

Atención de Pasajeros

Hugo Solano Martínez, David Yábar Meoño
y Giovanni Hernández Chunga

Resumen

El presente trabajo muestra la simulación del sistema de atención de pasajeros de una aerolínea en el aeropuerto internacional Jorge Chávez para un turno de atención específico. Esto se logra mediante la construcción de un modelo basado en la teoría de los procesos estocásticos y la teoría de la confiabilidad. Además, utilizando dicho modelo y basándonos en los estándares exigidos por la empresa, se ofrece como aplicación la obtención de la distribución apropiada del personal en los servidores de atención, cada 10 minutos, para un día del turno de atención seleccionado. Esta distribución es muy importante para la empresa porque le permite optimizar su sistema de atención de pasajeros, contando con mayor personal durante los minutos donde halla mayor cantidad de pasajeros, y con menos personal en caso contrario.

OBJETIVOS DEL ESTUDIO

OBJETIVO GENERAL

Modelar el sistema de atención de pasajeros de la aerolínea en el aeropuerto internacional Jorge Chávez para el turno "bravo".

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar un modelo del sistema de llegada de pasajeros por itinerario de vuelos
- Elaborar los modelos de tiempo de servicio según número de pasajeros y maletas
- Elaborar el *capacity* para un día en particular del turno "bravo"

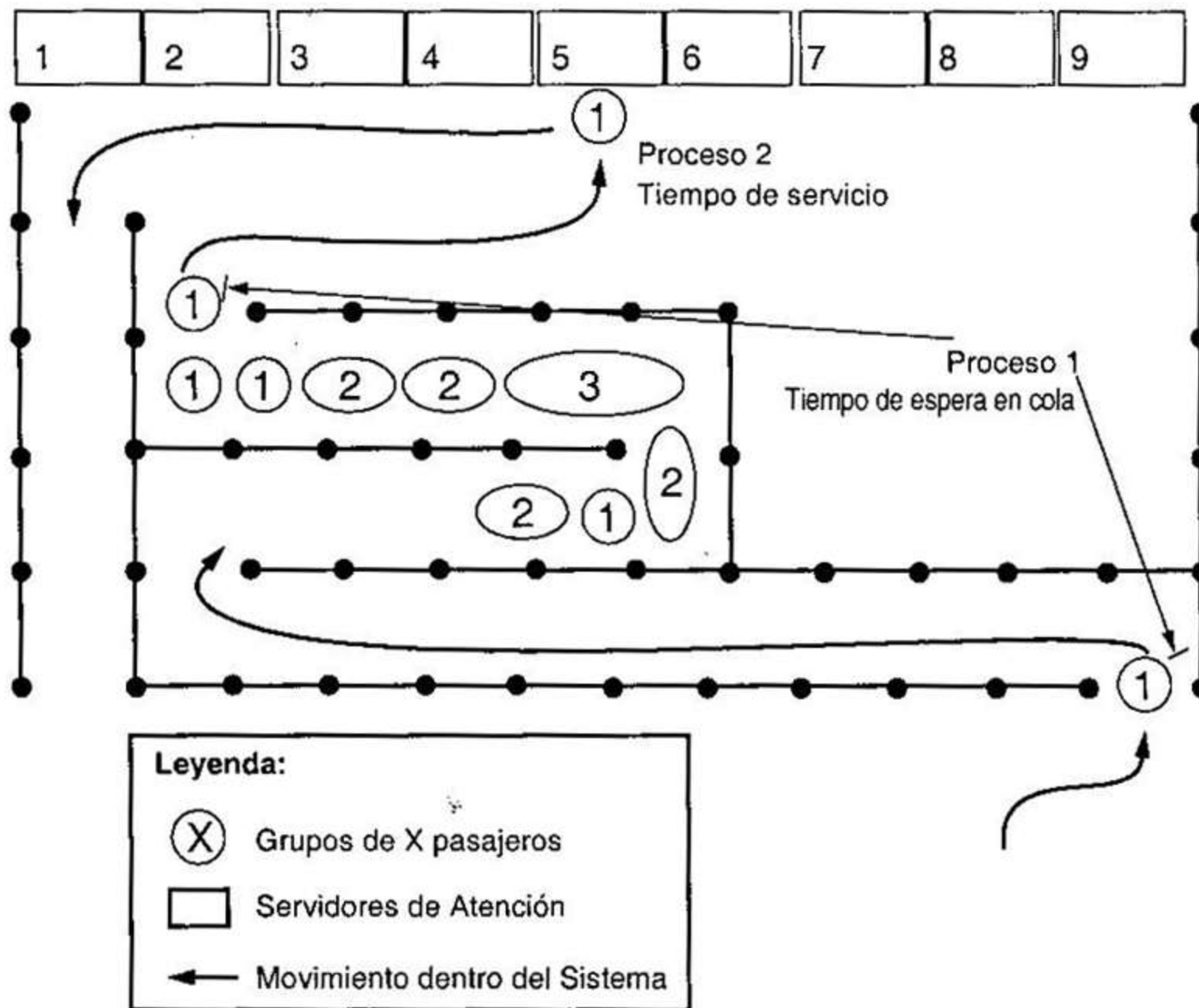
DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE ATENCIÓN AL PASAJERO

El sistema de atención al pasajero de la aerolínea tiene la estructura de un solo corral o canal único con varios servidores en paralelo. Los grupos de pasajeros siguen un determinado movimiento dentro de este sistema que empieza cuando el pasajero llega al corral. De haber cola esperará o de lo contrario el pasajero pasará directamente al servidor. Cabe mencionar que el tiempo de desplazamiento, sea por el corral vacío o desde el fin del corral hacia servidor es despreciable para este trabajo. Cuando llegan grupos de pasajeros el lobby los hace pasar de dos en dos a los servidores con el fin de conservar el orden. Una

vez en el servidor, este grupo será atendido por un agente. El tiempo de servicio que demora un grupo de pasajeros en atenderse depende del número de pasajeros y de maletas. El

tiempo de espera en cola y el tiempo de servicio son los dos procesos por el que pasan los grupos, siendo su suma, el tiempo total de atención. Se presenta un bosquejo del sistema.

**GRÁFICO N° 1
ESQUEMA GENERAL DEL SISTEMA DE ATENCIÓN**



**PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA
PROBLEMÁTICA**

Para nuestro estudio, el problema es la obtención de un modelo que nos ayude a simular el sistema de atención de pasajeros de una aerolínea en el Aeropuerto Internacional Jorge Chávez en el turno bravo para la elaboración de su *capacity*¹.

DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Los datos empleados en este estudio se recolectaron en el Aeropuerto Internacional Jorge Chávez, en el espacio de atención de la aerolínea, durante la primera semana del mes de abril del presente año, que comprendió del 3 al 11.

1. Capacity es la distribución del personal de atención de pasajeros en mostrador por intervalos de tiempo, que para este caso es de 10 minutos. Por ejemplo, a las 8:00 p.m. se puede necesitar solo 5 agentes en mostrador, pero a las 8:10 p.m. se puede necesitar 8.

Se emplearon dos personas encargadas de llenar, por observación directa de forma utilizando dos PDA², los formularios de *check-in*³ y distribución de llegada de pasajeros, respectivamente.

VARIABLES

Todas las variables que intervinieron en este estudio son cuantitativas, algunas de ellas con escala de tiempo: hora, minutos y segundos.

- Hora de llegada a la cola.
- Cantidad de pasajeros que compone la unidad de llegada.
- Hora de llegada al mostrador.
- Hora de salida del mostrador.
- Número de maletas de la unidad de llegada.

JUSTIFICACIÓN

Este estudio es importante porque le permite a la empresa conocer el flujo de llegada y el tiempo promedio de atención de sus pasajeros, información que facilitará la elaboración de un capacity más efectivo. Con esto la empresa logrará optimizar sus recursos al colocar la cantidad adecuada de personal para la atención de pasajeros.

ANÁLISIS Y RESULTADOS

MODELAMIENTO DEL SISTEMA

El sistema pertenece a un escenario más particular que el clásico

sistema de una línea de espera con servidores en paralelo, y esto es mayormente por las características del proceso de llegada. Del proceso de Poisson homogéneo hay axiomas que no se cumplen en nuestro caso: **El axioma de incremento estacionario**, debido a que λ cambia en función del tiempo, por lo que el proceso será llamado no homogéneo y el **axioma sobre que los pasajeros llegan al sistema en grupos**, es decir que un incremento mayor de uno puede darse. La solución es modelar un proceso de Poisson Compuesto No Homogéneo o No Estacionario. Además el lobby parte los grupos de pasajeros en unos más pequeños para que pasen a los servidores a fin de agilizar la atención.

MODELAMIENTO DE LA DISTRIBUCIÓN DE LLEGADA DE LOS PASAJEROS

En nuestro proceso, el parámetro más importante es la función de intensidad $\lambda(t)$. La cantidad de pasajeros varía por vuelo. Se obtuvo esta cantidad por vuelo y para los intervalos de 10 minutos desde las 20:00 horas hasta las 00:30 horas, 28 en total. El siguiente paso es dividir el número de pasajeros que llegaron entre el número de llegadas registradas para tener el promedio de pasajeros por llegada. Haciendo un análisis de la muestra, tenemos como resultado la Tabla N° 1 que se muestra a continuación:

2. **PDA**, del inglés *Personal Digital Assistant*, (Ayudante personal digital) es un computador de mano originalmente diseñado como agenda electrónica. Hoy en día se puede usar como una computadora doméstica con funciones limitadas (ver películas, crear documentos, navegar por Internet...).
3. **Check-in** se le conoce al proceso en el que los pasajeros se registran para su vuelo en el servidor.

TABLA N° 1

Vuelo	Número de pasajeros promedio por llegada	Reservas para un día	Número de llegadas teóricas
515	1.41	W	W/1.41
530	1.51	X	X/1.51
600	2.35	Y	Y/2.35
601	1.66	Z	Z/1.66

El número de reservas⁴ será el valor de entrada para el sistema de simulación. El valor calculado en la última columna de la tabla será multiplicado por el porcentaje de llegadas en cada intervalo y luego se divide ese valor entre la longitud del intervalo para obtener el N° de llegadas/minuto de cada vuelo y luego sumaremos estos valores dentro de cada intervalo para obtener el lambda.

ALGORITMO

La variable de entrada para este algoritmo será t, tiempo actual del sistema

PASO 1: Determinar en que intervalo se encuentra el sistema.

PASO 2: Utilizar el algoritmo para generar procesos de Poisson No Homogéneos, donde $\lambda(t)$ es una constante en cada intervalo.

FUNCIÓN COMPUESTA DEL PROCESO

Esta función asociada a la llegada de un grupo de pasajeros determinará el tamaño del grupo. Un análisis descriptivo simple de la data

nos muestra la frecuencia de ocurrencia de cada grupo y así se obtienen las probabilidades asociadas a cada tipo de suceso. El análisis de los grupos nos muestra que el 98% de los que llegan son de menos de seis pasajeros y solo el 2% son entre 6 y 30 pasajeros. Una vez hecho este análisis se puede idear un algoritmo que permita simular la f.d. G (la función compuesta).

ALGORITMO

La variable t representa el tiempo actual o en el que se encuentra el sistema.

PASO 1: Preguntar si t se encuentra fuera del intervalo (20:00 - 22:40). Caso contrario pasar a 3.

PASO 2: Utilizar el método de la transformada inversa (caso discreto) para los grupos menores de 6.

PASO 3: Utilizar el método de composición ($\alpha = 0,98$, para grupos menores de 6 y el complemento para grupos mayores). Donde las funciones f y f' serán generadas con el método de la transformada inversa.

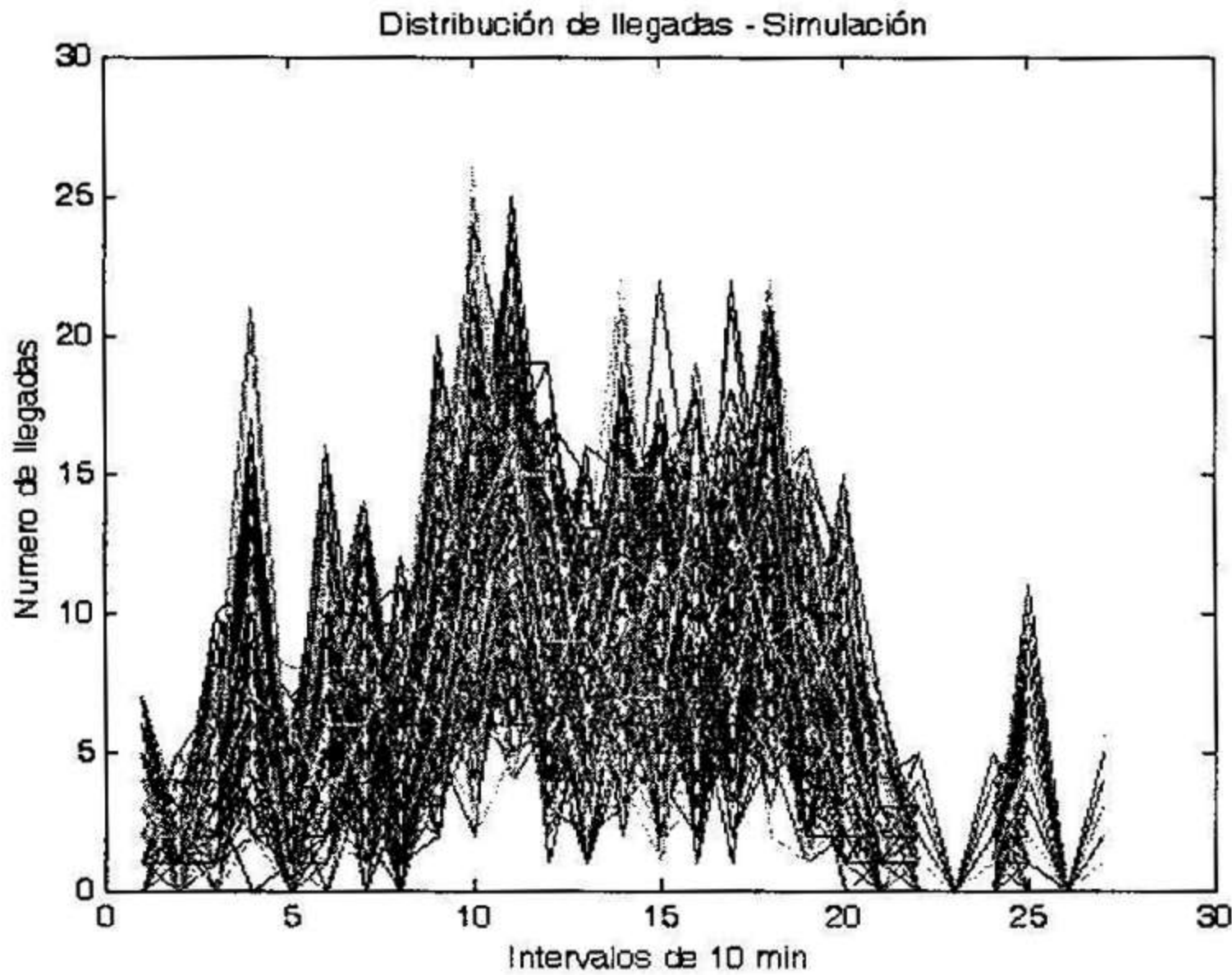
4. El número de reservas es la cantidad de pasajeros que habiendo comprado pasajes para un vuelo, confirma que viajarán. No todos los pasajeros que compran boletos necesariamente viajan.

PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE

Se simula 1000 veces las llegadas con el algoritmo obteniendo el

Gráfico N° 2, donde el eje "X" son intervalos de 10 minutos e "Y" el N° de llegadas.

**GRÁFICO N° 2
DISTRIBUCIÓN DE LLEGADAS-SIMULACIÓN**



Para la comprobación del modelo se tomó un día (11/04/2006), en donde se determinó la distribución de llegada

de los pasajeros, luego esta se comparó con el promedio de los datos simulados en el Gráfico N° 4.

**GRÁFICO N° 3
CURVA DE LLEGADAS**

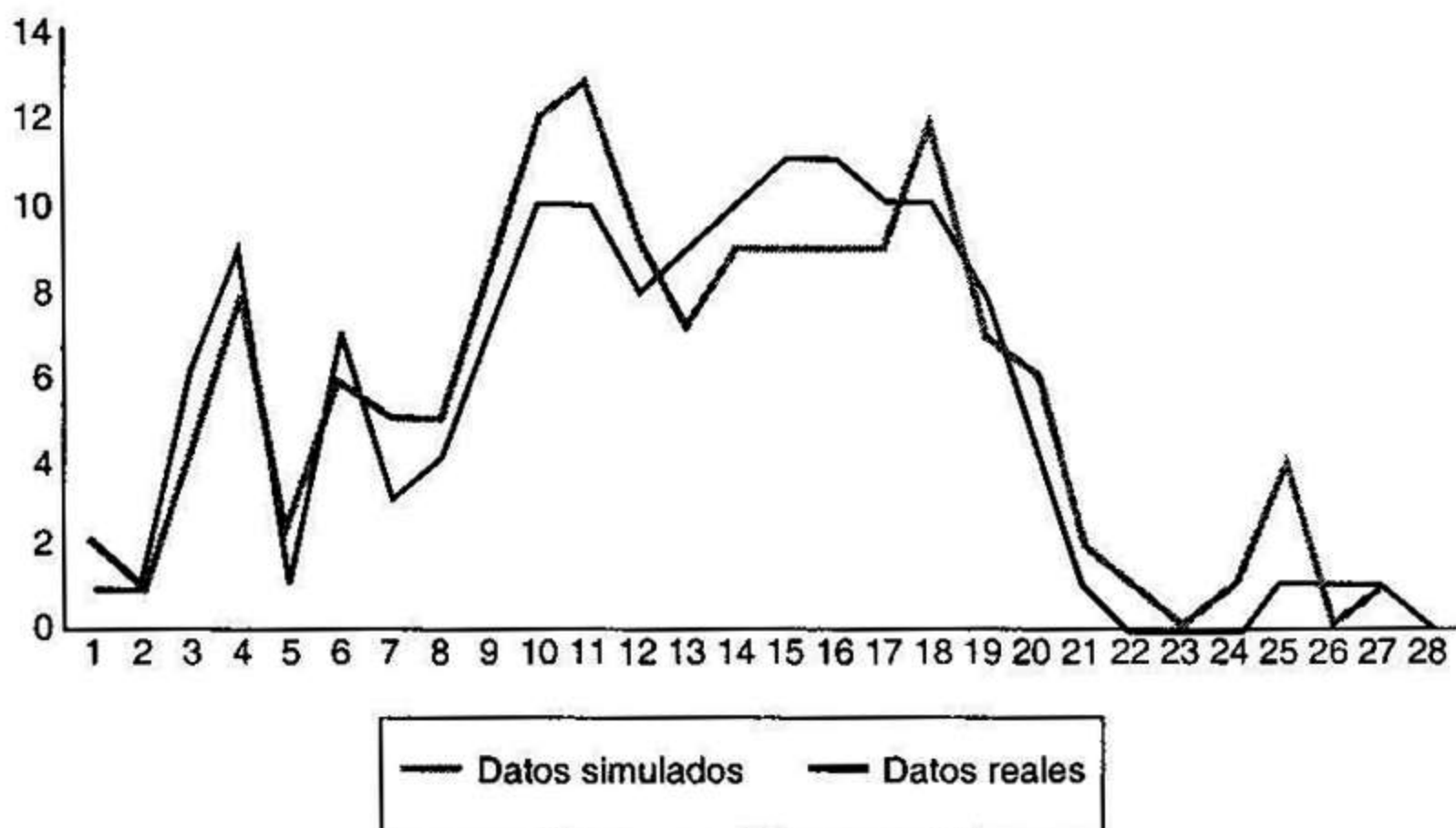


TABLA Nº 2
PRUEBA DE CHI-CUADRADO

	VALOR	gl	Prob. Bilateral
Chi cuadrado de Pearson	8.714	24	0.998
Razón de verosimilitud	10.025	24	0.994

Concluimos entonces que el proceso de llegada de los pasajeros está bien representado por el algoritmo de simulación y los parámetros obtenidos. El ajuste se acepta con un nivel de significancia de 5% y se acepta la similitud.

MODELAMIENTO DEL TIEMPO DE SERVICIO

Determinación de los modelos del tiempo de servicio

Las variables que determinan el tiempo de servicio son la cantidad de pasajeros y la cantidad de maletas. Se obtendrán modelos de tiempo de servicio dependiendo de la cantidad simulada de esas variables.

Ajuste de los modelos a una distribución de vida conocida y pruebas de bondad de ajuste

Para todos ellos se probaron las siguientes hipótesis:

H_0 : Existen diferencias significativas entre la distribución teórica y práctica.

H_1 : No existen diferencias significativas entre la distribución teórica y práctica.

Los modelos que se presentan rechazaron la hipótesis nula, a un nivel de significancia de 0,05. Los modelos son Weibull y Log-normal.

Cálculo de las probabilidades de ocurrencia de los modelos para el algoritmo de tiempo de servicio dependiendo del número de pasajeros y número de maletas

Antes que nada se presenta la siguiente tabla con los modelos propuestos para el modelamiento del tiempo de servicio:

TABLA Nº 3

MODE- LOS	NÚMERO DE PASAJEROS	NÚMERO DE MALETAS	CANTI- DAD	PROBABILIDAD	PROBABILIDAD ACUMULADA
1	1	Ninguna maleta	25	0,093984962	0,093984962
2	1	1 maleta	145	0,545112782	0,639097744
3	1	2 maletas	96	0,360902256	1
4	2	Hasta 1 maleta	29	0,180124224	0,180124224
5	2	2 maletas	94	0,583850932	0,763975155
6	2	De 3 maletas a 4 maletas	38	0,236024845	1

7	De 3 a 4	Hasta 2 maletas	13	0,302325581	0,302325581
8	De 3 a 4	De 3 maletas a 5 maletas	30	0,697674419	1

Algoritmo del tiempo de servicio

Los eventos serán la llegada de los grupos de pasajeros al mostrador o servidor de la aerolínea. La simulación se establece así: se ingresa el número de pasajeros (tamaño del grupo) y se escoge el modelo adecuado para ese número. Si el modelo escogido es 4 ú 8 tendrá una distribución Weibull, caso contrario será una Log-normal, luego se seleccionan sus parámetros y se simula el tiempo.

Algoritmo final del sistema

Los eventos serán la llegada de los grupos de pasajeros. El algoritmo puede establecerse como:

- Se ingresa el vector de lambdas (vect), el TEF (*Máximo Tiempo de Espera en fila de un pasajero*), el tam (*Número máximo de agentes de counter*), el Lint (*Longitud del intervalo (min) del vector de lambdas*).
- Se crea el vector *Capacity* cuya longitud será igual a la de lambdas y el vector de tiempos de servicio (ts); una vez que se inicia el proceso estos tiempos serán definidos como infinitos para indicar que están vacíos.
- Se genera el tiempo de llegada del primer grupo (ta) y se comienza el proceso iterativo hasta que se llegue al término de tiempos de llegada y que todos los grupos de pasajeros sean

atendidos. El proceso buscará el counter con el menor tiempo y se presentan los siguientes pasos:

Caso 1: "Si el instante en que llega el siguiente cliente es igual al mínimo del vector formado por el tiempo de llegada del siguiente cliente, tiempo mínimo de servicio, y el tiempo del siguiente cambio de turno del *capacity* y además menor al tiempo total de atención." Con este caso se indica que ingresa un nuevo grupo al sistema. Dentro de este caso:

- Se actualiza el tiempo del sistema y los pasajeros atendidos por counter "k".
- Se genera el número de pasajeros que llegarán, el tiempo de llegada del siguiente grupo y el N° del servidor que lo atenderá; además se actualiza el número de pasajeros. Si hay servidores vacíos pasa el siguiente grupo y se genera el tiempo de atención del counter, y se codifica a los grupos que quedan en la cola. Si no hay counter disponibles la cola aumenta su tamaño y se modifica su estructura.

Caso 2: "Si el tiempo mínimo de servicio es igual al mínimo del vector formado por el tiempo de llegada del siguiente cliente, tiempo mínimo de servicio, y el tiempo del siguiente cambio de turno del *capacity* y además menor al tiempo total de atención". Lo que indica que sale un

cliente del sistema pero no acaba el tiempo total de servicio. Dentro de este caso:

- Se actualiza el tiempo a la hora de término del servidor k.
- Se actualiza los clientes atendidos por el servidor k y el número de pasajeros.
- Se guarda el código del grupo que sale y se verifica si hay grupos en la cola, si hay se analiza si el grupo que salio no pertenece a ninguno de los grupos en cola. Si la próxima llegada cae fuera del tiempo de servicio se finalizó el servicio del día.

Caso 3: "Si el tiempo del siguiente cambio de turno según *capacity* es igual a mínimo del vector formado por el tiempo de llegada del siguiente cliente, tiempo mínimo de servicio, y el tiempo del siguiente cambio de turno del *capacity* y además menor al tiempo total de atención". Este caso señala que hubo cambio de *capacity*. Dentro de este caso:

- Se ve si el número de agentes va a aumentar, si esto se da se ve si hay cola para que ingrese el siguiente grupo al counter que acaba de abrir.

- Si el grupo es menor de seis, se permitirá ingresar a todo el grupo, caso contrario entrará solo parte de el.

Caso 4: "No se cumple ninguno de los casos pasados y significa que salen clientes del sistema, pero ya no pueden entrar". Dentro de este caso:

- Se actualiza el tiempo a la hora de término del servidor k.
- Se actualiza los clientes atendidos por el servidor k y el número de pasajeros.
- Los grupos van entrando a los counter, de acuerdo al estado de los capacity, es decir libres o no. Esto bajo el criterio que si es menor a seis el grupo entra completo, caso contrario entra por partes.

APLICACIÓN

El presente modelo construido es capaz de proveer al usuario la mejor distribución de agentes cada 10 minutos, utilizando las reservas para el día en que se quiere.

El primer paso es calcular las llegadas promedio por vuelo a través de las reservas. Esto se hace dividiendo las reservas entre el número promedio de pasajeros por llegada para cada vuelo. Se obtiene la tabla:

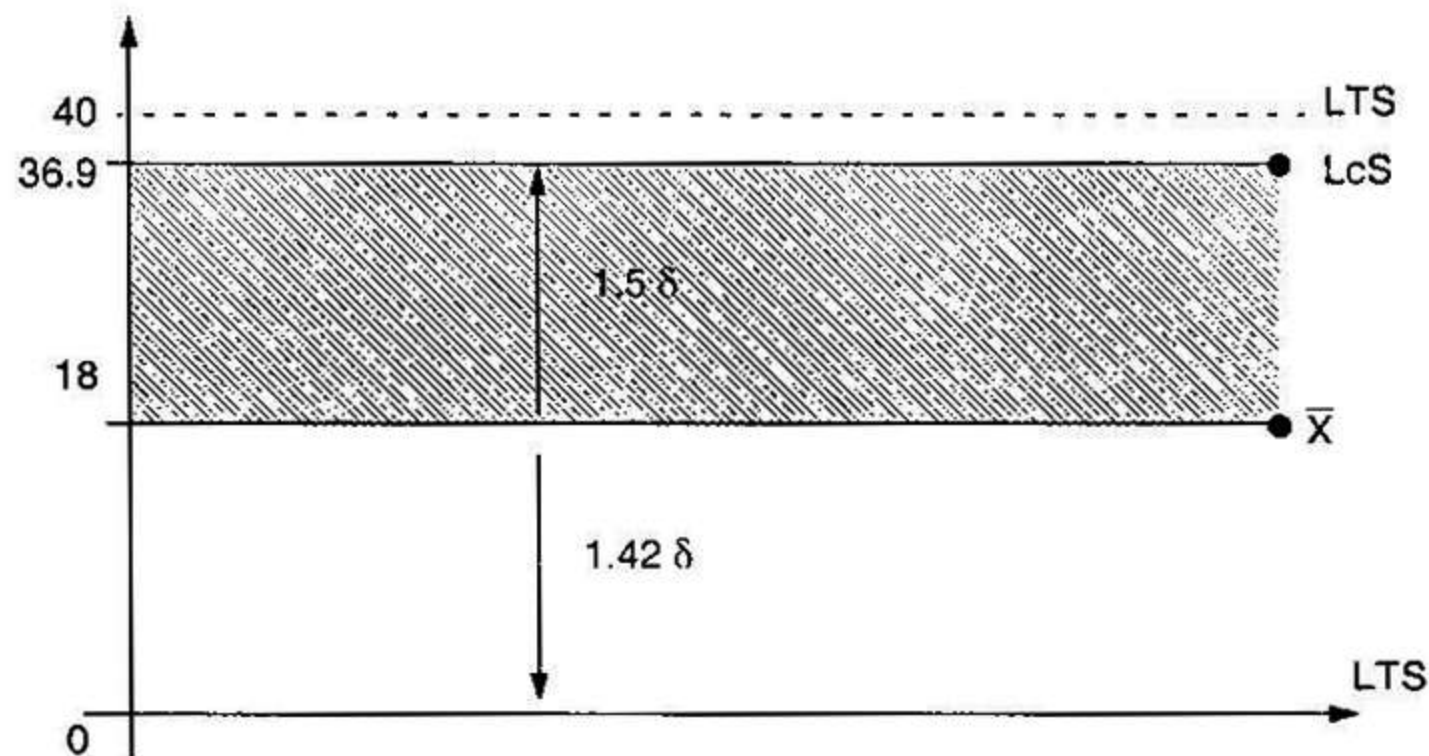
TABLA Nº 4

VUELO	RESERVAS	RESERVAS (#PAX # LLEGADAS)
515	70	50
530	120	79
600	107	46
601	60	36

Como ya se ha explicado antes el TEF o máximo tiempo de espera permitido para un pasajero es una pieza clave en la simulación. La política de la compañía es que los pasajeros en promedio esperan 18 minutos. Con el fin de aproximar un

límite de tolerancia superior calcularemos la desviación estándar de los TEF de los grupos que es igual a 12,617. Utilizando la desviación estándar de la muestra se construye un gráfico con los límites de control y los límites de tolerancia.

GRÁFICO N° 4



Una vez logrado esto utilizaremos el límite de control como parámetro de entrada del sistema de simulación. Sabemos que el número máximo de agentes que se puede tener a la vez es 16, así que lo único que falta es calcular el vector de lambdas utilizando las curvas de distribución por vuelos y los promedios de pasajeros por llegadas; luego,

sumando por intervalos, tendremos el vector de lambdas para la totalidad del turno. Una vez obtenidos estos parámetros de entrada para el programa lo ejecutamos y conseguimos la combinación del máximo número de agentes en cada intervalo ya que estamos trabajando bajo límites de tolerancia máximos.

TABLA N° 4.5
CAPACITY

20:00		Intervalos																								00:40		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	
1	2	2	5	5	8	10	12	12	12	9	11	11	12	14	12	9	10	9	9	5	4	4	4	4	3	3	2	2

Una vez obtenida la distribución candidata utilizando un modelo simplificado del que aquí se presenta se puede probar la efectividad del modelo, donde el programa de prueba verifica en cada iteración si el criterio de máximo tiempo de espera

se supera o no, y se codifica 0 en caso sea superado y 1 en caso contrario.

El experimento de tipo binomial fue realizado tal como se explica líneas atrás, donde resultó una probabilidad de éxito de 0,9 bastante acep-

table con error cuadrático medio de 0,0009.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El modelo que se presenta en este estudio se basa en el itinerario de los vuelos del turno examinado. Esto permite actualizar nuestro modelo cuando aparece una nueva ruta comercial, bastaría tener la distribución de llegada de pasajeros de esa nueva ruta.

Nuestra metodología permite trabajar con otros turnos, siempre y cuando estos conserven las características del modelo.

Nuestra metodología también se puede aplicar a otros tipos de sistemas de atención de clientes que conserven sus características; principalmente que sean de corral único.

La principal aplicación comercial que ofrece este modelo es que hace posible generar una distribución del personal necesario para la atención de pasajeros en los servidores de la aerolínea. Esta aplicación también se puede extender a cualquier compañía aérea que conserve las mismas características de atención de nuestra

empresa, así como también cualquier tipo sistema de atención a clientes que conserve las mismas características del modelo.

La distribución de llegada de los vuelos podría cambiar por temporadas, así como la composición de los grupos de pasajeros (tamaños), por lo que recomendamos hacer un estudio de esta naturaleza periódicamente.

La precisión de este modo de estimación del *capacity* es bastante buena, aunque la velocidad de estimación esta sujeta a la capacidad del procesador de la computadora.

Al trabajar con el máximo no hay un criterio para número de iteraciones pero recomendamos por experiencia hacer mínimo 30 iteraciones ya que en las diferentes pruebas que hemos hecho en la mayoría de casos da como resultado una probabilidad de éxito cercana a 80%.

Al margen de ese inconveniente, el programa de prueba proporciona una probabilidad de falla la cual se ajusta a través del número de iteraciones del programa anterior. Una vez encontrada esta, se podrá trabajar con ese número de iteraciones a futuro.

BIBLIOGRAFÍA

CHAO, Xiuli. (1999) *Queueing networks: customers, signals and product form solutions*. Editorial John Wiley & Sons.

JURAN, J.M., Frank M. Gryna. (1999) *Manual de control de calidad*, 4ª Edición, Volumen II, McGrawHill.

KELTON, W. David, Randall P. Sadowski, David T. Sturrock. (2004) *Simulation with Arena*.

PARZEN, Emanuel. (1972) *Procesos Estocásticos*, Madrid, Paraninfo.

SAATY, Thomas L. (1967) *Elementos de la Teoría de Colas*.

SHELDON M. Ross. (1999) *Simulación*, 2ª edición. Mexico, Prentice Hall.

SIEGEL, Sidney. (1976) *Estadística no paramétrica aplicada a las ciencias de la conducta*, Mexico, Trillas.

VALENCIA IBARRA, Raúl Aurelio. (2001) *Sistema de administración de colas para una institución que brinda servicios a sus clientes en forma masiva-local*.

Reliability Engineering and Weibull Analysis Resources for the Reliability Professional, <http://www.weibull.com>

Hugo Solano Martinez, David Yábar Meoño y Giovanni Hernández Chunga

Alumnos de la Escuela Profesional de Estadística. Este trabajo es una versión resumida del documento que fue galardonado con una mención honrosa en el concurso de trabajos de investigación estudiantil, auspiciado por la Escuela de Postgrado FIECS.