

# ANÁLISIS VÍA SIMULACIÓN DE LOS PROCESOS DE MANEJO DE EQUIPAJES EN EL AEROPUERTO DE SANTIAGO DE CHILE

Juan Pablo Cavada<sup>1</sup>, Cristián E. Cortés<sup>1</sup>, Fernando Díaz<sup>3</sup>, Ricardo Goeppinger<sup>1</sup>, Pablo A. Rey<sup>2</sup>,  
Ezequiel Sosa<sup>3</sup>, Guillermo Ulloa<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas

<sup>2</sup> Universidad Diego Portales, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Industrial

<sup>3</sup> Andes Airport Services.

E-mail: [jucavada@ing.uchile.cl](mailto:jucavada@ing.uchile.cl); [ccortes@ing.uchile.cl](mailto:ccortes@ing.uchile.cl); [fernando.diaz@lan.com](mailto:fernando.diaz@lan.com);  
[rgoeppin@ing.uchile.cl](mailto:rgoeppin@ing.uchile.cl); [pablo.rey@udp.cl](mailto:pablo.rey@udp.cl); [ezequiel.sosa@lan.com](mailto:ezequiel.sosa@lan.com); [gaulloa@uc.cl](mailto:gaulloa@uc.cl).

---

## Resumen

El manejo de equipajes es un proceso importante para los actores involucrados en el transporte aéreo, por los costos asociados al equipaje no embarcado o dañado en algún punto por el operador de equipajes o aéreo. El Aeropuerto de Santiago dispone de un sistema parcialmente automatizado del manejo de equipajes donde parte de las operaciones involucradas, como la separación y distribución de equipajes en distintos vuelos de la misma compañía, se hacen de manera manual, lo que en situaciones de congestión genera ineficiencia y disminución de la calidad de servicio. En este trabajo se presenta un modelo de simulación de la operación del terminal desde la llegada de pasajeros a los counters hasta la carga de equipajes en los aviones. Con apoyo del simulador construido se han identificado los cuellos de botella del sistema, las causas de las detenciones del sistema de cintas transportadoras y la sobrecarga de trabajo en ciertos sectores en determinados periodos del día. A partir de estos resultados, se proponen alternativas de mejora para los problemas detectados.

**Palabras Clave:** *simulación, equipajes, logística.*

**Área Temática:** *Simulación.*

**Nº de palabras:** 6038

---

## 1. Introducción

El manejo de equipajes es un proceso importante para las actividades en tierra asociadas a los vuelos que operan en los aeropuertos, tanto para usuarios como para operadores, ya que la imagen de las empresas de transporte aéreo es afectada si los equipajes de los pasajeros no llegan a destino o sufren daños durante los viajes, además de gastos monetarios asociados. Este tipo de operaciones es más compleja en los principales aeropuertos de las ciudades importantes del mundo, debido a la intensidad de pasajeros, alta densidad de vuelos y de opciones de conexión de destinos, problema que se agudiza en periodos de alta demanda.

En la actualidad, los mayores aeropuertos del mundo operan con sistemas de manejo de equipaje (BHS, del inglés baggage handling system) automatizados. En el Aeropuerto Internacional de Santiago se cuenta con un BHS avanzado, pero el sistema no es completamente automático, pues parte de los procesos que realizan los operadores de equipajes, como la separación y distribución de equipajes en los distintos vuelos que atienden, son manuales.

Durante los meses de Enero y Febrero del 2011, el Aeropuerto Internacional de Santiago enfrentó la demanda record histórica. Solamente durante Febrero 1,077,193 pasajeros pasaron por el terminal, lo que representa un aumento cercano al 25% con respecto al mes anterior. Durante el año 2010 se transportaron un total de 10 millones de pasajeros constituyendo un alza del 14.3% con respecto al 2009. Para el presente año se espera que estos números sigan incrementándose. La capacidad del aeropuerto AMB fue ampliada en el año 2001 y está estimada en 9.5 millones de pasajeros año. Bajo este escenario, todos los sistemas que operan el terminal están sometidos a un nivel de estrés sin precedentes. Como consecuencia se producen largas esperas para los pasajeros, retrasos en los vuelos y posibles pérdidas de equipajes.

Con estos antecedentes como contexto, se estudió en detalle las operaciones que se realizan en el patio de equipajes por parte del principal operador de equipaje del aeropuerto, Andes Airport Services, responsable del orden del 85% del equipaje que ingresa al sistema BHS, para proponer medidas de corto y mediano plazo. Se apuntaba a mejorar el funcionamiento del sistema de manejo de equipaje considerando que la estructura física actual del sistema no sería modificada. Las acciones buscadas se orientaron a la disminución de detenciones del sistema BHS producto de mal manejo del equipaje, la determinación de dotaciones apropiadas de personal y la mejora indicadores de rendimiento de operadores mediante el rediseño de procesos, entre otras.

En este artículo se resume la primera etapa de este trabajo ya cumplida, la que contempla la implementación de un simulador de los procesos que involucran el traslado de las maletas desde el sector de counters hasta el carro que finalmente las lleva al avión. De las simulaciones, el objetivo es analizar en profundidad el BHS para el área de embarques nacionales e internacionales, identificando los procesos críticos y su impacto en el resto del sistema. La métrica fundamental utilizada para cuantificar el rendimiento del sistema es el número de maletas que quedan en tierra, es decir maletas que a pesar de ingresar al sistema vía counters, no logran acceder al avión debido a

problemas como detenciones del BHS asociadas a equipaje mal ingresado al sistema o personal insuficiente para mantener la operación, entre otros.

En la simulación se ha capturado la relación entre los componentes que afectan el equipaje de aquellos pasajeros que embarcan. Se ha modelado desde el momento en que el pasajero ingresa al terminal y se forma en la cola, el check-in e ingreso de su maleta al sistema, el tránsito por las cintas transportadoras desde el sector de counters, su paso a través del escáner de seguridad hasta los carruseles del patio de equipaje donde son cargadas en carros y despachadas al avión.

Existe abundante literatura en temas de simulación del check-in en aeropuertos. En van Dijk y van der Sluis (2006) se analiza con profundidad las principales ventajas de estudiar este tipo de sistemas utilizando simulación pura o en combinación con otras herramientas como teoría de colas u optimización lineal. Joustra y Dijk (2001) muestran por qué la simulación es más apropiada para el proceso de check-in en los aeropuertos y se apoya con un estudio de caso en el aeropuerto de Amsterdam. Las colas en los aeropuertos se explican como función de fuertes fluctuaciones y peaks durante el día en la cantidad de pasajeros que llegan. La teoría de colas es incapaz de explicar esta variabilidad y por lo tanto no es apropiada para calcular la cantidad de counters requeridos. Una aproximación alternativa se encuentra en Chun y Mak (1999), donde mediante el uso de simulación se estiman tiempos de espera para pasajeros en función de la cantidad de counters disponibles para cada vuelo en forma dinámica a lo largo del día. En Park y Ahn (2003) explican en detalle el modelo necesario para optimizar la asignación de counters basado en el patrón de llegada de pasajeros.

En cuanto al modelamiento de sistemas de equipajes existen trabajos a nivel macro, como en Andreatta et al. (2007) y en Manataki y Zografos (2009). En ambos trabajos el BHS es parte de un simulador que representa todos los procesos relacionados en el terminal, pero donde cada proceso es un modulo, lo que resulta muy útil a la hora de evaluar el desempeño global del terminal. Por otro lado existen simulaciones del BHS, también detalladas en Andreatta et al. (2007), pero con modelos contruidos *ad hoc* para aeropuertos específicos, por lo que su extensión a casos generales no es posible.

Observando globalmente la literatura en relación con el modelamiento de BHS, se observa que los trabajos son ya sea muy desagregados (micro) o bien muy agregados (macro), lo que dificulta capturar las relaciones existentes entre la llegada de pasajeros al terminal, el ingreso al check-in y el trabajo de los operarios que cargan las maletas al avión al final de la cadena. La simulación propuesta en este trabajo se estructura y construye sobre un microsimulador de tráfico urbano, que se ha adaptado vía API para emular el movimiento de las maletas sobre una red de correas transportadoras con prioridad. Esta construcción permite estudiar de mejor forma la relación entre los procesos mencionados anteriormente.

En la siguiente sección se entrega una breve descripción del funcionamiento del patio de equipajes BHS, para el caso de los embarques. Este trabajo se centra en el movimiento de maletas desde los counters hasta los aviones que salen del aeropuerto. La operación para recuperar las maletas de los vuelos que llegan es un proceso más sencillo pero no ha sido incluido en el análisis aún. En la

sección 3 se describe como se estructura el simulador, dentro de la sección 4 se presentan los distintos análisis sobre la operación que se realizaron a partir de la herramienta construida para días representativos de los meses de alta, con las conclusiones relevantes de cada análisis. La sección 5 cierra este artículo con conclusiones del trabajo, estado actual del desarrollo y las tareas futuras.

## 2. El sistema BHS en los embarques

Para comprender mejor el trabajo realizado es necesario entender los componentes del BHS, cómo interactúan y algo de terminología. Los 104 counters disponibles para el check-in de pasajeros corrientes, se encuentran en el tercer nivel del terminal (el sector para pasajeros VIP se encuentra fuera del sistema en estudio). Se llama un “corral” a un grupo de counters que atienden a un mismo grupo de vuelos y a la cola de pasajeros correspondiente. Esta agrupación es fundamental, pues como se verá más adelante el corral por el que ingrese un equipaje definirá su lugar de destino en el patio de equipajes. En la figura 1 se muestra la configuración del sistema BHS y el flujo del equipaje dentro de éste para uno de los subsistemas que lo conforman.

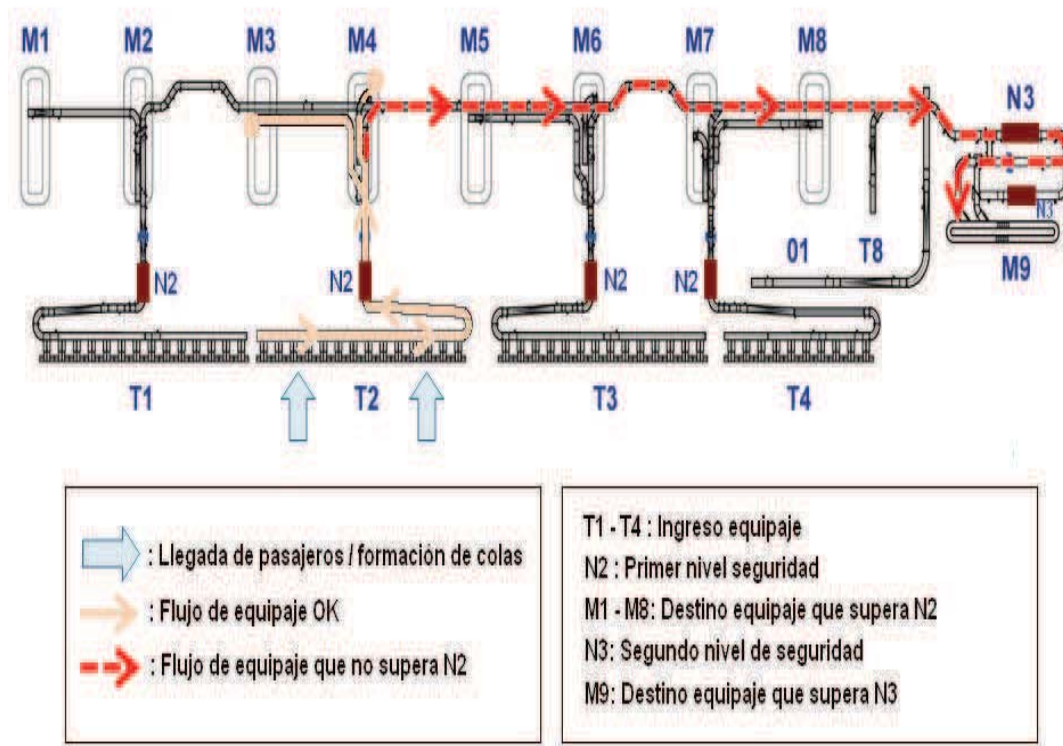


Figura 1: Configuración y flujo del equipaje del sistema BHS

El BHS está compuesto por cuatro subsistemas o “T” (T1, T2, T3 y T4). Cada uno de estos subsistemas incluye 28 counters (exceptuando la T4 que solo posee 20) desde los cuales se ingresan los equipajes a una cinta colector común. Los equipajes bajan por esta cinta hasta el patio de equipajes, ubicado en el primer piso del terminal, donde pasan a la revisión de seguridad en un scanner de rayos X.

El patio de equipajes está formado por nueve carruseles (denominados M1 a M9) hasta donde llegan las maletas provenientes de counters. Cada “T” tiene asociado dos carruseles hasta donde pueden llegar las maletas, así T1 desemboca en el carrusel M1 o en M2; T2 en los carruseles M3 o M4, etc. El carrusel al cual una maleta será destinada depende exclusivamente del counter por el cual esta fue ingresada. Para cambiar la asignación counter-carrusel se debe contactar al operador del BHS, por lo que en general se considera fija a lo largo de un turno. Aquellas maletas encontradas sospechosas en la revisión por rayos son desviadas automáticamente a otra cinta transportadora, que pasa por todas las “T” y terminan en una máquina de escáner más poderosa. Finalmente aquellas encontradas limpias son depositadas en el carrusel M9. Hasta el momento que las maletas llegan al carrusel el proceso es completamente automático

A partir de este punto el proceso es principalmente manual y se denomina “preparación del vuelo”; en primer lugar se segrega y deposita en carros el equipaje que ha llegado a cada carrusel o “M” de acuerdo al vuelo que pertenece, proceso a cargo de uno o dos operarios, dependiendo de la complejidad del vuelo. Para distintos tipos de vuelo, los operarios estarán disponibles entre 90 a 150 minutos antes de la salida del vuelo. Entre veinte a catorce minutos antes de la hora de salida del vuelo estos contenedores salen hacia el avión, quedando en tierra cualquier maleta no cargada hasta el momento. Las maletas desviadas hasta M9 son devueltas por un operador a su carrusel de destino original o llevadas directamente al avión dependiendo del tiempo restante para la salida del vuelo.

Aproximadamente el 30% del equipaje que debe cargarse en un avión no ingresa vía counter, sino que pertenece a pasajeros con vuelos en conexión. Este tipo de equipaje se traslada desde el avión arribado, escaneado por seguridad y luego subido al avión de destino del pasajero. Dependiendo de la conexión que realice el pasajero, el tiempo disponible para realizar este proceso puede ser desde varias horas hasta un mínimo de 45 minutos.

### **3. Herramienta de Simulación del BHS**

Para analizar en profundidad distintas medidas a implantar en el sistema de manejo de equipajes que llega al aeropuerto, se programó un simulador de este sistema que abarca desde la llegada de los pasajeros a su respectiva cola para ser atendido en counters hasta que el equipaje es puesto en el carro que lo llevará al avión. La herramienta se montó sobre un paquete de micro-simulación de tráfico vía API (Application Programming Interface), adaptando el funcionamiento del sistema de manejo de equipajes a la lógica del movimiento de vehículos sobre una red de transporte urbano. Lo anterior, permitió modelar de buena manera el comportamiento mecánico de

las cintas transportadoras. Por otra parte, se modeló la llegada de pasajeros, atención en counters, conexiones, y recepción y carga de maletas en el patio de equipajes a través de módulos programados en C++ que interactuaban con el simulador del BHS.

A continuación se describen los módulos y parámetros que permiten diferenciar distintos escenarios. Este conjunto se puede modificar fácilmente sin afectar el modelo. Por lo que se pueden analizar distintos experimentos cambiando los parámetros.

### 3.1. Estructura del Simulador

El simulador está formado por seis módulos fundamentales, los cuales operan de manera conjunta e interconectada. Estos son:

- a) **Llegada de Pasajeros:** Utilizando el itinerario del día y el factor de ocupación pronosticado por vuelo, se estima la cantidad de pasajeros para cada vuelo y el arribo al aeropuerto de acuerdo a las distribuciones de llegada de pasajeros al terminal, tomadas en intervalos de 5 minutos. En el simulador, los pasajeros llegan aleatoriamente en el intervalo asociado a las distribuciones de los vuelos, y son asignados a las colas en counters de acuerdo con las reglas de operación establecidas. Las figuras 2 y 3 muestran el perfil de llegada de los pasajeros a los counters para los vuelos nacionales e internacionales, como función del tiempo que le falta al vuelo para salir.

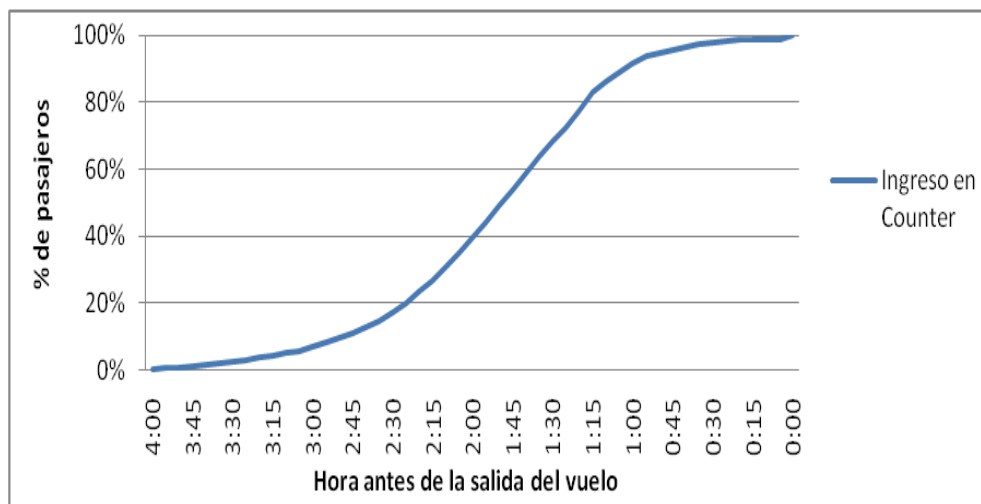
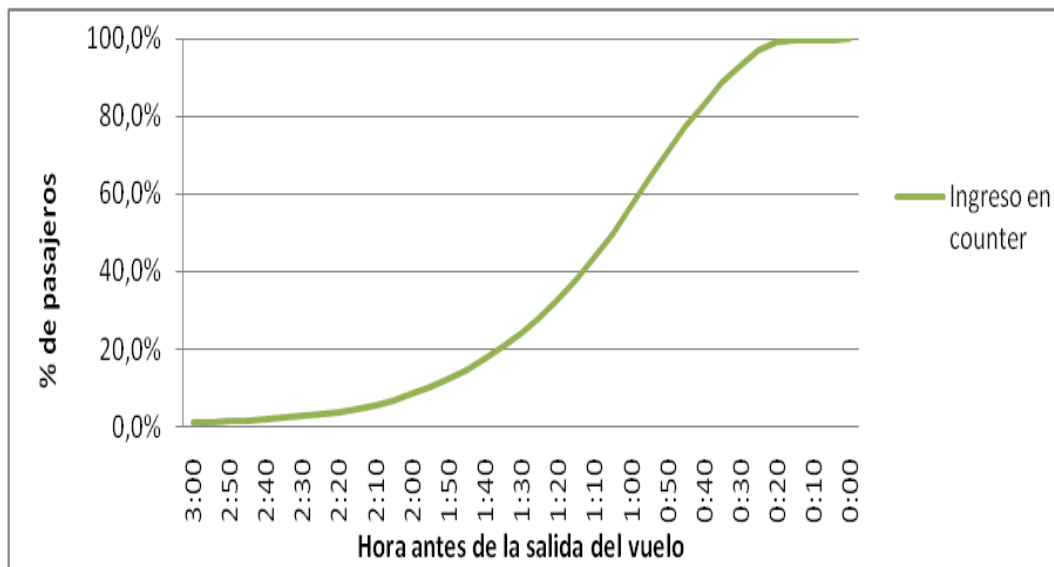


Figura 2: Perfil de llegada de pasajeros para vuelos internacionales



**Figura 3: Perfil de llegada de pasajeros para vuelos nacionales**

- b) **Colas de pasajeros:** Los vuelos se agrupan según sus características (por ejemplo todos los vuelos con destino a ciudades del norte de Chile de una aerolínea son un grupo y todos los vuelos internacionales de un grupo de aerolíneas son otro grupo de vuelos) y son atendidos por un conjunto de counters que tienen asociado una cola. Las colas de pasajeros de cada grupo de vuelos tienen una configuración FIFO.
- c) **Counters:** El siguiente módulo considera la atención de cada pasajero (dependiendo de si viene pre-chequeado o se chequea en el counter, lo que aumenta dicho tiempo de atención) y el ingreso de sus equipajes a la cinta. El tiempo de atención de cada pasajero es una variable aleatoria que considera, además de si el pasajero viene o no chequeado, el tipo de vuelo (nacional, internacional común o con destino USA) y la cantidad de maletas que traiga el pasajero. Al momento de ingresar las maletas al sistema de equipaje, se determina también si esta producirá algún tipo de error en el sistema (por estar mal colocada por ejemplo) o si al momento de ser escaneada será encontrada sospechosa.
- d) **BHS:** El modelamiento del funcionamiento del BHS incluye la inyección de equipaje desde los counters a la cinta transportadora, el transporte del equipaje desde los counters hasta los carruseles, las detenciones de cinta y los desvíos por pérdida de rastreo.

- e) **Patio de Equipajes:** El quinto módulo constituye el funcionamiento del patio de equipaje, principalmente la recepción y carga de las maletas en los carros que van al avión, lo que corresponde a la salida del sistema. Esta operación está influida por la cantidad de operarios asignados a la preparación de cada vuelo, el tiempo de proceso necesario por equipaje y las políticas de trabajo correspondientes. Las revisiones de seguridad y el manejo del carrusel M10 se incluyen también.
- f) **Conexiones:** El sistema de equipajes en conexión funciona generalmente de manera independiente del resto del BHS en el carrusel M8. Las tasas de trabajo se calculan en base al personal asignado a las tareas de carga/descarga, ordenamiento y escaneo. Este módulo puede integrarse al sistema completo para cuando hay interacción vía la cinta T8 o ejecutarse en forma independiente.

### 3.2. Parámetros del simulador

Los parámetros utilizados se dividen en:

- a) **Parámetros históricos:** Son aquellos parámetros que no cambian en cada escenario; estos parámetros provienen de mediciones, estimaciones o información histórica proporcionada por las compañías aéreas o Andes. Esto no significa que no puedan ser modificados, pueden actualizarse para recrear de mejor manera el día que se quiere simular.
- b) **Parámetros de escenario:** Para construir diferentes escenarios de un mismo día simulado se debe cambiar un conjunto limitado de datos, por ejemplo la cantidad de operarios de counters atendiendo o el carrusel del patio de equipaje que atenderá a cada vuelo, dependiendo del fenómeno que se quiera estudiar.

En la tabla 1 se describen los parámetros más relevantes del sistema, y clasificados como parámetro histórico o de escenario.



**Tabla 1: Parámetros utilizados por el simulador para construir escenarios**

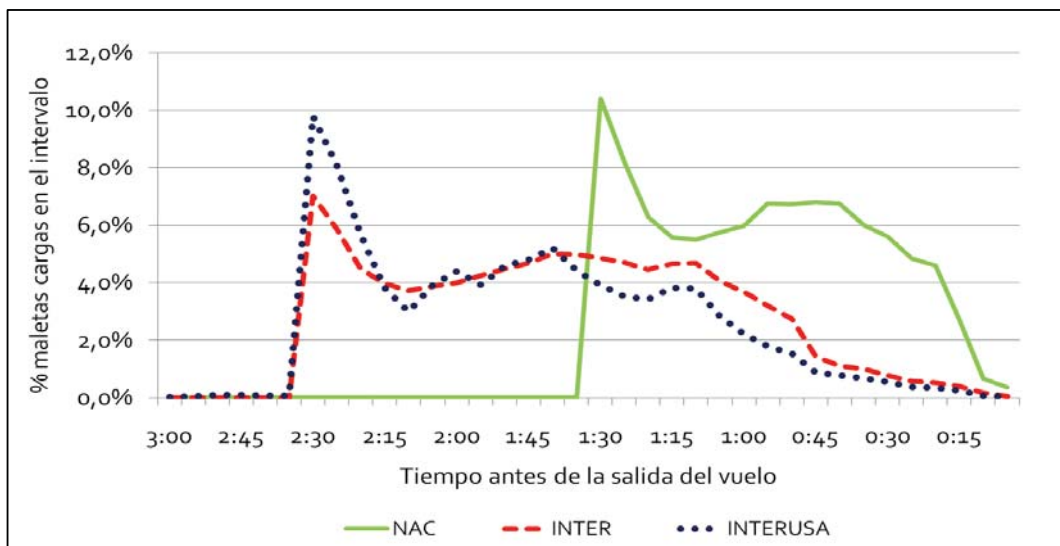
Elemento del simulador	Parámetro	Tipo
Llegada de pasajeros	Itinerario de salida y llegada de vuelos Perfil de llegada de pasajeros Pasajeros por vuelo LAN + otras líneas aéreas Maletas por pasajero LAN + otras líneas aéreas	Histórico Histórico Histórico Histórico
Counter	Errores en ingreso del equipaje al sistema Cantidad de counter abiertos por LAN a lo largo del día Tiempo de atención en counter Porcentaje de pasajeros Bag Drop por vuelo Carrusel al que debe llegar el equipaje según vuelo	De escenario De escenario Histórico Histórico De escenario
BHS	Velocidad de las correas Tasa de maletas que terminan en L3	Histórico Histórico
Patio de equipajes	Velocidad de procesamiento de maletas por operario Número de operarios en el patio Largo del intervalo de atención de un vuelo Cantidad de operarios que atienden un vuelo	Histórico De escenario De escenario De escenario
Sector de equipaje en conexión	Velocidad de procesamiento de maletas por operario Número de operarios en el patio Largo del intervalo de atención de un vuelo Cantidad de operarios que atienden un vuelo	Histórico De escenario De escenario De escenario

Una vez que el modelo se ejecuta, es posible obtener la información mostrada en la tabla 2.

**Tabla 2: Información obtenida de las simulaciones**

Elemento del sistema	Información obtenida mediante simulación
Pasajero	Hora de entrada a la fila del counter respectivo
	Hora de comienzo de atención en el counter
Maleta	Vuelo al que pertenece dicha maleta
	Hora de ingreso al BHS
	Hora de llegada al carrusel
	Hora de salida del sistema (ya sea vía carrusel, equipaje sobredimensionado o M10)
	Hora de traspaso de M9 a carrusel (si corresponde)

Finalmente, los resultados obtenidos de cada simulación se procesan para realizar diversos análisis, tales como el ingreso de equipajes al sistema y su procesamiento en el carrusel. Por ejemplo, en figura 4 se muestra para un grupo de simulaciones, el porcentaje de maletas cargadas de un vuelo en el patio de equipaje por intervalo de tiempo (minutos antes del vuelo). Se observa que para todos los tipos de vuelo la tasa de carga más alta ocurre en los primeros 10 a 20 minutos de la atención del vuelo pues se han cargado todos los equipajes del vuelo respectivo que estaban acumulados en el carrusel. Además, los perfiles son consistentes con las llegadas a counter donde se ve que los períodos de mayor tasa de llegada de maletas corresponden a las ventanas horarias sugeridas para el chequeo de pasajeros: desde las 2 horas hasta los 40 minutos antes de la partida (tiempo mínimo recomendado y cierre del vuelo, respectivamente) para los vuelos internacionales y entre la 1 hora y los 25 minutos antes de la partida, para los vuelos nacionales.



**Figura 4: Porcentaje de maletas cargadas por intervalo de tiempo respecto del horario de partida de los vuelos. Información agregada correspondiente a todos los vuelos de un grupo de simulaciones de un día completo**

#### 4. Casos de Estudio

Utilizando esta herramienta se exploraron tres fuentes de estrés para el BHS: a) Equipaje mal ingresado en el counter. b) Escaneo de equipaje en conexión. c) Agrupación de Vuelos en Corrales y su asignación a carruseles. Además, se hizo un análisis de la capacidad del sistema vía simulación. Todos estos análisis fueron realizados con datos y reglas de operación recolectados durante Enero y Febrero de 2011.

#### 4.1. Equipaje mal ingresado en el counter.

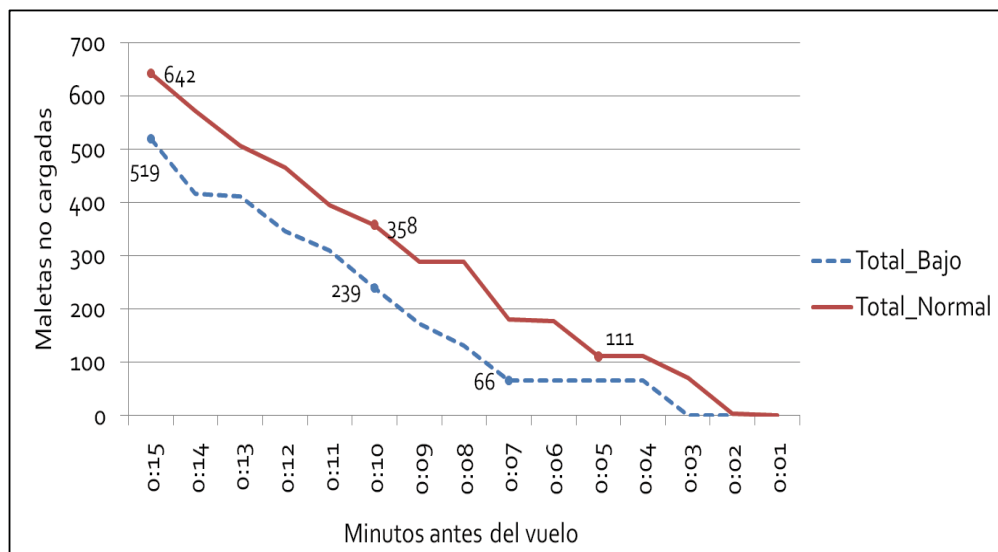
Una de las capacidades del simulador reside en modelar detenciones de cinta con ciertas distribuciones y su impacto en el sistema. Una de las principales razones por las que ocurren estas detenciones es el equipaje mal posicionado sobre la cinta transportadora, y la posibilidad asociada a que dicho equipaje se atasque en algún punto del sistema, deteniendo toda la T hasta que personal del aeropuerto localice el atasco y lo remueva. Estas detenciones duran en promedio 3 minutos y dependiendo del lugar del suceso, pueden detener el proceso por dos y hasta tres veces ese tiempo. Adicionalmente, cada vez que ocurre un incidente en la cinta, es posible que el BHS pierda la posición de todas aquellas maletas involucradas, las cuales serán desviadas hacia el carrusel M9, en lugar de su destino original, en caso de que no puedan obtener nuevamente su posición.

Para cuantificar el impacto de mejorar en este sentido, se construyó la distribución con que se produce estos eventos de maleta que ingresa en posición irregular y el tiempo de detención asociado a cada incidente. Para simplificar esta operación se agrupó los eventos en 4 tipos con su probabilidad de ocurrencia.

**Tabla 3 : Clasificación de eventos que pueden provocar detenciones de cinta**

<b>Tipo</b>	<b>Gravedad del error</b>	<b>Ejemplo de Error</b>	<b>Probabilidad</b>
1	Bajo	Equipaje enviado sin bandeja	8.12%
2	Medio – Alto	Equipaje con ruedas hacia abajo, parada o con la manilla arriba	26.42%
3	Muy Alto, Atasco casi inminente	Equipaje parado Y con ruedas abajo	0.26%
4	Muy bajo	Equipaje OK	65.20%

Se comparó la situación base, para un día en particular, con un escenario en el que los equipajes que se posicionan incorrectamente disminuyen en un 80%. Se obtiene, a nivel agregado para el día, la figura 5 que indica el número maletas en riesgo de no ser ingresadas al avión, respecto de los minutos antes del cierre del vuelo.



**Figura 5: Comparación de maletas no embarcadas para escenario normal v/s escenario optimista.**

Se observa que esta mejora en el posicionamiento genera los siguientes beneficios:

- 15 minutos antes de la salida: Para el escenario normal se obtiene un agregado diario de 642 equipajes no embarcados, mientras que con el escenario favorable disminuye hasta 519, es decir se reduce en 123 (20%) el equipaje no embarcado a esta altura de la preparación. Dado que este equipaje embarcado a última hora genera una subutilización de recursos para atenderlos (por ejemplo se tiene a un operador y a un tractorista ocupados durante 10-15 minutos en un solo equipaje), esta reducción es importante.
- 5 minutos antes de la salida: Para el escenario normal se obtiene un agregado diario de 111 equipajes no embarcados, mientras que con el escenario favorable disminuye hasta 66, es decir se reduce en 45 (40%) el equipaje no embarcado a esta altura de la preparación. Puesto que en la práctica un equipaje llegado al carrusel a esta altura se considera dejado en tierra, se considera que mejoras que se tomen para ingresar el equipaje de buena manera al sistema entregan, para el día analizado, una reducción del 40% del equipaje en tierra.

#### **4.2. Escaneo de equipaje en conexión.**

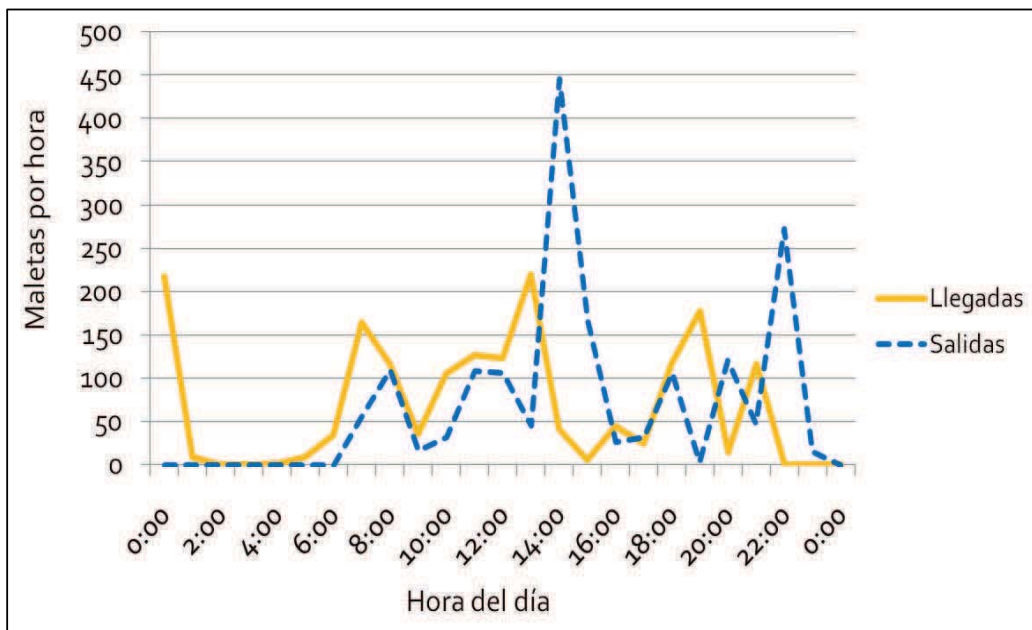
El área de conexiones, ubicada en el carrusel M8, trabaja de manera independiente al resto de los carruseles puesto que no se alimenta de equipaje proveniente del sector de counter, sino de equipaje descargado de aviones que llegan al aeropuerto y son escaneados por seguridad para luego ser despachados a sus vuelos de salida. Una complejidad de este sub sistema es que la holgura entre la

llegada del primer vuelo y la salida del segundo vuelo involucrados en la conexión puede ser tan baja como 45 minutos. Del estudio de este sistema se determinó además que el cuello de botella en horario *peak* se genera en el escaneo del equipaje.

Un análisis de reclamos efectuados por pasajeros debido a problemas con el equipaje muestra que alrededor del 20% de los reclamos se origina en tres tipos de errores que involucran equipaje en conexión:

- a) No se logra cargar el equipaje por atraso del vuelo que trae el equipaje.
- b) No se logra cargar el equipaje aun existiendo tiempo para ello.
- c) El pasajero fue re-ruteado y la etiqueta del equipaje no cambió.

Los errores *a* y *b* son atribuidos al área de conexión de Andes y constituyen alrededor del 13% de los reclamos efectuados, en tanto que el error tipo *c* se atribuye a la compañía asociada al primer viaje. Por tanto nos centraremos en los dos primeros errores mencionados, cuya solución o atenuación pasa por mejorar el proceso de carga del equipaje. Para ello se analiza el escenario actual, con información del trabajo en conexiones de fines de noviembre del 2010, y se proponen y analizan dos nuevas políticas de trabajo.



**Figura 6 : Flujo diario de equipaje en conexión procesado por Andes**

En la figura 6 se aprecia que la llegada de equipaje en conexión tiene tres *peaks* marcados, alrededor de las 7 de la mañana, al mediodía y en la tarde; estos coinciden con los *peaks* de salidas de vuelos. La salida del equipaje en conexión es mucho más pronunciada en los vuelos del mediodía y en los vuelos nocturnos y coincide con la salida de algunos de los vuelos internacionales con mayor cantidad de pasajeros.

Las políticas de trabajo estudiadas son:

- Escanear/Segregar: La forma actualmente utilizada para atender este equipaje, corresponde a poner en la cola del escáner el equipaje, y luego de ser escaneado se segrega por destino.
- Segregar/Escanear: Una vez llegado el equipaje al área de conexiones, segregar para dar prioridad al equipaje cuyos vuelos salen en 120 minutos o menos, y poner en la cola del escáner el equipaje segregado. El resto del equipaje espera fuera de la cola hasta que su vuelo está a dos horas de salir. La ventaja de este enfoque es que se optimiza el uso del escáner con el equipaje que más lo necesita en el momento.

Para estas dos políticas, se comparan sus curvas de carga de equipaje en los respectivos vuelos, como puede verse en la figura 7. De los resultados de la simulación se aprecia, 15 minutos antes del vuelo, una ganancia de 3 equipajes en promedio por vuelo internacional y de 2 por vuelo internacional con destino a USA para el escenario en que primero se segrega y luego se simula. En el caso de vuelos nacionales no se aprecia ventajas significativas de una política sobre la otra.

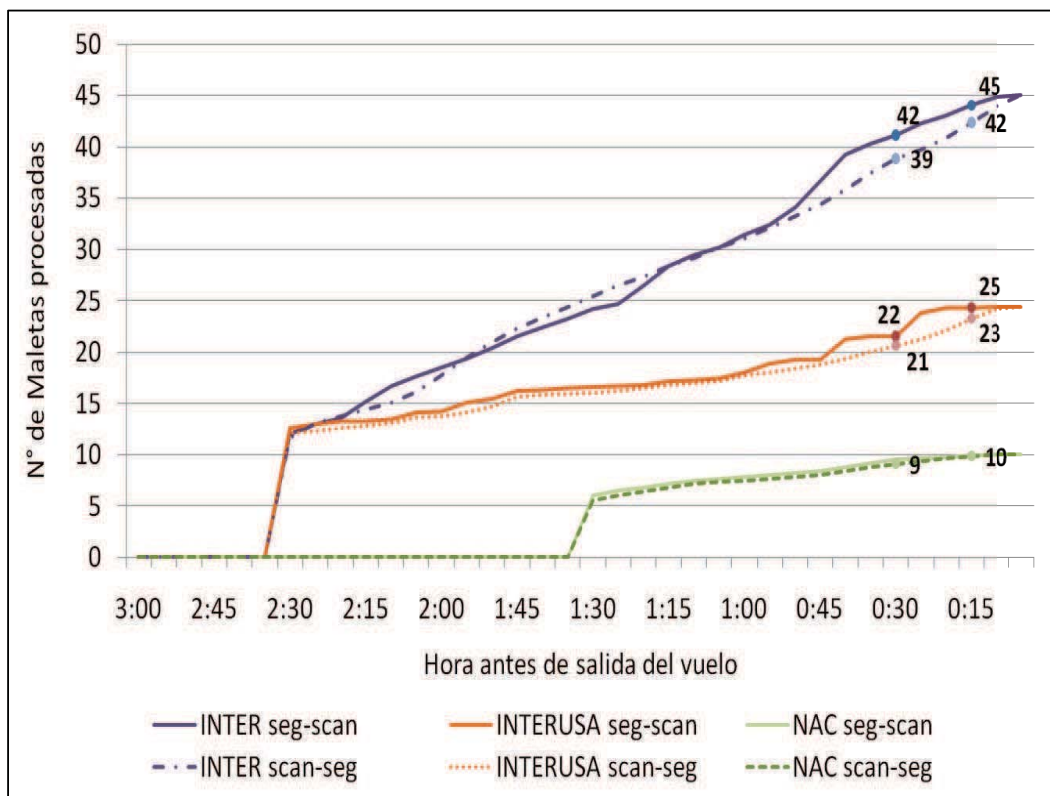


Figura 7. Curva de carga de equipaje en conexión por tipo de vuelos - comparación de escenarios

#### 4.3. Agrupación de Vuelos en Corrales y su asignación a carruseles

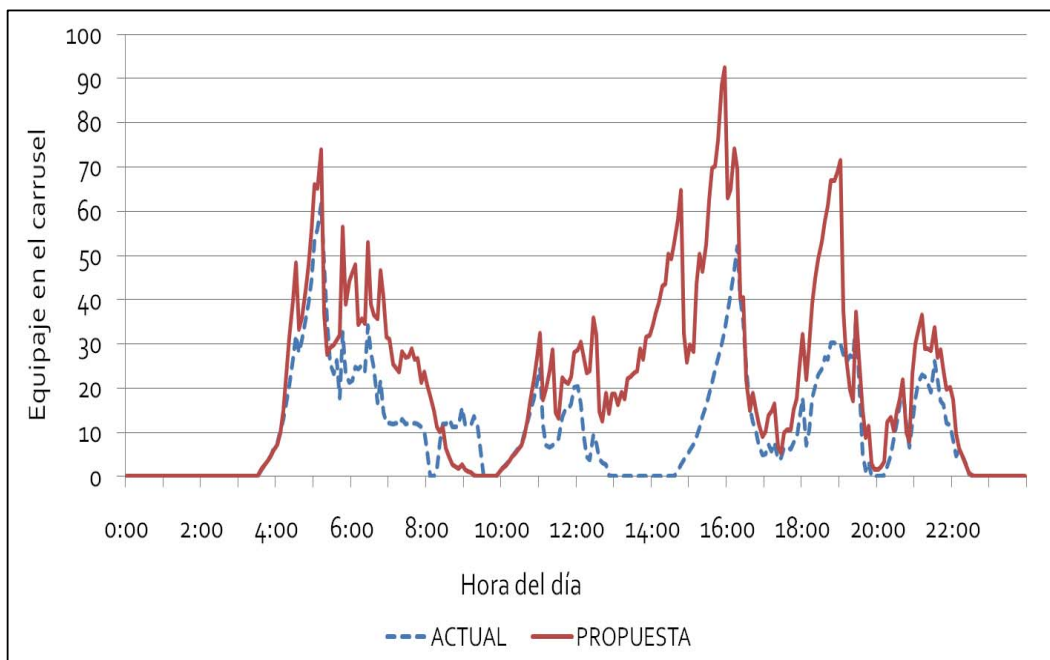
Como se mencionó anteriormente, el counter por el cual ingrese una maleta define el carrusel de destino. Por tanto, la forma en que se agrupen los vuelos para el check-in impactará directamente en el trabajo en el patio. Este análisis se realizó para la T2, donde se atienden los vuelos internacionales de las aerolíneas LAN y TAM.

La configuración utilizada hasta Febrero 2011 produce que aproximadamente el 75% del equipaje de la T2 es procesado en el carrusel M4 y solo un 25% en el carrusel M3. La carga entre ambos carruseles está desbalanceada, subutilizando M3. Este esquema puede generar que se supere la capacidad del carrusel M4 en los horarios de mayor uso, lo que detiene el sistema BHS aguas arriba. Para disminuir la probabilidad de estos incidentes se propuso una configuración alternativa de agrupación vuelos-counters-carruseles; ambas configuraciones se detallan en la tabla 4.

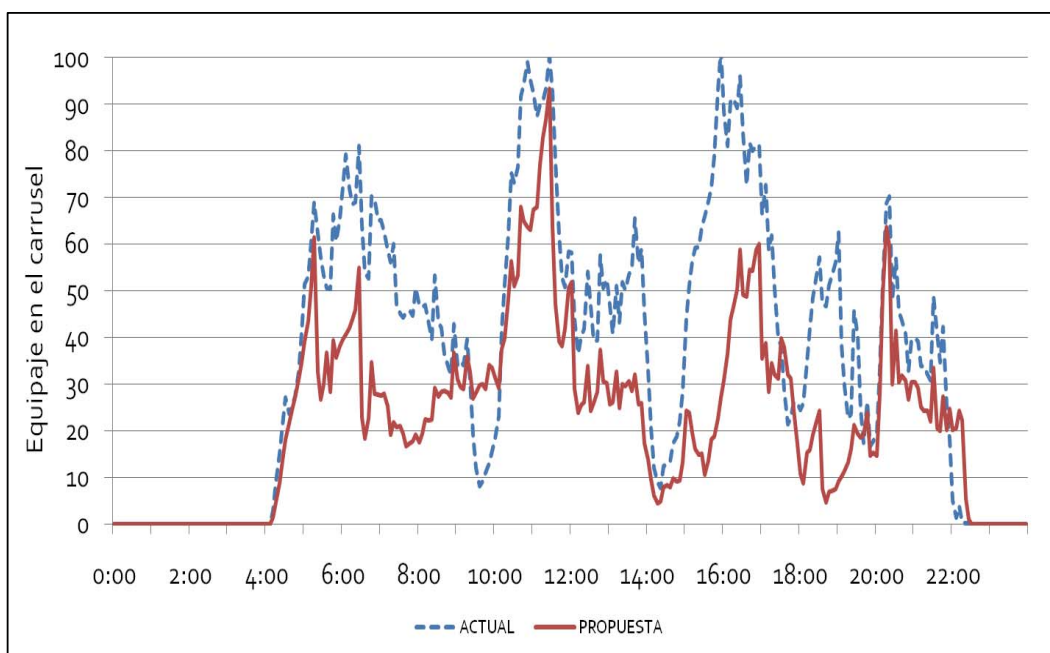
**Tabla 4: Agrupación de vuelos asignados a carruseles M3 y M4. Descripción de escenarios**

Carrusel de destino	Agrupación de vuelos internacionales	
	Real Enero - Febrero 2011	Propuesta
M3	<ul style="list-style-type: none"><li>- TAM</li><li>- LAN destino Madrid</li><li>- LAN destino Sydney</li><li>- LAN destino Isla de Pascua</li><li>- LAN destino Rio de Janeiro (vuelo de la mañana en Boeing 767)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- TAM</li><li>- Todos los vuelos LAN destino Argentina</li><li>- LAN destino Madrid</li><li>- LAN destino Sydney</li></ul>
M4	<ul style="list-style-type: none"><li>- Otros vuelos LAN</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Otros vuelos LAN</li></ul>

El objetivo apunta a mejorar la distribución de carga de trabajo entre los carruseles para no exceder la capacidad de estos, al tiempo de no empeorar los tiempos de espera en fila para los pasajeros; además la agrupación de vuelos debe ser simple de implementar en counters. En las figuras 8 y 9 se puede observar la variación de la carga en ambos carruseles a lo largo del día.



**Figura 8: Nivel de carga del carrusel M3 durante el día - Comparación de escenarios**



**Figura 9 : Nivel de carga del carrusel M4 durante el día - Comparación de escenarios**



En la Tabla 5 se observa además como se distribuyen las cargas entre M3 y M4 para distintos niveles de congestión del carrusel en ambos escenarios (actual y propuesto).

**Tabla 5 : Minutos de operación a diferentes niveles de carga de equipaje - Comparación de escenarios**

Cantidad de Equipaje	Minutos que el carrusel opera bajo determinada carga					
	Actual			Propuesto		
	M3	M4	Total	M3	M4	Total
<b>Menos de 50</b>	<b>1410</b>	<b>310</b>	<b>280</b>	<b>1135</b>	<b>1205</b>	<b>900</b>
50 o más	25	480	505	155	130	285
60 o más	5	290	295	90	70	160
70 o más	0	160	160	45	20	65
80 o más	0	125	125	10	10	20
90 o más	0	65	65	5	5	10
100 o más	0	10	10	0	0	0

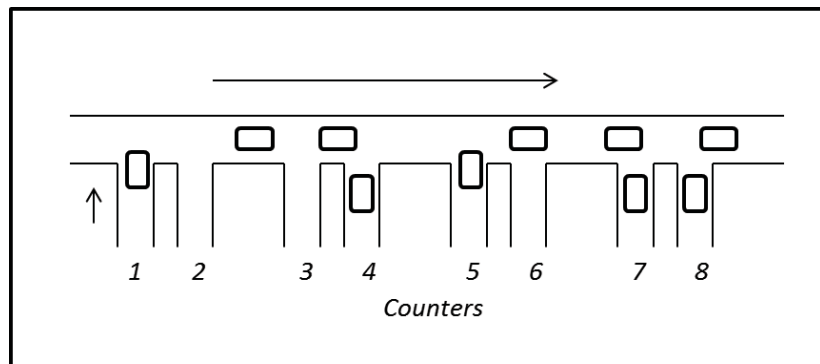
Se ha estimado que habiendo más de 50 maletas en un momento en el carrusel, la operación empieza a verse afectada y por sobre las 70 maletas se recurre a medidas especiales para evitar problemas mayores. Adicionalmente, se encontró que en la medida que el carrusel se encuentra más lleno, la tasa efectiva de trabajo para los operadores disminuye.

Gracias a la reorganización propuesta, se disminuye considerablemente el tiempo que alguno de los carruseles tiene que trabajar con sobrecarga. Un efecto no esperado, es que al separar las filas de pasajeros de ciertos vuelos más complejos para prepararlos en otro carrusel, mejora marginalmente el tiempo de espera en cola, debido a que los vuelos más complejos tienen tiempos de check in promedio mayores (por ejemplo los vuelos a Estados Unidos), lo que retrasa a pasajeros de otros destinos que comparten fila con ellos.

#### 4.4. Estimación de capacidad del sistema

Como preparación para enfrentar el aumento esperado de pasajeros en los próximos años, se estudió cual es la capacidad máxima de ingreso de maletas al BHS. Tanto el flujo nominal de la cinta como la tasa de atención de pasajeros en counter son superiores al flujo real de maletas en el sistema en las horas de mayor demanda. Esto nos lleva a suponer que el cuello de botella se encuentra en la interacción de ambos elementos. El siguiente análisis se realiza para una T, es decir un grupo de 28 counters y una única cinta colectora común.

En el momento que el operario del counter pide al sistema ingresar una maleta a la cinta, esta espera hasta que exista un espacio suficiente en ella para poder ingresar. En la medida que aumenta la cantidad de estaciones operando, aquellas ubicadas “aguas abajo” tienen serias dificultades para poder inyectar las maletas, disminuyendo considerablemente su tasa de atención.



Producto del flujo, los counters 4, 7 y 8 no pueden ingresar sus maletas a la cinta, por lo que quedan bloqueados.

**Figura 10 : Operación área de counters-colector**

Para capturar esta interacción se construyeron dos experimentos. Primero se simuló el mejor escenario posible, es decir: solamente pasajeros prechequeados (que requieren el menor tiempo de atención), sin detenciones de cinta y con colas de pasajeros nunca vacías, lo que implica que los counters nunca dejan de atender.

La simulación muestra que, a partir de la operación con 19 counters abiertos, el beneficio marginal de abrir un nuevo counter, en términos de aumento del flujo, disminuye fuertemente. Esto implica que operar a plena capacidad de counters no aumenta mayormente el flujo de entrada de equipaje al sistema, sino que aumenta la dificultad de ingreso en los counters ubicados aguas abajo.

**Tabla 6 : Capacidad en escenario ideal como función del número de counters abiertos**

	Counters abiertos								
	28	27	26	25	23	20	19	18	17
<b>Capacidad Teórica<sup>1</sup></b>	1186	1144	1101	1059	974	847	805	762	720
<b>equipaje/hora (promedio)</b>	778	775	766	765	760	754	753	728	694

Comparando los resultados de la simulación con mediciones realizadas en terreno, se observa que en los momentos de mayor demanda el sistema alcanzaba estas tasas de trabajo durante cortos periodos.

El segundo experimento consistió en incorporar la tasa de detenciones y fallas esperada del sistema. Este resultados entrego una tasa promedio de 420 maletas/hora, la que si se compara con la tasa real medida de 413 maletas/hora nos indica que el sistema está trabajando ya al borde de su capacidad.

<sup>1</sup> Calculada en base al tiempo de atención promedio de un pasajero doméstico con un único equipaje.

En conclusión si se busca es ampliar la capacidad de flujo de una T, el beneficio por abrir más counters presenta retornos decrecientes debido al problema de aquellas ubicadas aguas abajo para ingresar maletas. En particular tener más de 25 estaciones abiertas prácticamente no tiene impacto en la capacidad global del sistema. Y segundo, el sistema opera cerca de su capacidad máxima en horarios de alta afluencia, a menos que se disminuya drásticamente las detenciones del sistema.

## **5. Conclusiones**

Este artículo resume la primera etapa de análisis del sistema de procesos y operación del patio de equipajes del aeropuerto de Santiago-Chile. En esta etapa se construyó una herramienta de simulación del sistema completo de traslado de las maletas para embarques (es decir, desde el área de counters hasta su ingreso al avión). La herramienta permitió encontrar los cuellos de botella en la operación, así como entender el funcionamiento de este complejo sistema con muchos procesos involucrados. Además, este simulador permite analizar alternativas hipotéticas de operación en patio e indirectamente en counters, así como medir capacidad del sistema bajo diversas modalidades de operación. Lo novedoso de esta herramienta es que fue construida sobre una plataforma de simulación destinada a simular el tráfico urbano, lo que permite analizar en forma muy precisa la complejidad del sistema de cintas transportadoras donde interactúa el movimiento del equipaje.

De estos primeros análisis, es posible plantear políticas de operación para hacer más eficiente y ordenada la operación del sistema.

En forma complementaria, se trabaja en una toma masiva de datos en terrenos y un levantamiento de procesos, los que permitirán enriquecer y ajustar el simulador para ser capaz de modelar situaciones aún más complicadas en forma más detalladas. Actualmente se trabaja en un modelo de asignación de personal para el patio de equipajes, el cual también será calibrado usando el simulador de escenarios de operación futuros.

## **Agradecimientos**

Esta investigación fue parcialmente financiada por Fondecyt (proyecto 1100239) y el Instituto Sistemas Complejos de Ingeniería (ICM P-05-004-F, CONICYT FBO16).

## **6. Referencias**

G. Andreatta, L. Brunetta, L. Righi, Evaluating terminal management performances using SLAM: The case of Athens International Airport . Computers & Operations Research, Volume 34, Issue 6, June 2007, pp. 1532-1550

H.W. Chun, R.W.T. Mak, Intelligent Resource Simulation for an Airport Check-In Counter Allocation System, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics Part C: Applications and Reviews 29 (3) (1999), pp. 325–335.

P.E. Joustra, N.M. van Dijk, Simulation of check-in at airports, in: Proceedings of Winter Simulation Conference 2001, pp. 1023–1028.

I.E. Manataki, K.G. Zografos, A generic system dynamics based tool for airport terminal performance analysis, Transportation Research C 17 (2009), pp. 428–443.

Y. Park, S. Ahn, Optimal Assignment for Check-in counters based on passenger arrival behaviour at an airport, Transportation Planning and Technology, October 2003. Vol. 26, No. 5, pp. 397–416.

N.M. van Dijk, E. van der Sluis, Check-in Computation and Optimization by IP and Simulation in Combination, European Journal of Operational Research 171 (2006), pp. 1152–1168.