

DIMENSIONAMIENTO DE FLOTA VEHICULAR PARA LA ATENCION DE POSICIONES REMOTAS EN UN AEROPUERTO INTERNACIONAL

Eduardo Carbajal López, Magister en Estadística
Pontificia Universidad Católica del Perú, ecarbajal@pucp.pe

Abstract– El objetivo del presente trabajo es determinar el tamaño de flota de buses para atender los requerimientos de aerolíneas con vuelos de salida y llegada nacional e internacional que requieran el traslado de tripulación y pasajeros hacia aviones asignados a posiciones remotas en un aeropuerto internacional latinoamericano. Se utilizó un modelo de simulación de eventos discretos y un modelo de optimización basado en simulación para dimensionar óptimamente la flota, determinando el número de buses necesarios para atender a los vuelos de posiciones remotas, considerando el nivel de servicio objetivo de no exceder una demora de más de 5 minutos antes del inicio de la atención de un vuelo de salida o llegada en el aeropuerto en estudio. Los resultados obtenidos permitieron determinar el incremento año a año durante un periodo de 5 años para coberturar las operaciones mencionadas.

Palabras clave. *Simulación de eventos discretos, Optimización basada en simulación, Transportes*

I. INTRODUCCIÓN

Dentro del marco de las operaciones de atención de vuelos de salida y llegada nacionales e internacionales en el aeropuerto en estudio, un problema crítico principal es asegurar el estándar de servicio evitando demoras en cada uno de los procesos involucrados tanto en el embarco como desembarco de pasajeros. En esta coyuntura uno de los servicios críticos tiene que ver durante los periodos picos de atención del aeropuerto con la disponibilidad limitada de mangas para que los pasajeros puedan subir o descender de los aviones. Existen en el aeropuerto en mención alrededor de 40 puertas de embarque, pero tan solo alrededor de 25 de ellas cuentan con mangas para la atención de pasajeros, por lo que parte importante de las operaciones (alrededor de un 36%) requieren el uso de buses que lleven a los pasajeros desde las puertas de embarque hacia posiciones remotas donde suben a los aviones o también cuando los aviones llegan y requieren que los pasajeros que desembarcan puedan ir a las zonas de recojo de equipaje.

Dado que el uso de estos buses requiere el tránsito interno por el aeropuerto, por vías señalizadas, y las posiciones remotas se encuentran en zonas periféricas, el traslado de los mismos en horas punta considerando la demanda existente se ha ido

convirtiéndose en los últimos años en un problema crítico al constituirse el servicio en un cuello de botella que comenzaba a generar retrasos significativos (de alrededor de 10 minutos o mas según la hora programada de inicio de abordaje) sobretodo en los horarios picos. Debido a esta problemática es que se plantea como posibilidad de solución inmediata el ampliar la flota inicial de buses disponibles de 10 unidades a una cantidad adecuada de buses que puedan cumplir con la atención de los vuelos en el periodo pico satisfaciendo el nivel de servicio objetivo de la administración del aeropuerto. En esta coyuntura es que se plantea la necesidad de un estudio que pueda determinar el tamaño de flota óptimo replicando las condiciones de operación y restricciones descritas. La solución planteada es el desarrollo de un estudio de simulación de eventos discretos empleando Rockwell Arena (léase Kelton, David, Sadowwski, D. y Sadowwski, R. (2010) sobre los fundamentos teóricos del uso del software asociado a los conceptos teóricos de la simulación de eventos discretos y Altiok, T. (2007) para la revisión de las herramientas de análisis de entrada y salida de datos de un modelo de simulación de eventos discretos) del sistema de atención de embarque y desembarque de pasajeros que incluya los buses como transportes restrictivos y permita determinar la cantidad óptima en base a una optimización basada en simulación.

El alcance del desarrollo del presente trabajo consta del análisis de la información, diseño de un modelo de simulación de la operación de servicio de buses y validación en relación al servicio de atención de buses para traslado de tripulación y pasajeros de vuelos de salida y llegada nacionales a internacionales en posiciones remotas. Se revisará el tratamiento de los datos de entrada, el manejo de las hojas de cálculo que alimentan al modelo de simulación, la descripción del modelo, presentación de indicadores y definición del tamaño óptimo de flota.

2. ANÁLISIS DE DATOS DE ENTRADA

Para la elaboración del modelo se emplearon diversas fuentes de información. Entre las principales figuran las siguientes:

- Itinerario de vuelos del Aeropuerto Internacional(AI)

- Nivel de ocupación promedio por aerolínea.
- Capacidad de los diferentes modelos de naves que operan en el AI
- Base de datos del sistema actual de gestión de buses.

La información fue analizada y clasificada para determinar los datos de entrada del modelo. Esta información fue consolidada en un archivo de MS Excel que se el archivo base que el modelo de simulación leerá para poder simular la situación propuesta. En las partes siguientes se especifica cada hoja de cálculo del archivo de MS Excel.

2.1 Vuelos

En las hojas de cálculo vuelo se ingresa la información de la lista de vuelos a incluir en la simulación. Se tienen tres hojas de cálculo de ingreso de datos: “Vuelos Salida Nacional”, “Vuelos Salida Internacional” y “Vuelos Llegada¹”. También figura una hoja descriptiva denominada “Variables”, que detalla la codificación de valores empleados en las hojas anteriormente mencionadas. Cabe resaltar que la información ingresada en estas hojas corresponde siempre a data numérica, por ende deben consultarse la hoja “Variables” para reconocer cual es la codificación de cada campo y los valores permitidos. En la Tabla 1 se muestra esta codificación.

Tabla 1
Codificación de variables de vuelo

CÓDIGO	CAMPO	Valores
C1	DIA	Entero entre 1 y 7
C2	HORA	Entero entre 0 y 23
C3	MINUTO	Entero entre 0 y 59
C4	TIPO	
	Nacional	1
	Internacional	2
C5	FLUJO	
	Salida	1
	Llegada	2
C6	AEROLINEA	
	AEROLINEAS ARGENTINAS	1
	AEROMEXICO	2
	AIR CANADA	3
	AIR EUROPA	4
	AIR FRANCE	5
	AMERICAN AIRLINES	6
	AVIANCA-TACA	7
	COPA AIRLINES	8
	DELTA AIRLINES	9
	IBERIA	10
	KLM	11
	LAN AIRLINES	12
	SPIRIT AIRLINES	13
	TAM	14
	TAME	15
	UNITED	16
	JET BLUE	17
	VIVA COLOMBIA	18
	ATSA	19
	LAN PERU	20
	LC PERU	21
	STAR PERU	22
	AVIANCA/TACA PERÚ	23
	PERUVIAN AIRLINES	24
C7	AERONAVE	
	A	1
	B	2
	C	3
	D	4
	E	5
	F	6
C8	PASAJEROS	Entero

En síntesis para registrar cada vuelo es necesario definir el día, hora y minuto programado del vuelo (en caso de un vuelo de llegada será el día, hora y minuto en que el vuelo arriba al AI, en caso de un vuelo de salida será la hora programada de salida según itinerario del vuelo), se debe indicar también si es un vuelo de salida o llegada, si es de procedencia nacional o internacional, la aerolínea a la que pertenece, la clasificación de tamaño de la aeronave asociada al vuelo y finalmente el número esperado de pasajeros en el vuelo. Todos los datos mencionados con anterioridad se obtienen del itinerario de vuelos, con excepción de la cantidad de pasajeros que se obtiene en función de la capacidad de la aeronave multiplicada por el load factor correspondiente a la aerolínea. Este dato es fundamentalmente importante pues permite determinar posteriormente el número de buses a asignar a cada vuelo en caso que este sea asignado a una posición remota.

2.2 Distancias

En esta hoja de cálculo se encuentra definida la distancia comprendida entre cada par de puntos posible de desplazamiento de los buses en el AIJCh. Esta información se calculó a partir de la información proporcionada en el layout a

¹ Esta hoja de cálculo incluye tanto a los vuelos de llegada nacional como internacional.

escala del aeropuerto. Las distancias han sido calculadas en metros y son copiadas al modelo de simulación de manera que este pueda calcular en función de los desplazamientos de los buses y su velocidad de movimientos los tiempos de traslado. Cabe resaltar que esta hoja de cálculo a diferencia de la anterior no es una que sea leída directamente por el modelo, sino que es copiada manualmente en la definición de elementos del modelo de simulación. En la Tabla 2 se muestra el detalle de la estructura de la tabla de distancias. Las columnas “Inicio” y “Fin” hacen referencia al nombre con el que se identifica cada punto en el layout remitido. Las columnas “Inicio Modelo” y “Fin Modelo” hacen referencia a las posiciones tal como se identifican dentro del modelo de simulación.

En esta tabla se han definido no solo las distancias entre terminales y posiciones remotas, sino que todo par de distancias posibles, incluso entre posiciones remotas y entre terminales, debido a que en el horario punta es posible que los buses no regresen a su base entre cada atención sino que se muevan de una posición a otra tras culminar un traslado.

Tabla 2
Codificación de variables de vuelo

Inicio	Fin	Distancia	Inicio Modelo	Fin Modelo
1	EPA2	1083	S_1	S_EPA2
1	TB	1084	S_1	S_TB
1	7A	469	S_1	S_7A
1	7B	435	S_1	S_7B
1	7	491	S_1	S_7
1	6	576	S_1	S_6

2.3 Posiciones Remotas

En esta hoja de cálculo se define una matriz en la que se vinculan todas las posiciones remotas entre sí de acuerdo a la numeración en el layout. La matriz contiene valores binarios de acuerdo a la regla siguiente:

0: Indica que no se pueden usar las posiciones remotas correspondientes a fila y columna en simultáneo.

1: Indica que es posible emplear las posiciones remotas correspondientes a fila y columna en simultáneo.

En la Tabla 3 se muestra una parte de la matriz. Puede verse a modo de ejemplo que la fila de la posición remota 27 tiene un 0 en la columna de la posición remota 33. Esto indica que en caso de que se ocupe la posición remota 27 automáticamente en el modelo de deshabilitará la posición remota 33. Esto se debe a la configuración de posiciones en el layout, que genera que en algunos casos el posicionar aviones en ciertas posiciones deshabilita el poder usar posiciones remotas contiguas a dicha posición.

Tabla 3

Matriz de Posiciones Remotas

	1	2	3	4	5	6	7	7A	7B	27	28	29	33	33L	33R	34	34L	34R	35	35L	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7A	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7B	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
27	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1
28	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
33	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Ejecutor Proyectos:
Cuando se estaciona un avión en la Posición Remota 27, no puede estacionarse otra aeronave en la Posición Remota 33.

2.4 Gates

Dentro del proceso de atención de vuelos nacionales/internacionales tanto de salida como llegada existen dos posibles mecanismos de traslado de los pasajeros del gate al avión (o viceversa). El primero de estos mecanismos son las mangas que permiten que los pasajeros puedan abordar directamente el avión desde el gate. El AIJCh cuenta con mangas en 19 de sus gates (Gates 8 a 26). Si bien la prioridad es que siempre sean utilizadas estas pues permiten un abordaje más cómodo y rápido en caso de que hayan muchos vuelos en una franja horaria es posible asignarlos a los gates 1 a 7 o 27 a 39 que corresponden a gates sin mangas en el primer piso del aeropuerto que trasladan a los pasajeros al avión empleando buses.

La distribución de los gates a los vuelos si bien se realiza prioritariamente asignado mangas depende también del tipo de vuelo es decir si es nacional o internacional. Esto se debe a que existe al interior del AIJCh zonas de salida para vuelos nacionales a internacionales, que son divididas mediante *swing gates*. Estas *swing gates* son aperturadas de forma distinta dependiendo de la hora del día para permitir poder variar el número de gates asignables a vuelos internacionales/nacionales dependiendo del segmento pico de cada uno. Estas condiciones fueron ingresadas al modelo basadas en la matriz de la hoja de cálculo “Gates”. En esta matriz dependiendo de la hora del día (filas) se identifica si cada gate (columna) se encuentra disponible para viajes nacionales (1) o internacionales (2). En la Tabla 4 se muestra la estructura de esta matriz.

Tabla 4
Matriz de Posiciones Remotas

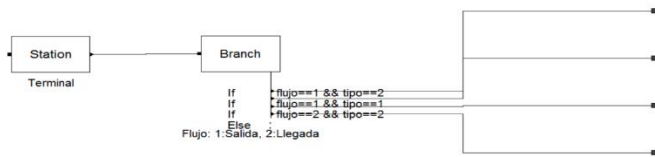


Figura 3
Lógica del módulo Creación de vuelos

3.3 Salidas Internacional / Salidas Nacional

En este módulo se simula la lógica de asignación de vuelos de salida a gates con manga y a gates sin manga. En el caso de los gates con manga el alcance de la simulación culmina luego de ocupar la manga para el a bordo de pasajeros. En el caso de gates sin mangas al vuelo se le asigna un gate y continúa al módulo de Gates sin manga.

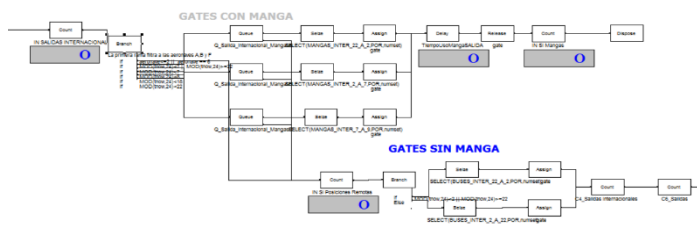


Figura 4
Lógica del módulo Salidas

3.4 Llegadas Internacional / Llegadas Nacional

En este módulo se les asigna un gate con manga o sin manga a los vuelos que llegan al AIJCh. En el caso de los vuelos con gate con manga asignado el alcance termina luego de un tiempo de ocupación de la manga. En el caso de vuelos sin gate con manga se continúa al módulo de Posiciones remotas.

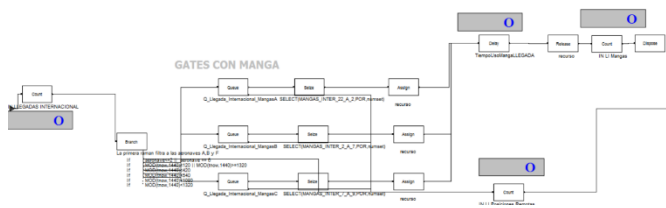


Figura 5
Lógica del módulo Llegadas

3.5 Gates sin manga

En este módulo cada vuelo de salida genera requerimientos de uso de buses de acuerdo a la cantidad de pasajeros y a los tripulantes del vuelo. Puede verse la lógica general del proceso en la Figura 6.

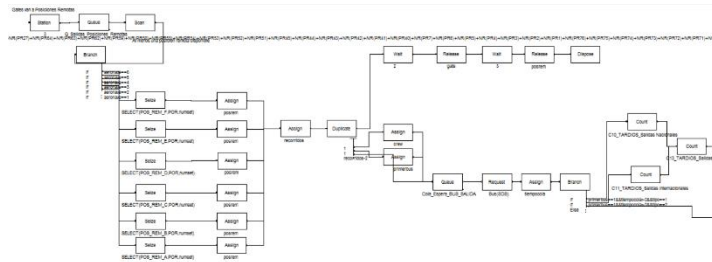


Figura 6
Lógica del módulo Gates sin manga

3.6 Aterrizaje de aviones

En este módulo los vuelos de llegada que no consiguieron acceder a un gate con manga son posicionados en una posición remota. En cada una de las posiciones remotas se solicitan buses para el traslado de pasajeros hacia los terminales de la zona de recojo de equipaje nacional e internacional dependiendo del vuelo.

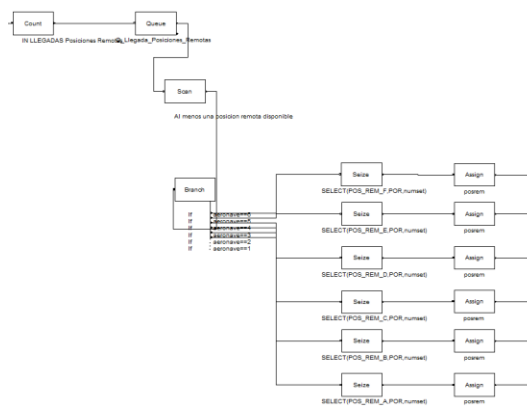


Figura 7
Lógica del módulo Aterrizaje

3.7 Posiciones remotas

En este módulo los buses provenientes de gates sin mangas arriban y descargan pasajeros. Los pasajeros suben a los aviones y el fin del alcance del proceso ocurre con el inicio del proceso de despegue cuando la posición remota es liberada.

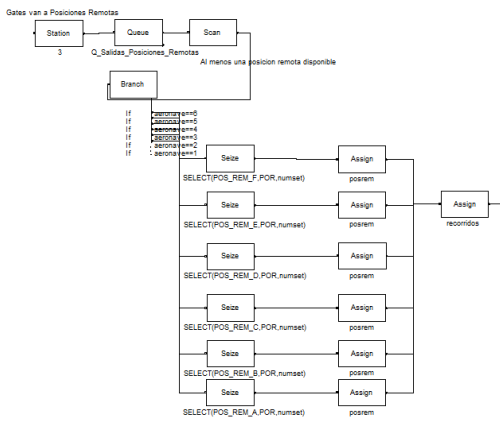


Figura 8
Lógica del módulo Gates sin manga

IV. RESULTADOS

El modelo de simulación construido permite poder realizar cambios en el tamaño de flota de buses y medir el impacto de dichas modificaciones sobre los indicadores anteriormente descritos, por ende, para poder determinar el óptimo de buses se siguió el procedimiento siguiente:

- Se inició el tamaño en flota en la cantidad actual de 10 buses disponibles
- Se procede a correr el modelo y calcular a partir de los contadores de uso de buses la cantidad de requerimientos de buses promedio por hora del día. Esto se decidió debido a que se observó que si bien hay periodos en los cuales los buses actuales son insuficientes, esto ocurre solo en los periodos pico de operación del AI.
- Si se determina que el pico es equivalente al tamaño de flote se repite el procedimiento, incrementando en una unidad el tamaño de flota y se regresa al paso 2.

El objetivo de este procedimiento es ir revisando cual es el número adecuado de buses a tener por hora del día de manera que no se tenga un dimensionamiento estático de tamaño de flota sino que se pueda determinar los periodos de tiempo en los cuales son necesarios más buses para poder evaluar opciones de renta o modificar el sistema de atención

En la Figura 9 se muestra el análisis realizado siguiendo la metodología descrita.

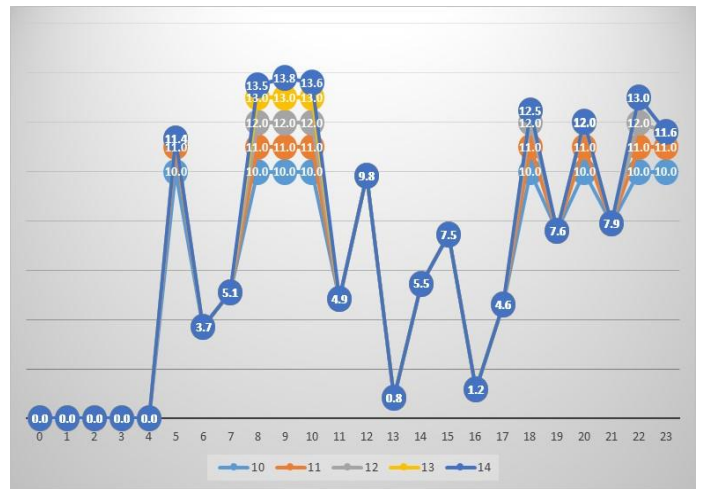


Figura 9
Número promedio requerido de buses por hora día pico

En la figura 9 puede observarse que se inició el análisis con un tamaño de flota de 10 unidades y se culminó con 14 unidades, debido a que en ese punto todos los picos se encontraban por debajo del tamaño de flota. Se observa que el periodo pico de operación donde más buses en promedio son requeridos se ubica entre las 8 y las 10 de la mañana donde los valores promedio son de 13.5, 13.8 y 13.6 respectivamente. En base a esta evidencia el tamaño de flota recomendado en estos intervalos únicamente sería de 14. Cabe mencionar que dentro de los escenarios finales estudiados se incluyeron periodos de mantenimientos preventivos y correctivos de los vehículos agregando información de fallas presentadas para asegurarse que la factibilidad técnica de los resultados sea lo más certera posible en el entorno de la aplicación de las recomendaciones obtenidas.

V. CONCLUSIONES

En resumen, para el nivel de flota de 14 buses se tienen los siguientes tiempos promedios de servicio del sistema de buses (Se hace referencia desde que se solicita el bus hasta que el último grupo de pasajeros del vuelo termina de ser atendido por el ultimo bus asignado) que se detallan por tipo de movimiento en la tabla 6.

Tabla 6
Tiempos promedios de operación por tipo de movimiento

Indicador	Tiempo (minutos)	Flujo	Tipo
Tiempo Operación	11.2464	Llegada	Nacional
Tiempo Operación	11.8482	Llegada	Internacional
Tiempo Operación	11.2878	Llegada	Total
Tiempo Operación	12.6804	Salida	Nacional
Tiempo Operación	15.3888	Salida	Internacional
Tiempo Operación	13.3272	Salida	Total

Estos tiempos corresponden a valores promedios aceptables dentro del rango de operación definido por el administrador del aeropuerto. Bajo estos resultados se puede asegurar además tiempos de espera de inicio de operación por debajo de los límites críticos definidos en la conceptualización del problema. Los resultados obtenidos consideran un horizonte de operación proyectado de hasta 5 años, momento en el que se debe actualizar la data histórica del modelo construido en función a nueva data disponible para la programación de capacidad del próximo periodo operativo en función de los cambios operativos que se puedan presentar en la propia lógica de la operación de embarque y desembarque.

REFERENCES

- [1] Altiook, T. (2007). "Simulation Modeling and Analysis with Arena" *Academic Press*
- [2] Banks, J, Barry, N., Carson, J. y Nicol, D.. (2004). "Discrete-Event System Simulation". Cuarta edición. *Editorial Prentice Hall International*.
- [3] Kelton, David, Sadowwski, D. y Sadowwski, R. . (2010). "Simulation with Arena" *Editorial McGraw-Hill*
- [4] Rosseti, M.D. (2010). "Simulation Modeling and Arena ", 3rd edition, *Wiley & Sons United States of America*
- [5] Ketki Kulkarni (Singapore Management University) and Khiem Trong Tran, Hai Wang, and Hoong Chuin Lau (SMU) (2017) "Efficient Gate System Operations for a Multi-Purpose Port Using Simulation-Optimization"
- [6] Martin Pernkopf and Manfred Gronalt (University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna) (2017) "A Simulation Study to Evaluate the Appropriate Dimensions of a New Automated Log Sorting and Storing Technology in the Wood Processing Industry"
- [7] Thomas Sobottka, Felix Kamhuber, Jan Henjes, and Wilfried Sihn (Vienna University of Technology) (2017) "A Case Study for Simulation and Optimization Based Planning of Production and Logistics Systems"