



PROYECTO FINAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

ANÁLISIS Y MEJORA DEL TIEMPO EN FILA PARA EL CHECK-IN EN UN AEROPUERTO

Autores:

Oeyen, Matias

Piaggio, Josefina

Vazquez, Milena

Docente Guía: Ing. Leandro Juan Viaro

2014

DEDICATORIAS

ESTE TRABAJO ESTÁ DEDICADO A NUESTRAS FAMILIAS Y AMIGOS POR SU APOYO INCONDICIONAL DURANTE LA ELABORACIÓN DEL MISMO.

RESUMEN

El siguiente trabajo consiste en el estudio y mejora del proceso de check-in, a través del desarrollo de una herramienta de simulación. La motivación del estudio parte de los problemas que presenta la empresa aeronáutica Aeroplus en el proceso de check-in. El tiempo de espera en fila por pasajero se encuentra por encima de los valores pretendidos por la compañía, reduciendo así el nivel de servicio brindado a sus clientes, lo que se refleja en las encuestas realizadas.

Frente a este contexto, se realiza un estudio del proceso y una investigación de los métodos utilizados en otras aerolíneas para reducir el tiempo en fila. De esta forma, es posible detectar las variables principales y los posibles focos de acción.

A partir de este estudio y análisis, se desarrolló un simulador de eventos discretos, con el objetivo de representar la situación de la empresa Aeroplus. Para ello, se realizó un análisis de datos, en particular de tiempos de atención y de distribuciones de arribos de los pasajeros. Además, el simulador fue validado al comparar los resultados arrojados contra los valores reales para dos fechas en particular, pudiendo así afirmar que el modelo representa el sistema real.

Esta herramienta fue utilizada a su vez para la evaluación de las posibles mejoras planteadas a partir del análisis de situación. Se desarrollaron distintos escenarios con el objetivo de reducir el tiempo de espera en fila, se corrieron en el simulador y se evaluaron los resultados. De acuerdo con éstos, se realizaron recomendaciones y sugerencias para mejorar la situación de la empresa.

En particular, se detectó que el criterio para la organización de los corrales, junto con una mejor asignación de mostradores, era un factor con incidencia en el tiempo de espera en fila.

De esta forma, se propone diferenciar los corrales según el tipo de check-in que debe realizar el pasajero, a diferencia de la situación actual, donde se encuentran diferenciados por vuelo. Se plantearon diferentes escenarios variando los recursos que se le otorgaba a cada uno de los tipos de check-in, priorizando a los pasajeros que realizan el check-in en la Web o en un ATM.

Por otro lado, dado que se observó que la empresa no contaba con ninguna herramienta que le permita evaluar el tiempo de espera en fila para una situación determinada, se planteó el desarrollo de eventuales usos y aplicaciones para el simulador.

ABSTRACT

The following paper consists of the study and improvement of the check-in process through the development of a simulation tool. The motivation for this study relies on the problems concerning the aerospace company Aeroplus' check-in process. The waiting time per passenger is above the values intended by the company, thereby reducing the level of service provided to customers, as reflected in surveys.

In order to improve this situation, the check-in process has been studied and an investigation on the different methods used in other airlines with the aim of reducing the queuing time has been made. Therefore, it is possible to detect the main variables and the possible centers of action.

From this analysis, a discrete event simulator was developed, aiming to represent the Aeroplus' situation. Firstly, a data analysis was made, focusing on the attention time and the arrival distributions of the passengers. In addition, by comparing the thrown results against the real values for two particular dates, the simulator was validated thus being able to affirm that the model represents the real system.

Moreover, this tool was used for the assessment of the possible improvements raised from the analysis of the situation. Different scenarios were developed in order to reduce the queuing time; they were run in the simulator. Finally, according to the results obtained in those runs, recommendations and suggestions were made to improve the situation of the company.

In particular, it was detected that the criterion by which the queues were organized, along with a better counter allocation, was a factor of major incidence on the waiting time. The conclusion was that differentiating the queues according to the type of check-in the passenger reduces the mean waiting time. This is different to the present situation, in which flight number is the factor differentiating queues.

Different scenarios were considered varying the resources that were granted to each of the queues, prioritizing the passengers who have fulfilled the check-in online or in one of the ATMs in the airport.

This way, one sets out to differentiate the belt crowd control according to the type of check-in that each the passenger has to do, unlike the present situation, where they are differentiated by flight.

On the other hand, since it has been observed that Aeroplus does not count on any tool that allows them to evaluate the queuing time for a specific situation, the development of possible uses and applications for the simulator was also consider.

AGRADECIMIENTOS

Queríamos agradecer y hacer una mención especial a todas las personas que nos ayudaron con la culminación de este Proyecto Final de Ingeniería.

En primer lugar, al Ing. Leandro Juan Viaro, nuestro tutor, quien nos dedicó sus tardes de los miércoles y nos guió en el transcurso de este proyecto.

En segundo lugar, al Dr. Ing. Francisco Redelico y al Ing. Iván Vilaboa, quienes se interesaron por nuestro trabajo y nos ayudaron desinteresadamente.

Por último, a la empresa Aeroplus por brindarnos toda la información necesaria para la realización de este trabajo.

TABLA DE CONTENIDOS

1	Consideraciones.....	1
2	Introducción	3
2.1	Descripción del dominio del problema	3
2.2	Cadena de Valor	3
2.3	El proceso de check-in	5
2.4	Industria Aérea Argentina	9
2.5	Tendencias en la industria aérea mundial.....	11
3	Marco teórico y conceptual.....	13
3.1	Simulación	13
3.2	Test de hipótesis para medias con varianzas desconocidas	15
3.3	Test de hipótesis para comparación de medias	15
3.4	Test de Kolmogorov-Smirnov	16
3.5	Gráfico Cuantil – Cuantil (Q – Q)	16
3.6	Correlación	16
4	Problema de investigación	17
4.1	Enunciado del problema detectado	17
4.2	Objetivo del proyecto	18
4.3	Alcance del problema	18
4.4	Análisis de causas potenciales.....	18
4.4.1	Análisis Interno	19
4.4.2	Análisis Externo	20
4.5	Selección de la herramienta de análisis	21
5	Descripción de la situación actual	23
5.1	Introducción	23
5.2	Tipos de Check-in en Aeroplus	24
5.2.1	Check-in Regular	24
5.2.2	Check-in Web.....	25
5.2.3	ATM o kiosco	25
5.3	Proceso	25
5.4	Llegada de pasajeros	26
5.5	<i>No bag</i>	27
5.6	Cantidad de <i>counters</i> y de agentes	28
6	Modelo de datos.....	29
6.1	Tasa de llegada de pasajeros	29

6.2	Tiempo de atención en mostrador.....	33
6.3	Test Kolmogorov-Smirnov.....	33
6.4	Tipos de pasajeros.....	37
7	Simulación	41
7.1	Supuestos	41
7.1	Submodelo 1: Lectura de Archivos.....	43
7.2	Submodelo 2: Tasas de Arribo de PAX	46
7.3	Submodelo 3: Llegada de PAX.....	47
7.4	Zona de mostradores	50
7.4.1	Separación de pasajeros <i>no bag</i>	51
7.4.2	Criterio de organización de colas	51
7.4.3	Manejo de corrales.....	52
7.4.4	Proceso en <i>counters</i>	54
7.4.5	Registro de resultados.....	55
8	Verificación y validación.....	57
8.1	Cálculo de cantidad de corridas	57
8.2	Validación	57
8.2.1	Caso 1: Enero 2014.....	59
8.2.2	Caso 2: Marzo 2014.....	60
9	Experimentación	63
9.1	Plan de experimentación	63
9.2	Descripción de escenarios.....	63
9.2.1	Propuesta I	63
9.2.2	Propuesta II	64
9.2.3	Propuesta III	65
9.3	Resultados obtenidos.....	65
9.3.1	Propuesta I	65
9.3.2	Propuesta II	67
9.3.3	Propuesta III	67
10	Usos y aplicaciones del simulador.....	69
10.1	Usos y Aplicaciones del Simulador	69
10.2	Ejemplo de uso y aplicación	69
11	Conclusiones.....	73
12	Bibliografía	75
13	Anexos	77
13.1	Anexo 1: Distribuciones de arribos de pasajeros.....	77

13.2	Anexo 2: Pasajeros <i>no bag</i> según destino	78
13.3	Anexo 3: Tabla representativa de la variable <i>sch</i>	79
13.4	Anexo 4: Resultados para los distintos escenarios	80
13.5	Anexo 5: Tests de comparación de medias	81
13.6	Anexo 6: Zona de mostradores	82

ANÁLISIS Y MEJORA DEL TIEMPO EN FILA PARA EL CHECK-IN EN UN AEROPUERTO

1 CONSIDERACIONES

La empresa, de ahora en más denominada Aeroplus, en su buena voluntad de permitirnos publicar este trabajo, nos ha solicitado expresamente que nos abstengamos de incluir en el mismo:

- El nombre real de la empresa, y de su razón social;
- La información real acerca de los nombres de los destinos en los que opera;
- La información personal de los pasajeros;
- La información real acerca de las ventas de pasajes por parte de la empresa;
- El *market share* real de la empresa, tanto para el mercado como para el segmento;
- El factor de ocupación real de los vuelos operados.

2 INTRODUCCIÓN

2.1 Descripción del dominio del problema

En los aeropuertos se busca optimizar el uso de los espacios y uno de los ambientes más dinámicos es el hall del check-in. En este espacio interactúan los pasajeros, las aerolíneas, y los dueños de los aeropuertos. Cada uno busca beneficiarse al máximo. El pasajero busca estar lo más confortable posible, además de pasar el menor tiempo asequible realizando el check-in. Por otro lado, las aerolíneas buscan reducir los costos, pero al mismo tiempo desean que el pasajero obtenga la mejor experiencia, y así poder fidelizar a sus clientes. Finalmente, como último actor se encuentra el aeropuerto, que busca maximizar las ganancias y aprovechar el espacio disponible.

Las aerolíneas tienen una cantidad específica de mostradores asignada por el aeropuerto, para atender a los pasajeros. Como las aerolíneas en muchos casos realizan varios vuelos durante el día, muchas veces sucede que dos o más vuelos coinciden en el momento de realizar el check-in.

En este estudio focalizará en analizar el proceso del check-in, desde el momento que el pasajero arriba al aeropuerto, hasta que termina de ser atendido en los mostradores, despacha su equipaje y obtiene su tarjeta de embarque.

El tiempo que el pasajero emplea en realizar este proceso puede ser ampliamente variable, ya sea por factores externos a él o por algún problema pertinente a su persona. Si este tiempo es muy alto, se acumularán muchos pasajeros en el hall, aumentando el descontento de los pasajeros. Esto se traduce en una disminución en el nivel de calidad en el servicio brindado por la aerolínea, además de reducir el tiempo que el pasajero puede disponer para hacer otras actividades en el aeropuerto.

2.2 Cadena de Valor

La particularidad de la cadena de valor de la industria aeronáutica radica principalmente en el hecho de que es una industria de servicios y no de productos. En este caso, la empresa vende un viaje en avión, representado por un pasaje, y en consecuencia debe suministrar todos los servicios asociados al viaje. Podría decirse que vende una “experiencia de vuelo”.

Esta experiencia de vuelo se subdivide en tres segmentos principales:

1. Experiencia de compra
2. Experiencia de viaje
3. Experiencia post-viaje

La experiencia de compra está asociada al servicio brindado al momento de la adquisición del pasaje, ya sea de manera directa a la empresa o a través de un tercero. Por otro lado,

la experiencia de viaje incluye todos los procesos asociados al aeropuerto, desde el momento del check-in hasta que el pasajero retira su equipaje y abandona el aeropuerto de destino. Por último, la experiencia post-viaje se relaciona con los servicios en situaciones de contingencia, como por ejemplo la pérdida de una valija.

De acuerdo con la información brindada por expertos en la industria, la satisfacción de los clientes está determinada por una experiencia constante, sin fluctuaciones, mientras se le brinda el servicio. Una falla en una de las áreas ocasionará una experiencia de viaje negativa. El cliente no estará satisfecho, por lo que existe una gran posibilidad de que decida no viajar más por esa aerolínea.

El proceso de atención a pasajeros se desglosa como se muestra en la Figura 2.1.



Figura 2.1 Proceso de atención a pasajeros

Una de las características particulares de la industria de transporte aéreo es la gran variedad de clientes, que van desde altos ejecutivos de empresas que buscan reducir el tiempo invertido en el viaje a aquellos que viajan para visitar familiares, que tienen una sensibilidad mayor al precio. Dentro de este rango, es importante definir a qué le otorga valor cada cliente.

Los factores a los que le otorga valor el pasajero son diversos. En general, buscan procesos rápidos para poder aprovechar su tiempo, flexibilidad, comodidad y seguridad. De acuerdo con la *Airports Council International*¹, los factores que afectan de manera más significativa la satisfacción del pasajero son:

1. Tiempo de espera en check-in
2. Facilidad de orientación
3. Transporte terrestre
4. Seguridad
5. Simplicidad en los procesos
6. Limpieza de los baños
7. Confort en las salas de embarque
8. Eficiencia del personal de check-in
9. Espera en seguridad
10. Espera en control de pasaporte/visa

¹Fuente: ACI, *Airport council international*.

2.3 El proceso de check-in

El proceso de check-in se realiza con dos objetivos principales: obtener su tarjeta de embarque y despachar las valijas.

Además, este proceso abarca otras funciones complementarias como la elección o cambio de asiento, la obtención de un *upgrade* y la presentación de la documentación necesaria para realizar el viaje. Cabe destacar que en caso de que el vuelo se encuentre sobrevendido, haber realizado el proceso de check-in también le garantiza al pasajero un asiento en el vuelo.

En muchos casos, las aerolíneas ofrecen sectores separados para aquellos pasajeros que tienen preferencia, ya sea porque viajan en primera clase o *business*, o porque son pasajeros frecuentes de la empresa. De esta forma, se reducen los tiempos de espera para estos pasajeros, con el objetivo de mejorar el servicio para los mismos, brindándoles un servicio diferenciado por sus características.

Históricamente, los pasajeros realizaban el check-in en los *counters*, donde el personal de la aerolínea se encarga del proceso, el cual a partir de ahora check-in regular. Hoy en día, muchos pasajeros eligen realizar el check-in antes de llegar a la terminal, con la meta de reducir el tiempo en el aeropuerto.

Además, se observa una tendencia a descentralizar el proceso, a través de la introducción de nuevas tecnologías de autoservicio, para mejorar las comodidades a los pasajeros y reducir la congestión.

Las tecnologías de autoservicio proveen beneficios tanto para las compañías aéreas como para los clientes. Por un lado, aumentan la eficiencia y la productividad de las compañías aéreas, reduciendo al mismo tiempo los costos de mano de obra y permitiendo la diferenciación de la competencia.

Por el lado de los clientes, la implementación de este tipo de tecnologías implica un ahorro de tiempo y dinero, además de brindarles mayor privacidad y control sobre sus datos personales.

Sin embargo, uno de los aspectos más significativos del uso de la tecnología se relaciona con la posibilidad de personalizar el proceso. Cada pasajero puede seleccionar qué tipo de check-in prefiere. Las compañías tienen que considerar que hay una parte de sus clientes que pueden sentirse incómodos o no saber cómo utilizar estas tecnologías. Este grupo considera de gran valor la interacción con el personal y le agrega valor y fidelidad a la marca. "Por ejemplo, se observa que los pasajeros menores a 30 años tienen un 11,5% más de preferencia a utilizar las tecnologías de autoservicio que los pasajeros mayores de 65 años, que no se encuentran familiarizados con las mismas"².

² Castillo-Manzano, L. López-Valpuesta. *Computers in Human Behavior*.

Análisis y mejora del tiempo en fila para el check-in en un aeropuerto

Las tecnologías de autoservicio pueden ser utilizadas para reservas y compras online, para realizar el check-in desde teléfonos celulares o desde internet y para retirar los pases de abordaje en los kioscos del aeropuerto. También, les permite recibir las últimas noticias sobre sus vuelos en sus teléfonos celulares.

Uno de los métodos de self check-in más utilizados en la actualidad es el ATM o kiosk de autoservicio, como el que se ilustra en la Figura 2.2.



Figura 2.2 Kioscos de IBM³

El ATM es un método de autoservicio en el cual el pasajero imprime su tarjeta de embarque, selecciona su asiento, entre otras funciones. Ideal para pasajeros que no deben despachar equipaje. Estos kioscos reducen el tiempo en fila, el tamaño y largo de la cola de los *counters* y los costos asociados del proceso de check-in y de la impresión de los tickets.

Siguiendo con la misma lógica que se utilizan en los ATMs, otra opción que tienen los pasajeros es el Mobile check-in. Éste permite al usuario realizar el proceso desde un dispositivo móvil, como un Smartphone o una tableta, a través de una conexión a Internet. A su vez, existen empresas que ofrecen a aquellos pasajeros que no puedan acceder a esta tecnología la posibilidad de hacer el check-in a través de mensajes de texto.

³Fuente: IBM, *International Business Machines*.



Figura 2.3 Dispositivos móviles para hacer el Check-in⁴

Siguiendo la tendencia de la inmediatez y la cultura de la sustentabilidad y el cuidado del medio ambiente, realizar el check-in desde un celular o una PC, sin necesidad de imprimir el boleto o código, comienza a ser cada vez más frecuente. Simplemente basta con descargar el código QR de la reserva de vuelo en el celular o aparato electrónico que luego es leído a través de un escáner.

Estos nuevos métodos de check-in dan lugar al nuevo concepto de *bag drop*, que implica que los pasajeros deben acercarse al *counter* únicamente para despachar su equipaje, una vez que ya obtuvieron su tarjeta de embarque a través de uno de los métodos alternativos anteriormente mencionados.

En la actualidad, las aerolíneas tienden a separar los procesos dentro del check-in, con el objetivo de acelerar el proceso. Un pasajero puede obtener la tarjeta de embarque a través de un kiosk de autoservicio y luego puede acudir a un *counter* para realizar el despacho del equipaje. También, existen kioscos de autoservicio que permiten al pasajero obtener el *bag tag*, de manera que al pasajero sólo le resta acercarse a un *counter* para despachar sus valijas.

En algunos países, el concepto de autoservicio llegó a su máxima expresión, al incorporar sistemas similares a los ATMs, pero con la opción de despacho de equipaje, como el que se ilustra en la Figura 2.4.



Figura 2.4 Sistemas de bag drop en el aeropuerto de Ámsterdam⁵

⁴ Fuente: Virgin Australia

Estas distintas opciones permiten a las aerolíneas modificar el proceso de acuerdo con cuál es el recurso escaso, o su cuello de botella. Si la empresa posee pocos *counters* o pocos agentes, puede intentar fomentar el uso de las tecnologías de autoservicio para reducir el tiempo de gestión por pasajero y aumentar la productividad de los mostradores.

De acuerdo con los factores que afectan el nivel de satisfacción de los pasajeros mencionados en la sección 2.2, aquel que cobra mayor importancia al analizar el proceso de check-in es la forma en que se maneja el tiempo de espera en la fila. En general, cuanto más debe esperar, más bajo es el nivel de satisfacción alcanzado, lo que se refleja en un bajo puntaje cuando se le realiza una encuesta.

Sin embargo, en muchos casos es posible disminuir el tiempo de espera percibido por los pasajeros para modificar su satisfacción; es decir, implementar acciones que si bien no hacen que los pasajeros esperen menos, hacen que la espera sea más placentera y menos tediosa. A continuación, se muestran los métodos que menciona la ACI para disminuir ambos tipos de tiempos de espera.

Métodos para disminuir el TEF real	Métodos para disminuir el TEF percibido
Aumento en el número de <i>counters</i>	Re-organización de las colas
Aumento en el número de personal	Indicación de TEF aproximados o máximos
Optimización de tiempos de proceso	Entretenimiento en la cola

Tabla 2.1 Métodos de reducción de TEF según la ACI

Para optimizar el proceso de un aeropuerto, es necesario saber la cantidad de *counters* que se deben abrir y cuántos empleados serán necesarios en cada momento del día. Por ende, es necesario realizar mediciones de los tiempos de espera para poder definir las cantidades estándares.

Por otro lado, es posible influenciar en la percepción del tiempo empleado en la cola realizando una mejor organización de la misma. Los dos principales estilos o métodos que se utilizan para organizar este tipo de filas son las colas individuales y las colas *Disney*, denominadas así por la ACI. Las individuales son aquellas en las que cada mostrador o *counter* tiene una cola aparte, mientras que en el caso de las colas *Disney*, todos los mostradores atienden a una misma cola. La Figura 2.5 ilustra ambos tipos.

⁵ Fuente: Future travel experience

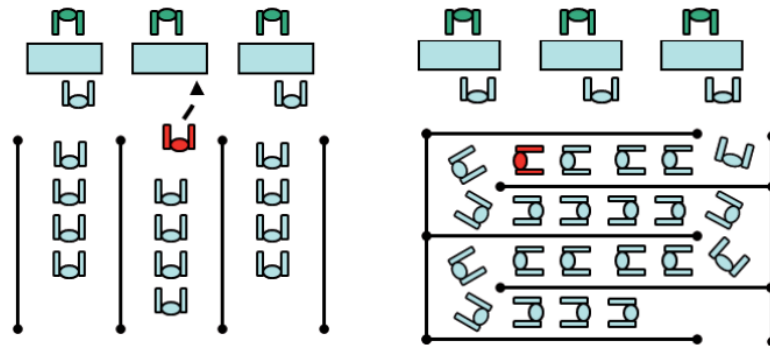


Figura 2.5 Representación de colas individuales (i) y colas Disney (ii)⁶

Las colas individuales son fácilmente manejables, pero pueden crear un sentimiento de injusticia cuando los pasajeros de las colas vecinas son atendidos en menos tiempo. Este sentimiento de injusticia no es experimentado por los pasajeros en los casos que se utiliza una cola *Disney*, ya que todos se encuentran parados en una única línea o fila.

En términos de la percepción del tiempo de espera, las colas *Disney* son preferidas por los pasajeros, puesto que este tipo de organización de la cola genera que el flujo de avance sea continuo. Por otra parte, estas colas requieren de mayor control para mantener el orden y direccionar a los pasajeros a los *counters* que se encuentran disponibles.

2.4 Industria Aérea Argentina

Debido a las grandes extensiones del país, la industria aérea cobra un gran papel para el transporte tanto de personas como de cargas. Desde sus orígenes, el transporte aéreo argentino ha funcionado siguiendo un esquema radial centrado en la Capital Federal, imitando el estilo de trazado de rutas terrestres como las que utilizan la red ferroviaria y vial.

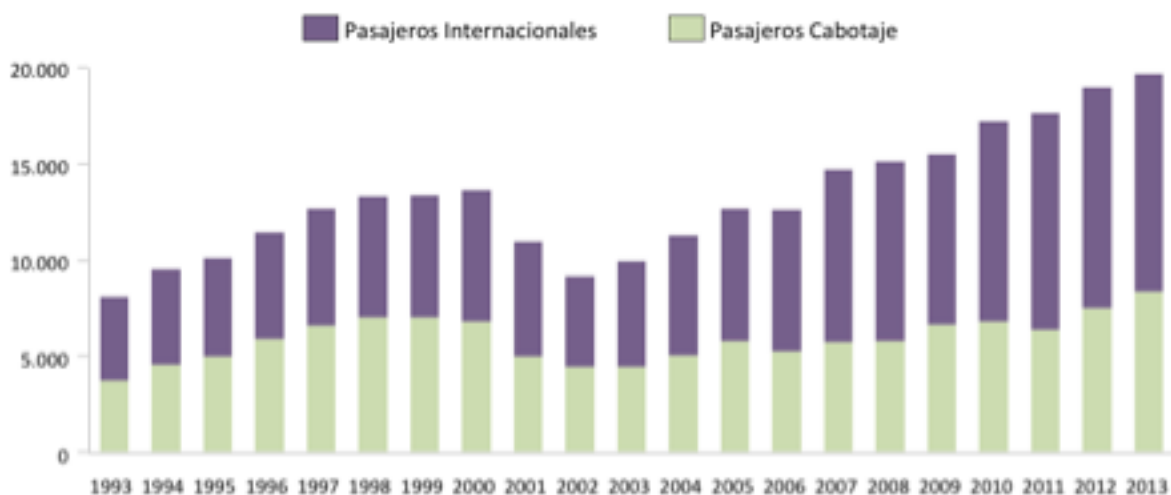


Figura 2.6 Evolución de la cantidad de Pasajeros Internacionales y de Cabotaje en Argentina (en miles de pasajeros)⁷

⁶Fuente: ASQ, *airport service quality*.

En el gráfico de la Figura 2.6 se muestra la cantidad de pasajeros según su categoría tras el transcurso de 30 años. Los datos pertenecen a los vuelos realizados en aeropuertos argentinos, ya sean vuelos internacionales o domésticos. A pesar de haber un crecimiento a lo largo de los años, la cantidad de pasajeros de cabotaje se mantiene prácticamente constante. Mientras que la cantidad de pasajeros que realizan viajes al exterior creció en mayor proporción en los últimos 7 años frente a los pasajeros de cabotaje.

Según los datos recopilados del INDEC, se encuentran 3 principales motivos que generan un viaje, ya sea internacional o de cabotaje. Liderando la lista con un porcentaje del 54% se encuentran los viajes por turismo, luego siguen las visitas a familiares o amigos con un 23%. Sólo un 20% son declarados como viaje de negocios, quedando un 3% que puede incluir desde visitas médicas, trámites entre otros.

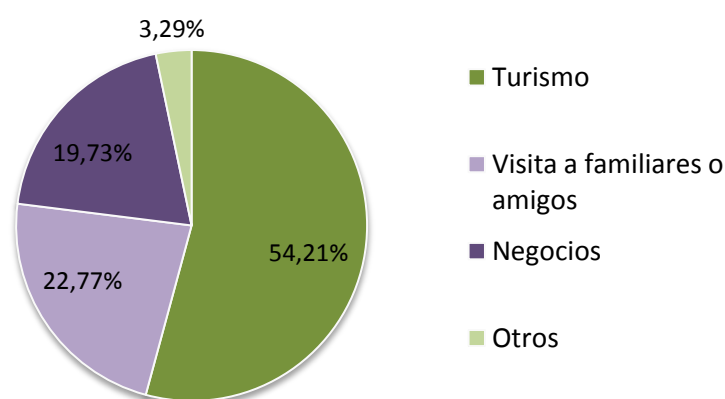


Figura 2.7 Turistas de Ezeiza y Aeroparque según motivo de viaje en el 2014⁸

Hoy en día, Argentina cuenta con 33 aeropuertos repartido por todo su territorio, siendo el más importante el de Ezeiza, puesto que es el aeropuerto internacional más concurrido del país.

⁷ Fuente: INDEC, *Instituto Nacional de Estadística y Censos de la República Argentina*.

⁸ Fuente: INDEC, *Instituto Nacional de Estadística y Censos de la República Argentina*.

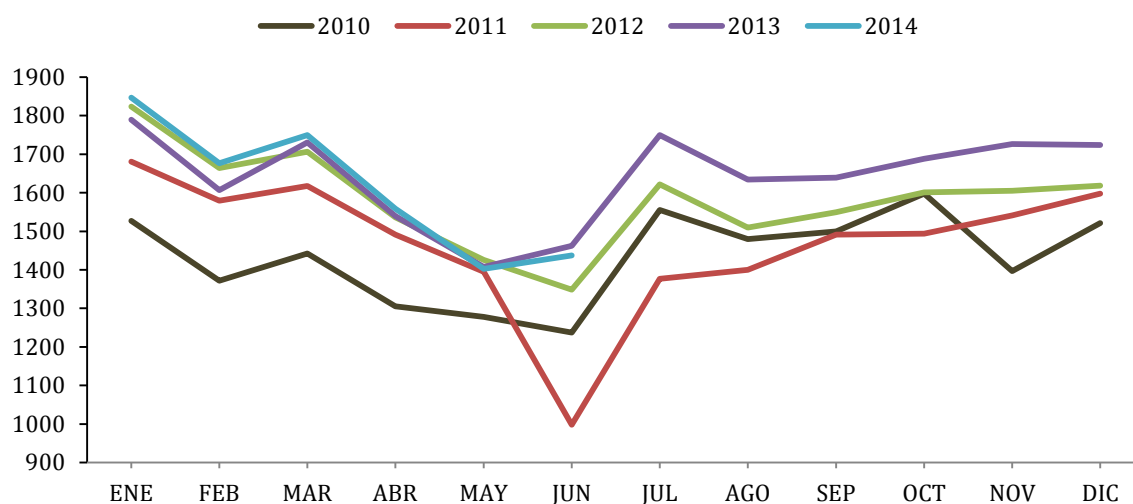


Figura 2.8 Evolución mensual de la cantidad de pasajeros totales (en miles de pasajeros)⁹

En el gráfico de la Figura 2.8 queda plasmado que por lo habitual la temporada alta se compone por los meses enero y julio y que la temporada media es en general marzo. Mientras que la temporada baja mayo y junio. El mes de junio del año 2011 es un valor atípico con lo cual queda fuera de estudio.

2.5 Tendencias en la industria aérea mundial

La industria aérea se caracteriza por encontrarse en un cambio constante, adaptándose a los nuevos estilos de vida. La reducción de los costos de los vuelos generó un aumento en la cantidad de gente que tiene la posibilidad de viajar en avión, mientras que en el pasado un viaje en avión era un beneficio limitado a los niveles socioeconómicos más altos. Esto generó un aumento considerable en la masa de pasajeros de la industria aérea, creando nuevas tendencias y usos en la misma para adaptarse al nuevo contexto.

Una tendencia importante que se observa en la actualidad es el auge de las aerolíneas de bajo costo o *low-cost*. Son aerolíneas que ofrecen tarifas bajas a cambio de suprimir muchos de los servicios tradicionales a los pasajeros, como por ejemplo el servicio de catering o los refrescos y la posibilidad de despachar maletas sin costo. Este tipo de servicios aéreos funciona particularmente bien en Europa, donde los vuelos entre países son cortos y los precios de los boletos son aún menores que los de los trenes.

Por otro lado, la inclinación mundial es poder brindar un fácil acceso al aeropuerto, ya que siempre suelen estar alejados de las zonas urbanas. Con lo cual gran cantidad de aeropuertos poseen terminales de trenes que pueden conectarse con otro transporte público y líneas de colectivos o buses que lleguen al lugar, además de los conocidos remises que operan en los aeropuertos y los taxis que aguardan a la salida.

⁹ Fuente: INDEC, *Instituto Nacional de Estadística y Censos de la República Argentina*.

A su vez, existen mayores exigencias de seguridad en los aeropuertos, con el objetivo de reducir los intentos de atentados por medio de explosiones o ataques a pasajeros dentro del vuelo. Para evitar posibles contingencias, todos los artículos de viaje se someten a escaneado para controlar elementos como líquidos, objetos cortantes o punzantes o artículos explosivos o inflamables.

Con el fin de optimizar los recursos y minimizar los tiempos de los pasajeros y el avance de la tecnología, nuevos métodos, sistemas informáticos y equipos tecnológicos han sido creados para poder agilizar los diferentes procesos que se deben realizar antes de poder tomar el vuelo. Estas tecnologías ya han sido descritas en el apartado 2.1 El proceso de check-in.

Estos nuevos avances tecnológicos han cambiado el diseño de los aeropuertos haciéndolos más funcionales y autodidactas. El espacio destinado para realizar filas se redujo, así como los *counters* necesarios para operar.

De la mano de estos avances se logra reducir el tiempo de atención en el check-in, contando el pasajero con tiempo extra, el cual lo podrá utilizar para relajarse o poder trabajar cómodamente. Con la creación de un salón Vip, lugar donde el pasajero puede relajarse y disfrutar de un snack o comida luego de haber realizado el check-in, la satisfacción del cliente aumenta, puesto que se reduce su stress por estar más relajado.

Es decir, mejorando el servicio al reducir las colas, también mejora la satisfacción del cliente. Es decir, el cliente posee mayor tiempo personal, el cual podrá emplear en el free shop, beneficiando no sólo al cliente por poseer mayor confort, sino que también a la aerolínea, ya que el cliente va a volver a elegirla fidelizándose con ella por tener un mejor servicio y brindarle mayor satisfacción. Por otro lado, también agrega valor para el aeropuerto, puesto que le otorga una ventaja competitiva. Denotándose que la tendencia mundial es no sólo mejorar el vuelo, sino toda la experiencia completa que implica volar.

3 MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

3.1 Simulación

La simulación de eventos discretos se utiliza para la modelización de sistemas complejos en los cuales las variables cambian únicamente en ciertos momentos a lo largo del tiempo. En dichos sistemas ocurren procesos estocásticos, los cuales vuelven al mismo un tanto impredecible. La simulación, a diferencia de los métodos matemáticos que buscan resolver problemas, esta busca ejecutar los distintos escenarios propuesto, intentando representar la realidad. Es decir que ejecutando la simulación, no se obtendrá como resultado el optimo del problema planteado, si no que se deberán plantear diferentes escenarios para el problema planteado y a partir de los resultados se realiza un estudio de los mismos, para proponer la mejor alternativa a dicha problemática.

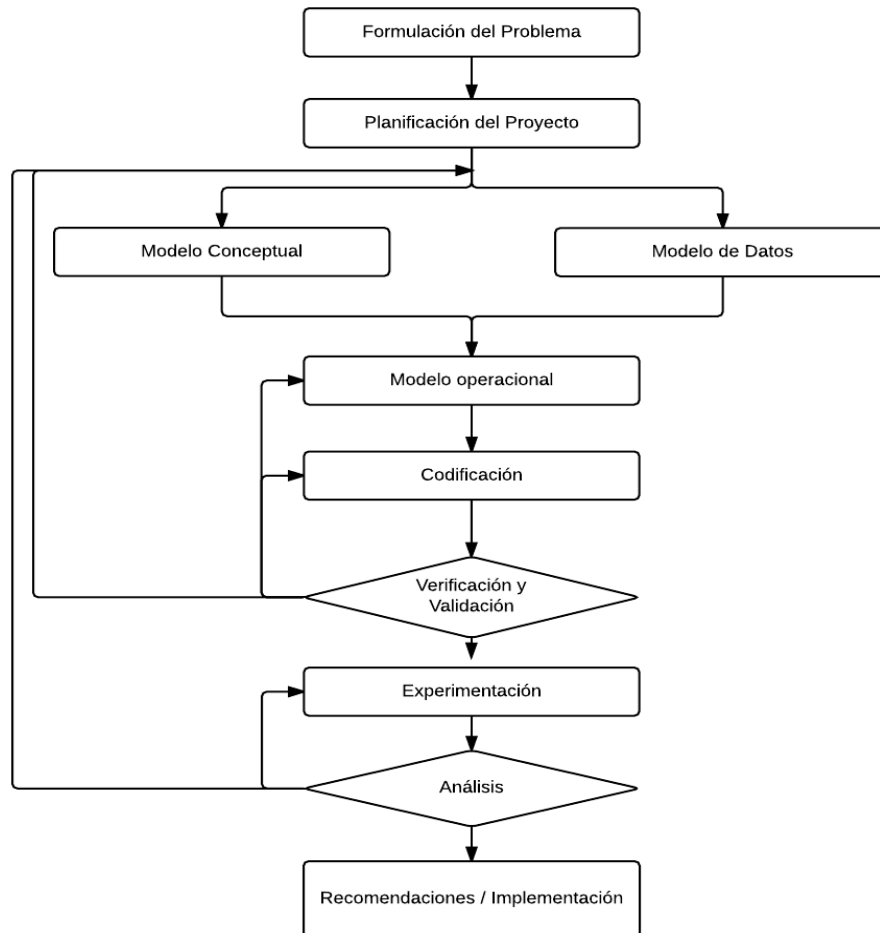


Figura 3.1 Flujograma del proceso de simulación¹⁰

¹⁰ BANKS, J., CARSON II, J. S., NELSON, B. L. y NICOL, D. M. *Discrete-Event System Simulation*.

El primer paso a seguir es la formulación del problema. Éste es un punto clave, ya que si se lo formula incorrectamente se trabajará en un proyecto sin sentido.

Por otro lado, la planificación del proyecto es la etapa en la que se decide si es correcta la utilización de la metodología de simulación para resolver el problema planteado en la etapa anterior. Además se deben plantear los objetivos a cumplir y la metodología de evaluación para saber la efectividad del proyecto. Asimismo, se debe establecer las personas que estarán involucradas en dicho proyecto y la duración del mismo.

En la modelización del proyecto o Modelo Conceptual, se busca representar la realidad a través de un modelo abstracto. Este es un paso complicado, ya que se deberán tomar decisiones para simplificar el proceso sin perder la esencia del problema, pero por otro lado se recomienda iniciar con un modelo simplificado que funcione y a partir de ahí, complejizarlo para enriquecer el modelo.

A su vez, para la realización de la simulación es necesario el ingreso de distintos datos (inputs del modelo), lo que se realiza en la etapa denominada Modelo de Datos. Estos datos son información del sistema, y existen dos formas de obtenerlas. Una de ellas, es obtener la información a partir de datos históricos. Esta metodología tiene la ventaja de la inmediatez, y el bajo presupuesto, ya que es información que ya existe, pero muchas veces no se sabe que metodología se utilizó para recabarla o así como también es insuficiente.

Otra alternativa es la medición de campo. De esta forma la metodología será conocida, ya que la establecerá el personal interesado en obtener dicha información, pero como contrapartida es un proceso que requiere mucho tiempo, además de recursos, por lo tanto es más costoso que la alternativa anterior.

Una vez terminado el modelo de datos, es posible avanzar con el desarrollo del Modelo operacional. Esta fase del proyecto tiene como objetivo realizar una revisión general que abarque los pasos anteriores y asegurarse que tengan coherencia entre sí. Además de realizar un plan de desarrollo con sus especificaciones adecuadas. Asimismo, se deberá desarrollar el plan de experimentación.

Otro punto importante en esta etapa es la elección del software, ya que existen hoy en día en el mercado una amplia variedad de opciones y se deberá elegir la más conveniente para el proyecto.

Posteriormente, se procede con la Codificación. Se debe reflejar, con ayuda del software, todos los conceptos volcados al modelo operacional. En otras palabras, es el desarrollo del simulador propiamente dicho.

Con el simulador ya desarrollado, es posible realizar la Verificación y Validación, etapa en la que se evalúa que los resultados obtenidos del modelo se ajusten al sistema real. Asimismo, debe cumplir con el propósito del modelo.

Una vez concluida la fase anterior, es el momento de realizar las distintas alternativas que se propusieron y elegir dentro de los resultados obtenidos cuál es la mejor opción, y proponer un plan de acción. Otro aspecto importante, que se obtiene en esta etapa es el aprendizaje y la mejor comprensión del sistema.

Finalmente, se procede con la Implementación. Esta etapa depende exclusivamente de la decisión del cliente, ya que tiene que evaluar los beneficios que aportan los cambios frente al costo de realizarlo o si se tiene acceso al presupuesto necesario para efectuar las modificaciones al sistema.

3.2 Test de hipótesis para medias con varianzas desconocidas

Para la validación de los datos obtenidos del simulador se realizaron Test de Hipótesis para medias con varianzas desconocidas. Este es un procedimiento para verificar si una característica que se supone de una población estadística, los datos recabados en una muestra son consistentes con dicha población.

El nivel de significación (α) es la probabilidad de rechazar la hipótesis nula cuando esta es verdadera.

El error de beta (β) o de tipo II es la probabilidad que ocurra que no se rechace la H_0 cuando ella es falsa.

$$H_0) \mu = \mu_0$$

$$H_1) \mu \neq \mu_0$$

Finalmente, para rechazar la hipótesis nula, es necesario que se cumpla la condición de rechazo que se muestra en la ecuación **(1)** o bien la de la ecuación **(2)**.

$$\bar{X} > \mu_0 + \left(\frac{S}{\sqrt{n-1}} \right) \cdot t_{1-\frac{\alpha}{2}; n-1} \quad (1)$$

$$\bar{X} < \mu_0 - \left(\frac{S}{\sqrt{n-1}} \right) \cdot t_{1-\frac{\alpha}{2}; n-1} \quad (2)$$

3.3 Test de hipótesis para comparación de medias

Para la comparación de los resultados se realizaron Test de hipótesis para comparar la media de dos escenarios diferentes con varianzas desconocidas y distintas. Siendo a y b dos escenarios distintos, lo que se busca es comparar cual de los dos escenarios es más conveniente, planteando la hipótesis nula que se muestra a continuación.

$$H_0) \mu_a - \mu_b \leq 0$$

$$H_1) \mu_a - \mu_b > 0$$

La condición de rechazo de la hipótesis nula en este caso la definida por las ecuaciones **(3)** y **(4)**.

$$\bar{X}_a - \bar{X}_b > C.R. \quad (3)$$

$$C.R. = t_{n_a+n_b-2} \cdot \sqrt{\left(\frac{(n_a-1) \cdot S_a^2 + (n_b-1) \cdot S_b^2}{n_a+n_b-2}\right) \cdot \left(\frac{1}{n_a} + \frac{1}{n_b}\right)} \quad (4)$$

3.4 Test de Kolmogorov-Smirnov

Para comprobar si un conjunto de datos se ajusta a alguna distribución aleatoria, se efectúan pruebas de bondad de Ajuste de Kolmogorov-Smirnov. El test compara la función de distribución acumulada observada de una variable con una distribución teórica determinada. Para realizar dichas pruebas se necesita que la medición considerada sea continua. Otra bondad de este test es que es aplicable cualquiera sea el tamaño de la muestra. Las hipótesis planteadas para realizar dicho test son:

H_0) Los datos analizados siguen una distribución X .

H_1) Los datos analizados no siguen una distribución X .

El nivel de significación (α) es la probabilidad de rechazar la hipótesis nula cuando esta es verdadera.

Para el criterio de rechazo de la hipótesis nula se basa en el que se enuncia en la ecuación (5).

$$p\text{-value} < \alpha \quad (5)$$

3.5 Gráfico Cuantil – Cuantil (Q – Q)

Los gráficos cuantil – cuantil permiten verificar si la distribución de un grupo de datos se ajusta a una distribución aleatoria. Si el conjunto de datos efectivamente se ajusta a la distribución planteada, en el gráfico se observará que los puntos se representan de forma aproximadamente lineal.

3.6 Correlación

Se empleó el análisis de correlación, para analizar la existencia de relaciones lineales entre las distintas variables y si realmente existiera indicar la fuerza y la dirección de dicha relación lineal y proporcionalidad entre dos variables estadísticas. Se considera que dos variables cuantitativas están correlacionadas cuando los valores de una de ellas varían sistemáticamente con respecto a los valores homónimos de la otra. La correlación entre dos variables no implica, por sí misma, ninguna relación de causalidad.

4 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

4.1 Enunciado del problema detectado

El objetivo de la empresa Aeroplus es que el 90% de los pasajeros espere 10 minutos o menos en la cola para el check-in. En otras palabras, la meta de la empresa es que el percentil 90 del tiempo de espera en fila (TEF) sea de 10 minutos como máximo.

En la información provista por la aerolínea, ilustrada en la Figura 4.1, se puede observar que el percentil 90 del tiempo en fila varía entre 11 y 25 minutos según el mes. Los meses con mayores TEF en general son los de la temporada alta, como por ejemplo enero, febrero y agosto. Por otro lado, los meses de mayo y junio, que representan la temporada baja, poseen los valores de TEF más pequeños.

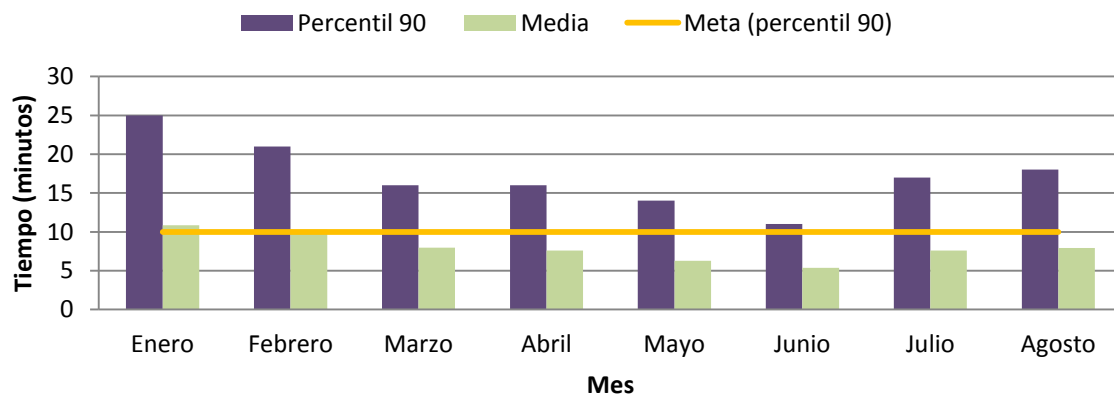


Figura 4.1 Evolución del TEF por mes, en calores medios y de percentil 90

En este contexto, se observa que la empresa tiene el objetivo de reducir los valores del TEF, que tienen una incidencia directa en la satisfacción de sus clientes.

A su vez, la empresa no posee una herramienta adecuada para el análisis de escenarios en el aeropuerto. Esto implica que no se conoce un estimativo del impacto de los proyectos que se llevan a cabo, causando que en algunos casos se inviertan recursos sin obtener mejoras significativas.

Por otra parte, en la actualidad no existe forma de evaluar el impacto de los itinerarios planeados en el nivel de servicio. La evaluación de los itinerarios desde el punto de vista del servicio al pasajero, queda a criterio del personal a cargo y se basa en el *know how* adquirido por el mismo a lo largo del tiempo. En general, se realiza estipulando diferencias de tiempo mínimas entre los horarios de los vuelos, que no poseen ningún sustento estadístico.

4.2 Objetivo del proyecto

Los objetivos del siguiente trabajo son:

- 1 Desarrollar una herramienta para la evaluación de escenarios posibles que le permita a la empresa tomar decisiones basadas en estudios estadísticos, conociendo el posible impacto esperado de las mismas;
- 2 Proponer distintas alternativas para mejorar la situación detallada en el apartado 4.1 y mediante la experimentación y el análisis, evaluar si existe una disminución significativa del tiempo de espera en fila;
- 3 Analizar de forma estadística el impacto de los criterios de evaluación de itinerarios actuales.

4.3 Alcance del problema

Este trabajo se focalizará en el estudio del tiempo de espera en fila de los pasajeros que deban pasar por los mostradores del Hall de check-in. Por lo tanto, todos aquellos pasajeros que no tengan que realizar ningún trámite en los mostradores, por ejemplo despachar equipaje, y ya posean la tarjeta de embarque impresa, no deberán entrar en la fila y no se tomarán en cuenta para el estudio.

Tampoco se considerará el tiempo de espera en otras filas del aeropuerto, como en el caso que deban esperar para utilizar el ATM o las demoras en los sectores de pre embarque.

El tiempo que se analizará comprende desde el momento que el pasajero ingresa a la cola hasta que sale de la misma para ser atendido en uno de los mostradores.

Sin embargo, en este estudio se trabajará con el tiempo medio y el desvío estándar, en lugar del percentil 90, ya que al analizar este último valor se pierde mucha información estadística relacionada con las variaciones que presenta la muestra. Además, al hablar de tiempos medios es posible asegurar que los mismos siguen una distribución normal, lo que permite el uso de diversos test de hipótesis.

4.4 Análisis de causas potenciales

Para realizar el análisis de las posibles causas que afectan el tiempo de espera en fila, se eligió como herramienta de estudio plasmarlo en un FODA, en el cual se evaluaron los distintos aspectos de la situación actual.

Esta herramienta permite distinguir las fortalezas, que son factores positivos y claves con los que se cuenta; las oportunidades, que son los aspectos positivos que se pueden aprovechar utilizando las fortalezas; las debilidades, que son factores negativos que se deben tratar de eliminar o reducir y por último las amenazas, que son los aspectos negativos externos que podrían atentar con las metas y objetivos.

Fortalezas	Debilidades
● Personal polivalente ● Personal altamente capacitado ● Hospitalidad (buen trato) ● Ubicación estratégica en el aeropuerto	● Capacidad ociosa de mostradores ● Recursos saturados ● Agentes no siguen los procedimientos como se requieren ● Ordenamiento de las colas
Oportunidades	Amenazas
● Tendencias y avances tecnológicos mundiales ● Aumento en las facilidades para realizar el Web check-in ● Aumento en cantidad de Bag Drop ● Procedimientos estandarizados	● Llegada no uniforme de pasajeros ● Exceso de equipajes y/o falta de documentación ● Condiciones del gremio ● Problemas climáticos ● Superposición de vuelos ● Límite de 8 <i>counters</i>

Tabla 4.1 Análisis FODA

Para el análisis interno, se considera al personal y los recursos utilizados dentro del sistema planteado en la Sección 4: Problema de. En cambio, el análisis externo incluye principalmente por los clientes de la aerolínea, los gremios, el aeropuerto donde opera, el clima y la tecnología.

4.4.1 Análisis Interno

En cuanto a las *fortalezas*, la empresa posee un personal altamente capacitado y polivalente, el cual según sea la necesidad se encuentra apto para hacer el check-in, estar presente en el embarque, guiar a las personas a ubicarse en la fila correcta actuando como lobby recepción o también ayudar en los ATM. Cabe destacar que se remarca tener un buen trato con el cliente, siendo ante cualquier circunstancia amables y respetuosos para con el mismo.

Otro factor clave es la ubicación estratégica de los *counters*, ya que se encuentran próximos a los ATMs del aeropuerto, con lo cual es más factible que los pasajeros los utilicen por estar a su alcance sin tener que desplazarse por todo el aeropuerto en busca de uno. Además, si un pasajero llega a la cola sin tener que despachar valijas, el agente que se encuentra en el lobby recepción puede aconsejarle que realice el proceso en un kiosco y no pierda tiempo haciendo la fila, haciendo que la cola sea aún menor.

Por otro lado, es importante analizar las *debilidades*, puesto que estos factores internos son lo que la empresa puede manejar y corregir para poder mejorar la experiencia del pasajero a la hora de realizar la cola para el check-in.

Debido a la gran fluctuación en la llegada de los pasajeros, es posible que durante un mismo día haya momentos con capacidad ociosa de mostradores y otros en donde la capacidad se ve superada debido a la gran concurrencia de pasajeros en momentos pico. Sumado a este problema, los empleados de atención no siempre cumplen con un procedimiento estandarizado para el proceso de check-in, provocando que los tiempos de atención tengan mucha variabilidad. Además, la lógica de las colas es cambiada por los agentes sin consulta previa, generando un peor flujo en la misma y ralentizando el proceso.

4.4.2 Análisis Externo

Debido a la falta de cumplimiento del seguimiento de un procedimiento estandarizado por parte de los agentes, es una buena *oportunidad* para confeccionar uno en el cual se optimicen los tiempos y la calidad del trabajo a realizar.

Por otro lado, con el avance tecnológico de los últimos años, ahora es posible realizar el check-in a través de la Web o en los kioscos que se encuentran en los aeropuertos, sin necesidad de ingresar a la fila siempre y cuando no deba despachar equipaje. De poseer equipaje que deba ser despachado, sólo deberá hacer la fila por este motivo reduciendo igualmente el tiempo del proceso. Es sumamente importante familiarizar a los clientes con estas tecnologías, puesto que no sólo se reducen costos para la empresa, sino que también se ahorran tiempo aumentando su satisfacción.

Existen diversas *amenazas* por las cuales el tiempo en fila por pasajero puede ser mayor que el deseado y que obstaculizan el logro de la meta de la empresa. Una causa posible puede ser la superposición de vuelos, ya que esto implica una mayor afluencia de pasajeros en determinado momento del día. Dicha superposición ocurre porque cuando se realiza la programación o itinerario de los vuelos se tiene en cuenta muchas variables, como la conveniencia de horarios para ciertos vuelos corporativos o la disponibilidad de pista que son otorgadas por el aeropuerto. La programación excede los límites del trabajo, por lo cual se tomarán como valores fijados por la aerolínea.

Además, otro factor que aumenta el tiempo en fila es el hecho de que la llegada de pasajeros no es uniforme. Existen momentos en los cuales la tasa de arribo de pasajeros al aeropuerto es mayor que en otros.

A su vez, se debe tener en cuenta que cada pasajero tiene características particulares, por lo tanto el tiempo de atención por pasajero es variable. Dicho tiempo de servicio puede variar por diversas causas, tales como la solicitud por parte del pasajero de realizar un cambio de asiento, si es que ya tiene asignado alguno que no es de su agrado, alargando el tiempo total del proceso. Muchas veces sucede que el pasajero acude con exceso de equipaje o tiene la documentación incompleta, estos motivos son posibles causas de demoras.

Otra posibilidad es que el pasajero hay tenido algún inconveniente realizando el check-in web o a través del ATM por lo que deba realizar el check-in en los mostradores. También puede suceder que el vuelo sea sobrevendido, esto quiere decir que la aerolínea haya vendido una cantidad mayor de pasajes que los disponibles en el avión. Esta práctica es usual por parte de las aerolíneas, ya que por información histórica saben que un porcentaje de los compradores no se presentará al momento de la partida del vuelo, pero puede ocurrir que para ciertos vuelos se presenten todos los compradores y que haya que reubicar alguno en otro vuelo, ya sea de la compañía o de la competencia.

Asimismo, la cantidad de *counters* se encuentra limitada por la capacidad que posee el aeropuerto, quien se encarga de distribuir estos recursos entre todas las aerolíneas que operan en el lugar. De haber un gran flujo de vuelos superpuestos, para mantener el tiempo de atención deseado no se puede solucionar agregando este tipo de recursos, puesto que esta decisión es ajena a la empresa.

Por otro parte, los gremios influyen en las condiciones de trabajo de los empleados afectando la optimización de la cantidad de agentes según el momento del día. Los requisitos relevantes para el caso son: la duración del turnos de 8 horas seguidas con un descanso mínimo de 45 minutos y el comienzo del turno de los agentes no puede ser antes las 4 am ni después de las 11 pm.

Un factor externo muy importante, el cual no se debe perder de vista, son los problemas climáticos. Estos pueden ocasionar el cierre del aeropuerto y la suspensión momentánea o el atraso de vuelos. De esta forma, se solapan aún más los vuelos, incrementando tanto el flujo de pasajeros como el tiempo que permanecen en la fila.

4.5 Selección de la herramienta de análisis

Los aeropuertos son ideales para realizar una simulación que permita optimizar su funcionamiento. Sus procesos se encuentran en cambio continuo, que es a su vez complejo y estocástico, ya que se involucran muchas variables aleatorias, pero al mismo tiempo posee un patrón subyacente. El nivel de rendimiento del sistema se puede medir por diferentes indicadores de rendimiento¹¹, observando su evolución bajo determinadas situaciones.

Por otro lado, la simulación es un método flexible, con capacidad de reproducir el comportamiento de un sistema complejo en una computadora (simulador). De esta forma, permite aprender sobre el funcionamiento del sistema mediante la experimentación de distintos escenarios, para poder así optimizar los procesos, y estudiar el comportamiento del sistema sin tener que construirlo físicamente.

¹¹DÍAZ ESTEBAN, Pedro J. *Check-in process at Lisbon Airport, event-based simulations and collaborative design*.

Joustra y Van Dijk han estudiado el proceso de check-in realizando simulaciones en el aeropuerto de Ámsterdam Schiphol. En este trabajo, los autores comparan dos metodologías para el estudio del proceso: la simulación y la teoría de colas, concluyendo que la primera se adapta mejor a las necesidades y características del sistema de estudio. La teoría de colas es útil para predecir los tiempos de llegada y de espera en los mostradores, a pesar de obtenerse resultados demasiado restringidos. Dado que se utilizan fórmulas analíticas para el cálculo de tiempos de espera, por desgracia estas fórmulas sólo sirven para representar situaciones de estado estacionario. En otras palabras, implican que los patrones de llegada de los pasajeros son constantes durante largos períodos de tiempo, a diferencia del proceso de check-in, donde ocurren procesos no estacionarios.¹²

Con el fin de predecir de forma estadística los tiempos de espera en los mostradores, se optó por realizar una simulación en la cual se pueden probar distintas alternativas para realizar y organizar el check-in.

¹²JOUSTRA, P.E. y VAN DIJK, N.M., *Simulation of check-in at airports, Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference*.

5 DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL

5.1 Introducción

Más allá de la compra del pasaje, la cual puede haber sido realizada un tercero, la relevancia del servicio brindado en el proceso del check-in radica en que es el primer contacto que el pasajero posee con la aerolínea.

Al arribar al aeropuerto, los pasajeros deben ubicar dónde se encuentran los mostradores correspondientes a su aerolínea y su vuelo dentro del hall de check-in. Una vez hallado ese lugar comienza el proceso de este análisis.

Con el objetivo de una descripción más precisa del proceso, la Figura 5.1 muestra un croquis de la zona donde los pasajeros realizan el check-in regular y el despacho del equipaje, la cual se denominará hall de check-in.

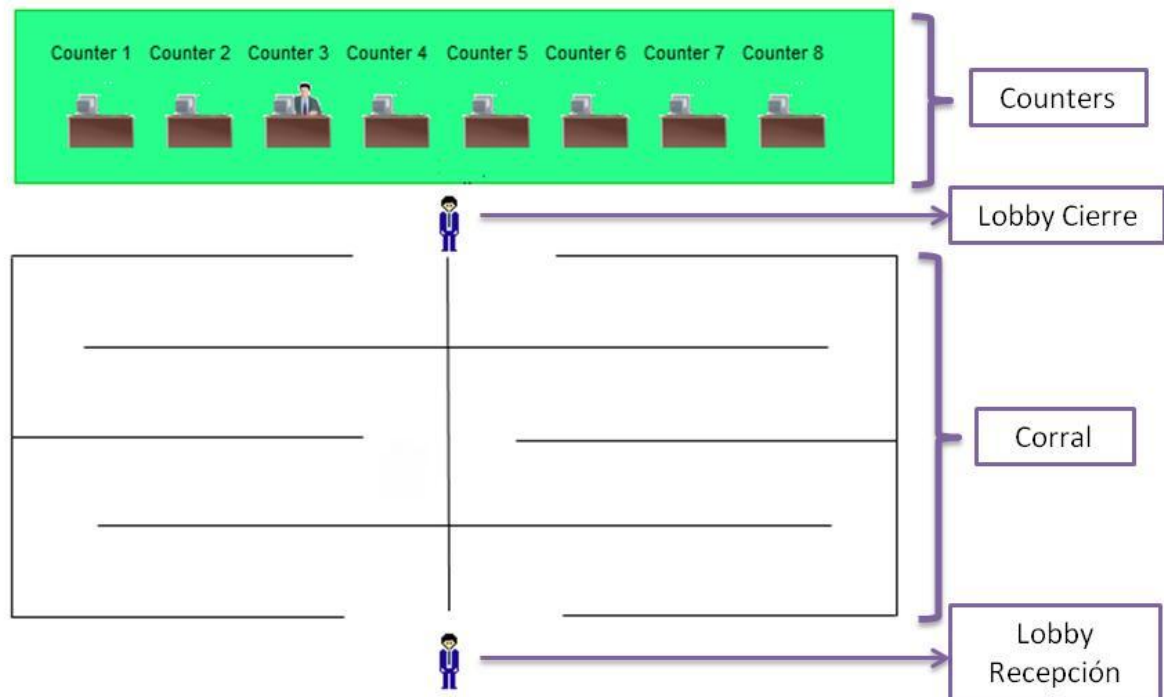


Figura 5.1 Croquis del Hall de Check-in

Es importante destacar que si bien la empresa ofrece distintos métodos para hacer el check-in, ya mencionados en el apartado 2.3 el proceso de check-in, la única manera de despachar el equipaje es a través de los *counters*, que son los mostradores en donde se ubica el personal.

En ellos, los agentes de la compañía realizan el check-in de los pasajeros y despachan el equipaje. Para despachar el equipaje, el agente debe ingresar la información en el sistema y obtener un *bag tag*, que lo coloca a la maleta a despachar. En este paso también se imprime un comprobante con la información de la valija despachada, que se

le da al pasajero para que lo utilice en casos de control o pérdida de equipaje en el aeropuerto de destino.

A su vez, en la Figura 5.1 se representa la ubicación de los denominados “lobby”. Se nombrará lobby recepción al agente que se ubica al comienzo de la fila, el cual es el encargado de responder las consultas y dudas de los pasajeros y de indicarles cuál es la fila que deben formar. Además, el agente fomenta el uso de los ATM, guiando a los pasajeros que no poseen equipaje a despachar.

Por otro lado, se denomina lobby cierre al agente encargado de indicar a los pasajeros a qué *counter* deben ir y en qué momento deben hacerlo. El objetivo de esta posición es agilizar el proceso y evitar que las posibles distracciones de los pasajeros ubicados en primer lugar en la cola retrasen el check-in. En otras palabras, sirve para evitar que se pierda tiempo entre que se libera un *counter* y la llegada del próximo pasajero al mismo para ser atendido.

Dado que la atención es por orden de llegada, se utiliza un corral para delimitar una correcta organización de la fila, indicando el camino a seguir a los pasajeros y optimizando el uso del espacio. El layout del corral dependerá de la cantidad de filas necesarias, teniendo en cuenta la cantidad de pasajeros estimados en cada una de ellas. Como en cada corral entran en promedio 24 personas, en varios momentos del día la fila sobresale del corral, disminuyendo la percepción en la satisfacción del pasajero.

En la actualidad, la aerolínea trabaja con dos corrales o colas, cada uno de ellos servido por la mitad de los *counters* disponibles en el momento. Los pasajeros deben ingresar al corral asignado según su número de vuelo. En otras palabras, si hay dos vuelos abiertos al mismo tiempo, se formará una cola para cada uno de ellos. Sin embargo, si en uno de los corrales no hay cola, los mostradores asignados al mismo atenderán a los pasajeros del otro corral.

5.2 Tipos de Check-in en Aeroplus

Actualmente, la empresa ofrece a los pasajeros tres métodos diferentes para realizar el check-in: Regular, Web y ATM.

5.2.1 Check-in Regular

El check-in Regular es aquel en el que el pasajero obtiene su tarjeta de embarque y deja su equipaje en uno de los *counters*, con la ayuda de un agente de la compañía. En este caso, el agente es el encargado del ingreso de información en el sistema. Para ello, el pasajero debe entregar su documentación personal. A partir del número de vuelo y del nombre del pasajero, el agente busca la reserva en el sistema y, en caso de que el pasajero despache equipaje, anota en el mismo la cantidad de valijas a despachar. A diferencia de los otros métodos que se explican a continuación, en este caso el agente debe además asignarle un asiento al pasajero.

Los pasos que debe realizar el agente consisten en escanear la reserva o bien buscar en el sistema por nombre y número de vuelo. Luego, asigna un asiento e imprime la tarjeta de embarque. El paso siguiente es anotar la cantidad de equipaje a despachar, imprimir el bag tag y colocarlo en el equipaje. Por último, si es un vuelo internacional chequea que el pasajero posea toda la documentación correcta y al día.

5.2.2 Check-in Web

Por otro lado, el check-in Web es en una de las opciones de autoservicio que le ofrece la compañía a sus pasajeros para realizarlo desde una posición remota. Los pasajeros deben ingresar la información requerida a través de la página de Internet de la aerolínea. Luego de este trámite, el pasajero debe imprimir la tarjeta de embarque con el asiento elegido en el proceso. Sin embargo, en el caso de que deseen despachar equipaje, deben acudir a un *counter* para que un agente pese las valijas, les coloque el *bag tag* y sean despachadas, proceso que se denominará *bag drop*. En estos casos, dado que el pasajero ya posee la tarjeta de embarque, el agente no tiene la necesidad de imprimirlo.

5.2.3 ATM o kiosco

Por último, los pasajeros pueden realizar el check-in a través de los ATM. Los ATM son los kioscos donde el pasajero puede obtener su tarjeta de embarque y realizar cambios en la reserva, como por ejemplo elegir el asiento. Si bien por lo general la compañía coloca un agente en los kioscos para ayudar a los pasajeros en el proceso, el ATM es otro método de autoservicio, ya que los agentes sólo colaboran en dudas específicas, casos particulares o cuando el pasajero tiene problemas para encontrar su reserva.

Para este tipo de check-in, el pasajero debe ingresar su número de DNI, su número de pasaporte o el código de la reserva. Una vez encontrada la reserva, el sistema pide al pasajero que corrobore la información personal y da la opción de elegir un asiento entre los asientos disponibles al momento, para luego imprimir la tarjeta de embarque.

En el caso de que el pasajero tenga que despachar equipaje, debe acudir a uno de los mostradores solamente para pesarlo y despacharlo.

5.3 Proceso

Una vez que el pasajero ubica la posición de la aerolínea en el hall de check-in, se observó que a pesar de haber hecho el check-in de manera remota, el mismo suele chequear el procedimiento que debe seguir a continuación. Para ello, se acerca al Lobby Recepción, que es el encargado de indicarle al mismo qué debe realizar.

El Lobby Recepción debe preguntarle al pasajero:

- ☐ ¿Qué vuelo tomará?
- ☐ ¿Realizó el check-in por Internet?
- ☐ ¿Despachará equipaje?

El proceso entonces se guía por diagrama de bloques que se observa en la Figura 5.2.

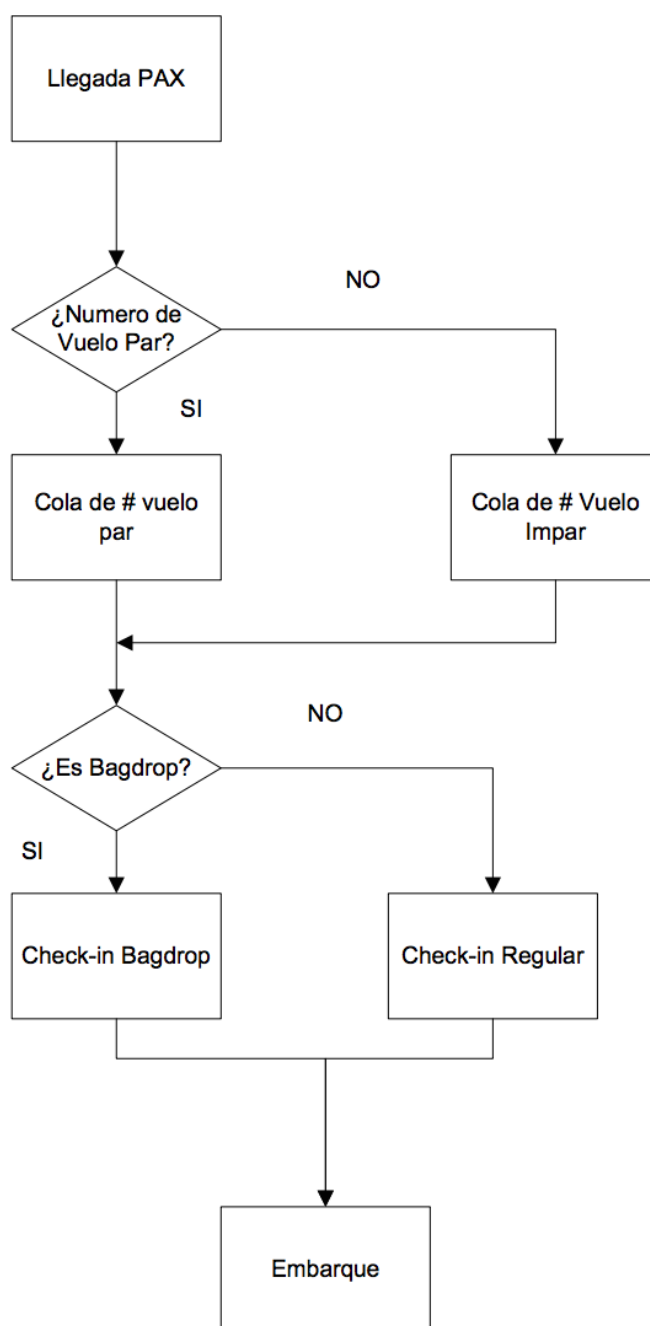


Figura 5.2 Diagrama de flujo del proceso del check-in

5.4 Llegada de pasajeros

Los pasajeros llegan al aeropuerto en función del horario de salida de su respectivo vuelo. Por lo general, la apertura del Check-in se encuentra está disponible tres horas antes para vuelos internacionales y dos horas y media antes para vuelos de cabotaje. El cierre del vuelo es de media hora antes de la salida del vuelo para vuelos domésticos y de una hora antes en vuelos internacionales. El cierre del vuelo implica que cualquier pasajero que llegue después de ese momento no podrá realizar el check-in y consecuentemente no

podrá tomar el avión. Sin embargo, muchas veces los agentes hacen excepciones y no sólo realizan el check-in sino que también despachan valijas de pasajeros que arribaron tarde.

Como la mínima diferencia de tiempo estimado de despegue (ETD) entre vuelos es de 10 minutos y la duración de la ventana de atención es dos horas y media, se produce una superposición en el horario de atención, la cual debe ser tenida en cuenta a la hora de planificar la cantidad de mostradores disponibles para un vuelo específico según el momento del día.

Para realizar un análisis más exhaustivo de las distribuciones de llegadas de los pasajeros, la empresa decidió diferenciar entre tres tipos de destinos:

- 1 Corporativos
- 2 Turísticos
- 3 Internacionales

Los destinos corporativos son aquellos en los que la principal razón o causa de viaje es de negocios. Los pasajeros corporativos se caracterizan por viajar de manera habitual, por lo que conocen mejor el funcionamiento de los Aeropuertos. En la práctica se observó que los pasajeros corporativos arriban más cerca del horario de salida del vuelo y con el Web check-in hecho.

Por otro lado, los destinos turísticos se caracterizan por pasajeros con equipaje para despachar, los cuales pueden haber realizado o no el Web check-in. Debido a la característica del vuelo, en general acuden con un mayor rango de tiempo al aeropuerto para no perderse las vacaciones.

Por último, en los vuelos internacionales o regionales los pasajeros deben llegar con tiempo, puesto que deben realizar todos los trámites de migraciones.

5.5 *No bag*

Los pasajeros *no bag* son aquellos que acuden al aeropuerto sin ningún equipaje para despachar; es decir, sin equipaje o sólo con equipaje de mano. Por lo tanto, los pasajeros únicamente deben realizar el proceso de check-in. No deben realizar el proceso de Bag Drop, que es despachar el equipaje. Esto significa que en el caso de que los pasajeros *no bag* hagan el check-in a través de uno de los métodos del tipo Self-Service, es innecesario que acudan a los *counters* y por ende, que realicen la fila; con lo cual no necesitan entrar al sistema.

Actualmente, en promedio un 20% de los pasajeros de la empresa acuden al aeropuerto sin valijas para despachar. Sin embargo, no todos los pasajeros que se encuentran en esta situación arriban al aeropuerto con el Web check-in hecho, con lo cual es importante que el agente lobby recepción le sugiera utilizar los ATM para no incrementar la cantidad de personas en el sistema.

5.6 Cantidad de *counters* y de agentes

Existe un límite en la cantidad de mostradores en los cuales puede operar la empresa, ya que el número es asignado por el aeropuerto. El aeropuerto le permite utilizar 8 *counters*, que se encuentran ubicados próximos a los kioscos de autoservicio.

La cantidad de agentes varía según el horario del día y la temporada del año. Los agentes son polivalentes, con lo cual pueden estar en el mostrador o hacer de lobby recepción o lobby cierre. El ingreso de los agentes no puede ser antes de las 4 am y debe trabajar 8 horas de corrido por temas gremiales, quedando la disposición de los agentes en los mostradores para temporada alta (Enero) y temporada media (Marzo) plasmada en la Figura 5.3.

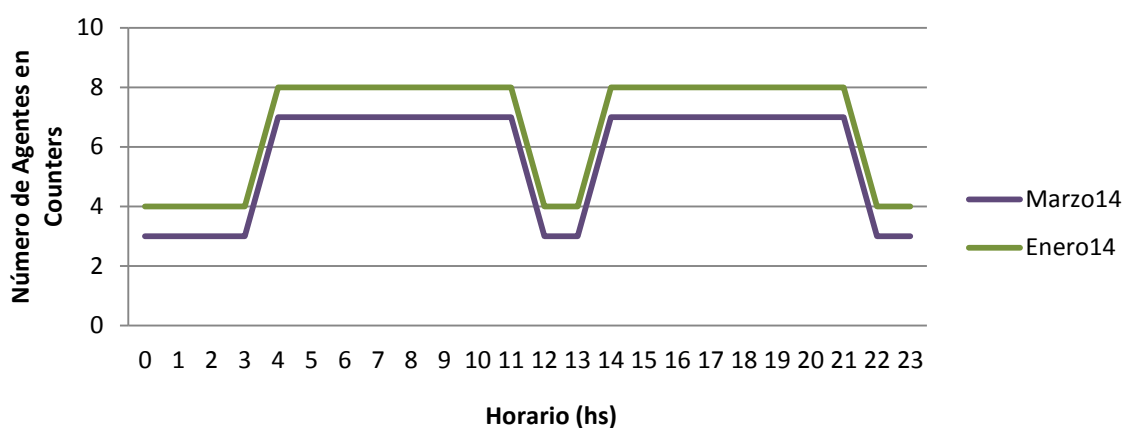


Figura 5.3 Cantidad de agentes según el horario para Enero y Marzo de 2014

6 MODELO DE DATOS

6.1 Tasa de llegada de pasajeros

Al analizar diversos estudios ya realizados, se observó que en general se utiliza una distribución de Poisson para analizar la tasa de arribos de los pasajeros. Tal es el caso del trabajo presentado por Joustra y Van Dijk¹³ en el año 2001, cuyo objetivo es el estudio del proceso de check-in en el aeropuerto de Ámsterdam, utilizando herramientas de simulación para analizar el proceso.

En otro trabajo presentado por Takakuma, S. & Oyama, T.¹⁴ en 2003, también consideran que la tasa de llegadas de pasajeros sigue una distribución de Poisson. En este caso, se analiza el flujo de pasajeros en el Aeropuerto Internacional de Kansai en Japón, empleando la simulación como herramienta. Este trabajo está apuntado al estudio del tiempo que le demanda a cada pasajero realizar todos los procesos necesarios para volar, es decir, desde que llega al aeropuerto hasta que ingresa al avión.

Por último, cabe mencionar que en el año 2004, Yan S.¹⁵ publicó un texto donde genera un modelo para el análisis del uso de los mostradores compartidos, aplicando el modelo de simulación, que también modela la tasa de arribos de los pasajeros a través de una distribución de Poisson.

El horario de llegada de cada pasajero al aeropuerto es uno de los parámetros que mayor incidencia tiene sobre la longitud de la cola en el proceso de check-in. Dicho horario es impredecible y varía según cada pasajero, ya que es una decisión personal que depende también de muchas otras circunstancias ajenas a él (como el tráfico, por ejemplo). Por otro lado hay que tener en cuenta que existe una multiplicidad de vuelos durante el día. Esto significa que los mostradores van a estar abiertos para distintos vuelos, con cierta superposición y se debe dividir la cantidad de mostradores disponibles por la cantidad de vuelos que haya abiertos para realizar el check-in.

La distribución exponencial es una distribución de probabilidad continua, con un parámetro $\lambda > 0$. Esta distribución es utilizada para modelar el intervalo de tiempo que hay entre arribos a determinado lugar por parte de una población. Dicha distribución

¹³ JOUSTRA, P.E. y VAN DIJK, N.M., *Simulation of check-in at airports, Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference*.

¹⁴ TAKAKUMA, S. y OYAMA, T., *Simulation analysis of international-departure passenger flows in an airport terminal, Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference*.

¹⁵ YAN S., et al. *A model and a solution algorithm for airport common use check-in counter assignments*.

carece de memoria, esto quiere decir que no hay relación en el tiempo que transcurre entre cada una de las llegadas.¹⁶

Por los trabajos previamente mencionados y por la bibliografía consultada, el tiempo entre llegadas de pasajeros puede ser modelado como una variable aleatoria, que sigue una distribución exponencial. En los otros trabajos se utiliza la distribución de Poisson, que es una distribución de probabilidad discreta, que representa la probabilidad que suceda una cantidad de eventos en un cierto intervalo de tiempo. Para este trabajo se decidió utilizar la inversa de dicha distribución, que es la distribución exponencial, es decir el intervalo de tiempo continuo que transcurra entre dos sucesos.

No obstante, al ser un proceso extensamente estudiado a través de estudios estadísticos, fue posible identificar patrones en los tiempos de arribos, que se cumplen de forma aproximada en cada vuelo.

Sin embargo, la media de esta distribución exponencial no es constante a lo largo del período de check-in. Esto se debe a que existe una ventana de tiempo durante la cual los mostradores están abiertos para cada vuelo. La ventana es de dos horas y media, y la apertura se realiza tres horas antes para vuelos regionales o internacionales y dos horas y media antes para vuelos domésticos. El cierre del vuelo, por otro lado, es una hora antes del Tiempo Estimado de Despegue (ETD), por sus siglas en inglés, para vuelos internacionales o regionales y media hora antes para vuelos domésticos.

Además, dentro de este tiempo de apertura de mostradores existen momentos durante los cuales la media de arribos es mayor, como se explicará más adelante. Por lo tanto, si se utilizara una única tasa de arribos para todo el día, el modelo se alejaría de la realidad.

Por ese motivo, se descompuso dicha ventana en intervalos de cinco minutos, a los cuáles se les asignó una tasa de arribos, calculada como un porcentaje del total de pasajeros del vuelo. Se observaron distintos patrones para los vuelos, dependiendo si los destinos de los mismos eran internacionales o regionales, turísticos o corporativos. Los mismos se pueden observar en la Figura 6.1. La información para este análisis fue brindada por la aerolínea, y se obtuvo a través de un estudio estadístico realizado dentro de la misma.

¹⁶ BANKS, J., CARSON II, J. S., NELSON, B. L. y NICOL, D. M. *Discrete-Event System Simulation*.

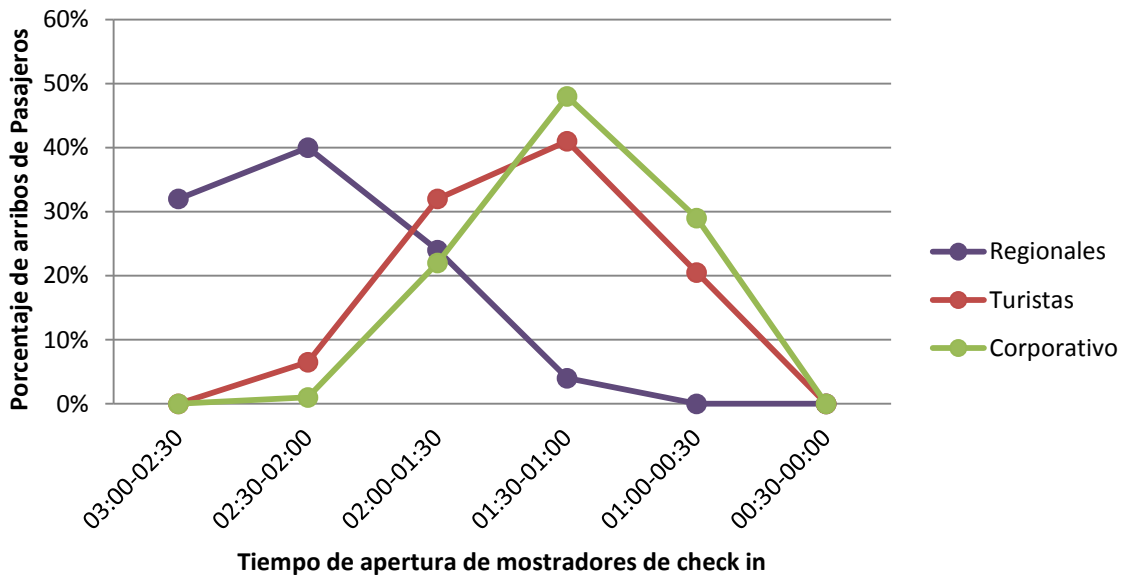


Figura 6.1 Distribución de arribos de pasajeros según tipo de vuelo

En la Figura 6.1, se puede apreciar que para los vuelos regionales los pasajeros suelen llegar al aeropuerto con mayor anticipación. Esto se debe a que éstos deben realizar los trámites migratorios y este proceso les demanda mayor tiempo, por lo que deben acceder al área de embarque antes que los pasajeros domésticos. Además, las aerolíneas constantemente intentan fomentar en sus pasajeros la llegada de forma anticipada para poder así efectuar los trámites previendo las filas que pueden formarse en áreas de seguridad y migraciones.

Por otra parte, los vuelos de destinos turísticos y corporativos son de cabotaje y no deben realizar migraciones. Es por eso que la apertura de los mostradores para el check-in se hace más cercana a la ETD.

Sin embargo, se observa una diferencia importante en su distribución. La misma reside en que existen ciertos destinos en el país con un porcentaje muy elevado de pasajeros cuyo motivo de viaje es el trabajo y tienen características diferentes a los pasajeros que realizan vuelos por placer o turismo.

La principal diferencia es el momento en que llegan al aeropuerto. Los pasajeros corporativos son, en su mayoría, pasajeros que realizan viajes semanal o mensualmente y muchas veces a los mismos destinos, por lo que desean que el tiempo reducir el tiempo en el aeropuerto al máximo. Para ellos el proceso de check-in es un proceso rutinario que quieren realizar lo más rápido posible para poder llegar con el menor tiempo extra posible a la sala de preembarque. Por lo tanto, estos pasajeros en general llegan al aeropuerto más cerca de la hora de cierre de los mostradores.

Por otra parte, los vuelos con destinos principalmente turísticos, son conformados en mayor proporción por pasajeros que realizan viajes de placer. Este tipo de pasajeros suele llega con más tiempo al aeropuerto, ya que prefieren hacer las cosas más relajados y

tener tiempo extra en caso de contingencias (como filas largas en seguridad, por ejemplo).

En el trabajo presentado por Zattoni C.¹⁷, en 2011, propone que se diferencie la tasa de arribo de pasajeros según el momento del día. Esto significa que la distribución en que lleguen los pasajeros va a variar si el vuelo es temprano en la mañana, antes de las 10 AM, si es al mediodía, entre las 10 AM y las 5 PM, y si es a la tarde, después de las 5 PM. Esta segmentación se realiza de esta forma ya que cuenta con la información provista por La Asociación Internacional de Transporte Aéreo (IATA), que además de diferenciar por momento del día, vuelca también las características de los vuelos, es decir, si son Corporativos, Regionales o Internacionales.

Para este trabajo se utilizarán los datos provistos por la aerolínea, ya que representan mejor la población con la que se maneja la empresa y abarca el interés del trabajo.

Por lo tanto, la tasa de arribo va a depender del tipo de vuelo y del tiempo de apertura de los mostradores para realizar el check-in, y va a cambiar cada 5 minutos, que es el intervalo establecido. A modo de ejemplo, dado que los intervalos son de 5 minutos, se toma un intervalo de los vuelos regionales que representa el 5% de los pasajeros totales del mismo y, suponiendo que en el vuelo viajan 100 pasajeros, entonces el cálculo para el lambda (λ) será el que se muestra en la ecuación (6).

$$\lambda(min/pax) = \frac{5min}{100 pax \times 5\%} = 1 min/pax \quad (6)$$

Esto significa que las distribuciones en cada intervalo de cada tipo de vuelo, seguirán una distribución exponencial con un lambda que dependerá de:

- Delta entre el tiempo de despegue (ETD) y el tiempo actual
- Tipo de vuelo
- Cantidad de pasajeros por vuelo.

Otra variable importante a definir es el tiempo total en el sistema. El tiempo que permanece un pasajero en el sistema se compone de dos partes. Por un lado, el tiempo que el pasajero espera en la cola hasta que es atendido, y por otro, el tiempo que el pasajero está siendo atendido en el mostrador hasta que recibe el boleto de abordaje y se retira del mostrador para dar lugar al siguiente pasajero.

Los pasajeros que no realicen despacho de equipaje y no ingresen en la cola, no serán tomados en cuenta para el análisis.

¹⁷ ZATTONI, Clelia. *Analysis of airport check in operation and its reconfigurable design and management*.

6.2 Tiempo de atención en mostrador

A partir de datos relevados en el aeropuerto, se observó que el tiempo de servicio varía de manera significativa si el pasajero ya realizó el check-in a través de la Web o el ATM o si no lo realizó. Por lo tanto, es posible concluir que el tiempo de servicio es una variable que depende del tipo de pasajero, y podrá adoptar dos distribuciones distintas según las características del mismo. No se encontraron en los datos diferencias significativas entre los pasajeros con Web check-in y con check-in a través del ATM, y dado la similitud de los procesamiento en ambos casos, se decidió considerarlos como un caso único.

Para la obtención de los datos, se asistió al aeropuerto en diversas oportunidades, y se obtuvo la siguiente información listada a continuación:

- Tipo de check-in
- Cantidad de pasajeros en el grupo
- Tiempo de atención en mostrador (calculado como la diferencia entre el momento en que los pasajeros se retiran del mismo y el tiempo en el que arriban al *counter*)
- Cantidad de valijas a despachar
- Anotaciones (para contingencias, como exceso de equipaje, equipaje frágil, etc.)

Los tiempos analizados son tiempos por pasajeros, esto quiere decir que si en la muestra se observó que fueron atendidos dos pasajeros a la vez, ya que viajaban juntos, el tiempo fue dividido a la mitad. Esto implica que si fueron atendidos X pasajeros, el tiempo registrado se dividirá por X , obteniendo el tiempo de atención por pasajero.

Por las características del proceso de check-in, se puede estimar que el proceso en su totalidad sigue una distribución Erlang, ya que para realizarlo el personal de la aerolínea debe realizar distintos procesos independientes que siguen una distribución Exponencial. Igualmente los datos obtenidos se ingresaron en el software Input Analyser de Arena, y en el EasyFit de Mathwave, que son programas que ayudan al análisis de datos y permiten estimar si los datos se ajustan a algún tipo de distribución.

6.3 Test Kolmogorov-Smirnov

Para el análisis de los datos obtenidos, hay dos test que se pueden realizar para verificar si las distribuciones obtenidas ajustan a los datos reales. Para el test de Chi-Cuadrado es necesario agrupar los datos en clases, por lo tanto puede suceder que dependiendo como se agrupen los datos, se puede o no rechazar la hipótesis nula. Además algunas veces potencia del test es relativamente baja. Por lo tanto, es necesario otro tipo de test para verificar que los datos se ajustan a las distribuciones, ese test es el de Kolmogorov-Smirnov. Dicho test formaliza la idea que se genera a partir de un gráfico Q-Q, que representa la diferencia entre los datos de la muestra y los datos generados aleatoriamente por la distribución.

La Figura 6.2 representa los resultados obtenidos para el check-in regular (REG), a través de un histograma.

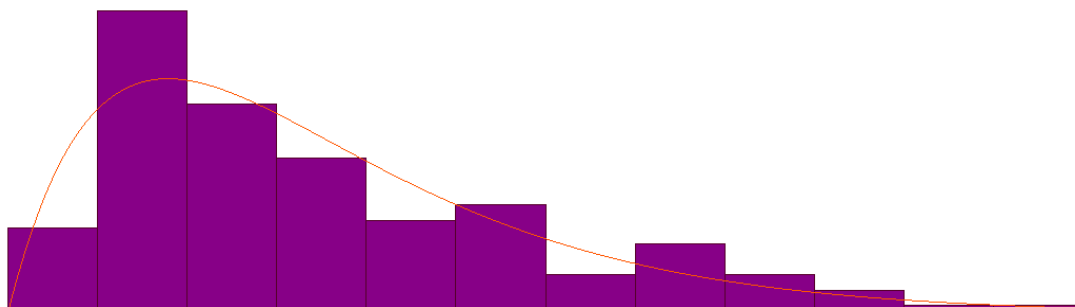


Figura 6.2 Histograma de tiempos de atención para check-in regular

Se realizó el test de Kolmogorov-Smirnov para la hipótesis nula enunciada a continuación y se obtuvieron los resultados que se observan en la Figura 6.3.

H_0) Los tiempos de servicio siguen una distribución Erlang

H_1) Los tiempos de servicio no siguen una distribución Erlang

Erlang [#9]					
Kolmogorov-Smirnov					
Tamaño de la muestra	147				
Estadística	0,06427				
Valor P	0,55628				
Rango	22				
α	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
Valor crítico	0,0885	0,10087	0,11201	0,1252	0,13436
Rechazar?	No	No	No	No	No

Figura 6.3 Resultados obtenidos en EasyFit para tiempos de atención de check-in regular

Como el valor de p-Value es de 0,55, no se puede rechazar la hipótesis nula. Por lo tanto se determina que los tiempos de servicio para los pasajeros regulares siguen una distribución Erlang, con los siguientes parámetros detallados en la Tabla 6.1.

Resumen de Distribución	
Distribución	Erlang
Expresión	ERLA (1,93; 2)
Error Cuadrático	0,008412

Tabla 6.1 Muestra Aleatoria para generación de tiempos de atención de check-in regular

En el gráfico Q-Q de la Figura 6.4 se puede observar de una forma más gráfica como los datos obtenidos en el aeropuerto se aproximan a la distribución propuesta.

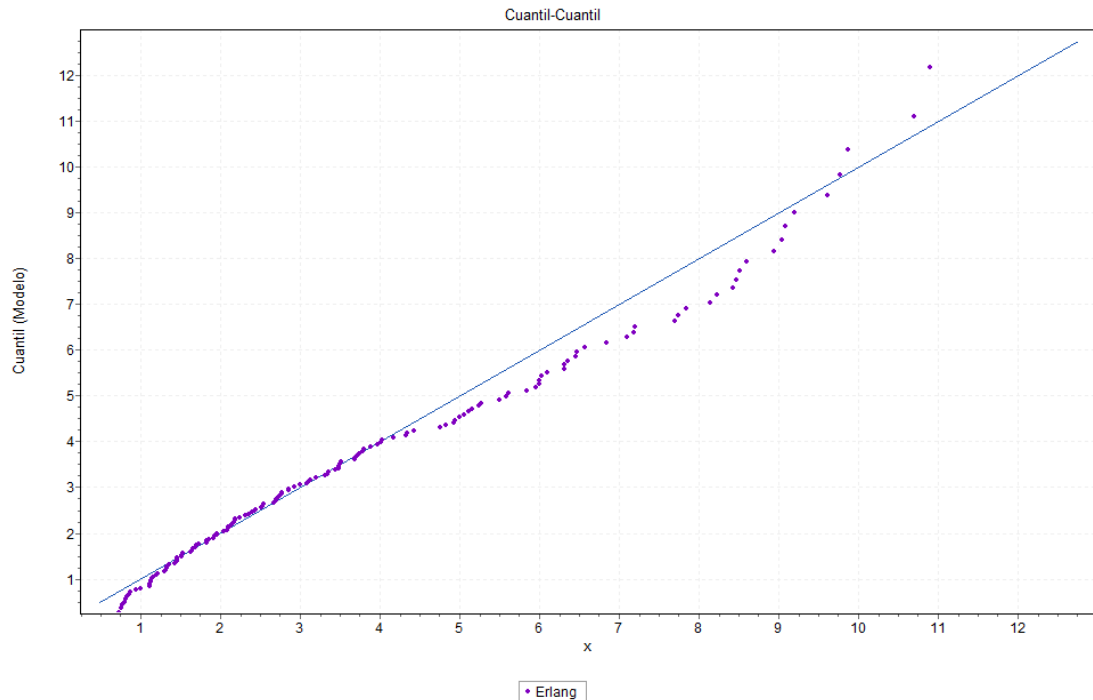


Figura 6.4 Gráfico Q-Q para tiempos de atención de check-in regular

A continuación, se presenta el análisis para los datos de los pasajeros que realizaron el check-in tanto Web como por ATM, que se denominará check-in *bag drop*. Para eso, se representa el histograma de los datos relevados en la Figura 6.5.

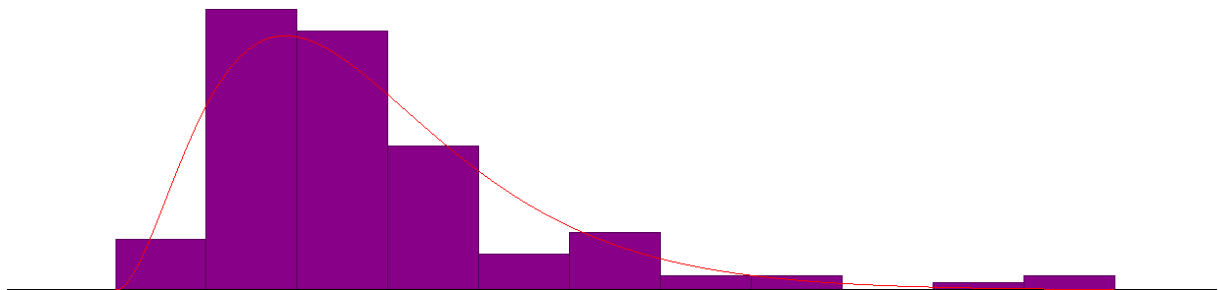


Figura 6.5 Histograma de tiempos de atención para check-in bag drop

Se realizó el test de Kolmogorov-Smirnov con la siguiente hipótesis nula:

H_0) Los tiempos de servicio siguen una distribución Erlang

H_1) Los tiempos de servicio no siguen una distribución Erlang

Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 6.6.

Erlang [#10]					
Kolmogorov-Smirnov					
Tamaño de la muestra	122				
Estadística	0,10138				
Valor P	0,22195				
Rango	28				
α	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
Valor crítico	0,09714	0,11073	0,12295	0,13743	0,14748
Rechazar?	No	No	No	No	No

Figura 6.6 Resultados obtenidos en EasyFit para tiempos de atención de check-in bag drop

Como el valor de p-Value es mayor que 0,15, no puedo rechazar la hipótesis nula. Por lo tanto se determina que los tiempos de servicio para los pasajeros web sigue una distribución Erlang, con los parámetros que se muestran en la Tabla 6.2. Los parámetros de la tabla se encuentran en minutos.

Resumen de Distribución	
Distribución	Erlang
Expresión	ERLA (0,468;3)
Error Cuadrático	0,009550

Tabla 6.2 Muestra Aleatoria para generación de tiempos de atención de check-in bag drop

En la Figura 6.7 se muestra como los datos relevados en el aeropuerto, se aproximan a la distribución propuesta.

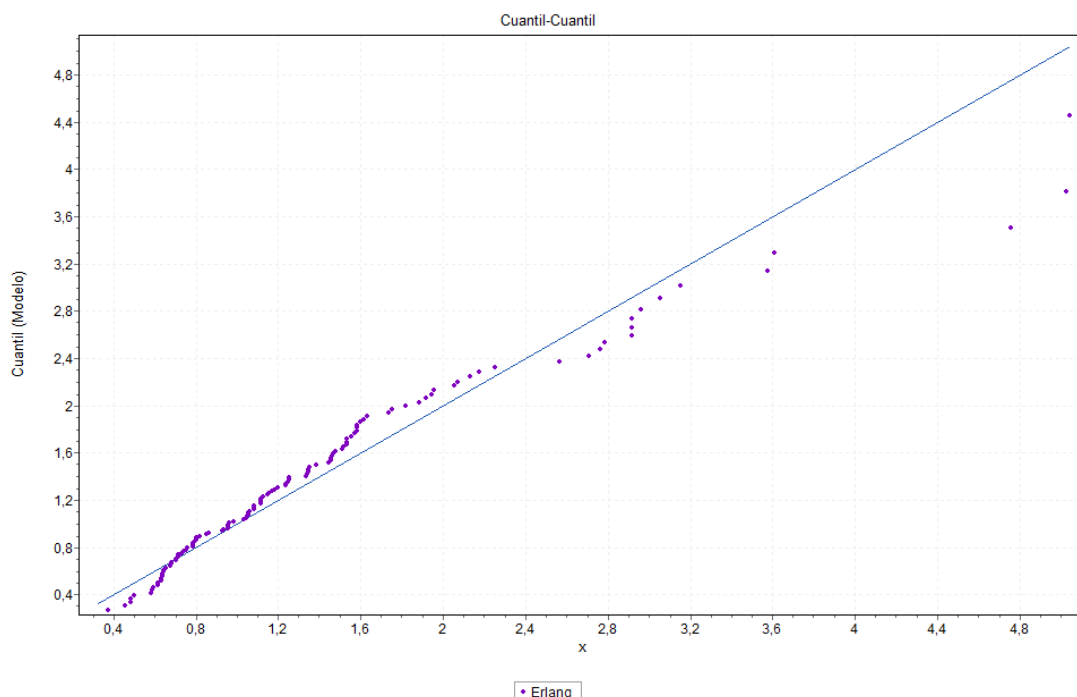


Figura 6.7 Gráfico Q-Q para tiempos de atención de check-in bag drop

6.4 Tipos de pasajeros

Para saber qué porcentaje de cada clase de pasajeros existe en los diferentes tipos de vuelos se recurrió a información provista por la aerolínea. Dicha información se utiliza al momento de generar los pasajeros en el simulador. Cada destino tiene su composición en cuanto al tipo de pasajero, es decir que la constitución en cuanto al porcentaje de pasajeros del tipo Regular, Web o ATM, va a variar dependiendo del destino del vuelo.

Además del tipo de pasajero hay otra característica que se tiene en cuenta, que es si el pasajero no tiene que despachar valija, independientemente de su tipo de check-in. Esta característica la llamaremos *no bag*. El porcentaje de dicha característica fue provisto por la aerolínea y depende del destino, de acuerdo con la tabla del Anexo 2. El porcentaje de pasajeros *no bag* es de un 20% por vuelo, aproximadamente. Esta característica que se le atribuye al pasajero implica que el mismo no entre a la fila del check-in y que no sea tenido en cuenta en el sistema.

Para la validación del modelo se utilizaron los porcentajes correspondientes a los meses que se simularon, para verificar que el simulador refleje la realidad. Dichos meses fueron enero y marzo de 2014. Para los análisis posteriores se utilizará el promedio de los últimos tres meses que se tiene información, es decir julio, agosto y septiembre de 2014, ya que es una muestra más actualizada de los porcentajes de cada tipo de check-in.

En los siguientes gráficos se puede observar cómo fueron variando los porcentajes de cada tipo de pasajero mes a mes. Se muestra a modo de ejemplo un destino de cada uno de los tres tipos que existen, para mostrar la metodología que se siguió para seleccionar los porcentajes que se utilizarán para análisis a futuro. No se muestra el nombre del destino por cuestiones de confidencialidad, que fueron expresamente solicitadas por la aerolínea.

A continuación se puede observar en el gráfico de la Figura 6.8, la evolución del tipo de check-in que realizan los pasajeros para el destino 2, que entra dentro del grupo de destinos turísticos. En el gráfico se puede observar que hubo cambios significativos en la forma de realizar el check-in, debidos a que durante ciertos períodos la aerolínea realiza campañas incentivando el uso del check-in WEB o del ATM y cuando deja de realizarlas los porcentajes de estas metodologías caen, aumentando considerablemente el check-in regular.

Análisis y mejora del tiempo en fila para el check-in en un aeropuerto

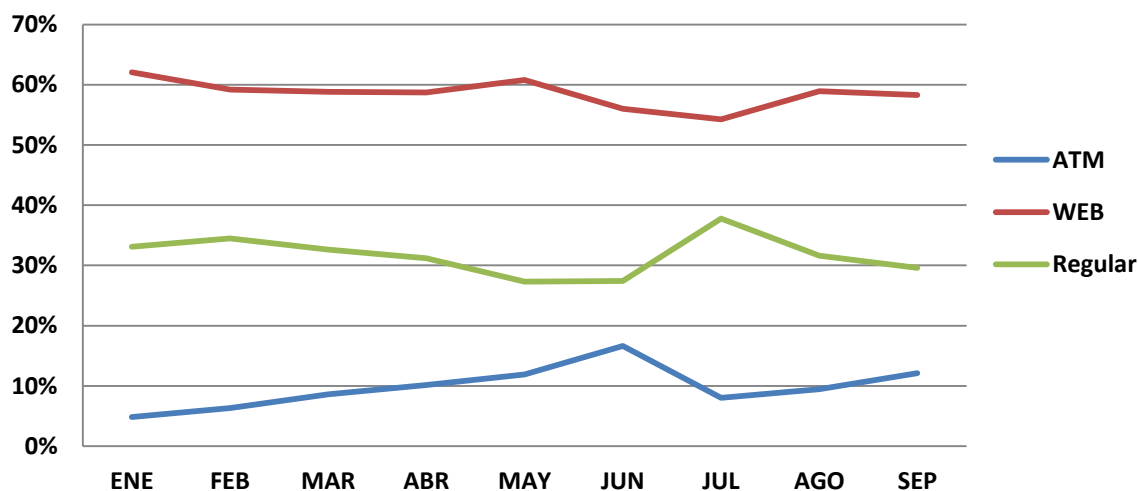


Figura 6.8 Porcentaje de tipo de pasajeros para destino Turístico (destino 2)

En el caso de los vuelos regionales, se observa que la caída en el check-in regular es consecuencia del aumento en el uso del check-in WEB y de los ATM, tal como se lo representa en el gráfico de la Figura 6.9.

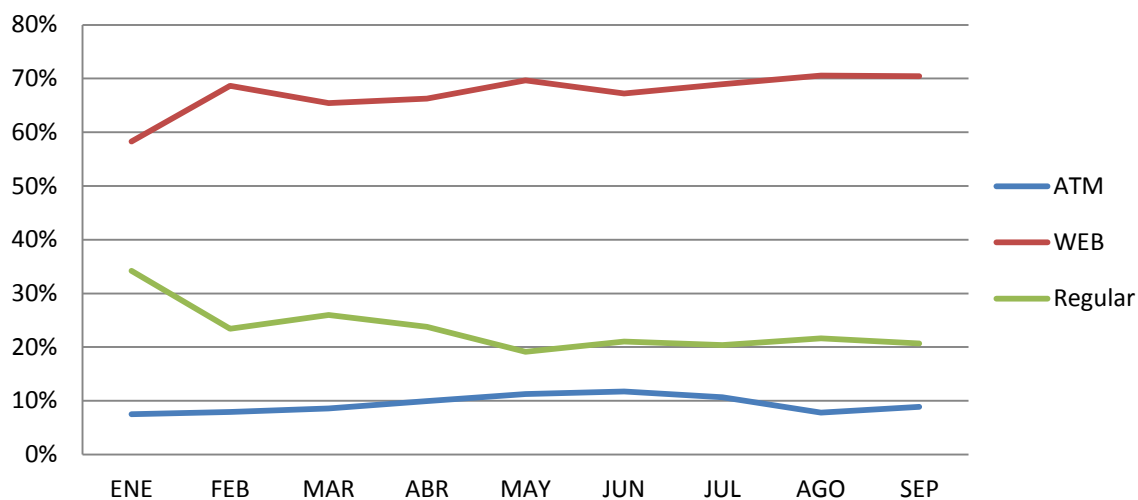


Figura 6.9 Porcentaje de tipo de pasajeros para destino Regional (destino 10)

Para los vuelos corporativos, se advierte en la Figura 6.10 que por el perfil de los pasajeros el porcentaje que realiza el check-in previamente al arribo al Aeropuerto es por lo menos un 10% más alto que en los otros dos tipos de vuelos. Esto se debe a que una gran proporción de los clientes para este tipo de vuelos son pasajeros frecuentes y buscan optimizar su tiempo. Por ese motivo, los valores son más constantes que en los casos anteriores.

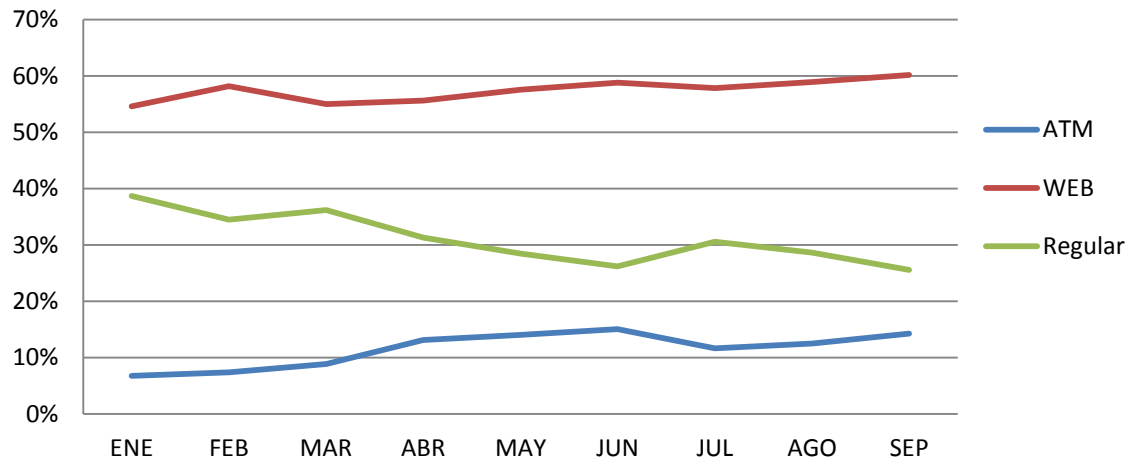


Figura 6.10 Porcentaje de tipo de pasajeros para destino Corporativo (destino 3)

Dado que ésta es la única información con la que se cuenta sobre los tipos de pasajeros, utilizarán distribuciones uniformes discretas, definidas por los porcentajes de cada tipo para cada uno de los destinos.

7 SIMULACIÓN

Para poder llevar a cabo la simulación se analizó la posibilidad de utilizar distintos programas de simulación de eventos discretos, tal como el SIMUL8 y el ARENA. Sin embargo, se tomó la decisión de utilizar el ARENA, ya que el funcionamiento del mismo se conocía más en profundidad, por lo que se hizo más sencillo el desarrollo de un simulador de tal complejidad.

En esta sección se explica la metodología que se utilizó para el desarrollo del simulador en el programa ARENA. Se explica el modelo en profundidad, la lógica del mismo y las distintas variables utilizadas.

La complejidad del simulador realizado se relaciona con los puntos que se enumeran a continuación:

- La independencia de los arribos de distintos vuelos, lo que imposibilitó el desarrollo a través de un único módulo *create*.
- El hecho de que el arribo de los pasajeros de un vuelo depende del tipo de vuelo, la ETD y la cantidad de pasajeros del mismo.
- La variación de la media de la distribución de tiempo entre arribos para cada vuelo a lo largo del día.
- La lógica compleja de las colas, que implica que un grupo de *counters* atiende con preferencia a pasajeros de uno de los corrales, pero en el caso de que en éste no haya cola, atenderá a los pasajeros del otro corral, y viceversa.

Los datos de entrada serán variables aleatorias que seguirán ciertas distribuciones de probabilidad. Esas variables incluyen la cantidad de pasajeros que viajan por vuelo, el momento de llegada de cada pasajero al aeropuerto, el tipo de check-in que realiza cada pasajero y la tasa de servicio en los mostradores.

La variables de control serán la cantidad de mostradores que abren para atender a los pasajeros, la cantidad de corrales que se arman y el criterio de separación de las filas, si es por número de vuelo o por tipo de pasajero.

Los datos de salida serán el tiempo que estuvo el pasajero en el sistema, y la cantidad de pasajeros que entraron al mismo.

7.1 Supuestos

Si bien el simulador intenta representar de la forma más fiel posible el sistema de la realidad, no todos los aspectos de este último pueden ser modelizados. Por lo tanto, para entender el alcance total del modelo es necesario conocer los supuestos sobre los que se basa.

El principal supuesto de este simulador es que los pasajeros arriban de a uno. En la realidad, se observó que en general los pasajeros llegan al área de check-in en grupos. Dado que no se contaba con información suficiente para realizar un estudio estadístico de la cantidad de personas en cada grupo y del tiempo de check-in según cantidad de tamaño de grupo, se optó por simplificar la simulación asumiendo que los pasajeros llegan al sistema individualmente.

Para evaluar si este tipo de suposición genera una distorsión grande de resultados, se evaluó si existe un análisis de correlación entre la cantidad de pasajeros por grupo y el tiempo de atención por pasajero en el proceso del check-in, calculado según la ecuación (7).

$$\text{tiempo por pax} = \frac{\text{tiempo por grupo}}{\text{cantidad de pax en el grupo}} \quad (8)$$

Dando como resultado del análisis un coeficiente de determinación ajustado (R^2 ajustado) de 0,0442 para los pasajeros que realizan web check-in o utilizan el ATM y un coeficiente de determinación de 0,00843 para los pasajeros regulares.

Debido que el coeficiente de correlación es bajo, no se observa dependencia entre las variables por lo que se arriba a la conclusión de que este supuesto no genera un error importante en términos de los tiempos de atención.

A su vez, el simulador supone que todos los pasajeros interactúan con el Lobby recepción antes de entrar a los corrales, quien les indica qué fila deben seguir. Esto tiene como consecuencia, por ejemplo, que todos los pasajeros se ubiquen en la cola que les corresponde. En la realidad, existe la posibilidad de que, por falta de ayuda por parte del Lobby, los pasajeros se equivoquen de corral. No obstante, este simulador no contempla esa posibilidad.

Otro de los principales supuestos del modelo es que ningún pasajero *no bag* entra al sistema. Aquellos pasajeros que no tienen equipaje para despachar son enviados directamente a la sala de embarque o, en caso de que no posean tarjeta de embarque, al ATM. Sin embargo, en el aeropuerto se observó que algunas veces los pasajeros *no bag* realizan el check-in de forma regular por desconocimiento o para evitar los ATM.

Por otro lado, el modelo planteado no diferencia a los pasajeros *business* de los de clase económica, a pesar de que en la realidad los primeros cuentan con una fila aparte y tienen prioridad de atención.

Se considera que no llegan pasajeros fuera de la ventana de atención del vuelo correspondiente, si bien esto ocurre en la realidad. En estos casos, el lobby recepción adelanta a estos pasajeros, para evitar así que pierdan su vuelo o que atrasen la salida del mismo.

Tampoco se toman en cuenta los efectos de las contingencias, como el atraso de vuelos, que suele generar problemas en el check-in. Esto implicaría el análisis de factores que se encuentran por fuera del sistema de estudio y por ende, exceden este trabajo.

Asimismo, se estableció que la distribución de las llegadas de pasajeros dependerán únicamente del tipo de vuelo, y no se otros factores como el horario del mismo. Esto se profundizó en la Sección 6: Modelo de datos.

Finalmente, los tiempos de atención tanto de los pasajeros internacionales como de los de cabotaje se generarán a partir de la misma muestra aleatoria, por lo que el tiempo de atención en mostrador será independiente de esta característica del pasajero. Este tiempo tampoco dependerá de la cantidad de valijas que despacha el mismo, si bien en la realidad se presupone que a mayor cantidad de equipaje, el tiempo de check-in aumenta.

7.1 Submodelo 1: Lectura de Archivos

El primer paso para el desarrollo de la simulación consiste en cargar la información del itinerario que se desea evaluar. La longitud de la cola depende de forma directa del itinerario de vuelos, ya que se considera que el principal causante de la formación de las colas es la simultaneidad del proceso de check-in de los mismos.

Para ello, en primer lugar se desarrolló un archivo de Excel que consiste en una tabla con la información validada. Un ejemplo de la misma se puede observar en la Tabla 7.1.¹⁸

VUELO	DESTINO	TIPO DE VUELO	ETD	PASAJEROS
1	1	3	300	10
2	1	3	360	20
3	2	2	420	30
4	13	1	480	40
5	4	3	540	50

Tabla 7.1 Archivo de Excel

La información necesaria para llevar a cabo la simulación se enumera a continuación. El contenido de la columna “Vuelo” es lo único que no será leído por el software del Arena.

1. Vuelo: Este campo se utiliza únicamente para mantener un orden dentro de la tabla.
2. Destino: Este campo indica el destino del vuelo, con números que van del 1 al 14.
3. Tipo de vuelo: De acuerdo con el destino del mismo, se determina mediante un número si el vuelo es turístico, corporativo o regional, según se muestra en la Tabla 7.2.

¹⁸Los números colocados en la Tabla 7.1 no corresponden a datos reales. Se muestran únicamente con el objetivo de explicar el modelo.

TIPO DE DESTINO	NÚMERO
Regional	1
Turístico	2
Corporativo	3

Tabla 7.2 Tipo de destino y número correspondiente

4. ETD: Como ya se mencionó previamente, la ETD (*estimated time of departure*) es el horario estimado de partida del vuelo. En este caso, el horario se escribe en minutos, ya que el modelo del Arena tiene asignado a los minutos como *base time units*, es decir, como unidad de base y será necesario realizar ciertos cálculos con estos valores, como se explicará a continuación.

5. Pasajeros: Este número representa la cantidad aproximada de pasajeros en el vuelo. En general, es posible estimar el número de pasajeros a partir del factor ocupacional estimado para cada época del año (dependiendo si es una fecha de temporada alta o de baja). En el caso de que se realicen los análisis antes de la fecha a simular, es posible utilizar los *bookings* o reservas que se encuentran en los vuelos.

Para poder importar la información del archivo Excel, se desarrolló un primer submodelo que se denominó “Lectura de Archivos”. El mismo se puede observar en la Figura 7.1.

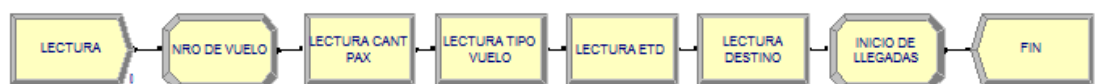


Figura 7.1 Submodelo "Lectura de Archivos"

En este submodelo se generan 40 entidades denominadas “INFOVUELOS”. Estas entidades se generan con un tiempo entre arribos constante de un segundo. Cada vez que una de ellas pasa por el módulo “NRO DE VUELO”, se modifica el valor de la variable *NRO*, que representa el número de vuelo. Éste se utilizará para determinar la fila en donde se guardará la información leída a partir del Excel.

El submodelo consta de cuatro módulos *ReadWrite*, que se utilizan para acceder a la información que se encuentra en el archivo Excel. Toda la información se obtendrá del archivo y será posteriormente guardada en distintas variables vectoriales. La Tabla 7.3 muestra el nombre de las variables con su correspondiente campo en el Excel.

Variable del modelo	Campo en Archivo Excel
destvuelo	DESTINO
tipovuelo	TIPO DE VUELO
ETD	STD
cantpax	PASAJEROS

Tabla 7.3 Variables del modelo y su correspondiente campo en el Archivo de Excel

Por otra parte, en la Figura 7.2 se muestra un ejemplo de la información ingresada en uno de los módulos *ReadWrite*. Para poder realizar este paso, es necesario ingresar el archivo de Excel como un *File* dentro del simulador, en este caso bajo el nombre “INFO VUELOS”, y también ingresar los rangos, asignándole a los mismos un *Recordset ID*, que para el caso que se observa en la Figura 7.2 se denominó *CANTIDADPAX*.

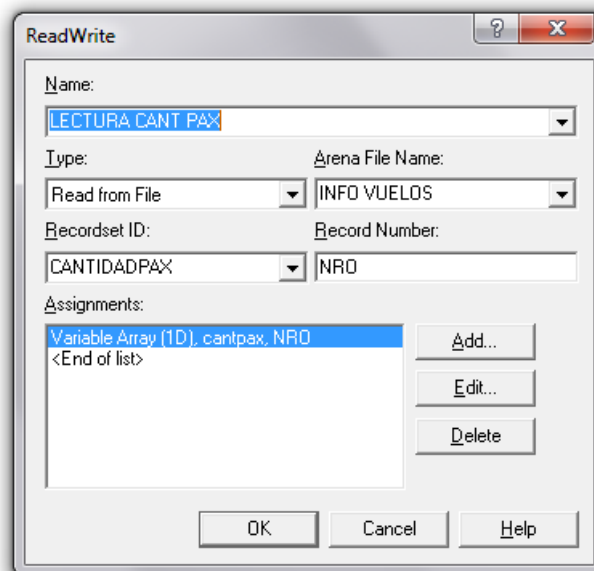


Figura 7.2 Módulo "LECTURA CANT PAX"

Finalmente, en el módulo “INICIO DE LLEGADAS” se calculan los tiempos de apertura y cierre de *counters* para cada vuelo, que se guardarán en variables vectoriales denominadas *iniciollegadas* y *findellegadas*, respectivamente. Para ello, se utiliza una variable matricial denominada *aperturacounters*, a la que se accede considerando el tipo de vuelo (*tipovuelo*) de cada entidad, de acuerdo con las ecuaciones (9) y (10).

$$iniciollegadas(i) = ETD(NRO) - aperturacounters(TIPOVUELO(NRO), 1) \quad (9)$$

$$findellegadas(i) = ETD(NRO) - aperturacounters(TIPOVUELO(NRO), 2) \quad (10)$$

La variable *aperturacounters* posee la información del tiempo entre la llegada del primer pasajero a los *counters* y la ETD y el tiempo entre el cierre del vuelo y la ETD, ubicados respectivamente en las columnas 1 y 2 de la variable. Dado que el perfil de llegadas varía de acuerdo con el tipo de vuelo, el número de fila identifica a qué tipo de vuelo

corresponde cada valor, de acuerdo con los números colocados en la Tabla 7.2. En la Tabla 7.4 se muestran los valores utilizados.

Tipo de Vuelo	Primer PAX	Cierre
1	180	60
2	140	30
3	125	30

Tabla 7.4 Valores de la variable *apertura* counters

A su vez, en este submodelo se incluyó también la secuencia de módulos ilustrada en la Figura 7.3. La misma permite, a través de dos módulos *ReadWrite*, almacenar la cantidad de entidades en las colas de estudio cada 5 minutos para poder realizar análisis posteriores. Estas colas, llamadas “Corral 1” y “Corral 2”, se explican en detalle en la Sección 7.4: Zona de mostradores.

La secuencia comienza con un módulo *create* denominado “LONG COLA”. Éste genera entidades con un tiempo entre arribos constante de 5 minutos. Estas entidades pasan por los módulos *ReadWrite* “COLA1” y “COLA2”, recopilando la información en archivos de extensión .txt. Al igual que en el caso anterior, es necesario ingresar los archivos en la sección denominada *file*.

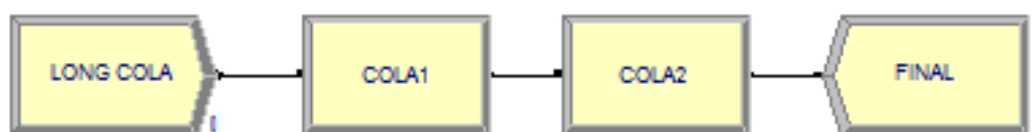


Figura 7.3 Secuencia para el almacenaje de la longitud de colas

7.2 Submodelo 2: Tasas de Arribo de PAX

Tal como se explicó en la Sección 6: Modelo de datos, para una correcta representación de la realidad es necesario que la tasa de arribos de pasajeros varíe para cada vuelo de acuerdo con tres parámetros:

- El tiempo hasta la ETD.
- El tipo de vuelo.
- La cantidad de pasajeros aproximada del vuelo.

El submodelo 2 se utiliza con el fin de modificar la tasa de arribos de los pasajeros de los vuelos cada 5 minutos, correspondiéndose con lo analizado previamente. Para ello, se planteó el modelo que se muestra en la Figura 7.4, donde se muestra sólo una parte del mismo con el fin de explicar su funcionamiento. Además de los módulos que se observan en la imagen de la Figura 7.4, existen en este submodelo más módulos *create* y *assign*, correspondientes a los vuelos del 7 al 40.

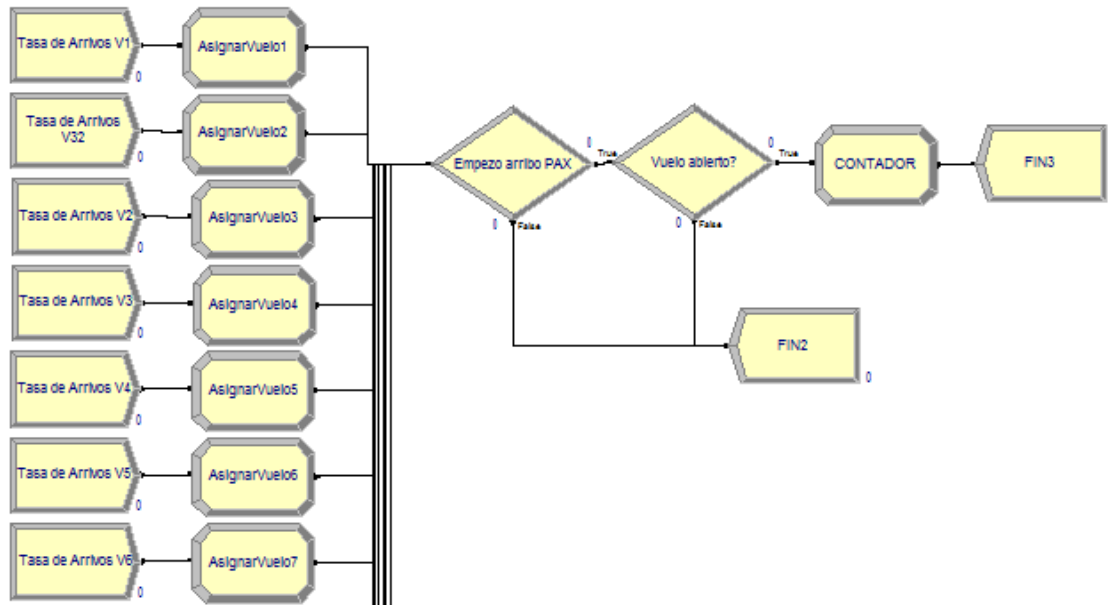


Figura 7.4 Submodelo "Tasas de Arribos de PAX"

Cada módulo *create* genera una entidad, llamada AUX2, con un tiempo entre arribos fijo de 5 minutos, ya que éste es el intervalo durante el cual se considera constante la tasa de llegadas del pasajero. Los módulos *assign* se utilizan para asignarle a las entidades el número de vuelo correspondiente.

Debido a que las tasas de arribos cambian únicamente durante la ventana de apertura de los *counters*, se utilizan dos módulos *decide* que eliminan aquellas entidades generadas en momentos que quedan fuera de la ventana. Esto se realizó en dos módulos distintos para tener un mayor control visual del funcionamiento de la simulación.

En el módulo "Empezó arribo PAX" se analiza si el tiempo en que se genera la entidad, que es el mismo que el tiempo en que pasa por el módulo en cuestión, es mayor que la variable *iniciollegadas* para ese vuelo. Por otro lado, en "Vuelo abierto?" se evalúa que ese tiempo sea menor que la variable *findellegadas* para el vuelo correspondiente.

En el caso de que se cumplan ambas propiedades, la entidad pasa al *assign* denominado "CONTADOR". El contador afecta una nueva variable vectorial denominada *contadorv*. Cada vez que una entidad pasa por este módulo, se le suma un 1 al valor en la fila correspondiente al vuelo de la misma. Por lo tanto, esta variable representa en qué bloque de 5 minutos desde la llegada del primer pasajero se encuentra la simulación para evaluar posteriormente cuál es el valor congruente para la tasa de llegadas de pasajeros.

7.3 Submodelo 3: Llegada de PAX

Este submodelo se utiliza para generar las llegadas de los pasajeros, representados por entidades llamadas *PAX*, y para contar el número de pasajeros generados para cada vuelo. Para ello se emplea un módulo *create* para cada vuelo, seguido de uno llamado "Asignar Vuelo", que se utiliza para asignarle a las entidades generadas (*PAX*) el número

de vuelo en un atributo llamado *Vuelo* (que toma valores del 1 al 40) y el destino del mismo, en el atributo *destino* (con valores del 1 al 14).

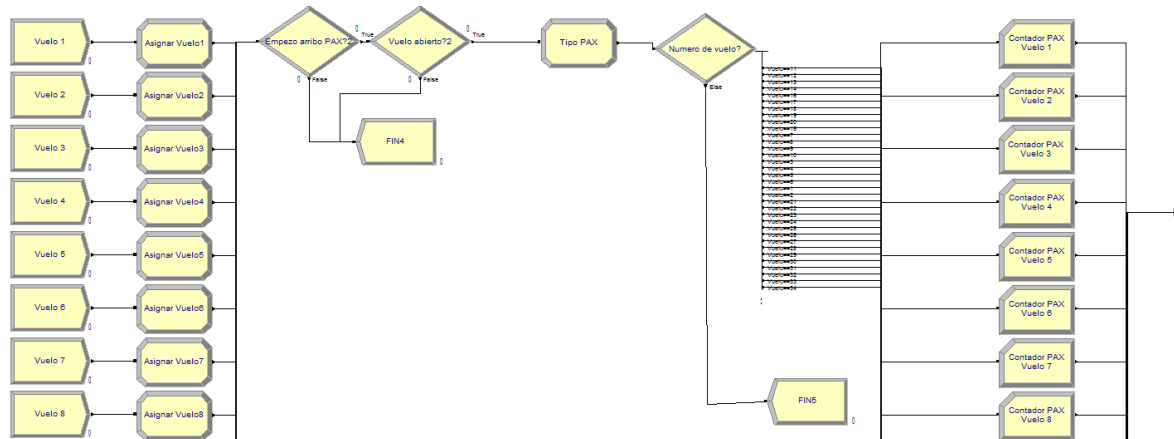


Figura 7.5 Submodelo "Llegada de pasajeros"

Debido a que no es posible designar el inicio de la generación de entidades a partir de la lectura de información, ya que la misma se realiza durante la misma simulación, fue necesario utilizar otro método para delimitar la llegada de pasajeros al tiempo de apertura de *counters* o a la ventana de atención en mostradores. Para ello se utilizaron nuevamente dos módulos decide, que comparan el tiempo de generación de la entidad (la variable *tnow*) con las variables *iniciollegadas* y *findellegadas* para cada vuelo. Aquellas entidades generadas en un momento que se encuentra entre estas dos variables seguirán su camino a lo largo del modelo, y las otras serán eliminadas en el módulo "FIN4".

Es importante resaltar que esto condice con la suposición del modelo de que los pasajeros llegan durante la apertura de los *counters*. Es decir, que no se considera la posibilidad de que un pasajero llegue, por ejemplo, después del cierre de vuelo, si bien en la realidad puede suceder.

En los módulos *create* se generan entidades con un tiempo entre arribos regido por una exponencial con una media que, como ya se explicó, cambia cada cinco minutos. Por lo tanto, se decidió utilizar una expresión vectorial llamada *tasadellegadas* para definir la media. De esta forma, el valor de la expresión se modificará de forma automática al cambiar uno de los valores de los que depende y consecuentemente cambiará la media. La fórmula de esta expresión se representa en la ecuación (11), donde la *i* representa el número de vuelo.

$$tasadellegadas(i) = \frac{sch[contadorv(i), tipovuelo(i)]}{cantpax(i)} \quad (11)$$

Como ya se mencionó, la *tasadellegadas* representa la media de la distribución exponencial que determina el tiempo entre arribos de los pasajeros de cada vuelo. Por lo tanto, fue necesario disponer de una variable que dependa del tiempo que falta hasta el

momento de la partida del vuelo (ETD). Para ello, se introdujo la variable matricial *sch*. La tabla adjunta en el Anexo 3 muestra los valores que toma la variable.

La columna está definida por el tipo de vuelo y la fila por el valor de la variable *contadorv* para ese vuelo, que es la manera a través de la cual se le indica a la expresión el tiempo que falta hasta la ETD. Se puede observar que cerca del cierre del vuelo (en las últimas filas de la variable), se le dio un valor alto (1×10^{14}) para aumentar el tiempo entre arribos y así reducir la generación de entidades al mínimo, si bien las mismas serán eliminadas, como se explicará a continuación.

Cabe destacar que las entidades que fueron dirigidas hacia el módulo *dispose* al pasar por los módulos *decide* recién explicados no son representaciones de los pasajeros de los vuelos, sino que se utilizan para simplificar la codificación del simulador.

Sólo aquellas entidades que satisfacen las condiciones para pasar a través de los módulos *decide* mencionados anteriormente representan a los pasajeros de cada uno de los vuelos. A éstas se hace referencia de aquí cuando se habla de *PAX*.

Posteriormente, los *PAX* ingresan a un módulo denominado “Tipo *PAX*”, donde se generan dos nuevos atributos.

En primer lugar, se asigna un valor al atributo *NOBAG*. Éste se utiliza para distinguir los pasajeros que no despachan valijas, que tendrán un valor en este atributo igual a 1, de los que sí lo hacen (*NOBAG* = 2).

Por otro lado, se le asigna a cada pasajero un valor a la variable *TIPOPAX*. Esta variable indica qué tipo de check-in realiza el pasajero. La Tabla 7.5 muestra los distintos valores que este atributo toma y su correspondiente método de check-in.

TIPOPAX	TIPO DE CHECK-IN
1	ATM
2	WEB
3	REG

Tabla 7.5 Valor de la variable *TIPOPAX* según tipo de check-in

Ambos atributos se generan a través de distribuciones discretas, que fueron explicadas en la Sección 6: Modelo de datos.

Luego, los *PAX* pasan por el módulo “Número de Vuelo?”, que separa a las entidades de acuerdo al valor del atributo *Vuelo*. Así, los *PAX* pasan por un módulo *Record*, que cuenta la cantidad de pasajeros por vuelo en un contador cuyo nombre sigue el formato *PAXVUELO1*, siendo 1 el número del vuelo. Estos contadores se utilizarán posteriormente para validar la cantidad de pasajeros generados por vuelo.

A diferencia de los otros dos submodelos explicados previamente, éste posee una salida que comunica a los *PAX* con la “Zona de mostradores”.

7.4 Zona de mostradores

La “Zona de mostradores” es donde se representa al sistema real. En esta sección del simulador se encuentran los corrales y los *counters*, y es donde se forma la cola que se estudia en este trabajo.

El diagrama de este fragmento del simulador se subdividió en dos figuras con el objetivo de simplificar la explicación del mismo. Los números 1 y 2 que se observan tanto en la Figura 7.6 como en la Figura 7.7 representan los puntos de unión de las mismas. A su vez, con el objetivo de representar la continuidad entre las dos imágenes, se repitieron en ellas los módulos “Entrada Corral 1” y “Entrada Corral 2”. En el Anexo 6 se muestra la imagen completa del mismo.

Como ya se mencionó, esta parte del simulador se encuentra conectada al submodelo de “Llegada de pasajeros”. En la Figura 7.6, se observa que los pasajeros que entran a esta sección del simulador son los *PAX* que en el submodelo “Llegada de pasajeros” fueron dirigidos hacia el punto de salida del mismo. Como ya se mencionó, las entidades que salen de este submodelo son las únicas que representan a los pasajeros de los vuelos.

Debido a la complejidad de este bloque del simulador, se subdividirá la explicación según los principales procesos del mismo.

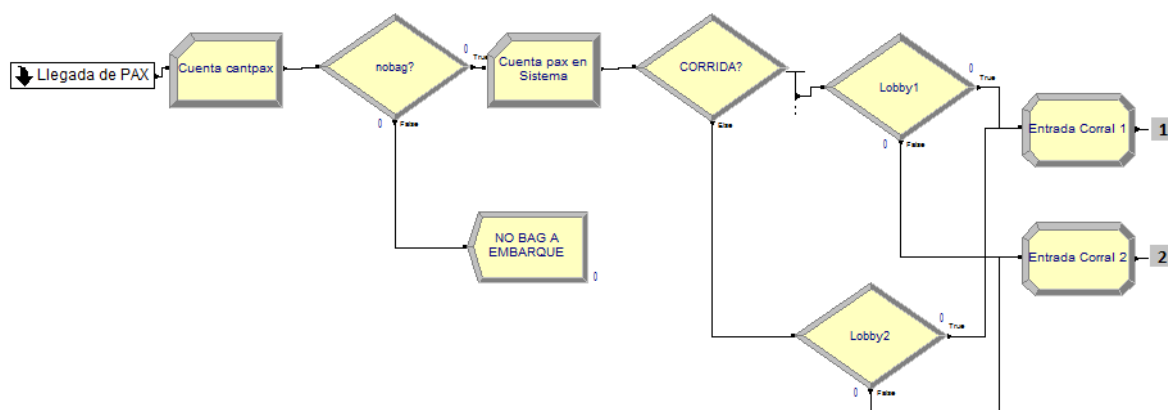


Figura 7.6 Zona de mostradores (Parte 1)

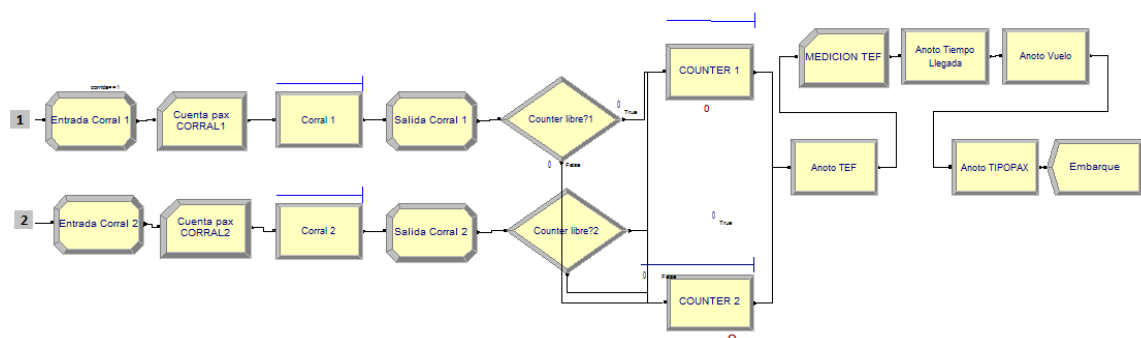


Figura 7.7 Zona de mostradores (Parte 2)

7.4.1 Separación de pasajeros *no bag*

Todas las entidades *PAX* que salen del subsistema “Llegada de pasajeros” ingresarán al módulo “no bag?”, un módulo *decide* que separa aquellos pasajeros que no poseen equipaje para despachar de aquellos que ingresan dentro del sistema de estudio. De esta forma, sólo los *PAX* cuyo atributo *NOBAG* es igual a 1 continúan en el sistema.

Esto se realiza de acuerdo con uno de los supuestos que se plantearon en la Sección 7.1: Supuestos, donde se explica que se considerará que los pasajeros *no bag* no ingresan bajo ninguna circunstancia a la cola de estudio. Por lo tanto, aquellos que tienen un valor *NOBAG* de 2 son enviados a un módulo *dispose*, que representa la zona de preembarque del aeropuerto.

Por otro lado, en la Figura 7.6 se observa que los *PAX* que salen del Submodelo “Llegada de PAX” entran en un módulo *record* denominado “Cuenta cantpax”. El mismo se utiliza con el objetivo de contar la cantidad de pasajeros totales generados por el simulador y almacenar esta información en la variable *CANTPAXtotal*, de manera que se pueda llevar un mayor control de los resultados.

Con este mismo objetivo, se utiliza otro módulo *record* llamado “Cuenta pax en sistema”, a través del cual se almacena la cantidad de pasajeros que ingresan al sistema de estudio (aquellos que sí poseen equipaje) en un contador denominado *CANTPAXsistema*.

7.4.2 Criterio de organización de colas

Dentro de los escenarios evaluados existen dos lógicas de organización de filas diferentes. En algunos casos, se dividen los pasajeros en corrales según su número de vuelo y en otros, según el tipo de check-in que realizan.

Con el objetivo de simplificar el proceso de experimentación, se decidió colocar ambos escenarios en un mismo simulador, de forma que la metodología para el orden de las filas dependa de una variable que se denominó *corrida*. Los posibles valores de la misma y su significado se observan en la Tabla 7.6.

Valor de <i>corrida</i>	Criterio de organización de colas
1	Según número de vuelo
2	Según tipo de check-in

Tabla 7.6 Valores de variable *corrida* según criterio de organización de colas

De esta forma, el módulo “CORRIDA?” se utiliza para dirigir a las entidades al módulo que corresponda según el valor de la variable *corrida*. En el caso de que *corrida* sea igual a 1, todas las entidades se dirigen al “Lobby1”, que se encargará de separar las entidades según el valor del atributo *Vuelo*. Si éste es un número impar, se enviará al módulo “Entrada Corral 1”, mientras que las entidades con valor par para el atributo *Vuelo* se dirigen hacia “Entrada Corral 2”.

Por otro lado, los *PAX* serán enviados al “Lobby2” en el caso de que la variable *corrida* valga 2. En este módulo se subdividirán las entidades de acuerdo con el valor del atributo *TIPOPAX*. Si entra una entidad con un atributo *TIPOPAX* de valor 3, el módulo *decide* lo envía a “Entrada Corral 1”, mientras que si el valor del mismo es 1 o 2, se destinará a “Entrada Corral 2”. De esta forma, el Corral 1 representaría el corral para pasajeros regulares, mientras que el Corral 2 representará el corral de pasajeros *bag drop*.

7.4.3 Manejo de corrales

A continuación, se explica la lógica que se utilizó para codificar la priorización de atención de los *counters*. Si bien todos los *counters* pueden atender a todos los pasajeros, cada uno de ellos prioriza a una de las filas. Por lo tanto, si hay gente en ambos corrales, el *counter* que se libere atenderá al primer pasajero del corral que se prioriza en ese mostrador.

Para ello, se utilizaron dos módulos *hold* para representar los corrales, denominador “Corral 1” y “Corral 2”. Tal como se observa en la Figura 7.8, que muestra la codificación para el módulo “Corral 1”, se utilizará un *hold* del tipo *Scan for Condition*. Esto significa que cuando se cumple la condición especificada, se libera automáticamente una entidad de la fila.

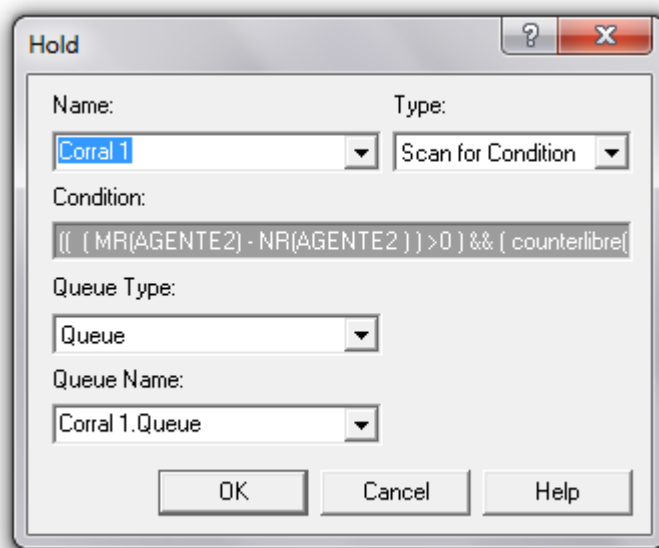


Figura 7.8 Módulo “Corral 1”

Con el objetivo de llevar un control de la cantidad de entidades en cada Corral, se utilizan dos módulos *assign* que modifican la variable vectorial *cantidadencola(i)*, donde *i* representa el número de corral.

Antes de ingresar al “Corral 1”, las entidades pasan por el módulo “Entrada Corral 1” y modifican el valor de la variable *cantidadencola(1)* según la ecuación (12).

$$cantidadencola(1) = cantidadencola(1) + 1 \quad (12)$$

Luego, cuando se libera una entidad, atraviesa por “Salida Corral 1”, donde se modifica el valor de la misma variable según la ecuación (13).

$$cantidadencola(1) = cantidadencola(1) - 1 \quad (13)$$

Además, en este módulo se le asigna otro atributo a las entidades, denominado *TFILA*, determinado como la diferencia entre el momento que el *PAX* sale de la fila y el momento en el que se creó la entidad en el sistema, tal como se observa en la ecuación (14). Ésta es la función objetivo del simulador y el valor que se evaluará.

$$TFILA = TNOW - Entity.CreateTime \quad (14)$$

Existen dos condiciones para la apertura del *hold* “Corral 1”, detalladas en las ecuaciones (15) y (16). Para la codificación de la condición, se colocan ambas ecuaciones unidas por un “o”, que en el ARENA se representa con el símbolo “|”, de forma que cuando cualquiera de estas dos condiciones se cumple, se libera un *PAX*.¹⁹

$$\left((MR(AGENTE2) - NR(AGENTE2)) > 0 \right) \&\&(cantidadencola(2) = 0) \quad (15)$$

$$\left((MR(AGENTE1) - NR(AGENTE1)) > 0 \right) \quad (16)$$

Es importante mencionar que *AGENTE1* y *AGENTE2* representan los counters que priorizan, respectivamente, al corral 1 y 2. Dentro del ARENA, son representados como *resources* y su codificación se explica con mayor detalle en el apartado 7.4.4: Proceso en *counters*.

La variable *MR(AGENTE1)* representa la cantidad de recursos totales del tipo *AGENTE1* asignadas para el momento del simulador, mientras que *NR(AGENTE1)* representa la cantidad de recursos que se encuentran ocupados. Por lo tanto, la diferencia de los mismos representa la cantidad de recursos ociosos.

La ecuación (15) representa el caso en el que existe un *counter* libre, pero del grupo que prioriza a los pasajeros del Corral 2. Por lo tanto, para que en esa condición se libere un *PAX* del Corral 1, es necesario que no haya ninguna entidad esperando en el Corral 2. Para eso, se chequea que la variable *cantidadencola(2)* sea igual a cero.

En el caso de que exista un *counter* libre de los que priorizan la fila del Corral 1, no se chequea otra información y se libera directamente una entidad. Este caso está representado por la ecuación (16).

A su vez, existen dos módulos *record* que permiten llevar un registro de la cantidad de pasajeros que entran en cada fila. Se los puede observar en la Figura 7.7, donde se los denomina “Cantidad pax CORRAL 1” y “Cantidad pax CORRAL 2”. La información se almacena en contadores denominados *CANTPAXcorral1* y *CANTPAXcorral2*.

¹⁹ Para el caso del *hold* “Corral 2”, se utilizan las mismas ecuaciones, modificando los números de las variables *cantidaddecorridas* y de los recursos *AGENTE*.

7.4.4 Proceso en *counters*

Como ya se explicó, es posible dividir a los *counters* de acuerdo con el corral que priorizan. Con este criterio, se generaron dos módulos *process* donde se lleva a cabo el proceso de check-in en mostrador propiamente dicho: “COUNTER 1” y “COUNTER 2”. El primero prioriza las entidades del “Corral1”, y el segundo, las del “Corral2”

Sin embargo, como ya se explicó, es posible que entidades del “Corral1” sean atendidas en el “COUNTER 2”, en el caso de que se den las condiciones explicadas en la sección anterior. Es por eso que es necesario la existencia de un módulo *decide* a la salida de cada corral, con el objetivo de dirigir las entidades hacia el “COUNTER 1” o el “COUNTER 2”, según corresponda. Estos módulos se denominaron “Counter libre?1” y “Counter libre?2”, dependiendo del corral que los precede.

Como se observa en la Figura 7.9 Módulo “Counter libre?1” Figura 7.9, para el caso de “Counter libre?1”, se tomará la ecuación (16) para dirigir a las entidades hacia “COUNTER 1”. En el caso de que la misma no se cumpla, la entidad pasó el *hold* “Corral1” porque se cumplió la ecuación (15). Por lo tanto, la misma debe dirigirse hacia “COUNTER 2”.

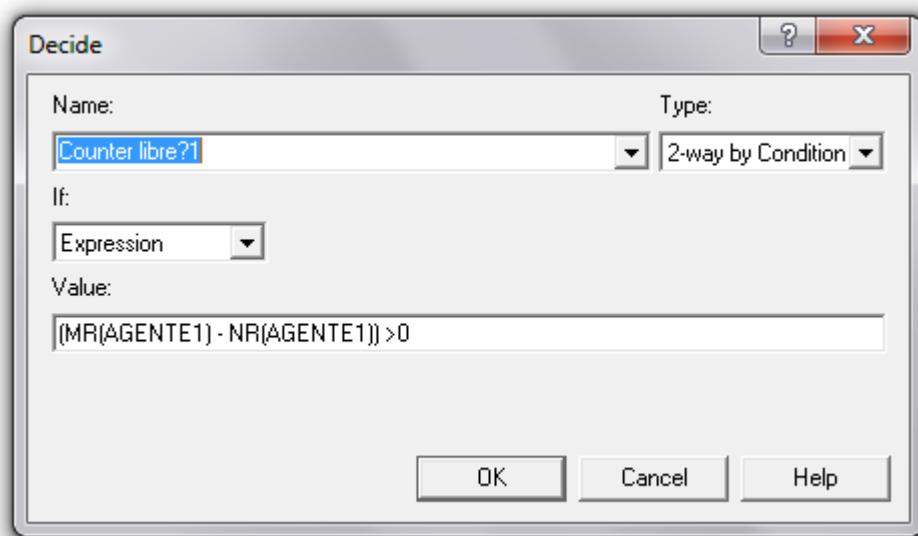


Figura 7.9 Módulo “Counter libre?1”

A continuación, se explica el funcionamiento de los módulos “COUNTER 1” y “COUNTER 2”. Cada uno de ellos utiliza un recurso diferente, que es el que determina la cantidad de cada tipo de *counters* disponibles. Estos recursos se denominan *AGENTE1* y *AGENTE2* respectivamente.

La disponibilidad de los mismos depende de dos *schedule*, uno para cada recurso. Estos *schedule* están determinados por la variación de cantidad de recursos disponibles a lo largo del día, de acuerdo con la cantidad de agentes y *counters* que se explicó en la Sección 5.6: Cantidad de *counters* y de agentes.

En la Figura 7.10 se muestra una imagen de la codificación del módulo “COUNTER 1”, a modo representativo. En la misma, es posible observar que la acción de este módulo

process se determinó del tipo *Seize Delay Release*. De esta forma, las entidades toman uno de los recursos, lo utilizan un tiempo determinado por la expresión que se observa más abajo y lo liberan para que pueda ser utilizado por otra entidad.

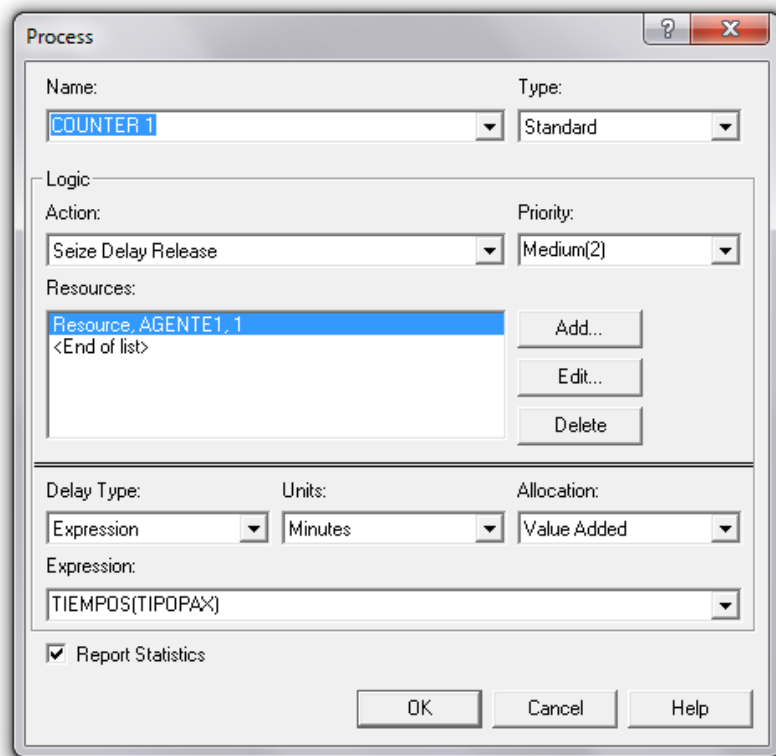


Figura 7.10 Módulo "COUNTER 1"

Dado que el tiempo de proceso en mostrador varía según el tipo de pasajero, se utilizó una expresión matricial denominada *TIEMPOS* para determinar la expresión del *delay* del proceso. La misma posee en cada fila una distribución de tiempos diferente, de forma que el número de fila es el valor de *TIPOPAX* que le corresponde. La tabla XX es una representación de la misma.

<i>TIPOPAX</i>	Distribución de <i>TIEMPOS</i>
1	LOGN(1,2;0,2)
2	LOGN(1,2;0,2)
3	LOGN(2,3;0,6)

Tabla 7.7 Valores de la expresión *TIEMPOS*

7.4.5 Registro de resultados

Una vez que las entidades salen de los *counters*, las mismas pasan a través de cuatro módulos *ReadWrite* del tipo *Write to File*, que se utilizan para guardar la información de las entidades para realizar análisis posteriores. En la Tabla 7.8 se detallan los valores almacenados en cada uno de los módulos.

Módulo <i>ReadWrite</i>	Atributo almacenado
Anoto TEF	<i>TFILA</i>
Anoto Tiempo Llegada	<i>Entity.CreateTime</i>
Anoto Vuelo	<i>Vuelo</i>
Anoto TIPOPAX	<i>TIPOPAX</i>

Tabla 7.8 Módulos *ReadWrite* y el correspondiente atributo almacenado

Esta información se guardará en archivos de extensión .txt, por lo que es necesario, como ya se mencionó para otros casos similares, ingresar estos documentos en el apartado *files* dentro del simulador.

Por otro lado, para el análisis de los tiempos de espera en fila, se utilizó un módulo *record* denominado “MEDICIÓN TEF”. Como se observa en la Figura 7.11, este módulo se utiliza con el objetivo de obtener reportes sobre los valores de *TFILA*, es decir, del tiempo de espera en fila de los pasajeros. Dentro de los reportes aparecerá bajo el nombre *MEDICIÓNTEF*.

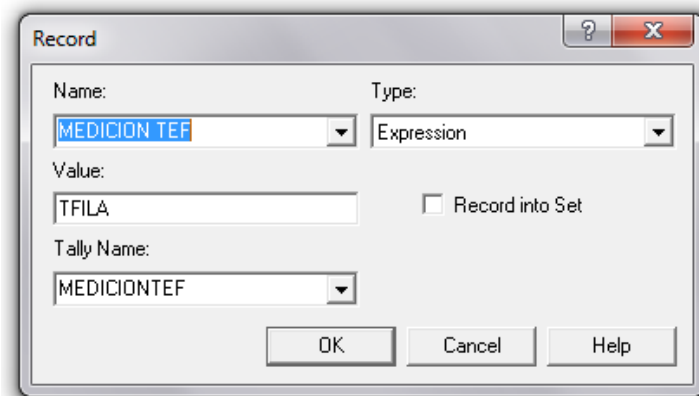


Figura 7.11 Módulo “MEDICION TEF”

8 VERIFICACIÓN Y VALIDACIÓN

8.1 Cálculo de cantidad de corridas

Con el objetivo de establecer la cantidad de corridas necesarias para obtener la precisión requerida para el estudio, se evaluó en primer lugar el resultado del simulador para unas 20 corridas.

De esta forma, se establecieron valores medios y de *halfwidth* para las funciones objetivo, que incluyen, como ya se explicó previamente, la cantidad de pasajeros por vuelo y el tiempo en fila (TEF). En función de estos resultados, se determinó el valor del desvío s para las mismas, de acuerdo con la fórmula de la ecuación (17) a continuación.

$$s = \frac{\sqrt{20} \times HW}{Z_{1-\alpha/2}} \quad (17)$$

En función de esos resultados se buscó determinar el número de corridas para alcanzar la precisión y el nivel de confianza deseados para cada una de las funciones. Para ello, primero se decidió cuál era la precisión buscada, o en otras palabras, el *halfwidth*. Para el caso de la cantidad de pasajeros, se buscó un HW de 5 personas y para el TEF, un HW de 4 minutos. Con estos valores de HW, considerando que para el ARENA el valor de α es de 0,05, se calculó la cantidad de corridas necesarias para cada una de las funciones objetivo a través de la fórmula que se observa en la ecuación (18).

$$N = \left(\frac{s * Z_{1-\alpha/2}}{HW} \right)^2 \quad (18)$$

Finalmente, se tomó como cantidad de corridas el valor máximo de los N obtenido, de manera de que se asegure un HW menor o igual al requerido para todas las funciones. Esta metodología se siguió para los distintos escenarios evaluados, obteniéndose una cantidad de corridas de 73 para el mes de enero de 2014 y 48 para el mes de marzo del mismo año.

8.2 Validación

La validación de un simulador implica determinar con qué exactitud el modelo representa la realidad, a través del contraste de los valores arrojados por el mismo contra los resultados del sistema real. Para ello, en primer lugar se determinan cuáles son los resultados que se van a comparar con los valores reales y luego se realizan ensayos de hipótesis para medias con varianza desconocida.

Dado que el TEF es la principal función objetivo del simulador, es importante corroborar que para una determinada situación (definida por el itinerario y la cantidad de pasajeros

en los vuelos) el TEF brindado por el simulador sea representativo del TEF del sistema real.

En base a lo observado en la Figura 2.8, se tomaron dos días en particular del año 2014, puesto que se consideran representativos de las dos situaciones principales que se pueden presentar en el aeropuerto: temporada alta (13 de enero) y temporada media (15 de marzo). Para selección de las fechas se tuvo en cuenta también la disponibilidad de información, y la cantidad de muestras de TEF reales disponibles.

Los datos que se utilizaron para contrastar los valores arrojados por el simulador se obtuvieron de mediciones realizadas por la empresa Aeroplus, en los días de estudio. Se considera que las muestras son representativas, ya que se cuentan con 1971 datos para el 13 de enero y 1436 para el 15 de marzo, representan más del 35% de los pasajeros de cada día.²⁰

Es importante mencionar que el flujo de pasajeros es menor durante las temporadas bajas, por lo tanto el TEF no es uno de los factores de servicio críticos. Es por eso que se consideró que la evaluación del modelo para estos meses no aporta valor para la empresa.

Por otro lado, para analizar la calidad del simulador fue necesario evaluar también la cantidad de pasajeros por vuelo. Esto se debe a que los mismos se generan a partir de los valores que toman los tiempos entre arribos (TEA), regido por una muestra aleatoria. Si bien los parámetros de las mismas dependen directamente de la cantidad de pasajeros reales de cada vuelo, la cual es un input del simulador y es información brindada por la empresa, es posible que se generen más o menos pasajeros, lo que impactaría en el TEF evaluado posteriormente.

Con el objetivo de validar la cantidad de pasajeros para todos los vuelos, se realizaron diversos test de hipótesis con un nivel de significación del 5%, que es el valor de α con el que trabaja el programa ARENA. Para ello, se plantea la siguiente hipótesis nula:

$$H_0) \mu = \mu_0$$

El mismo simulador arroja un valor medio μ_0 y un *halfwidth* (HW) para este nivel de significación, siendo el *halfwidth* el determinado en la ecuación (19).

$$HW = \frac{s \times Z_{0,975}}{\sqrt{N}} \quad (19)$$

²⁰ A pedido de la empresa, no se divulgarán los valores exactos de cantidad de pasajeros para la fecha.

Donde s es el desvío de la muestra, $Z_{0,975}$ es la inversa de la normal para un $\alpha = 5\%$ a dos colas y N es el número de corridas. Se considerará que μ_0 es representativo si se cumple la ecuación (20).

$$\mu_0 - HW < \bar{X} < \mu_0 + HW \quad (20)$$

En el caso del TEF, se realizó un ensayo de hipótesis para medias de varianza desconocida, por lo que se utilizó la distribución de T Student. Nuevamente, se planteó la misma hipótesis nula, pero en este caso μ_0 es la media del TEF obtenida en el simulador. En este caso, el *halfwidth* se calcula según la ecuación (21).

$$HW = \frac{s \times t_{0,975;N-1}}{\sqrt{N}} \quad (21)$$

En la misma, s es el desvío de la muestra, N el número de corridas y $t_{0,975;N-1}$ la inversa de la distribución de T Student para un $\alpha = 5\%$ a dos colas con $N-1$ grados de libertad. Para la evaluación de si el μ_0 es representativo se utiliza la ecuación (20).

Además, como las muestras fueron realizadas por la aerolínea, existe cierto grado de incertidumbre sobre si realmente la media muestral representa a la población. Para ello se calculó el β , para saber con qué probabilidad se cometería un error de tipo II. Es decir, no rechazar la hipótesis nula siendo esta falsa en la población.

Para el cálculo de los valores críticos, se utilizan las fórmulas que se encuentran en las ecuaciones (22) y (23).

$$\bar{X}_{cs} = \mu_1 + \frac{s \times t_{0,975;N-1}}{\sqrt{N}} \quad (22)$$

$$\bar{X}_{cl} = \mu_1 - \frac{s \times t_{0,975;N-1}}{\sqrt{N}} \quad (23)$$

Los valores de μ_2 propuestos son aquellos que se consideraban muy negativos para el estudio. Es decir que si la media real de la población es diferente a la media μ_0 , entonces podrían ser alguno de los valores propuestos, con lo cual se estaría cometiendo un error de tipo II, y su probabilidad es β , que se calcula según la ecuación (24).

$$P\left(\frac{(\bar{X}_{cs} - \mu_2)}{\frac{s}{\sqrt{n}}}\right) - P\left(\frac{(\bar{X}_{cl} - \mu_2)}{\frac{s}{\sqrt{n}}}\right) = \beta \quad (24)$$

8.2.1 Caso 1: Enero 2014

Dado que la información asociada con la cantidad de pasajeros por vuelo es información confidencial de la empresa y no puede ser compartida, a continuación se muestra en el gráfico de la Figura 8.1 el *halfwidth* (HW) para cada uno de los vuelos y un Δ , que representa el módulo de la diferencia entre el μ_0 del simulador y $\bar{X}$ real.

Si $\Delta < HW$, entonces no se puede rechazar la hipótesis nula, y por lo tanto no se poseen evidencias suficientes para suponer que μ_0 no es una media representativa. En otras

palabras, en esos casos es posible decir que la cantidad de pasajeros del vuelo representa la realidad.

Como se observa en la Figura 8.1, la media muestral de todos los vuelos de la fecha se encuentran dentro del rango, por lo que en este sentido el modelo es representativo.

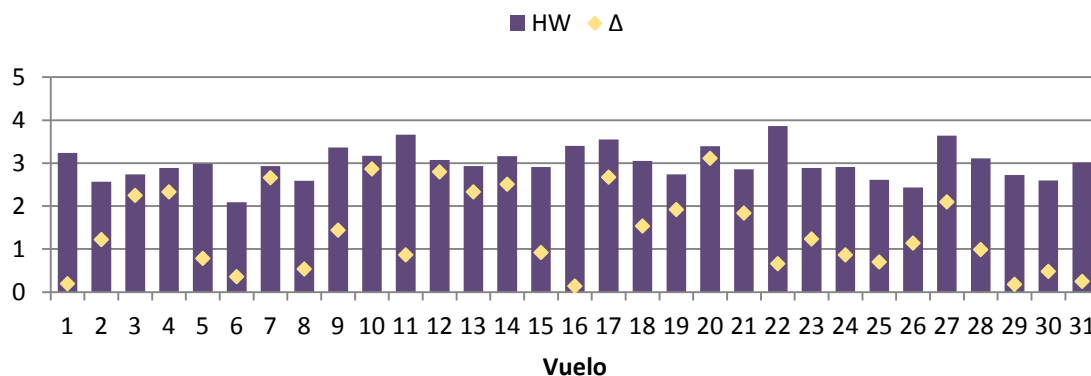


Figura 8.1 Validación de cantidad de pasajeros por vuelo - Enero 2014

En el caso del TEF, para un nivel de significación del 5% se obtuvo una media de 10,39 minutos y un *halfwidth* de 0,39 minutos. Dado que la media de la muestra provista por la empresa es de $\bar{X} = 10,84$ minutos aproximadamente, para este nivel de significación se rechaza la hipótesis nula por lo que el simulador no es representativo.

Por lo tanto, se decidió realizar un nuevo ensayo de hipótesis a un nivel de significación del 4%, para el cual se obtuvo un *halfwidth* de 0,47 minutos. En este caso, no se rechaza la hipótesis nula, por lo que para este valor p es posible asegurar que la media $\mu_0 = 10,39$ minutos es representativa y que el simulador representa la realidad.

Se calculó el valor de β , para distintos escenarios posibles de forma de saber que probabilidad de cometer un error de tipo II existía. Por lo tanto se propusieron distintos valores de μ_2 que se consideraron como negativos para nuestro modelo. Los valores que se muestran a continuación fueron los más representativos. Con un $\mu_2 = 10$ minutos, la probabilidad de cometer un error de tipo II es $\beta = 3,15\%$. Por otro lado, si planteamos un nuevo $\mu_2 = 12$ minutos, el $\beta = 2,71\%$. Estos valores están dentro de valores aceptables y con los cuales se trabajará.

8.2.2 Caso 2: Marzo 2014

Para el caso de Marzo 2014, se realizó el mismo procedimiento explicado para la validación del mes de Enero del mismo año. La validación de la cantidad de pasajeros se ilustra en el gráfico de la Figura 8.2. En este caso, también se obtuvo como resultado que el modelo es representativo del sistema real.

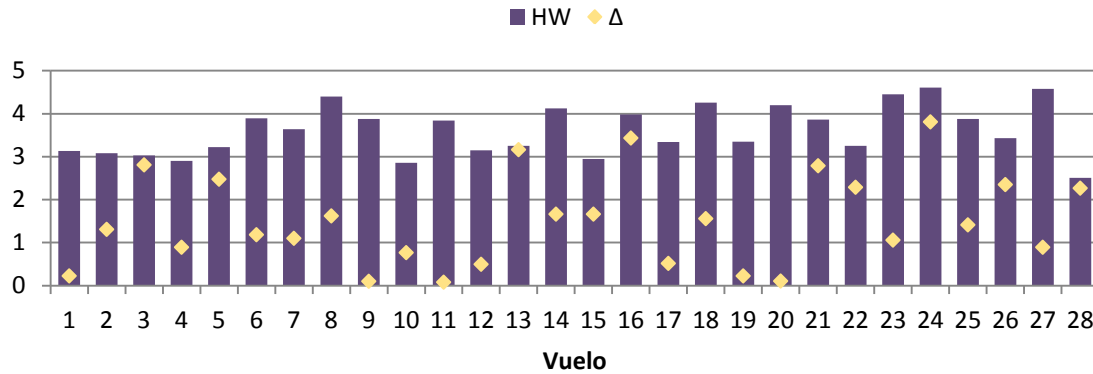


Figura 8.2 Validación de cantidad de pasajeros por vuelo - Marzo 2014

Para la validación del TEF, se realizó el ensayo de hipótesis para un nivel de significación del 4%. El simulador del ARENA arrojó un valor medio de 7,84 minutos. Al realizar el ensayo para un $\alpha = 0,04$, se obtuvo un $HW = 0,60$ minutos. Dado que la media de la muestra provista por la empresa es $\bar{X} = 7,97$ minutos y la misma se encuentra dentro del rango, nuevamente no se rechaza la hipótesis nula. Esto significa que la media $\mu_0 = 7,84$ minutos es representativa y que el simulador representa la realidad.

Para el escenario de Marzo se calculó también la probabilidad de cometer un error tipo II, y los resultados que se obtuvieron a partir de los valores de μ_2 que se consideraron como valores que afectaban a nuestro modelos, fueron los siguientes; Al proponer un $\mu_2=9$ minutos el $\beta= 3,56\%$ y si proponemos un $\mu_2=7$ minutos, el $\beta=5,98\%$

.

9 EXPERIMENTACIÓN

9.1 Plan de experimentación

Se realizarán tres propuestas, para las cuales se analizarán los resultados.

Para la primer propuesta, se utilizará la información extraída del análisis FODA, que permitirá el planteo de posibles mejoras. Esta propuesta se evaluarán distintos escenarios para verificar cual de todos ellos representa la mejor solución al problema detectado.

En la segunda propuesta, se estudiará el real impacto que posee el cambio en el itinerario propuesto por el personal de la aerolínea, ya que dicha alternativa es una mera suposición y no tiene sustento estadístico.

Y para la última propuesta, se desea exponer el impacto de una eventual modificación por parte del aeropuerto, en cuanto a la cantidad de counters que la aerolínea puede utilizar.

9.2 Descripción de escenarios

9.2.1 Propuesta I

A partir del análisis FODA realizado en la Sección 4.4: Análisis de causas potenciales, se concluyó que uno de los factores con influencia en el TEF sujeto a modificaciones es la lógica de las colas. En la actualidad, los corrales se dividen de acuerdo al número de vuelo, otorgándole la mitad de los *counters* a cada uno de ellos. Sin embargo, este tipo de configuración implica que por momentos uno de los corrales posea mayor cantidad de personas que el otro, generando un aumento del TEF percibido para aquellos que se encuentran en la cola más larga.

Asimismo, se busca demostrar que existe una organización de las colas que mejoran los tiempos de espera, puesto que hoy en día los agentes se guían bajo su criterio. De esta forma, quedaría plasmada la mejora y seguirían una orden específica.

Por otro lado, considerando que la cantidad de *counters* es una limitación externa, la aerolínea intenta reducir el tiempo de atención en los mismos. Una forma de hacerlo es fomentando el uso de los ATM y del check-in web. De esta forma, el tiempo de uso de mostradores por persona se reduce, ya que se utilizan únicamente para realizar el despacho de equipajes.

En base a esto, surge la idea de diferenciar los corrales según el tipo de check-in en lugar del número de vuelo, priorizando la atención de los pasajeros bag drop. Esto implica que el corral de pasajeros que realizarán únicamente bag drop será servido por más *counters* que el otro.

Considerando que el porcentaje de pasajeros que realizan el check-in a través de internet o en los ATMs es aproximadamente el 68% de los pasajeros totales, a primera vista se considera conveniente asignar 6 *counters* al bag drop y 2 al check-in regular. Sin embargo, con el objetivo de evaluar distintas alternativas se corrieron diversos escenarios.

A excepción del primer escenario que representa la lógica actual de los corrales, en todos los escenarios se dividieron los corrales según tipo de check-in. No obstante, la asignación de recursos varía entre ellos de acuerdo con la Tabla 9.1. En la misma, se considera que los agentes disponibles según el horario del día son los mismos que en el caso de enero de 2014, por lo que hay ocho mostradores abiertos en los rangos horarios entre las 4 y las 12 y entre las 14 y las 22 (en la tabla, Rango horario 1). Por otro lado, hay cuatro *counters* abiertos de 0 a 4, de 12 a 14 y de 22 a 24 (Rango horario 2).

Escenario	Lógica de los corrales	Counters BD Rango horario 1	Counters BD Rango horario 2
1	Por vuelo	-	-
2	Por tipo de check-in	4	2
3	Por tipo de check-in	6	3
4	Por tipo de check-in	6	2
5	Por tipo de check-in	5	3
6	Por tipo de check-in	5	2
7	Por tipo de check-in	7	3
8	Por tipo de check-in	7	2

Tabla 9.1 Descripción de los escenarios evaluados

Todos los escenarios serán evaluados con el itinerario programado para enero de 2015, ya que éste será un mes crítico del año próximo por ser de temporada alta. Puesto que se desconocen en la actualidad las reservas de estos vuelos, se utilizará un factor ocupacional promedio del 90%.

9.2.2 Propuesta II

Por otra parte, se decidió plantear un escenario que verificará o rechazará la propuesta realizada por el personal de la aerolínea, que sostiene que si se modifica el itinerario de los vuelos se podrá mejorar el TEF. Dicha modificación consiste en aumentar el tiempo mínimo entre vuelos. En el itinerario actual, el tiempo mínimo que se observó es de 15 minutos y la propuesta del personal, es modificarlo para que haya como mínimo 20 minutos entre vuelos. Dicha comparación se efectúa manteniendo la disposición actual

de los corrales, es decir que habrá dos filas y el criterio de separación por número de vuelo. Cada fila cuenta con 4 *counters*, para los cuales los agentes disponibles según el horario del día son los mismos que en el caso de enero de 2014. Por lo que hay ocho mostradores abiertos en los rangos horarios entre las 4 y las 12 y entre las 14 y las 22. Por otro lado, hay 4 *counters* abiertos de 0 a 4, de 12 a 14 y de 22 a 24, es decir dos *counters* por fila.

9.2.3 Propuesta III

Además se plantearon dos escenarios adicionales, que proponen analizar qué sucedería si la situación actual se modifica por motivos externos a la compañía. Es decir, que el aeropuerto le quite un mostrador o por el contrario le permita contar con un mostrador adicional. Para estos dos escenarios nuevamente se compararon contra la situación actual. Para lo cual se modificó la cantidad de mostrados abiertos durante el día. Para el escenario en el cual la aerolínea adquiere un *counter* adicional, se cuenta con 9 *counters* abiertos en los rangos horarios entre las 4 y las 12 y entre las 14 y las 22. Pero para los rangos horarios de 0 a 4, de 12 a 14 y de 22 a 24 se mantuvieron los 4 *counter*.

En el escenario siguiente, se redujo en uno los *counter* disponibles, por lo tanto en los rangos horarios entre las 4 y las 12 y entre las 14 y las 22 se cuenta con 7 *counters* abiertos, manteniendo la misma cantidad de *counters* que en el escenario anterior para los rangos horarios restantes.

9.3 Resultados obtenidos

9.3.1 Propuesta I

Para la evaluación de los ocho escenarios descritos en la Sección 9.2.1: Propuesta I, se modificó el valor de la variable *corrida* en el simulador. Si *corrida* = 1, los corrales se dividirán de acuerdo con el número de vuelo de los pasajeros, mientras que si *corrida* = 2, los mismos dependerán del tipo de check-in que realiza el pasajero. En cada uno de los casos, se evaluó además la cantidad de corridas necesarias para obtener la precisión requerida, con la metodología explicada en la Sección 8.1: Cálculo de cantidad de corridas.

La Figura 9.1 muestra los resultados del TEF para las ocho corridas, con su correspondiente *halfwidth*. Los valores se encuentran en una tabla, en el Anexo 4. Dado que en la Sección 8.2: Validación, se concluyó que el simulador representa la realidad para un $\alpha = 4\%$, los cálculos a continuación se realizaron para este nivel de significación.

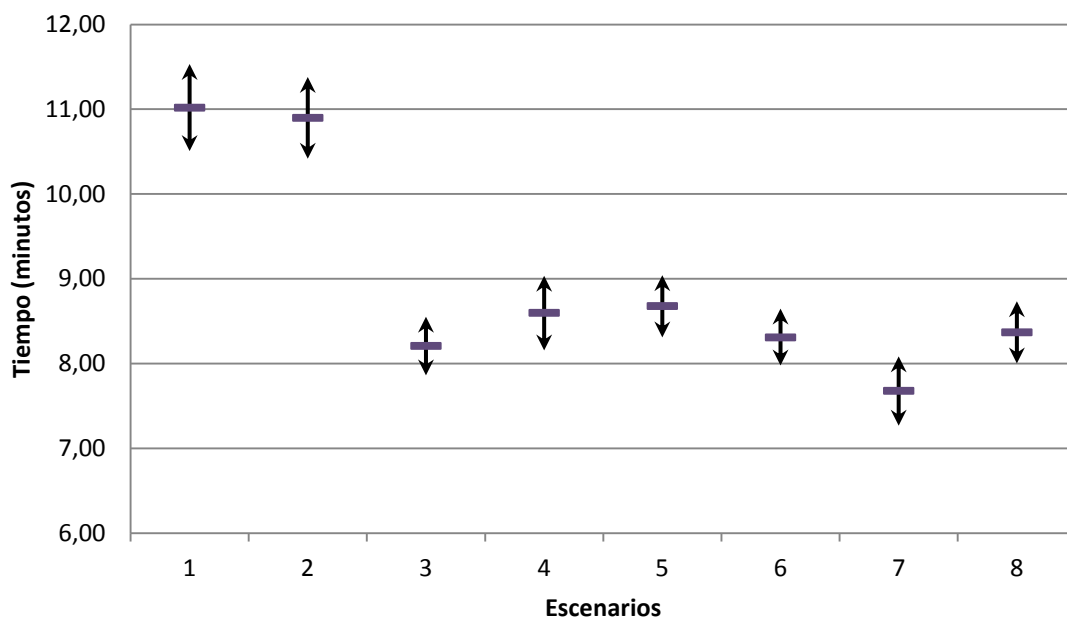


Figura 9.1 TEF obtenidos para los escenarios 1 al 8

Se puede observar en el mismo que los escenarios 1 y 2 presentan un TEF a la vista mayor que para el resto de los casos. Dado que los intervalos de confianza de estos dos escenarios no se superponen con los intervalos de confianza del resto, es posible asegurar que en los últimos seis escenarios se obtendrá un valor de TEF menor que para los primeros dos casos.

Por otro lado, se observa que el escenario con una media menor es el escenario 7. Sin embargo, para poder asegurar que el mismo generaría un TEF menor que el resto de los escenarios, es necesario comparar las medias a través de un test de hipótesis de comparación de medias, con varianzas desconocidas y diferentes.²¹ Esto se debe a que existe cierta superposición entre los intervalos de confianza del escenario 7 y de los escenarios 3, 6 y 8.

En la Tabla 9.2 se pueden observar los valores de $\overline{X}_a - \overline{X}_b$ para cada caso y su correspondiente *C.R.* Como se puede observar, se puede asegurar que la media del TEF para el escenario 7 es menor que el mismo valor en los otros escenarios para todos los casos, excepto para el escenario 3. En la tabla del Anexo 5 se incluyen los resultados para el resto de los test de hipótesis de comparación de medias realizados.

Si bien no se puede afirmar que el escenario 7 genere un mejor TEF que el escenario 3, sí es posible determinar que el 7 es mejor que todo el resto. Sin embargo, tal como se muestra en el Anexo 5, no se puede asegurar que el escenario 3 es mejor que el resto.

²¹ Ver Sección 3.3: Test de hipótesis para comparación de medias

Escenario a	Escenario b	$\bar{X}_a - \bar{X}_b$	C.R.	Resultado
1	7	3,34	0,69	Se rechaza H_0
2	7	3,22	0,65	Se rechaza H_0
3	7	0,53	0,54	No se rechaza H_0
4	7	0,92	0,61	Se rechaza H_0
5	7	1,00	0,56	Se rechaza H_0
6	7	0,64	0,53	Se rechaza H_0
7	7	0,69	0,56	Se rechaza H_0
8	7	3,34	0,69	Se rechaza H_0

Tabla 9.2 Resultados de Test de comparación de medias

Por lo tanto, este análisis permite concluir que, dentro del grupo de escenarios analizados, la opción que genera un valor menor de TEF es el escenario 7, que consiste en disponer de 7 *counters bag drop* en el rango horario 1 y de 3 *counters bag drop* en el rango horario 2.

9.3.2 Propuesta II

Se efectuó un test de comparación de media, para verificar si la propuesta realizada por el personal era efectivamente mejor que la situación actual. Observamos en la Tabla 12, que $\bar{X}_a - \bar{X}_b$ es menor que C.R., por lo que no se rechaza la hipótesis nula, y no se puede afirmar que el escenario 9 sea mejor que la situación actual.

Escenario a	Escenario b	$\bar{X}_a - \bar{X}_b$	C.R.	Resultado
1	9	0,51	0,65	No se rechaza H_0

Tabla 9.3 Resultados de Test de comparación de medias

En esta situación, se puede apreciar claramente los beneficios que aporta esta herramienta ya que el resultado tiene un sustento estadístico y no es la simple apreciación del mismo personal que realizó la propuesta.

9.3.3 Propuesta III

En esta última propuesta, se observa que pasa si el aeropuerto cambia las condiciones en las cuales trabaja la compañía. Estos escenarios fueron planteados para reflejar los cambios que provocan el aumento o la disminución de *counters* totales. Ya que dichos escenarios exceden los límites del problema, no se entrará en profundidad en el análisis, ni se propondrán mejoras para estos escenarios. Únicamente, se mostrará en la Tabla 13 los resultados de los Test de comparación de medias. Podemos observar que las diferencias de medias son significativas, si las comparamos contra el criterio de rechazo.

Análisis y mejora del tiempo en fila para el check-in en un aeropuerto

Por los que se puede concluir que efectivamente si la aerolínea accede a un *counter* extra el TEF mejora considerablemente, y por el contrario si pierde un *counter* el TEF aumenta en gran proporción.

Escenario a	Escenario b	$\bar{X}_a - \bar{X}_b$	C.R.	Resultado
1	10	5,16	0,60	Se rechaza H_0
11	1	12,48	1,24	Se rechaza H_0

Tabla 9.4 Resultados de Test de comparación de medias

10 USOS Y APLICACIONES DEL SIMULADOR

10.1 Usos y Aplicaciones del Simulador

La utilización de la herramienta de simulación es adecuada para varios propósitos, tales como: el análisis de las normas operativas del check-in, realizar estudios para evaluar la capacidad en el proceso del check-in como también el nivel de rendimiento de los *counters* y la optimización del personal disponible.

Otra de las aplicaciones posibles es la evaluación de itinerarios futuros, la cual permite elegir un itinerario que asegure un mejor servicio en aeropuerto. En el mismo se puede analizar qué pasa con el TEF según los horarios de los vuelos y la superposición de los mismos, eligiendo una opción que no perjudique la satisfacción de los pasajeros.

Por otro lado, a través de la herramienta *What if* se pueden estudiar diversos escenarios. Esto permite tomar decisiones con mayor precisión, disminuyendo el riesgo de imprevistos. Como ejemplo de estudio puede ser las interrogantes que pasaría si me permiten tener más *counters*, cuál es el correcto momento del día en abrir mayor cantidad de *counters*, si conviene cerrar mostradores en determinadas temporadas del año sin afectar el servicio, entre otras.

Asimismo, permite sugerir cambios en los turnos de los agentes y optimizar el momento de los descansos para que no lo hagan en un momento que sea crítico en cuanto a la cantidad de personas esperando en la cola. Otra alternativa, es realizar un análisis del mix de mostradores, viendo cuántos mostradores conviene abrir para los que realizan bag drop y cuántos para regulares. Por último, permitirá evaluar el impacto de abrir un corral preferente para todos los pasajeros o ir cambiando la lógica de los corrales, ya sea en función del número de vuelo o el tipo de pasajero.

10.2 Ejemplo de uso y aplicación

Al realizar los gráficos de TEF por hora y cantidad de personas en la cola por hora, se observa que existe relación entre ellos, siguiendo una curva parecida. No obstante, se presentan algunas diferencias las cuales pueden ser explicadas. Por ejemplo, en el rango horario de 12 hs. hasta las 14 hs. el TEF aumenta notablemente respecto a la cantidad de pasajeros en fila, debido a la disminución de agentes en ese rango horario, que pasa a ser la mitad. Es por esta razón que a pesar de haber menor cantidad de pasajeros que en el rango de 10:30 a 11, el TEF es prácticamente el mismo, puesto que se cuenta con la mitad de recursos para atender la fila.

Por otro lado, a pesar que en el rango de 10 pm a 3 am se presenta una menor cantidad de agentes, como los vuelos en ese período disminuyen, el tiempo que debe esperar una persona en la cola no se ve afectado.

Tanto en la Figura 10.1 como en la Figura 10.2 se plasma la información para el itinerario de enero de 2015, suponiendo que se mantiene la lógica de separación de corrales que se utiliza en la actualidad.

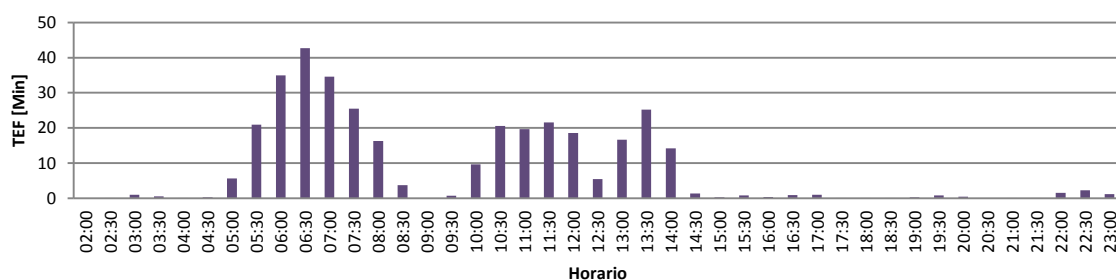


Figura 10.1 Tiempo de espera en fila (TEF) vs Horario del día

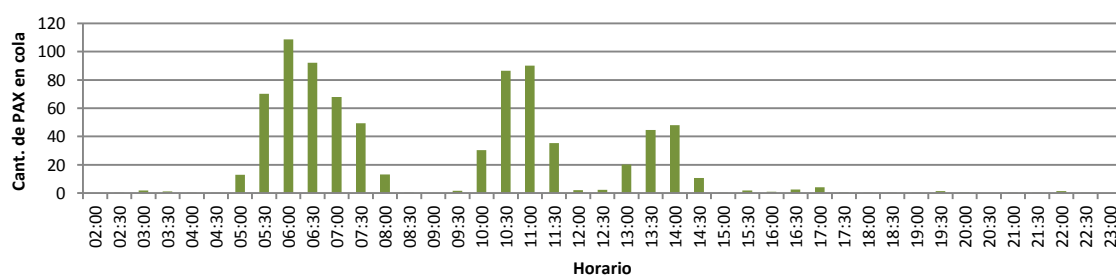


Figura 10.2 Cantidad de pasajeros en la cola vs Horario del día

Mediante este estudio a través de los datos obtenidos en el simulador, se encontró que se podía aplicar para mejorar el TEF, organizando mejor la cantidad de agentes en determinados rangos horarios y seleccionando el momento en que los agentes se tomen sus respectivos descansos no sea un pico en la cantidad de personas en la fila. Esto permite saber de ante mano cuales serán los momentos más complicados y críticos en cuanto a la atención en el proceso de check-in, como también tomar decisiones en el día a día, según los cambios realizados en el itinerario.

A modo de ejemplo, en la Figura 10.3 y en la Figura 10.4 se muestra como en el escenario 7, descrito en el apartado 9.1: Plan de experimentación, mejora sensiblemente el tiempo de espera en fila durante toda la jornada evaluada para enero del 2015. Además, el TEF máximo pasa de ser 42 minutos a 25 minutos.

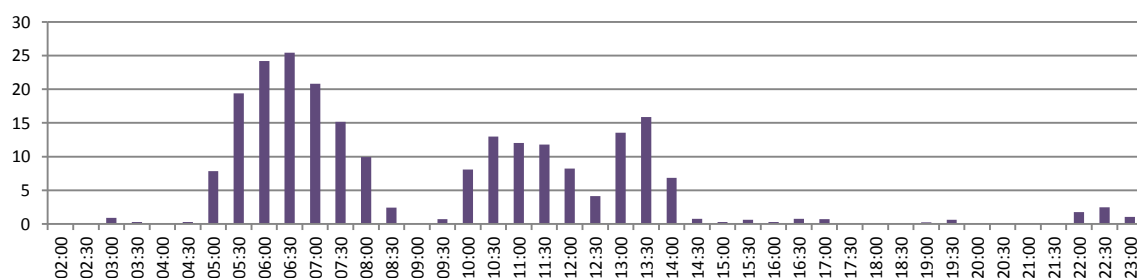


Figura 10.3 TEF por hora según propuesta 7

Análisis y mejora del tiempo en fila para el check-in en un aeropuerto

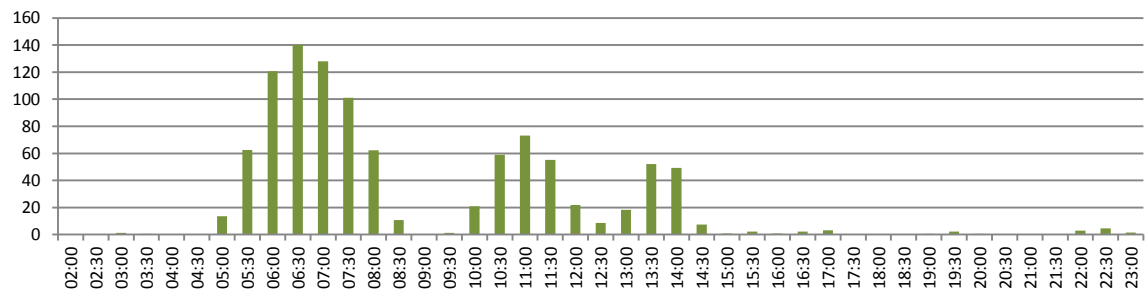


Figura 10.4 Cantidad de personas en fila vs Horario según propuesta 7

11 CONCLUSIONES

Durante el desarrollo del trabajo, se fue esbozando la problemática de las colas en el proceso de check-in. Para ello, se focalizó específicamente en el tiempo que transcurría desde que el pasajero ingresa a la cola del check-in hasta que el mismo la abandona y empieza a ser atendido en el mostrador.

Como fue desarrollado en la 4.2: Objetivo del proyecto, uno de las metas principales de este trabajo fue el desarrollo de un simulador. Posteriormente, en la Sección 8: Verificación y validación, se demostró que se alcanzó este objetivo, ya que se logró validar que el modelo planteado es representativo de la realidad.

Otro aspecto importante que se planteó en un principio fue la propuesta de mejoras para poder reducir de forma significativa el TEF. Para poder trabajar correctamente sobre el problema, fue necesario un análisis profundo de la situación actual para plantear escenarios que permitan reducir el TEF.

De todas las propuestas que se realizaron, el escenario que presentó la disminución más relevante fue el número 7. Para determinar esto, en la 9.3.1: Propuesta I se realizaron diversos test de hipótesis, que demostraron que estadísticamente existe una mejora sustancial entre la situación actual y la propuesta que se plantea para el escenario 7.

Como último aspecto, se destacan las aplicaciones y usos del simulador en el día a día de la empresa, como una herramienta de toma de decisiones rutinarias. Dentro de éstas que se encuentran aplicaciones tales como la evaluación del cambio de itinerario con sustento estadístico, con lo que no se contaba previamente.

A su vez, es posible evaluar la reorganización del personal, acomodándolo según las necesidades que, a través del simulador, se prevea que surjan en un futuro cercano. Asimismo, permite obtener información, como niveles de utilización y otros indicadores, que son fundamentales para poder comprender cuáles son los aspectos críticos del proceso o sus cuellos de botella.

En conclusión, se observa que el simulador desarrollado a través del siguiente trabajo permite no sólo realizar recomendaciones para mejorar el estado de situación actual de la empresa, sino que también puede ser utilizado como una herramienta de toma de decisiones basadas en estudios estadísticos.

Por lo tanto, se recomienda realizar el cambio propuesto por el escenario 7, que plantea la modificación del criterio con el cual se organizan las filas. Además, este escenario propone que durante los rangos horarios entre las 4 y las 12 y entre las 14 y las 22, se abran 7 mostradores con prioridad de atención para los pasajeros que cuenten con la tarjeta de abordaje, realizada tanto por ATM como por check-in Web. Esto significa a su vez que habría un único mostrador que priorice a los pasajeros regulares.

Análisis y mejora del tiempo en fila para el check-in en un aeropuerto

Además, el simulador le permite a la empresa obtener resultados a partir del análisis de múltiples escenarios, pudiendo así prever el estado de situación para un caso en particular y tomar decisiones correctivas y preventivas para mejorar el servicio a sus clientes.

12 BIBLIOGRAFÍA

BANKS, J., CARSON II, J. S., NELSON, B. L. y NICOL, D. M. *Discrete-event system simulation*. 5º Edition. Nueva Jersey: Prentice Hall, 2010.

GARCÍA, Roberto Mariano. *Inferencia estadística y diseño de experimentos*. Buenos Aires: Eudeba, 2004.

YAN, S., TANG, C. y CHEN, M. A model and a solution algorithm for airport common use check-in counter assignments. *Transport Res. Part A* (38): 101–125, 2004.

Apuntes

GARCÍA VELASCO, J. y VILABOA, I. *Apuntes cátedra simulación*. En: ITBA, Buenos Aires, 2014.

ZATTONI, Clelia. Analysis of airport check in operation and its reconfigurable design and managment. Tesis (Curso de grado en Ingeniería mecánica). Milan: Politecnico di Milano, Facultad de ingeniería, 2011.

CASTILLO-MANZANO, J.I, LÓPEZ-VALPUESTA, J. Computers in human behavior. 2013, 29 [consulta: 19 de agosto 2014]. pp. 2431–2437.

JOUSTRA, P.E. y VAN DIJK, N.M. Simulation of check-in at airports, Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference. [en línea]. 2001. [consulta 28 agosto 2014]. Disponible en: < <http://www.informs-sim.org/wsc01papers/137.PDF>>

TAKAKUMA, S. & OYAMA, T. Simulation analysis of international-departure passenger flows in an airport terminal, Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference. [en línea]. 2003. [consulta 28 agosto 2014]. Disponible en: <<http://www.informs-sim.org/wsc03papers/207.pdf>>

DÍAZ ESTEBAN, Pedro J., Check-in process at Lisbon Airport, Event-based Simulations and Collaborative Design. [en línea]. 2008. [consulta: 28 agosto 2014]. Disponible en: <https://www.google.com.ar/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0CCcQFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.mitportugal.org%2Findex.php%3Foption%3Dcom_docman%26task%3Ddoc_download%26gid%3D247%26Itemid%3D1&ei=jSZ9VPK7DsapNvTqgZAP&usg=AFQjCNEAopiHe0ixdphRQbBoeIVMPZXJsw&sig2=sf49irATQnCy z-L3dgSvg&bvm=bv.80642063,d.eXY>

AIRPORT SERVICE QUALITY (ASQ), Best practice report - Managing waiting time. [en línea]. 2012. [consulta: 17 agosto 2014]. Disponible en: <https://www.google.com.ar/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&cad=rja&uact=8&ved=0CDYQFjAD&url=http%3A%2F%2Fwww.airportservicequality.aero%2Fcontent%2Fsurvey%2FASQ%2520Best%2520Practice%2520Report_Internet%2520Access.pdf&ei=syF9VO-SLYGNgwSOsoFo&usg=AFQjCNHuFk2pbfC6MmadSu_vKEpEKh128g&sig2=W7eV54mO_Bfkxdo6lK9aiw>

SUNY CORTLAND, [consulta: 15 noviembre 2014]. Disponible en: <<http://web.cortland.edu/matresearch/comparacion.pdf>>

ITCH, *Instituto tecnológico de chihuahua*, [consulta: 10 noviembre 2014]. Disponible en: <<http://www.itch.edu.mx/academic/industrial/estadistica1/cap03.html>>

ACI, *Airport council international*, [consulta: 15 agosto 2014]. Disponible en: <<http://www.aci.aero/Airport-Service-Quality/ASQ-Awards/About-the-ASQ-Awards/About-the-ASQ-Awards>>

VIRGIN AUSTRALIA, [consulta en: 17 agosto 2014]. Disponible en: <<http://www.ausbt.com.au/virgin-australia-mobile-check-in-goes-paperless>>

IBM, International Business Machines, [consulta: 17 agosto 2014]. Disponible en: <<http://www-03.ibm.com/ibm/history/ibm100/us/en/icons/selfservicekiosk/>>

FUTURE TRAVEL EXPERIENCE, [consulta: 17 agosto 2014]. Disponible en: <<http://www.futuretravelexperience.com/2011/08/is-self-service-bag-drop-the-future-of-baggage-processing/>>

PROB Y EST, [17 noviembre 2014]. Disponible en: <<http://probyestcgl.blogspot.com.ar/2008/12/diferencia-de-mediasvarianza.html>>

Wikipedia. *la enciclopedia libre* [en línea] [consulta: 26 noviembre 2012]. Disponible en: <<http://es.wikipedia.org/wiki/Portada>>.

13 ANEXOS

13.1 Anexo 1: Distribuciones de arribos de pasajeros

Horario	Regionales	Turísticos	Corporativos
03:00-02:45	14%	0%	0%
02:45-02:30	18%	0%	0%
02:30-02:15	21%	1%	0%
02:15-02:00	19%	6%	1%
02:00-01:45	14%	13%	7%
01:45-01:30	11%	19%	15%
01:30-01:15	2%	23%	21%
01:15-01:00	3%	18%	27%
01:00-00:45	0%	14%	21%
00:45-00:30	0%	7%	8%
00:30-00:15	0%	0%	0%
00:15-00:00	0%	0%	0%

13.2 Anexo 2: Pasajeros *no bag* según destino

Destino	Porcentaje de pasajeros <i>no bag</i>
1	20%
2	3%
3	20%
4	20%
5	7%
6	7%
7	20%
8	20%
9	20%
10	10%
11	7%
12	20%
13	20%
14	7%

13.3 Anexo 3: Tabla representativa de la variable *sch*

Tipo de Vuelo		
1	2	3
111,111	1000	500
111,111	500	250
100	250	250
100	166,667	166,667
76,923	125	125
76,923	125	100
71,429	100	83,333
71,429	100	83,333
71,429	71,429	71,429
71,429	71,429	62,5
83,333	62,5	50
83,333	62,5	55,556
111,111	71,429	62,5
111,111	83,333	62,5
111,111	83,333	71,429
111,111	83,333	83,333
166,667	100	125
166,667	100	250
1000	125	250
1000	125	1×10^{14}
1000	250	1×10^{14}
1000	1000	1×10^{14}
500	1×10^{14}	1×10^{14}
500	1×10^{14}	1×10^{14}
1×10^{14}	1×10^{14}	1×10^{14}
1×10^{14}	1×10^{14}	1×10^{14}

13.4 Anexo 4: Resultados para los distintos escenarios²²

Escenario	Media	<i>Halfwidth</i> obtenido en el Arena	Desvío estándar	<i>Halfwidth</i> para un α de 4%	Número de corridas
1	11,02	0,49	1,87	0,51	56
2	10,90	0,46	1,69	0,48	52
3	8,21	0,33	1,17	0,35	48
4	8,60	0,42	1,53	0,44	51
5	8,68	0,35	1,31	0,37	54
6	8,31	0,32	1,17	0,34	51
7	7,68	0,39	1,35	0,41	46
8	8,37	0,35	1,45	0,37	66

²² Valores en minutos

13.5 Anexo 5: Tests de comparación de medias²³

Escenario a	Escenario b	$\bar{X}_a - \bar{X}_b$	C.R.	Resultado
1	2	0,12	0,72	No se rechaza H_0
1	3	2,81	0,65	Se rechaza H_0
1	4	2,43	0,69	Se rechaza H_0
1	5	2,34	0,64	Se rechaza H_0
1	6	2,71	0,63	Se rechaza H_0
1	8	2,65	0,62	Se rechaza H_0
2	3	2,69	0,61	Se rechaza H_0
2	4	2,30	0,66	Se rechaza H_0
2	5	2,22	0,61	Se rechaza H_0
2	6	2,59	0,60	Se rechaza H_0
2	8	2,53	0,60	Se rechaza H_0
4	3	0,39	0,57	No se rechaza H_0
4	6	0,28	0,51	No se rechaza H_0
4	8	0,23	0,49	No se rechaza H_0
5	3	0,47	0,53	No se rechaza H_0
5	4	0,08	0,58	No se rechaza H_0
5	6	0,36	0,56	No se rechaza H_0
5	8	0,31	0,58	No se rechaza H_0
6	3	0,11	0,51	No se rechaza H_0
8	3	0,16	0,53	No se rechaza H_0
8	6	0,06	0,52	No se rechaza H_0

²³ Valores en minutos

13.6 Anexo 6: Zona de mostradores

