempos mayores no se puede concluir bien debido a la falta de datos.

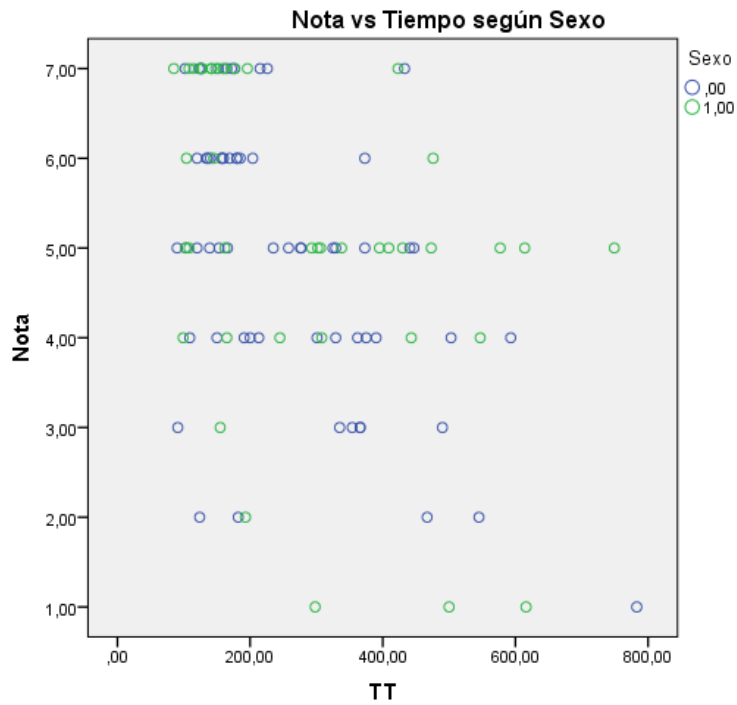


Figura 8.40. Comportamiento de las variables en función de la variable Sexo. Fuente: SPSS.

Al analizar según la variable Sexo, no hay evidencia de que existan diferencias significativas en la percepción del servicio entre hombres y mujeres.

9. Conclusiones

9.1 Métodos de análisis

Dentro de los diversos métodos de análisis utilizados en este estudio, algunos fueron replicados de estudios anteriores, como el cálculo de la relación entre satisfacción y tiempo de espera, que fue utilizado también por Dharmawiya et al. (2012), McGuire et al. (2010) y Davis (1990) y se obtuvieron los mismos resultados. E incluso se obtuvo que existen otras variables que influyen en la satisfacción de los usuarios, en este caso, la variable “Ocupación” tuvo un aporte significativo al modelo.

Para analizar la relación entre satisfacción y aglomeración, no se encontraron estudios previos que pudieran ser replicados a la situación estudiada, siendo el estudio más cercano el de Davis (1990), quien utilizó las deserciones como medida de insatisfacción. En este caso, se decidió utilizar una metodología similar, pero cambiando la variable “deserciones” por la variable “omisión de fila”. Se llegó a la misma conclusión que Davis (1990).

En vista de que se encontraron al menos tres variables que influyen en la satisfacción de los usuarios, se recomienda para posteriores análisis utilizar métodos más complejos, como el planteado por Sasser et al. (1978), en donde se describe la satisfacción del usuario como una ponderación de varias variables y que ha sido replicado en la mayoría de los estudios revisados.

El análisis de los tiempos entre llegada, el cual fue necesario para realizar las simulaciones computacionales posteriores, se realizó alterando el método clásico, que consiste en simular el proceso como un proceso de Poisson. Debido a que los usuarios ingresaban a la fila en grupos, no era posible calcular un parámetro que ajuste los tiempos entre llegadas, por lo que se simuló el proceso de llegadas con una distribución de Poisson compuesta, la cual ya había sido utilizada por Beard et al. (1984) para simular otras situaciones. El método arrojó buenos resultados, por lo que se recomienda seguir utilizándolo para simular procesos de llegadas con llegadas en grupo.

Por otra parte, no fue posible lograr buenas estimaciones del número de personas en la fila de espera mediante la aplicación de la ley de Little en un sistema no estacionario. Incluso subdividiendo en intervalos más pequeños, y que, si presentan tasas de llegada constantes, queda el problema de la existencia de inventarios iniciales y finales.

9.2 Resultados obtenidos e implicaciones teóricas

9.2.1 Valores experimentales

Los resultados experimentales arrojaron que cuando se aumenta la tasa de llegadas por sobre la capacidad del sistema, aumentan los valores del tiempo de espera y de la cantidad de personas que se encuentran en la fila. El valor del inventario aumenta más rápido que el del tiempo de espera y ambos valores presentan una gran variabilidad durante el intervalo de tiempo en que se midieron.

CONCLUSIONES

Cuando la tasa de llegadas es constante y está por debajo de la capacidad, el tiempo de espera tiende a cero, al igual que el inventario de personas en la fila. Bajo estas condiciones, se cumple la ley de Little, lo cual no ocurre cuando el proceso se desestabiliza. Por lo tanto, $H1$ se cumple cuando existen condiciones de estabilidad en el sistema.

En vista de los resultados obtenidos, se concluye que el sistema no es capaz de funcionar correctamente cuando ocurre el peak de demanda, pues durante el peak la demanda sobrepasa la capacidad y la fila de espera crece rápidamente. Además, el número de personas que omiten la fila es muy alto y presenta elevada variabilidad (para un Lq mayor o igual a 40, las omisiones se sitúan entre el 10% y el 60% de los ingresos).

Por otro lado, el tiempo de espera promedio es bajo (1 min 47 seg), pero la desviación estándar es mayor a la media (2 min 14 seg) y el tiempo de flujo promedio es de 5 minutos.

9.2.2 Resultados de las simulaciones computacionales

Las simulaciones realizadas en el software Arena confirmaron algunos de los resultados experimentales y permitieron predecir los cambios que tendrían las variables “tiempo de espera”, “inventario” y “utilización” al realizar cambios en la configuración del servicio.

Al igual que en las mediciones, el aumento en la tasa de llegadas aumenta el tiempo de espera, y si se sigue aumentando la tasa hasta que esta supere a la capacidad, el sistema se vuelve inestable y el inventario crece rápidamente. En tanto que un aumento en la capacidad, mediante adición de líneas de servicio, disminuye los tiempos de espera y el número de personas en la fila, especialmente en horarios con peaks de demanda. Con estos resultados se cumple $H2$.

Al realizar pooling de fila, el tiempo de espera disminuye en promedio en un 24% cuando existen cuatro líneas de servicio y en un 8% cuando existen seis líneas de servicio, y en algunos casos en particular no disminuye el tiempo de espera total. Mientras que al realizar pooling de líneas de servicio, el tiempo de espera disminuye en un 99%. Si bien en la fila no se realizó pooling completo, es poco probable que al realizarlo los tiempos de espera se reduzcan tan drásticamente.

En conclusión, la agrupación de recursos disminuye los tiempos de espera, siendo más notorio cuando se agrupan las líneas de servicio. Con este resultado se cumple lo propuesto por Mandelbaum y Reiman (1998) y por Ata y Van Mieghem (2008), lo cual lleva al cumplimiento de $H3$.

9.2.3 Modelo de satisfacción de los usuarios

Según los modelos univariantes, el nivel de satisfacción de las personas es inverso al tiempo. Para un tiempo de espera mayor a 3 minutos o un tiempo de flujo mayor a 8 minutos, en promedio, los usuarios le asignan notas inferiores a 4 al servicio. Este resultado es similar al de Dharmawiya et al. (2012), quien obtuvo que el máximo tiempo de espera aceptable es de 3,7 minutos. Además, el tiempo de espera en la primera etapa tiene un mayor peso que el tiempo de espera posterior, mismo resultado al que llegó Dharmawiya et al. (2012).

CONCLUSIONES

En el modelo multivariable elegido, resultaron significativas las variables “tiempo de flujo” y “ocupación”. Por lo tanto, se cumple *H4* y, además, se concluye que la satisfacción no depende solo del tiempo de flujo, sino que, de factores adicionales, como lo planteaban McGuire et al. (2010) y Davis (1990). La explicación a esta diferencia en el nivel de satisfacción entre estudiantes y trabajadores probablemente se deba a que el tiempo es más crítico para los primeros.

También se comprobó que existe una relación entre la satisfacción, medida esta vez como el porcentaje de omisiones de la fila, y el número de personas en ésta. El número de personas en la fila incide en la aglomeración percibida por las personas, la cual disminuye la satisfacción (Stokols, 1972).

Debido a que los tiempos de espera no son especialmente altos, es probable que la principal causa de la insatisfacción sea la aglomeración, la cual influye en el tiempo de espera percibido (Langer y Saegart, 1977).

9.3 Recomendaciones

En vista de los resultados obtenidos, existen varias opciones para mejorar la satisfacción de los usuarios. Debido a que las principales causas de insatisfacción son el tiempo de espera y la aglomeración, las acciones correctivas deben apuntar a reducir alguna de esas dos variables.

Primero hay que notar que el servicio ya aplica el pooling en la fila y el control de demanda, aumentando la cantidad de horas que se encuentra en funcionamiento para repartir la demanda en una mayor cantidad de tiempo.

La primera propuesta, tomando en cuenta de que existen dos líneas de servicio que sirven más de un menú y que esto afecta negativamente a su capacidad, se recomienda crear una línea de servicio exclusiva para menús de dieta y vegetariano, con el propósito de desviar parte de la demanda a la nueva línea y aumentar la capacidad de las líneas existentes (Anupindi et al., 2005). Con esto, se espera aumentar la capacidad del sistema en al menos un 25%, lo que disminuye la utilización entre un 6% y un 11%, dependiendo de la tasa de llegada. Las desventajas de implementar nuevos servidores son el costo que implica la inversión, pues hay que realizar un trabajo de infraestructura y mantener a los operarios extras que trabajen en ese servidor, además de que aumentaría la capacidad ociosa en los momentos de baja demanda.

Siguiendo la propuesta anterior, también es posible mantener las cuatro líneas de servicio originales, pero dejar uno de los servidores exclusivamente para menús especiales, y que las demás solo sirvan menús normales. El aumento de capacidad sería menor (3%), además de que no se tiene la certeza de que efectivamente exista un aumento de capacidad porque no se conoce el porcentaje de los usuarios que piden el menú vegetariano. Por lo tanto, esta propuesta queda como pendiente de evaluar para algún trabajo futuro.

Otra propuesta es prolongar en media hora el horario de funcionamiento del servicio de alimentación, funcionando éste hasta las 15:00. Con esto se mantiene la capacidad, pero se

CONCLUSIONES

espera alterar el comportamiento de los clientes y disminuir el peak de demanda. Las desventajas de implementar este cambio son los costos de mano de obra extra, pues los trabajadores tendrán media hora más de trabajo, y además no todos los usuarios podrán alterar su horario de almuerzo, pues desde las 14:00 existe un horario de clases.

Finalmente, se puede realizar una agrupación de los servidores, creando un solo gran servidor con mayor capacidad. Esta propuesta conlleva una inversión en infraestructura, pues habría que reasignar los espacios en el comedor, pero los beneficios en disminución del tiempo de espera y del tamaño de la fila son mucho mayores que con las demás propuestas, pues se espera que el tiempo de espera disminuya en un 99%.

Los beneficios percibidos ante la ejecución de cualquiera de las propuestas, son la disminución de la aglomeración percibida y del tiempo de espera, con su respectivo aumento en la satisfacción de las personas que utilizan este servicio. Debido a que la mayoría de los usuarios no pagan por el servicio, el beneficio no puede ser expresado en términos monetarios.

9.4 Limitaciones

9.4.1 Limitaciones en la toma de datos

La principal limitación con respecto al registro de las horas de entrada y de salida de los usuarios del sistema fue la existencia de puntos ciegos en las cámaras, lo cual trajo dos consecuencias. Primero, al 3% de los usuarios que ingresan a la fila no se les ve salir, por lo que se consideran como pérdidas dentro del sistema y son tomados como errores. Además, no fue posible determinar a qué línea de servicio se dirige un cliente hasta que éste sale del sistema, por lo que los datos de tiempo de servicio e inventario por líneas de servicio se encuentran incompletos.

Otras limitaciones tienen que ver con el comportamiento de los usuarios, los cuales dificultaron el análisis posterior, estas son las llegadas en grupos y las personas que omiten la fila. Con respecto a éstas, se tomaron medidas para incluir estas particularidades en los análisis, ya descritas en la Metodología.

9.4.2 Limitaciones en el uso del software Arena

El software utilizado permite modelar el funcionamiento de un sistema con hasta 150 entidades simultáneamente. Según lo visto en los datos obtenidos durante el funcionamiento del servicio de alimentación, en la hora peak el número de personas presentes excede las 150 permitidas por el software, por lo que las simulaciones tuvieron que realizarse por períodos limitados de tiempo, en especial cuando se modeló con tasas de llegada altas.

Adicionalmente, para realizar las simulaciones el software exige ingresar una tasa de llegada constante. Como la tasa experimental aumenta con el tiempo, se realizaron simulaciones con distintas tasas durante períodos cortos de tiempo para modelar el funcionamiento del sistema estudiado. Aun así, queda el problema de los inventarios iniciales, pues el software no tenía una opción para incluirlos. También existen otros parámetros que no son constantes en el

CONCLUSIONES

tiempo, como la probabilidad de que un usuario elija una línea de servicio, pues ésta depende de la aglomeración que exista en cada línea, para modelar la elección de servidor, se calculó la probabilidad a largo plazo y se dejó como constante.

9.4.3 Limitaciones en los modelos utilizados para medir satisfacción

Los estudios similares, como los de McGuire et al. (2010) y Dharmawiya et al. (2012) utilizan un conjunto de varias variables para determinar la satisfacción de los usuarios. En este trabajo solo se consideraron las variables “tiempo de flujo”, “sexo” y “ocupación” para realizar el análisis de los factores que indican en la satisfacción, además de realizar un análisis superficial de la variable “densidad”.

La principal diferencia entre el presente trabajo y el realizado por McGuire et al. (2010) es que el primero considera las variables objetivas de tiempo y densidad, mientras que el segundo las ve desde el punto de vista del cliente, considerando las variables “tiempo percibido” y “aglomeración percibida” en su análisis. El utilizar las variables objetivas en lugar de las percibidas por los clientes es una gran limitación al analizar el peso que tienen estos factores en la satisfacción, pues Katz (1991) indica que el tiempo y la aglomeración percibidas tienen una mayor incidencia en el nivel de satisfacción que las variables objetivas.

Bibliografía

Anupindi, R.; Chopra, S.; Deshmukh, S.; Van Mieghem, J. A.; y Zemel E. (2005) Managing Business Process Flows. Principles of Operations Management, 2nd ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.

Arena (2010). Arena's User Guide. Supersedes Publication ARENA-UM001E-EN-P PN-71363.

Ata, Barış y Van Mieghem, Jan A. (2009) The Value of Partial Resource Pooling: Should a Service Network Be Integrated or Product-Focused?. *Management Science* 55(1):115-131.

Beard, Robert Eric; Pentikäinen, Teivo; y Pesonen, Erkki (1984) Risk theory. Springer Netherlands. DOI: 10.1007/978-94-011-7680-4. ISBN: 9789401176804.

Cachon y Terwiesch (2009) Matching supply with demand, an introduction to operations management. McGraw Hill.

Davis, M.M. y Maggard, M.J. (1990). An analysis of customer satisfaction with waiting times in a two-stage service process. *Journal of operations management*, Vol. 9 No. 3, pp. 324-34.

Davis, M.M. y Volmann, T.E. (1990). A framework for relating waiting time and customer satisfaction in a service operation. *Journal of Services Marketing*, Vol. 4 No. 1, pp. 61-9.

Devore, Jay L. (2008) Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Ciencias. Séptima edición. Brooks/Cole

Dharmawirya, Mathias; Oktadiana, Hera; y Adi, Erwin (2012) Analysis of Expected and Actual Waiting Time in Fast Food Restaurants. *Industrial Engineering Letters*, Vol. 2, No. 5, 2012.

Gallager, Robert (2011). Chapter 2: Poisson Processes. 6.262 Discrete Stochastic Processes. Massachusetts Institute of Technology: MIT OpenCourseWare. Recuperado de: <https://ocw.mit.edu>.

Gujarati, Damodar N y Porter, Dawn C. (2009) Basic Econometrics. Quinta edición. McGraw-Hill/Irwin, Inc.

Hornik, J. (1984). Subjective vs. objective time measures: a note on the perception of time in consumer behavior. *Journal of Consumer Research*, Vol. 11 No. 1, pp. 615-8.

Hui, M.K. y Bateson, J.E.G. (1991). Perceived control and the effect of crowding and consumer choice on the service experience. *Journal of Consumer Research*, Vol. 18 No. 2, pp. 174-84.

Jones, P. y Peppiatt, E. (1996). Managing perceptions of waiting times in service queues. *International Journal of Service Industry Management*, Vol. 7 No. 5, pp. 47-61.

BIBLIOGRAFÍA

Jouini, Oualid; Dallery, Yves; y Nait-Abdallah, Rabie (2008) Analysis of the Impact of Team-Based Organizations in Call Center Management. *Management Science* 54(2): 400-414.

Katz, K.L.; Larson, B.; y Larson, R.C. (1991). Prescription for the waiting in line blues: entertain, enlighten and engage. *Sloan Management Review*, Vol. 32 No. 2, pp. 44-53.

Knutson, B. J. (2000). College Students and Fast Food – How Students Perceive Restaurant Brands. *Cornell Hotel and Restaurant Administration Quarterly*, 41, pp. 68-74.

Langer, E.J. y Saegart, S. (1977). Crowding and cognitive control. *Journal of Personality and Social Psychology*, Vol. 35 No. 3, pp. 175-82.

Little, John D.C. y Graves, Stephen C. (2008) Chapter 5: Little's Law. Chhajer, D. y Lowe, T.J. (2008) Building Intuition: Insights from Basic Operations Management Models and Principles. doi: 10.1007/978-0-387-73699-0, Springer Science + Business Media, LLC 2008 (pp 81-100).

Mandelbaum, Avishai y Reiman, Martin I. (1998) On Pooling in Queueing Networks. *Management Science* 44(7): 971-981.

McGuire, K. A.; Kimes, S. E.; Lynn, M.; Pullman, M. E.; y Lloyd, R. C. (2010). A framework for evaluating the customer wait experience. Cornell University, School of Hospitality Administration. Recuperado de: <http://scholarship.sha.cornell.edu/articles/192>

Patrick J. y Puterman ML. (2008) Reducing Wait Times through Operations Research: Optimizing the Use of Surge Capacity. *Health Policy*. 2008;3(3):75–88

Saegert, S.; Mackintosh, E; y West, S. (1975). Two studies of crowding in urban public spaces. *Environment & Behavior*, Vol. 7 No. 2, pp. 159-84.

Sasser, W. E.; Olsen, R.T.; y Wyckoff, D. I. (1978) Management of Service Operations: Text, Cases and Readings. New York: Allyn and Bacon.

Song, Hummy; Tucker, Anita L.; y Murrell, Karen L. (2013) The Impact of Pooling on Throughput Time in Discretionary Work Settings: An Empirical Investigation of Emergency Department Length of Stay. Harvard Business School Working Paper, No. 13–079, Marzo 2013.

Stokols, D. (1972). On the distinction between density and crowding: some implications for future research. *Psychological Review*, Vol. 79 No. 3, pp. 275-7.

Sundstrom, E. (1975). An experimental study of crowding: effects of room size, intrusion and goal blocking on non-verbal behavior, self-disclosure and self-reported stress. *Journal of Personality and Social Psychology*, Vol. 32 No. 4, pp. 645-54.

Taylor, S. (1994) Waiting for service: the relationship between delays and evaluation of service quality. *Journal of Marketing*, Vol. 58 No. 2, pp. 56-69.

BIBLIOGRAFÍA

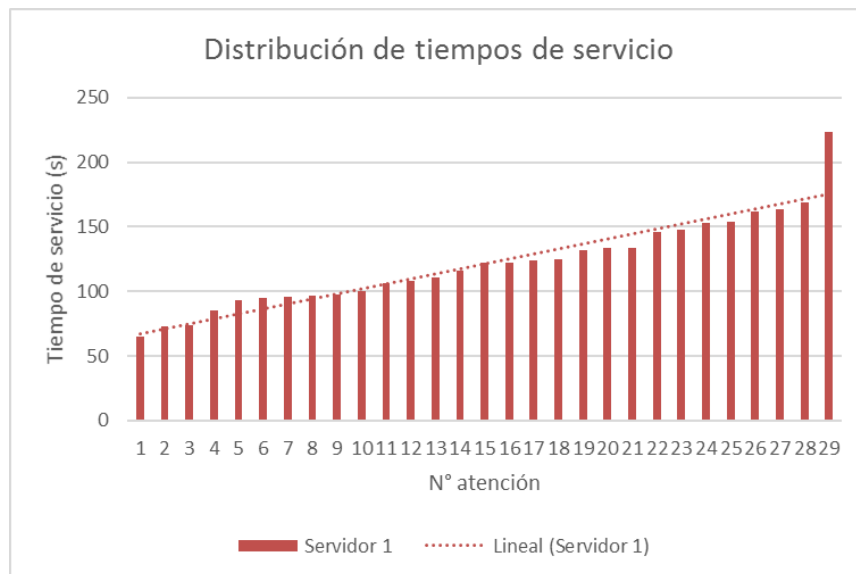
White, R.W. (1959). Motivation reconsidered: The concept of competence. *Psychological Review*. 1959 Sep; 66: 297-333

Zhao, X.; Lau, R.S.M; y Lam, K. (2002) Optimizing the service configuration with the least total cost approach. *International Journal of Service Industry Management*, Vol. 13 No. 4, pp. 348-361.

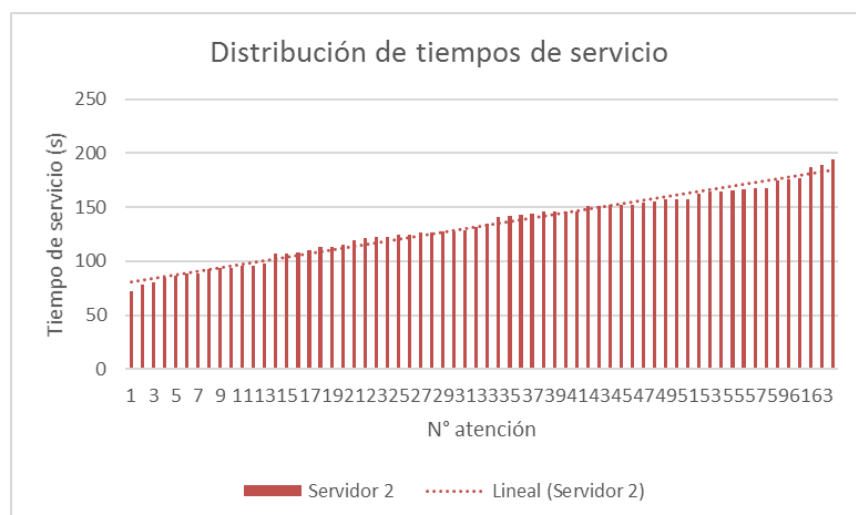
A. ANEXO

A.1 Distribución de los tiempos de servicio por servidor

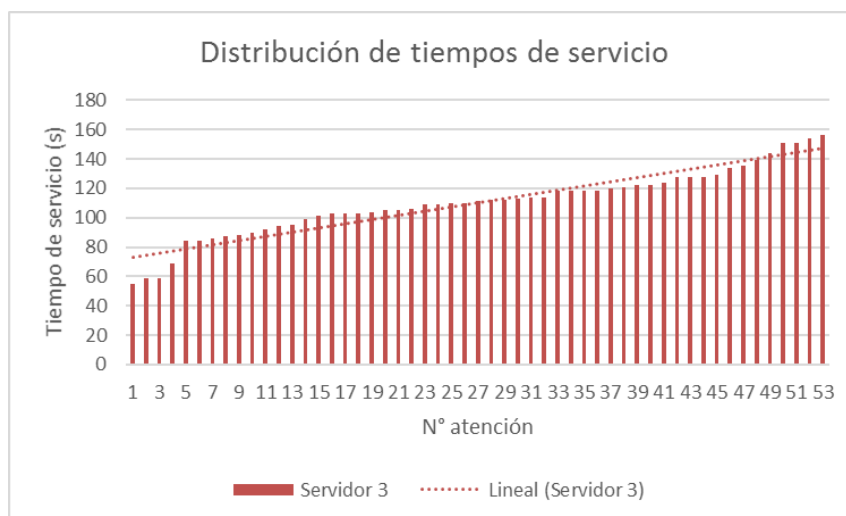
A.1.1 Distribución del tiempo de servicio para el servidor n°1



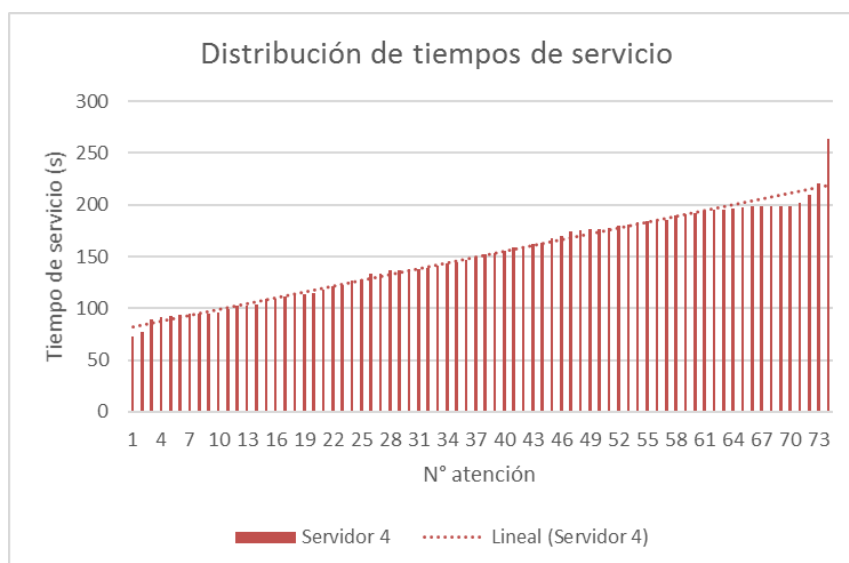
A.1.2 Distribución del tiempo de servicio para el servidor n°2



A.1.3 Distribución del tiempo de servicio para el servidor n°3

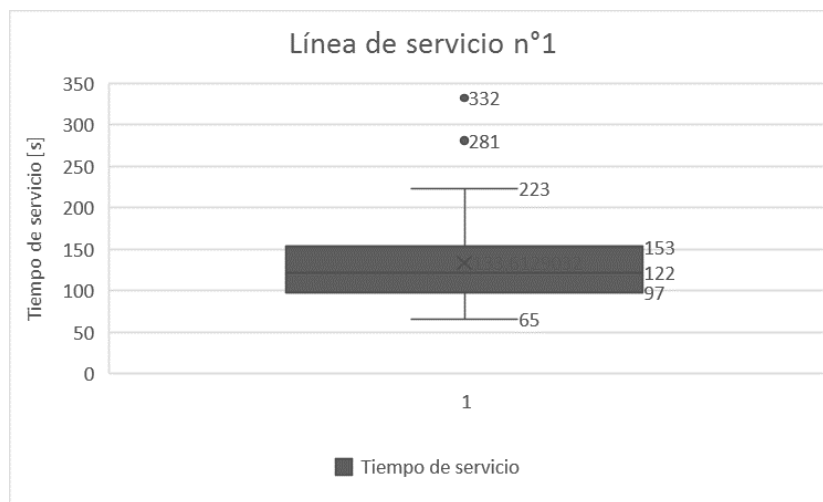


A.1.4 Distribución del tiempo de servicio para el servidor n°4

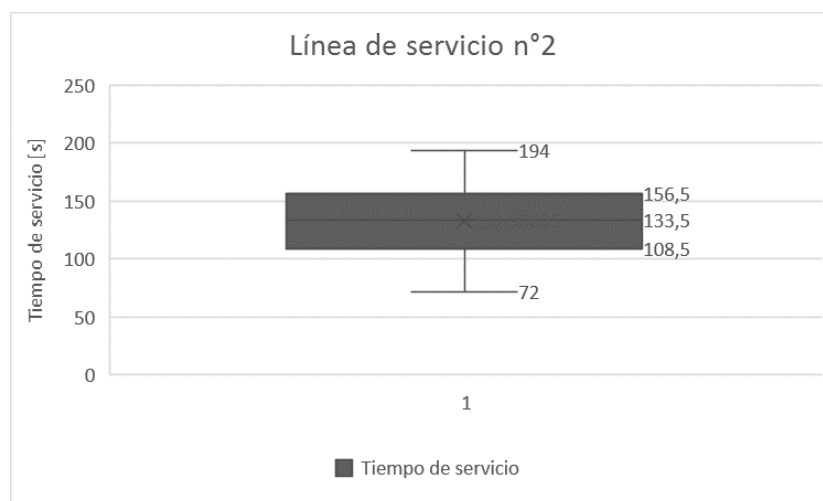


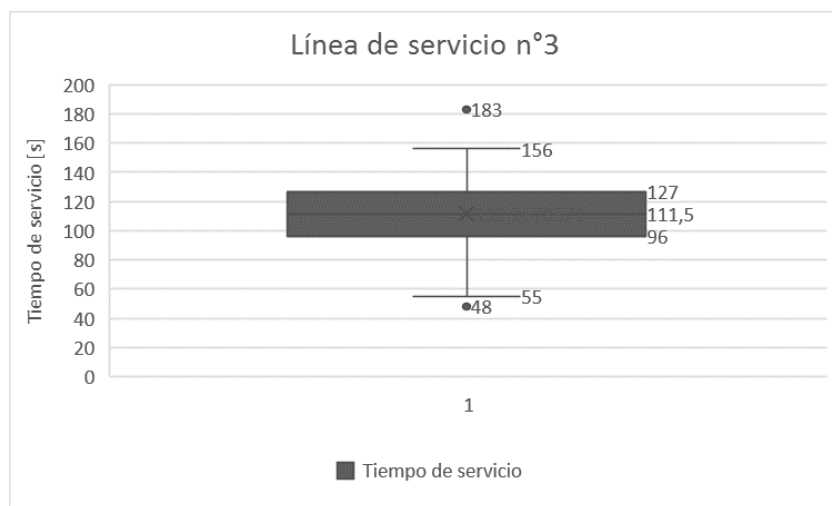
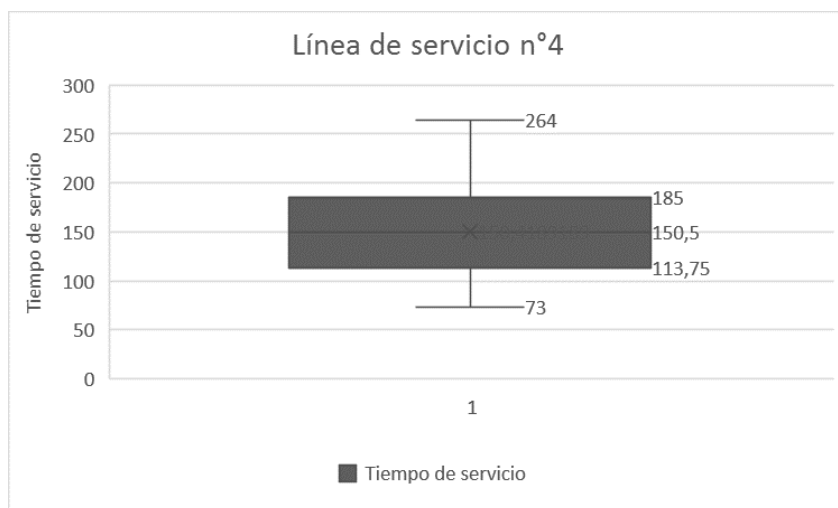
A.2 Diagramas de caja y bigotes de tiempos de servicio por servidor

A.2.1 Diagrama de caja y bigotes del tiempo de servicio para el servidor n°1



A.2.2 Diagrama de caja y bigotes del tiempo de servicio para el servidor n°2



A.2.3 Diagrama de caja y bigotes del tiempo de servicio para el servidor n°3**A.2.4 Diagrama de caja y bigotes del tiempo de servicio para el servidor n°4**

A.3 Ajuste de distribuciones de los tiempos entre llegadas realizadas en software Easyfit

A.3.1 Ajuste tiempos entre llegadas para 2 intervalos de tiempo

Intervalo 1		Intervalo 2	
Distribución	Valores de α	Distribución	Valores de α
Gen. Extreme Value	$\alpha \leq 0,2$	Pearson 6	$\alpha \leq 0,02$
Gen. Gamma	$\alpha \leq 0,2$	Inv. Gaussian (3P)	$\alpha \leq 0,02$
Exponential	$\alpha \leq 0,2$	Pearson 5 (3P)	$\alpha \leq 0,02$
Gamma	$\alpha \leq 0,2$	Lognormal (3P)	$\alpha \leq 0,02$
Pareto 2	$\alpha \leq 0,2$		
Burr	$\alpha \leq 0,2$		
Erlang	$\alpha \leq 0,2$		
Weibull	$\alpha \leq 0,2$		
Dagum (4P)	$\alpha \leq 0,1$		
Pearson 6 (4P)	$\alpha \leq 0,1$		
Exponential (2P)	$\alpha \leq 0,1$		
Pearson 5	$\alpha \leq 0,1$		
Log-logistic	$\alpha \leq 0,01$		
Dagum	$\alpha \leq 0,01$		
Gumbel Max	$\alpha \leq 0,01$		
Pearson 6	$\alpha \leq 0,01$		
Frechet (3P)	$\alpha \leq 0,01$		
Pearson 5 (3P)	$\alpha \leq 0,01$		
Log-Pearson 3	$\alpha \leq 0,01$		
Lognormal	$\alpha \leq 0,01$		

A.3.2 Ajuste tiempos entre llegadas para 3 intervalos de tiempo

Intervalo 1		Intervalo 2		Intervalo 3	
Distribución	Valores de α	Distribución	Valores de α	Distribución	Valores de α
Burr	$\alpha \leq 0,2$	Inv. Gaussian (3P)	$\alpha \leq 0,1$	Gen. Pareto	$\alpha \leq 0,2$
Gen. Extreme Value	$\alpha \leq 0,2$	Exponential (2P)	$\alpha \leq 0,1$	Johnson SB	$\alpha \leq 0,2$
Exponential	$\alpha \leq 0,2$	Gumbel Max	$\alpha \leq 0,1$	Burr	$\alpha \leq 0,2$
Gumbel Max	$\alpha \leq 0,2$	Inv. Gaussian	$\alpha \leq 0,1$	Frechet (3P)	$\alpha \leq 0,2$
Pareto 2	$\alpha \leq 0,2$	Burr (4P)	$\alpha \leq 0,02$	Pearson 6	$\alpha \leq 0,2$
Gamma	$\alpha \leq 0,2$	Gen. Pareto	$\alpha \leq 0,05$	Pearson 5	$\alpha \leq 0,2$
Pearson 6	$\alpha \leq 0,2$	Log-Pearson 3	$\alpha \leq 0,05$	Pearson 5 (3P)	$\alpha \leq 0,2$
Fatigue Life	$\alpha \leq 0,2$	Pearson 6	$\alpha \leq 0,05$	Log-Pearson 3	$\alpha \leq 0,1$
Fatigue Life (3P)	$\alpha \leq 0,2$	Lognormal	$\alpha \leq 0,05$	Frechet	$\alpha \leq 0,05$
Log-Pearson 3	$\alpha \leq 0,2$	Dagum	$\alpha \leq 0,05$	Inv. Gaussian (3P)	$\alpha \leq 0,02$
Lognormal	$\alpha \leq 0,2$	Johnson SB	$\alpha \leq 0,05$	Dagum	$\alpha \leq 0,01$
Inv. Gaussian (3P)	$\alpha \leq 0,2$	Fatigue Life	$\alpha \leq 0,05$		
Lognormal (3P)	$\alpha \leq 0,2$	Burr	$\alpha \leq 0,02$		
Inv. Gaussian	$\alpha \leq 0,2$	Gen. Extreme Value	$\alpha \leq 0,02$		
Exponential (2P)	$\alpha \leq 0,2$				
Pearson 5 (3P)	$\alpha \leq 0,1$				
Log-Logistic	$\alpha \leq 0,2$				
Dagum	$\alpha \leq 0,2$				
Frechet (3P)	$\alpha \leq 0,05$				
Pearson 6 (4P)	$\alpha \leq 0,05$				
Chi-Squared (2P)	$\alpha \leq 0,05$				
Pearson 5	$\alpha \leq 0,02$				

ANEXO

Frechet	$\alpha \leq 0,02$
Log-Logistic (3P)	$\alpha \leq 0,02$
Log-Gamma	$\alpha \leq 0,02$
Pert	$\alpha \leq 0,02$
Cauchy	$\alpha \leq 0,01$
Weibull	$\alpha \leq 0,01$
Logistic	$\alpha \leq 0,01$

A.4 Resultados de simulación en software Arena

A.4.1 Simulación del sistema con distintas tasas de llegada durante 12 minutos de funcionamiento

Tasa [s/ciente]	6,06	12,12	3,22	2,80
Entradas promedio	118,75	58,65	224,00	258,95
Salidas promedio	96,35	47,40	146,05	151,45
WIP	20,38	9,53	50,80	65,43
VA Time [min]	2,12	2,12	2,07	2,07
Wait Time [min]	0,09	0,003	0,74	1,03
Total time [min]	2,21	2,13	2,81	3,10
WTQ L1 [min]	0,014	0	0,46	0,75
WTQ L2 [min]	0,155	0,007	1,42	1,89
WTQ L3 [min]	0,033	0	0,47	0,94
WTQ L4 [min]	0,154	0,001	1,93	2,37
WTQ Recepción [min]	0,0005	0,0001	0,002	0,002
NWQ L1	0,03	0	1,79	3,44
NWQ L2	0,50	0,013	7,87	11,73
NWQ L3	0,10	0	2,36	5,14
NWQ L4	0,44	0,002	10,24	15,35
NWQ Recepción	0,005	0,0005	0,032	0,05
N° usuarios atendidos L1	22,35	10,9	37,05	40,3
N° usuarios atendidos L2	32,35	15,7	43,30	44,2
N° usuarios atendidos L3	29,49	13,3	50,95	52,75
N° usuarios atendidos L4	28,15	15,4	36,8	36,05
N° usuarios atendidos Recepción	114,7	56,2	217,05	251,45

A.4.2 Simulación del sistema con distintas configuraciones durante 12 minutos de funcionamiento para tasa control

Configuración	4S 2F	5S 1F	6S 1F	6S 2F
Entradas promedio	122,4	119,00	118,2	120,9
Salidas promedio	94,2	96,25	95,65	97,8
WIP	21,8	20,12	19,67	20,07
VA Time [min]	2,17	2,12	2,15	2,14
Wait Time [min]	0,12	0,049	0,012	0,017
Total time [min]	2,28	2,17	2,16	2,16
WTQ L1 [min]	0,025	0,002	0,00	5 e-4
WTQ L2 [min]	0,124	0,042	0,023	0,003
WTQ L3 [min]	0,025	0,004	0,0008	0,001
WTQ L4 [min]	0,444	0,185	0,050	0,050
WTQ L5 [min]	-	0,006	0,009	0,020
WTQ L6 [min]	-	-	0,0003	0,002
WTQ Recepción 1 [min]	0,003	0,0004	0,0004	0,003
WTQ Recepción 2 [min]	0,004	-	-	0,003
NWQ L1	0,067	0,003	0	0,001
NWQ L2	0,421	0,117	0,056	0,006
NWQ L3	0,062	0,008	0,001	0,002
NWQ L4	1,482	0,493	0,115	0,11
NWQ L5	-	0,011	0,019	0,04
NWQ L6	-	-	0,0007	0,003
NWQ Recepción 1	0,013	0,004	0,004	0,014
NWQ Recepción 2	0,020	-	-	0,016
N° usuarios atendidos L1	23,55	18,1	16,25	14,7
N° usuarios atendidos L2	32,25	25,45	20,9	20,95
N° usuarios atendidos L3	27,6	22,55	17,7	19,2
N° usuarios atendidos L4	30,45	27,25	22,2	22,5
N° usuarios atendidos L5	-	19,7	19,15	19,65
N° usuarios atendidos L6	-	-	17,1	18,7
N° usuarios atendidos Recepción 1	51,25	114,85	114,6	54,25
N° usuarios atendidos Recepción 2	67,00	-	-	63,15

A.4.3 Simulación del sistema con distintas configuraciones durante 12 minutos de funcionamiento para tasa máxima

Configuración	4S 2F	5S 1F	6S 1F	6S 2F
Entradas promedio	256,95	258,15	260,15	259,9
Salidas promedio	146,7	173,7	192,00	190,40
WIP	67,9	56,63	53,05	53,28
VA Time [min]	2,13	2,13	2,14	2,15
Wait Time [min]	1,11	0,63	0,42	0,44
Total time [min]	3,24	2,75	2,56	2,60
WTQ L1 [min]	0,92	0,30	0,12	0,31
WTQ L2 [min]	1,97	1,22	0,78	0,64
WTQ L3 [min]	0,82	0,27	0,10	0,09
WTQ L4 [min]	2,48	1,92	1,53	1,56
WTQ L5 [min]	-	0,78	0,57	0,36
WTQ L6 [min]	-	-	0,35	0,52
WTQ Recepción 1 [min]	0,008	0,002	0,002	0,008
WTQ Recepción 2 [min]	0,011	-	-	0,010
NWQ L1	4,04	1,12	0,39	1,05
NWQ L2	12,76	6,01	3,37	2,65
NWQ L3	4,52	1,28	0,35	0,30
NWQ L4	16,73	9,94	6,58	7,09
NWQ L5	-	3,55	2,22	1,33
NWQ L6	-	-	1,25	2,05
NWQ Recepción 1	0,068	0,052	0,05	0,08
NWQ Recepción 2	0,136	-	-	0,12
N° usuarios atendidos L1	38,2	36,65	31,25	34,05
N° usuarios atendidos L2	45,1	43,05	41,00	41,05
N° usuarios atendidos L3	53,4	47,2	40,40	38,35
N° usuarios atendidos L4	35,4	36,3	34,7	35,25
N° usuarios atendidos L5	-	39,15	39,95	36,35
N° usuarios atendidos L6	-	-	37,65	38,1
N° usuarios atendidos Recepción 1	108,1	250,45	252,25	113,8
N° usuarios atendidos Recepción 2	142,5	-	-	138,4

A.4.4 Simulación del sistema con distintas configuraciones durante 21 minutos de funcionamiento

N° Filas/Tasa [s/cliente]	1F – 6,06	2F – 6,06	1F – 2,8	2F – 2,8
Entradas promedio	210,85	208,8	451,55	457,05
Salidas promedio	186,3	185,7	368,45	367,6
WIP	21,22	21,1	62,8	64,73
VA Time [min]	2,20	2,20	2,18	2,18
Wait Time [min]	0,026	0,026	0,79	0,84
Total time [min]	2,23	2,23	2,97	3,02
WTQ L1 [min]	0,0007	0,0009	0,176	0,321
WTQ L2 [min]	0,025	0,010	1,097	1,054
WTQ L3 [min]	4 e-4	0,001	0,120	0,131
WTQ L4 [min]	0,094	0,082	2,821	2,983
WTQ L5 [min]	0,008	0,018	0,760	0,634
WTQ L6 [min]	0,002	0,001	0,620	0,846
WTQ Recepción 1 [min]	0,0004	0,003	0,002	0,008
WTQ Recepción 2 [min]	-	0,003	-	0,011
NWQ L1	0,003	0,001	0,50	1,05
NWQ L2	0,054	0,020	4,51	4,25
NWQ L3	8 e-4	0,002	0,45	0,46
NWQ L4	0,231	0,187	11,49	12,57
NWQ L5	0,016	0,037	2,68	2,29
NWQ L6	0,003	0,002	2,22	3,09
NWQ Recepción 1	0,004	0,014	0,05	0,08
NWQ Recepción 2	-	0,018	-	0,13
N° usuarios atendidos L1	28,4	26,75	54,2	57,75
N° usuarios atendidos L2	36,4	35,8	72,05	71,5
N° usuarios atendidos L3	32,65	33,75	71,9	70,05
N° usuarios atendidos L4	39,5	39,1	59,8	61,15
N° usuarios atendidos L5	33,6	32,65	68,95	65,05
N° usuarios atendidos L6	31,25	32,6	67,00	67,9
N° usuarios atendidos Recepción 1	204,4	94,1	437,8	201,55
N° usuarios atendidos Recepción 2	-	108,9	-	241,40

A.4.5 Simulación del sistema con distintas configuraciones durante 1 hora de funcionamiento

Configuración	4S 1F	4S 2F	6S 1F	6S 2F
Entradas promedio	594,25	600,65	593,2	595,6
Salidas promedio	565,6	568,80	570,35	573,1
WIP	25,3	28,3	21,96	22,0
VA Time [min]	2,23	2,26	2,23	2,23
Wait Time [min]	0,34	0,57	0,03	0,03
Total time [min]	2,57	2,83	2,26	2,26
WTQ L1 [min]	0,037	0,027	0,010	0,003
WTQ L2 [min]	0,144	0,231	0,017	0,008
WTQ L3 [min]	0,024	0,028	0,001	7 e-4
WTQ L4 [min]	1,136	1,910	0,110	0,113
WTQ L5 [min]	-	-	0,008	0,013
WTQ L6 [min]	-	-	0,005	0,007
WTQ Recepción 1 [min]	0,0006	0,003	0,0005	0,003
WTQ Recepción 2 [min]	-	0,004	-	0,003
NWQ L1	0,08	0,05	0,02	0,003
NWQ L2	0,40	0,64	0,03	0,015
NWQ L3	0,06	0,07	0,001	0,001
NWQ L4	3,23	5,64	0,21	0,209
NWQ L5	-	-	0,01	0,023
NWQ L6	-	-	0,01	0,011
NWQ Recepción 1	0,005	0,012	0,005	0,013
NWQ Recepción 2	-	0,020	-	0,018
N° usuarios atendidos L1	112,4	110,15	78,35	74,15
N° usuarios atendidos L2	155,4	159,90	106,2	104,65
N° usuarios atendidos L3	144,0	144,85	90,7	97,95
N° usuarios atendidos L4	152,5	157,05	107,8	106,95
N° usuarios atendidos L5	-	-	94,75	93,5
N° usuarios atendidos L6	-	-	92,40	96,15
N° usuarios atendidos Recepción 1	576	255,15	575,95	267,70
N° usuarios atendidos Recepción 2	-	327,20	-	310,45

A.5 Resultados modelo explicativo n°1 realizado en software SPSS

A.5.1 Tabla de variables

Variables Entered/Removed ^a			
Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	TF	.	Stepwise (Criteria: Probability-of-F- to-enter <= ,050, Probability-of-F- to-remove >= ,100).
2	Ocupacion	.	Stepwise (Criteria: Probability-of-F- to-enter <= ,050, Probability-of-F- to-remove >= ,100).

A.5.2 Tabla resumen del modelo

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	,511 ^a	,261	,254	1,39765	
2	,550 ^b	,303	,289	1,36459	2,307

A.5.3 Tabla ANOVA

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	69,694	1	69,694	35,678	,000 ^b
	Residual	197,296	101	1,953		
	Total	266,990	102			

ANEXO

2	Regression	80,780	2	40,390	21,690	,000 ^c
	Residual	186,211	100	1,862		
	Total	266,990	102			

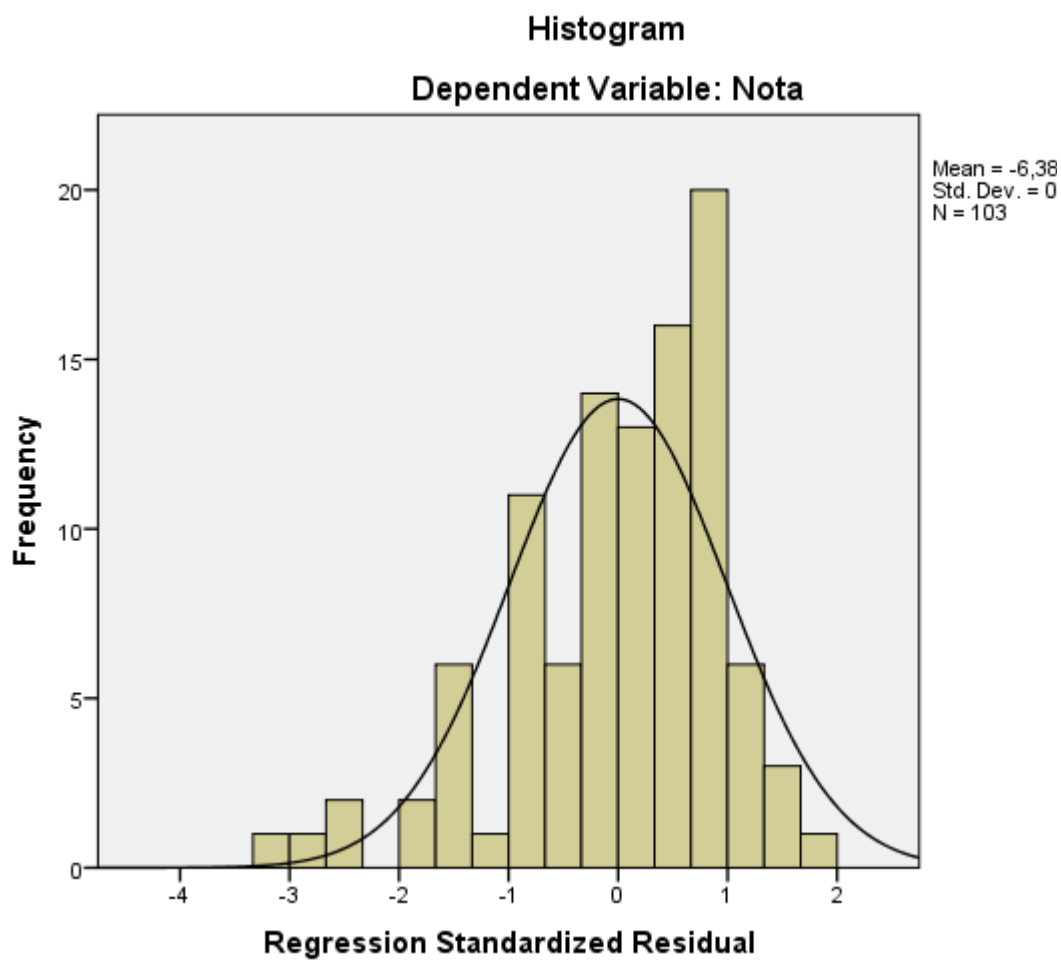
A.5.4 Coeficientes del modelo

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	T	Sig.	Collinearity Statistics	
	B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
1 (Constant)	5,559	,166		33,565	,000		
TF	-,010	,002	-,511	-5,973	,000	1,000	1,000
2 (Constant)	5,246	,206		25,406	,000		
TF	-,009	,002	-,452	-5,205	,000	,924	1,083
Ocupacion	,716	,293	,212	2,440	,016	,924	1,083

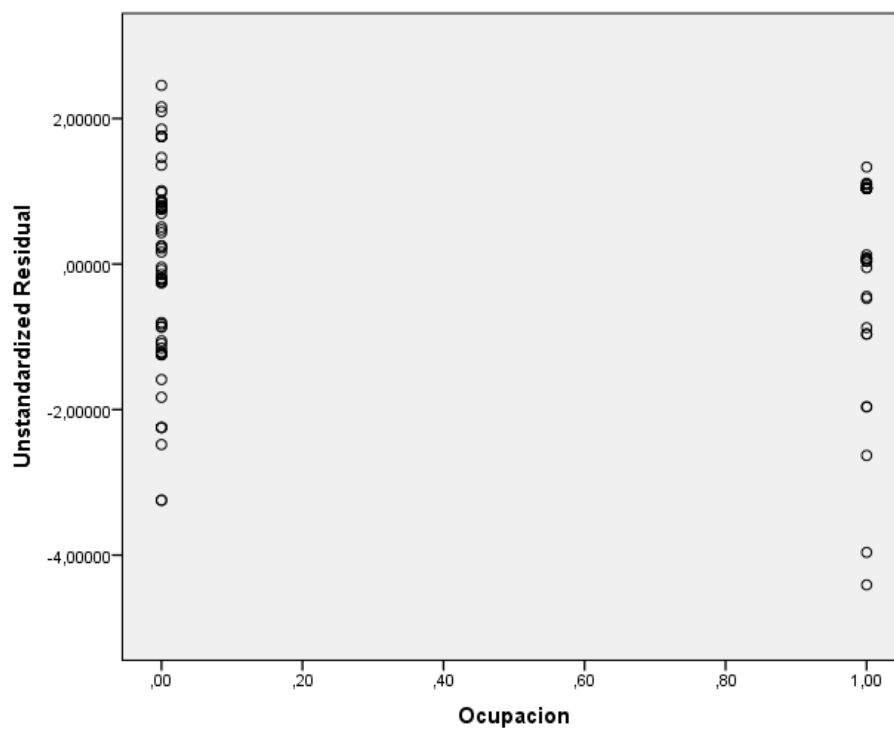
A.5.5 Estadísticas de los residuales

Residuals Statistics ^a					
	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	1,8259	5,9620	5,0097	,88992	103
Residual	-4,40890	2,45502	,00000	1,35115	103
Std. Predicted Value	-3,578	1,070	,000	1,000	103
Std. Residual	-3,231	1,799	,000	,990	103

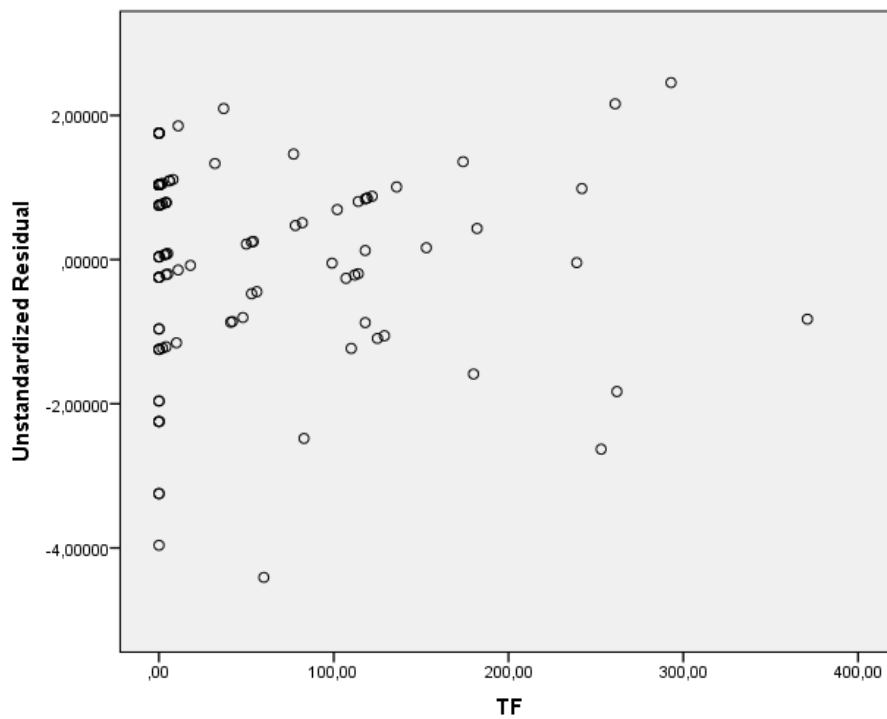
A.5.6 Histograma de los residuales



A.5.7 Residuales en función de la variable Ocupación



A.5.8 Residuales en función de la variable Tiempo de espera



A.6 Resultados modelo explicativo n°2 realizado en software SPSS

A.6.1 Tabla de variables

Variables Entered/Removed ^a			
Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	TT	.	Stepwise (Criteria: Probability-of-F- to-enter <= ,050, Probability-of-F- to-remove >= ,100).
2	Ocupacion	.	Stepwise (Criteria: Probability-of-F- to-enter <= ,050, Probability-of-F- to-remove >= ,100).

A.6.2 Tabla resumen del modelo

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	,463 ^a	,215	,207	1,44091	
2	,505 ^b	,255	,240	1,41054	2,233

A.6.3 Tabla ANOVA

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	57,293	1	57,293	27,595	,000 ^b
	Residual	209,697	101	2,076		
	Total	266,990	102			
2	Regression	68,027	2	34,014	17,095	,000 ^c
	Residual	198,963	100	1,990		
	Total	266,990	102			

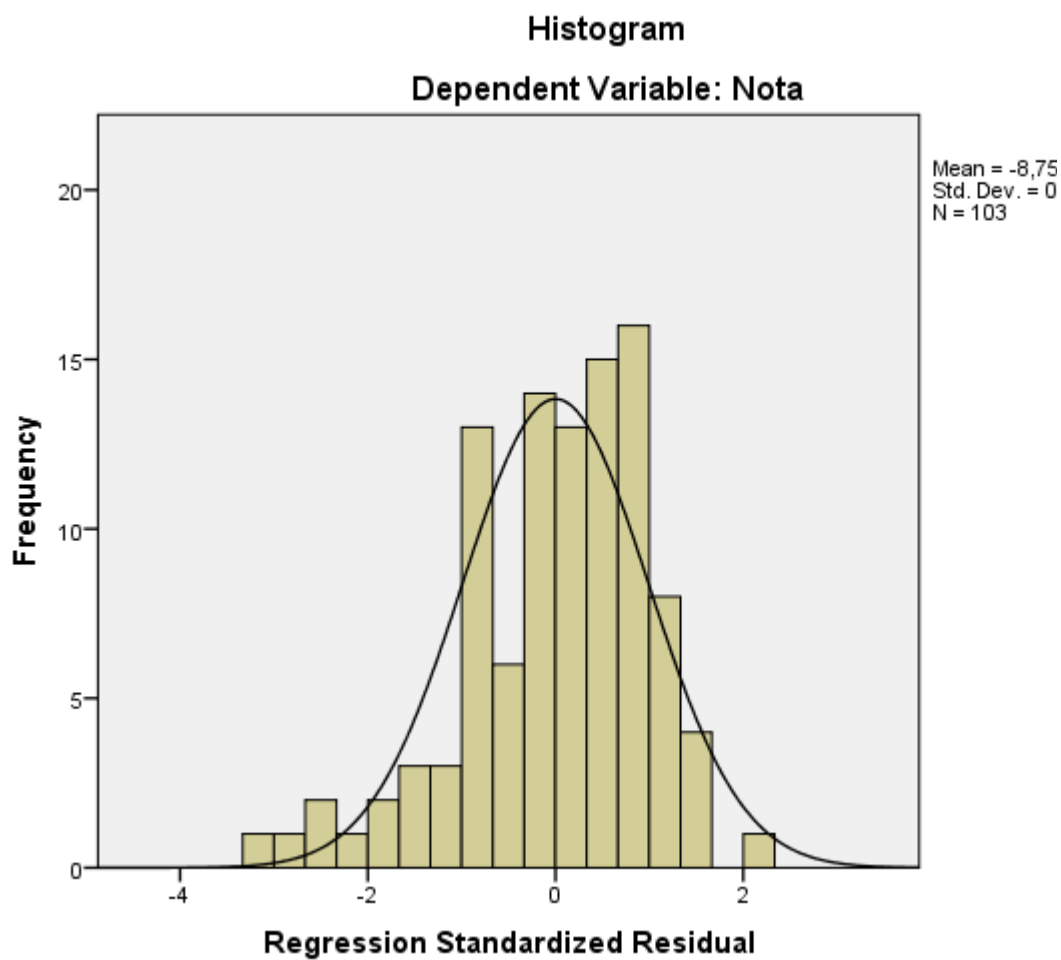
A.6.4 Coeficientes del modelo

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
	B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
1 (Constant)	6,269	,279		22,498	,000		
TT	-,005	,001	-,463	-5,253	,000	1,000	1,000
2 (Constant)	5,837	,330		17,684	,000		
TT	-,004	,001	-,396	-4,353	,000	,899	1,112
Ocupacion	,714	,307	,211	2,323	,022	,899	1,112

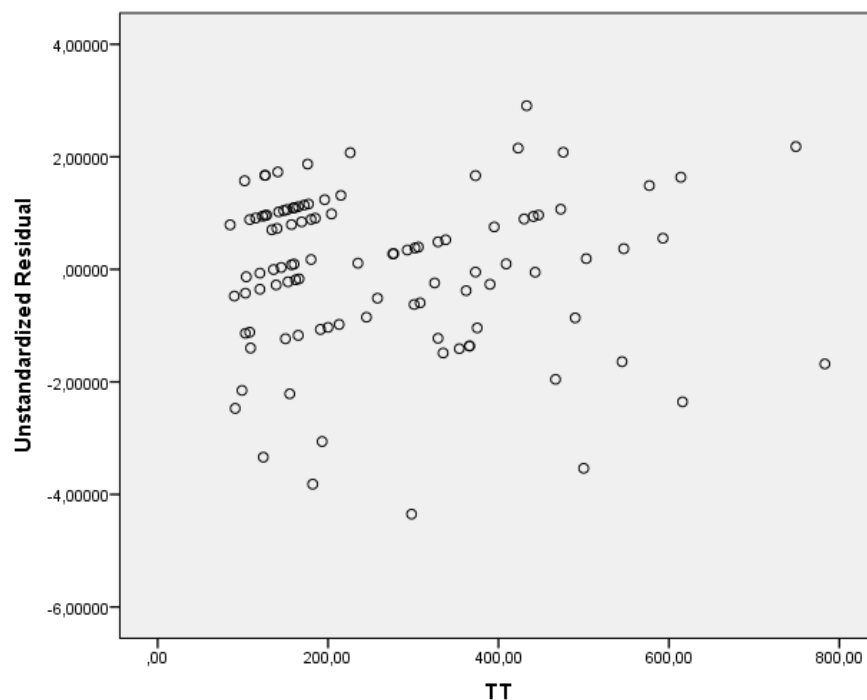
A.6.5 Estadísticas de los residuales

Residuals Statistics ^a					
	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	2,6809	6,2087	5,0097	,81666	103
Residual	-4,35000	2,90811	,00000	1,39665	103
Std. Predicted Value	-2,852	1,468	,000	1,000	103
Std. Residual	-3,084	2,062	,000	,990	103

A.6.6 Histograma de los residuales



A.6.7 Residuales en función de la variable Tiempo de flujo



A.6.8 Residuales en función de la variable Ocupación

