



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

MODELO DE SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE POLÍTICAS DE OPERACIÓN PARA EL MANEJO DE EQUIPAJES EN EL AEROPUERTO DE SANTIAGO

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN GESTIÓN DE OPERACIONES
MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL**

RICARDO FRANCISCO GOEPPINGER PAIVA

PROFESORES GUÍA:

**SR. CRISTIÁN CORTÉS CARRILLO
SR. PABLO ANDRÉS REY**

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

**SR. FERNANDO DÍAZ CISTERNAS
SR. FERNANDO ORDÓÑEZ PIZARRO**

**SANTIAGO DE CHILE
OCTUBRE 2012**

RESUMEN DE LA TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL Y GRADO DE MAGÍSTER
EN GESTIÓN DE OPERACIONES
POR: RICARDO FRANCISCO GOEPPINGER PAIVA
FECHA: OCTUBRE 2012
PROF. GUÍA: SR. CRISTIÁN CORTÉS CARRILLO Y SR.
PABLO ANDRÉS REY

MODELO DE SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE POLÍTICAS DE OPERACIÓN PARA EL MANEJO DE EQUIPAJES EN EL AEROPUERTO DE SANTIAGO

El manejo de equipajes es un proceso relevante tanto para usuarios como para operadores, ya que la buena imagen de una compañía aérea se ve muy afectada si las maletas de los pasajeros no llegan a destino, o bien sufren daños durante los viajes. El Aeropuerto de Santiago dispone de un sistema de manejo de equipajes (sistema BHS) bastante avanzado, pero que no es completamente automático. Parte de las operaciones involucradas, como la separación y distribución de maletas en distintos vuelos de la misma compañía, se hacen de manera manual.

Por otra parte, el aeropuerto transportó durante el año 2010 un total de 10.315.319 pasajeros. Esto representa un aumento de un 14,3% con respecto al 2009, y las proyecciones más conservadoras proyectan un aumento de la demanda de un 4,75% anual para los próximos años. Ante este escenario, deben analizarse los diversos componentes del sistema y su interacción compleja.

En este trabajo de tesis 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 el objetivo de proponer mejoras en el corto y mediano plazo orientadas a reducir la cantidad de maletas en tierra.

El modelo de simulación ha sido implementado utilizando el paquete de micro-simulación de tráfico PARAMICS. Para realizar esta implementación se debió adaptar la lógica del funcionamiento del sistema de manejo de equipajes a la lógica de los flujos vehiculares asociados al tráfico urbano.

Con el apoyo del simulador construido, se han identificado los cuellos de botella del sistema en el sector de *counters* y las causas de las detenciones del sistema de cintas transportadoras. A partir de estos resultados, se propone como alternativa de mejora una política de uso de bandejas que permite reducir las detenciones de cinta, y por consiguiente disminuir en un 40 % la cantidad de maletas que se quedan en tierra.

Además, la herramienta de simulación permitió identificar como política óptima de operación en el área de conexiones procesar primero los equipajes que salen en 120 minutos o menos, logrando reducir el tiempo total de procesamiento de las maletas en 10 minutos respecto a la operación actual.

Por último, el simulador ayudó a identificar las mejores políticas de operación ante diversas contingencias (falla de un carrusel, falla de un colector y falla del escáner de nivel 2) en vuelos nacionales e internacionales que pueden producirse en el sistema BHS. Con esto, se muestra el impacto de cada contingencia y se propone políticas que logran minimizar su efecto en la cantidad de maletas que se quedan en tierra.

A mi Papá

Agradecimientos

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

Además, se agradece el apoyo de la empresa Andes Airport Services para el desarrollo de esta tesis.

Índice

1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1.	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	1
1.2.	OBJETIVOS	1
1.3.	SISTEMA BHS DEL AEROPUERTO DE SANTIAGO	2
1.4.	HERRAMIENTA DE SIMULACIÓN DEL BHS	3
1.5.	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
1.5.1.	<i>Proceso de Check-in</i>	5
1.5.2.	<i>Validación y verificación de modelos de simulación</i>	7
1.5.3.	<i>Discusión</i>	9
2.	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA BHS Y DEL SIMULADOR.....	10
2.1.	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA BHS DEL AEROPUERTO	10
2.1.1.	SECTOR <i>COUNTERS</i>	12
2.1.1.1.	<i>Válvula de escape</i>	14
2.1.2.	CINTAS TRANSPORTADORAS (BHS)	15
2.1.3.	PATIO DE EQUIPAJES	16
2.1.4.	CONEXIONES	16
2.2.	DESCRIPCIÓN DE LA HERRAMIENTA DE SIMULACIÓN.....	16
2.2.1.	SECTOR <i>COUNTERS</i>	17
2.2.1.1.	<i>Llegada de pasajeros al aeropuerto</i>	20
2.2.1.2.	<i>Filas</i>	22
2.2.1.3.	<i>Asignación Fila-Counters-Carrusel</i>	22
2.2.1.4.	<i>Atención de pasajeros en el Counter</i>	23
2.2.1.5.	<i>Configuración Counters</i>	24
2.2.1.6.	<i>Ingreso de maletas al BHS</i>	25
2.2.2.	COMPORTAMIENTO BHS	26
2.2.2.1.	<i>Velocidad de la Cinta</i>	26
2.2.2.2.	<i>Inyección de maletas al colector</i>	26
2.2.2.3.	<i>Detenciones de cinta</i>	27
2.2.3.	PATIO DE EQUIPAJES	28
2.2.3.1.	<i>Preparación de vuelos</i>	29
2.2.3.1.1.	<i>Sistema un operario-un vuelo</i>	30
2.2.3.1.2.	<i>Sistema Pool</i>	30
2.2.3.2.	<i>Recuperación de maletas redireccionadas</i>	30
2.2.3.3.	CONEXIONES	31
2.2.4.	RESULTADOS OBTENIDOS CON EL SIMULADOR	32
2.2.5.	DESCRIPCIÓN DE INDICADORES	33
2.2.6.	VALIDACIÓN DEL SIMULADOR	35
3.	ANÁLISIS DE ESCENARIOS.....	38
3.1.	REDUCCIÓN DE ERRORES EN <i>COUNTER</i>	38
3.1.1.	<i>Perfiles de carga de vuelos para diferentes niveles de errores en Counter</i>	39
3.1.2.	<i>Uso de la cinta de equipaje oversize</i>	40
3.1.3.	<i>Stock necesario para la manipulación de equipaje en bandejas</i>	40
3.2.	PROCESAMIENTO DE EQUIPAJE EN CONEXIÓN INTERNACIONAL	44
3.2.1.	<i>Escenario Base: Flujo de Equipaje y Política de Trabajo</i>	44
3.2.2.	<i>Políticas de Trabajo en Conexiones: Descripción de Alternativas</i>	45
3.2.3.	<i>Resultado de experimentos realizados</i>	46
3.3.	DISCUSIÓN	47
4.	ANÁLISIS DE CONTINGENCIAS	49

4.1.	ESCENARIO BASE.....	52
4.1.1.	<i>Día Semana (Vuelos Internacionales)</i>	52
4.1.2.	<i>Día Sábado (Vuelos Nacionales)</i>	59
4.2.	FALLA EN UN CARRUSEL.....	66
4.2.1.	<i>Vuelos Internacionales</i>	67
4.2.2.	<i>Vuelos Nacionales</i>	70
4.3.	FALLA COLECTOR.....	72
4.3.1.	<i>Vuelos Internacionales</i>	73
4.3.2.	<i>Vuelos Nacionales</i>	76
4.4.	FALLA ESCÁNER NIVEL 2.....	78
4.4.1.	<i>Vuelos Internacionales</i>	79
4.4.2.	<i>Vuelos Nacionales</i>	84
4.5.	MEJORES POLÍTICAS ANTE CONTINGENCIAS.....	89
5.	CONCLUSIONES.....	91
6.	GLOSARIO.....	93
7.	REFERENCIAS.....	94
8.	ANEXOS.....	95
	ANEXO A: ESCENARIOS ADICIONALES CARGADOS EN EL SIMULADOR PARA ENCONTRAR LA MEJOR POLÍTICA A SEGUIR AL FALLAR ESCÁNER DE NIVEL 2 EN EL COLECTOR T3 (LAN NACIONAL) ..	95
	ANEXO B: DETALLE DE LAS BANDEJAS A UTILIZAR EN CADA SECTOR DE TRABAJO DEL SECTOR DE COUNTERS.....	96

1. Introducción

1.1. Descripción del problema

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 una buena imagen de las empresas de transporte aéreo se ve muy afectada si los equipajes de los pasajeros no llegan a destino, o sufren daños durante los viajes.

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 bastante avanzado, pero que no es completamente automático. En Santiago, la mayoría de las operaciones en tierra son responsabilidad de la empresa Andes Airport Services (en adelante Andes), y una buena parte de las labores que ellos realizan se hace de manera manual. Por ejemplo, las tareas de separación y distribución de equipajes en distintos vuelos de la misma compañía se realizan de forma muy poco automatizada y con casi nulo uso de tecnología.

Durante los meses de Enero y Febrero del 2011, el Aeropuerto Internacional de Santiago (AMB) enfrentó la demanda record histórica. Solamente durante Febrero 1.077.193 pasajeros pasaron por el terminal, lo que representa un aumento cercano al 19,7% con respecto al mismo mes del año anterior. Durante el año 2011 se transportaron un total de 12,5 millones de pasajeros constituyendo un alza de 17,4% con respecto al 2010. Para el año 2012 se espera que estos números se incrementen aún más. La capacidad del aeropuerto AMB fue ampliada por última vez en el año 2001 y está estimada en 9,5 millones de pasajeros por año¹.

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.

1.2. Objetivos

El objetivo general de esta tesis es analizar el sistema de manejo de equipajes del aeropuerto de Santiago a través de la simulación de diversas áreas de la terminal (sector de *counters*, sistema de manejo de equipajes y patio de equipajes) para identificar los procesos críticos y proponer mejoras de corto y mediano plazo.

Los objetivos específicos de esta investigación son:

- Proponer mejoras en el sector de *counters* para reducir la cantidad de maletas que no alcanzan a ser embarcadas (maletas en tierra).

¹ Fuente: Memoria Anual 2010 de SCL Terminal Aéreo Santiago S.A.

- Proponer mejoras en las políticas de manejo de equipajes de pasajeros en conexión para reducir la cantidad de maletas en tierra.
- Proponer políticas para enfrentar contingencias y minimizar el impacto de estas en la cantidad de maletas que se quedan en tierra

1.3. Sistema BHS del aeropuerto de Santiago

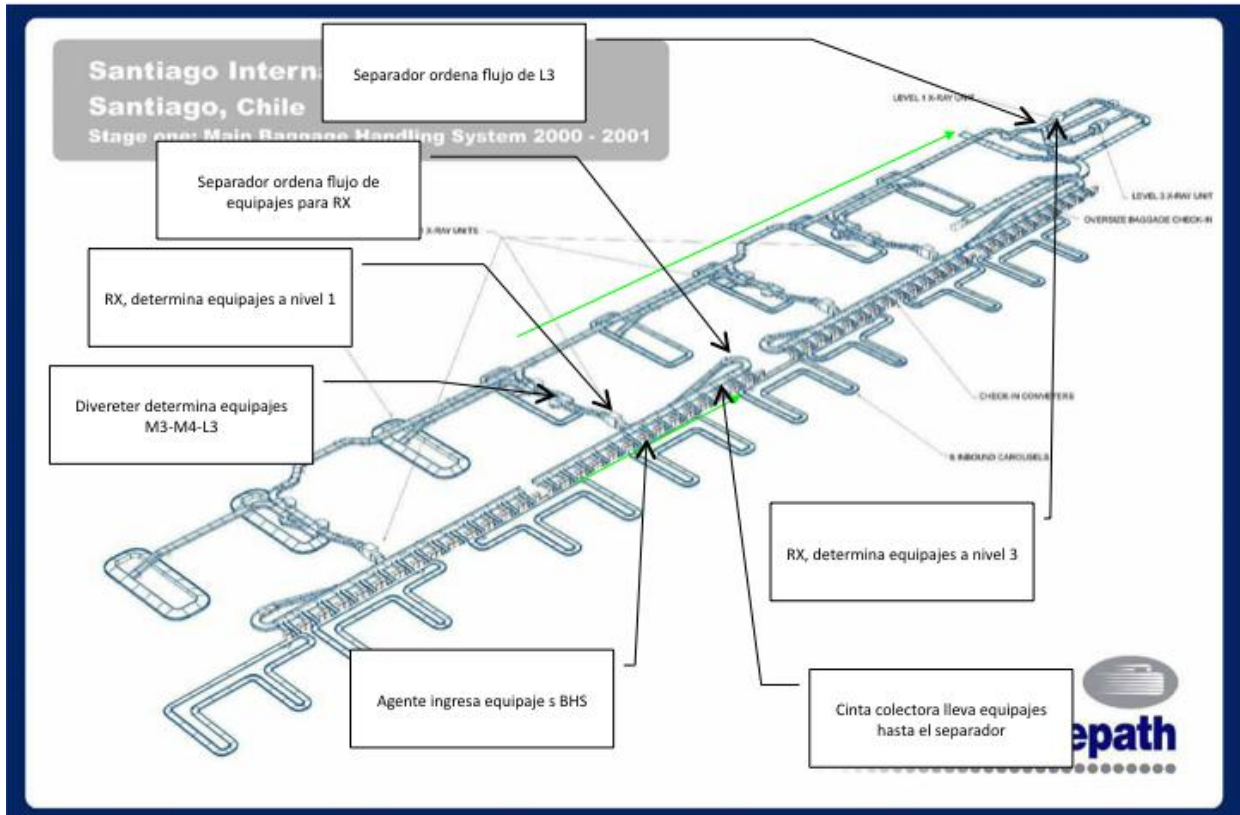
El sistema BHS del aeropuerto de Santiago consta de 104 *counters* disponibles para el *check-in* de pasajeros corrientes. Estos se encuentran en el tercer nivel del terminal (el sector para pasajeros VIP se encuentra fuera del sistema en estudio). Se llama un “corral” a un grupo de *counters* que atienden 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 ingresen las maletas definirá el destino de estas en el patio de equipajes.

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 escáner 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” tienen asociado carruseles hasta donde pueden llegar las maletas, así T1 desemboca en el carrusel M1 o M2, T2 en los carruseles M3 o M4, T3 en los carruseles M5 o M6 y T4 en el carrusel M7. 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 que realiza una revisión más detallada. Finalmente, los equipajes que no son consideradas sospechosas por el segundo escáner son depositados en el carrusel M9. Hasta el momento que las maletas llegan al carrusel el proceso es completamente automático.

En la figura 1 se muestra la arquitectura y componentes del BHS, así como los 9 carruseles que conforman el sistema.

La preparación de un vuelo está a cargo de uno o dos operarios, dependiendo del vuelo. Además, para distintos tipos de vuelo, los operarios estarán 90 o 150 minutos antes de la salida del vuelo junto a un carrusel, retirando aquellas maletas que le corresponden y depositándolas en un contenedor. Entre 20 a 14 minutos antes de la hora de salida del vuelo estos contenedores deben salir hacia el avión, quedando en tierra cualquier maleta no cargada hasta el momento. En el caso de las maletas que fueron desviadas hasta M9, hay un grupo dedicado de operarios que las están esperando para llevarlas de regreso al carrusel que les corresponde, a no ser que el vuelo esté pronto a salir, en cuyo caso son enviadas directamente al avión.



Fuente: Andes Airport

Figura 1–Arquitectura y componentes del sistema BHS

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 debe ser trasladado desde el avión recién 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.

El cuello de botella para el proceso anteriormente descrito es el tiempo en que el escáner revisa los equipajes y desarrollo de este trabajo se revisaron distintas formas de establecer la prioridad de las maletas en la entrada a la máquina de rayos.

En el capítulo 2 se describirá con mayor detalle el funcionamiento de los sistemas antes descritos.

1.4. Herramienta de simulación del BHS

Para poder analizar en profundidad distintas medidas que sea posible llevar a cabo en el sistema de procesamiento de equipajes que llega al aeropuerto, se decidió programar un simulador de este sistema. Este 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 el paquete de micro-simulación de tráfico PARAMICS.

Las ventajas de utilizar este software de simulación son:

- **Flexibilidad de modelación:** a través del API (*Application Programming Interface*) y la implementación de módulos programados en C++, es posible aumentar las capacidades del software a escenarios distintos a la de la simulación de tráfico urbano. Por ejemplo, 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.
- **Representación del comportamiento del BHS:** permitió modelar muy bien el comportamiento mecánico de las cintas transportadoras, al poder adaptar el funcionamiento del sistema de manejo de equipajes a la lógica del movimiento de vehículos sobre una red de transporte urbano.
- **Capacidad gráfica:** PARAMICS permite generar una representación gráfica del funcionamiento del BHS de forma directa, lo que permite comunicar resultados en un lenguaje natural a cualquier público.

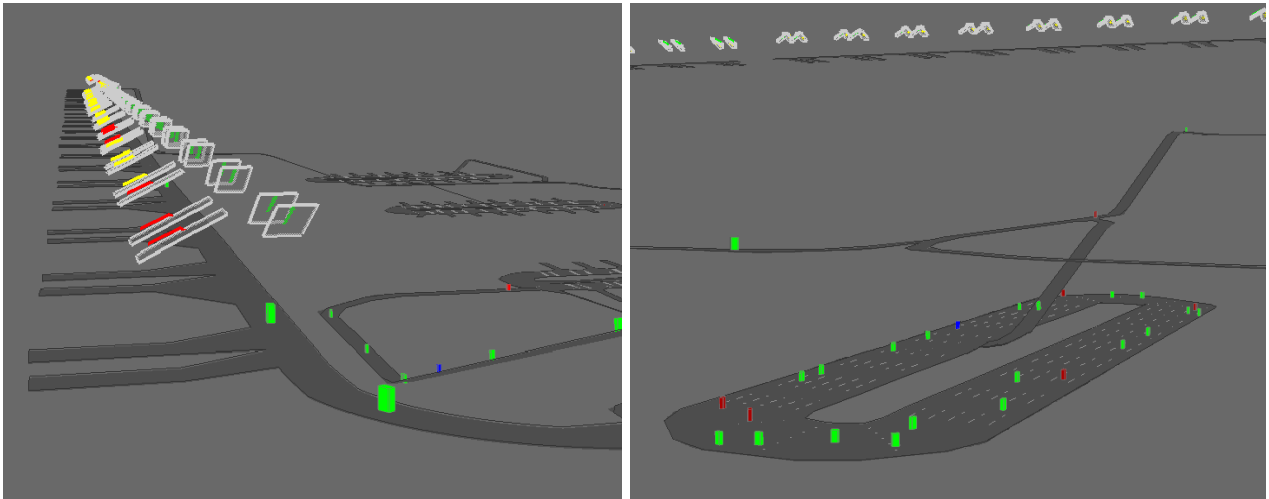


Figura 2 -Counters y carruseles modelados en PARAMICS

En el capítulo 2 se explicará en detalle el funcionamiento del simulador.

1.5.Revisión Bibliográfica

La literatura sobre el manejo de equipaje data desde la década de 1960. Aunque hay una gran cantidad de literatura en revistas de transporte aéreo, pocos artículos han estudiado las operaciones de manejo de equipajes cuantitativamente.

El primer trabajo analítico que se revisó es Tanner (1966). En este artículo se propuso un modelo simple de colas determinista para estudiar la llegada de pasajeros y

equipaje en la zona de *check-in*. El *check-in* de equipajes y los procesos de reclamo de equipaje han sido los más estudiados y que se revisarán posteriormente.

Varios autores a finales de los años 1960 y comienzos de la década de 1970 se interesaron en el ajuste de los sistemas de manejo de equipajes para la llegada de aviones de fuselaje ancho. (Parsons, 1971; 1976) reporta la elaboración de varios manuales de planificación para el equipo de manejo de equipajes y para la planificación de instalaciones de terminal para el procesamiento de pasajeros y equipaje de la Administración Federal de Aviación, Departamento de Transporte de EE.UU.

Gosling (1979) estudió varias operaciones de la terminal del aeropuerto desde la perspectiva de la producción de la teoría económica. Obtuvo isocuantas para la venta de entradas y proceso de *check-in*, el proceso de embarque y desembarque de equipaje, y procesos de reclamación de equipaje.

Las siguientes subsecciones dan más reseñas detalladas de determinados aspectos del manejo de equipaje y sobre la validación de un modelo de simulación.

1.5.1. Proceso de *Check-in*

La mayoría de los trabajos sobre asignación y optimización de recursos para el proceso de *check-in* señalan que es mejor estudiarlo utilizando simulación en vez de teoría de colas.

Joustra y Dijk (2001) muestran por qué la simulación es mejor para el proceso de *check-in* en los aeropuertos y se apoyan con un estudio de caso en el aeropuerto de Ámsterdam. Las colas en los aeropuertos se explican como función de fuertes fluctuaciones y *peaks* durante el día en la cantidad de pasajeros que llegan, por lo que la teoría de colas es incapaz de explicar esta variabilidad y, por lo tanto, no es apropiada para calcular la cantidad de *counters* requeridos. El trabajo analiza los siguientes puntos del proceso de *check-in*:

- *Counters* que atienden a pasajeros de distintos vuelos versus *counters* que atienden pasajeros de vuelos dedicados.
- Apertura de *counters* dinámico versus una cantidad fija de *counters* abiertos durante el periodo que se realiza el *check-in*.
- Aumentar el tiempo necesario para realizar el *check-in*, antes de la salida del vuelo, en una hora.
- Sobredemanda de pasajeros en clase económica.
- Configuración de colas.

Los autores concluyen que es mejor que los *counters* puedan atender a pasajeros de distintos vuelos, la apertura de *counters* debe ser dinámica y se debe utilizar una configuración de una cola y varios *counters* atendiéndola. Además, dado lo anterior, no es necesario aumentar el tiempo para realizar el *check-in*. Por otra parte, los autores, ante un aumento de la demanda de pasajeros de clase económica, recomiendan que se sean atendidos en los *counters* disponibles destinados a pasajeros preferentes.

Si bien la teoría de colas se puede aplicar al problema descrito anteriormente, esta no es lo suficientemente precisa para estimar los tiempos de espera en la cola. Por otra parte, en sistemas de alta complejidad el uso de simulación logra resultados bastantes confiables.

Park y Ahn (2003) explican en detalle el modelo necesario para optimizar la asignación de *counters* basado en el patrón de llegada de pasajeros. La estructura principal del artículo es similar y los factores considerados para los cálculos son los mismos que en los otros trabajos de investigación. Los autores mencionan que los patrones de llegada de los pasajeros dependen de los tiempos de salida de los vuelos (hora del día), tipo de avión y la cantidad de pasajeros que tiene cada vuelo. También depende del tipo de operaciones, incluido si el vuelo es *charter* o regular. Los vuelos de larga distancia pueden ser procesados dos horas antes de la hora normal de salida (STD, del inglés *Standard Time of Departure*), mientras que un vuelo nacional necesita sólo de treinta minutos.

Los autores han basado su modelo en el aeropuerto internacional de Seúl Gimpo (GMP). Las observaciones en el GMP muestran que el tiempo promedio de procesamiento para los pasajeros es de 96 segundos. Los pasajeros sin equipaje fueron procesados en 68 segundos. Para entender el patrón de llegada de pasajeros se realizó una encuesta en el aeropuerto.

Sólo el 1,5% de los pasajeros llegaron al aeropuerto 170 minutos antes de la STD y el 90% de ellos llegó 30 minutos antes de la STD. Los autores muestran cómo estas tasas acumulativas de llegada de pasajeros al aeropuerto afectan la cantidad de *counters* necesarios.

Dijk y Sluis (2005) analizan la optimización del proceso de *check-in* mediante simulación y programación entera. El trabajo describe un proceso de optimización, que consiste en dos pasos:

- Calcular y optimizar el número de *counters* para un vuelo concreto.
- Minimizar el número total de *counters* y las horas de personal.

El artículo trata sobre los aspectos estocásticos del proceso de *check-in* y utiliza simulación para establecer los requerimientos iniciales. Dijk y Sluis (2005) sugieren el uso de técnicas determinísticas para la optimización de los recursos asignados. El trabajo apoya el uso de simulación para modelar el proceso de *check-in* principalmente por:

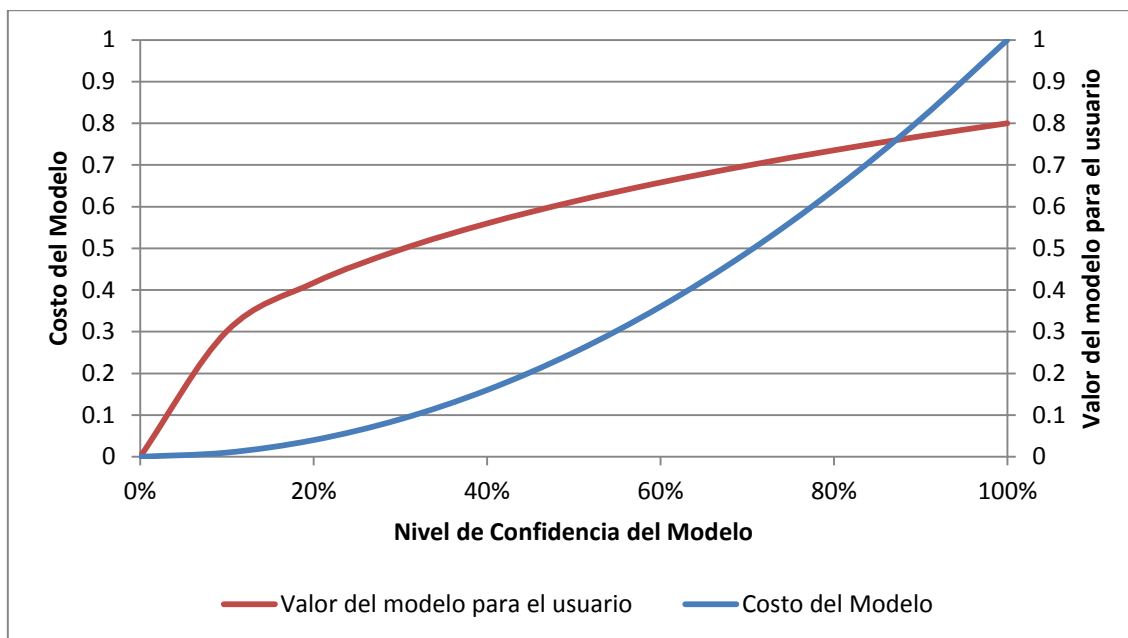
- Aleatoriedad en el número de pasajeros.
- Estocasticidad en los tiempos de llegada de los pasajeros.
- Estocasticidad en los tiempos de *check-in* para un pasajero.

El artículo utiliza los resultados de la simulación para estimar las necesidades horarias de los *counters* y también sugiere usar una apertura de *counters* dinámico (como se muestra de igual forma en Joustra y Dijk, 2001) para reducir al mínimo las horas de dotación de personal y el uso compartido de los *counters* disponibles. Los resultados de las observaciones fue que para la mayoría de los vuelos se requiere de un solo *counter* la última hora si el vuelo se procesa 2,5 horas antes de su salida.

Otro trabajo que trata la asignación de recursos de *check-in* es de Chun y Mak (1999). El modelo se basa en el aeropuerto de Hong Kong Kai Take e introduce un sistema de simulación inteligente de recursos (o IRSS, del inglés *Intelligent Resource Simulation System*), el cual permite estimar las necesidades en el proceso de *check-in*. El IRSS utiliza datos históricos de la distribución de llegada de pasajeros, tiempos de atención en *counters* y la base de datos del aeropuerto para obtener la cantidad de pasajeros por vuelo y la hora de salida de estos. La entrada se da en forma de plan de vuelo y el IRSS calcula los *counters* necesarios para cada o grupo de vuelos. El modelo le permite al usuario modelar varios escenarios posibles fácilmente y evaluar las posibilidades de cambio. También genera gráficos y tablas para comparar diferentes escenarios para entender los resultados fácilmente.

1.5.2. Validación y verificación de modelos de simulación

Respecto a la validación y verificación de un modelo de simulación, Sargent (2005) señala que si un modelo es preciso bajo ciertos escenarios, esto no garantiza que sea válido en todo escenario sobre el cual sea aplicado. Además, la relación entre la confianza del modelo, el costo de validar el modelo, y el valor que entrega el modelo al usuario posee el comportamiento mostrado en la figura 3.



Fuente: Sargent (2005)

Figura 3 - Confianza del modelo versus Costo y valor del modelo para el usuario final.

Existen cuatro enfoques para decidir si un modelo de simulación es válido. El primero es que el mismo equipo que desarrolla el simulador tome las decisiones para determinar si este es válido. El segundo enfoque se basa en que el usuario (o cliente final) del simulador determine si el modelo de simulación es válido.

Un tercer enfoque para validar el modelo es que sea verificado y validado por una persona independiente del modelo (que no sea del equipo de desarrollo ni el cliente). Esta tercera forma puede ser llevada a cabo ya sea que el independiente este verificando y validando el modelo a lo largo del desarrollo del mismo o una vez que finalice la etapa de desarrollo.

El último enfoque determina si un modelo de simulación es válido o no a través de un modelo de puntajes. Los puntajes son determinados subjetivamente cuando se llevan a cabo varios aspectos del proceso de validación y luego combinados para determinar el puntaje de la categoría y un puntaje total para el modelo de simulación. El modelo de simulación es considerado válido si el puntaje total y el de cada categoría son mayores que un cierto puntaje umbral.

Además, Sargent (2005) muestra las siguientes técnicas para validar el desarrollo de un simulador:

- a) Animación: el comportamiento operativo del modelo se representa gráficamente a través del tiempo.
- b) Validez de eventos: Los "eventos" del modelo de simulación se comparan con los del sistema real para determinar si son similares. Por ejemplo, comparar el número de detenciones de cinta en el simulador desarrollado.
- c) Validación con datos históricos: Si existen los datos históricos (por ejemplo, los datos recogidos en un sistema específicamente para construir y probar un modelo), parte de los datos se utiliza para construir el modelo y los datos restantes se utilizan para determinar si el modelo se comporta como el sistema lo hace.
- d) Validez interna: Varias replicaciones (corridas) de un modelo estocástico se hacen para determinar la variabilidad (interna) estocástica en el modelo. Una gran cantidad de variabilidad (la falta de consistencia) puede causar que los resultados del modelo a ser cuestionable y si es típico de la entidad problema, puede cuestionar la idoneidad de la política o sistema que se está investigando.
- e) Gráficos operacionales: Los valores de varias medidas de rendimiento, por ejemplo, el largo de la cola y el porcentaje de servidores ocupados, se muestran gráficamente a medida que el modelo se ejecuta a través del tiempo, es decir, los comportamientos dinámicos de los indicadores de rendimiento son visualmente una muestra de cómo el modelo de simulación se ejecuta a través del tiempo para garantizar que se comportan correctamente.
- f) Análisis de sensibilidad: Consiste en cambiar los valores de los parámetros de entrada y los parámetros internos de un modelo para determinar el efecto sobre el comportamiento del modelo o de su salida. La misma relación debe producirse en el modelo como en el sistema real. Los parámetros que son sensibles, es decir, provocar cambios significativos en el comportamiento del modelo o de salida, debe ser lo suficientemente precisos antes de usar el modelo.
- g) Test de Turing: Se le pregunta a las personas que están bien informados sobre las operaciones del sistema que se está modelando si se puede discriminar entre los productos del sistema y el modelo.

La validez de los datos es relevante para construir el modelo, validarlo y experimentar con el modelo de simulación una vez validado. Hay que desarrollar buenos procedimientos de recopilación y mantenimiento de datos, comprobar los datos recolectados a través de técnicas como las comprobaciones de coherencia interna, y determinar si los *outliers* son correctos. Si la cantidad de datos es grande, se debe desarrollar y mantener una base de datos con la información necesaria.

Por otra parte, también hay que verificar la programación del modelo, asegurándose que las funciones simulación (mecanismo de tiempo y flujo, generador de números pseudoaleatorios, entre otros) y el modelo programado haya sido implementado correctamente. Si hay una gran cantidad de variables, se podría agregar algunas de estas para reducir el número de pruebas necesarias o usar ciertos tipos de experimentos (Kleijnen 1987).

Además, hay que determinar la validez operacional del simulador, es decir, determinar si el comportamiento de la salida del modelo de simulación tiene la precisión requerida para la finalidad prevista del modelo.

Para validar operacionalmente el simulador desarrollado en esta tesis, se usaron gráficos e intervalos de confianza, que son discutidos en la sección 2.6. Los intervalos de confianza se construyen a partir de las diferencias entre las medias, varianzas, y la distribución del modelo de simulación de las diferentes variables de salida. Una breve discusión sobre el uso de intervalos de confianza para validar el modelo se encuentra en Law (2006).

1.5.3. Discusión

Los artículos sobre la asignación de recursos tratan sobre los parámetros que afectan al proceso de *check-in* y favorecen el uso de simulación por sobre la teoría de colas. Los parámetros importantes que afectan el proceso de *check-in* son:

- Patrón de llegada de pasajeros.
- Tiempos de procesamiento en el *check-in*.

El tema común a través de los trabajos de investigación es reducir al mínimo los recursos y mantener los estándares de servicio.

Sin embargo, ningún artículo logra capturar el impacto del BHS en la atención de los *counters*. Pues, dada la estructura del colector de equipaje (que está detrás de los *counters*), en momentos de alta demanda de pasajeros, existe un número de *counters* que disminuyen su tasa de atención debido a que se generan tiempos muertos esperando inyectar el equipaje facturado al colector, para luego atender al siguiente pasajero en la fila. Este impacto es capturado por el simulador desarrollado para esta tesis.

2. Descripción del Sistema BHS y del Simulador

En este capítulo se realizará una descripción del sistema BHS del aeropuerto, describiendo cada uno de los elementos que interactúan con el sistema BHS, detallando los procesos involucrados en el sector de *counters*, el funcionamiento del sistema BHS, los procesos del patio de equipajes y las operaciones que se realizan en conexiones.

Además, se efectuará una descripción en detalle de la herramienta de simulación, donde se describirán los 4 módulos que conforman el simulador.

Por otra parte, se mostrará la información que entrega la herramienta de simulación de cada escenario simulado y que permite crear indicadores que posibilitan medir y comparar el impacto de distintos escenarios en cada uno de los elementos del sistema. Dentro de los principales indicadores se encuentran las maletas cargadas antes de la salida del vuelo, el tiempo de espera en fila, la cantidad de maletas en un carrusel, entre otros.

Por último, se mostrará que la información entregada por el simulador es estadísticamente confiable, al validar la información proporcionada por el simulador con mediciones en terreno.

2.1. Descripción del Sistema BHS del aeropuerto

Para comprender el desarrollo de este trabajo, es necesario describir en detalle el sistema de manejo de equipajes del Aeropuerto Arturo Merino Benítez, pues a lo largo de este documento se harán constantes referencias a los elementos de este sistema.

El sistema de manejo de equipajes (o BHS, del inglés *Baggage Handling System*) corresponde en su forma más pura al conjunto de cintas transportadoras, puertas y carruseles que se utilizan para llevar las maletas de los pasajeros desde el punto de entrega en *counters* hasta los contenedores que se ingresan al avión. Durante este documento se incluirá a la definición del BHS todos los sistemas anexos al manejo de equipajes que de alguna forma se relacionan con éste desde la llegada del pasajero al aeropuerto hasta el momento del carguío en la aeronave.

La figura 4 muestra la ubicación espacial de los elementos que conforman el BHS y que se describen a continuación. El aeropuerto posee 104 *counters* (mesones para el registro de pasajeros) los cuales se encuentran agrupados en cuatro subsistemas (T1, T2, T3 y T4). Los 28 *counters* de cada "T" (20 en el caso de la T4) están conectados a una cinta común llamada colector, el ingreso de los equipajes desde el mesón al colector es automático. Cada cinta colector termina en una profunda bajada hasta el patio de equipajes, al final de la cual hay un escáner de seguridad conocido como N2 (primer nivel de seguridad).

En el primer piso del aeropuerto se encuentra el patio de equipajes (PEQ), lugar en el que se manejan todos los equipajes que llegan o salen del terminal. Cada uno de

2. Descripción del Sistema BHS y del Simulador

los subsistemas “T” desemboca en dos carruseles donde los equipajes son segregados y cargados a los carros que los llevaran sus aviones. En total existen ocho carruseles: M1 y M2 asociados a la T1, M3 y M4 a la T2, desde la T3 se descarga a los carruseles M5 y M6, finalmente las maletas de la T4 llegan hasta los carruseles M7 y M8. En forma transversal a todo el patio existe la cinta L3, que puede recoger equipajes de todas las “T” y los lleva a otro subsistema T5.

En el subsistema T5 se procesan todos los equipajes que presentan algún tipo de inconveniente, ya sea porque el sistema de dirección ha perdido su identificación (conocido como error de rastreo) o porque ha sido marcado como “sospechoso” por el escáner N2. La T5 está formada por un escáner de mayor potencia (conocido como N3 o nivel 3), un sector cerrado de alta seguridad para los casos especiales y un carrusel donde terminan los equipajes liberados llamado M9.

Además de las cuatro “T”, existen dos formas más de enviar el equipaje hacia el patio de equipajes. La primera corresponde a la cinta para equipajes *oversize* (para equipajes con dimensiones mayores a las que fue diseñado el BHS), y la segunda a la cinta para los *counters* de pasajeros preferenciales. Cada una posee su propio escáner de seguridad N2. Aunque en este estudio el foco está en los equipajes de salidas, por completitud cabe mencionar que existen en el patio nueve cintas para arribos, numeradas de R1 a R9.

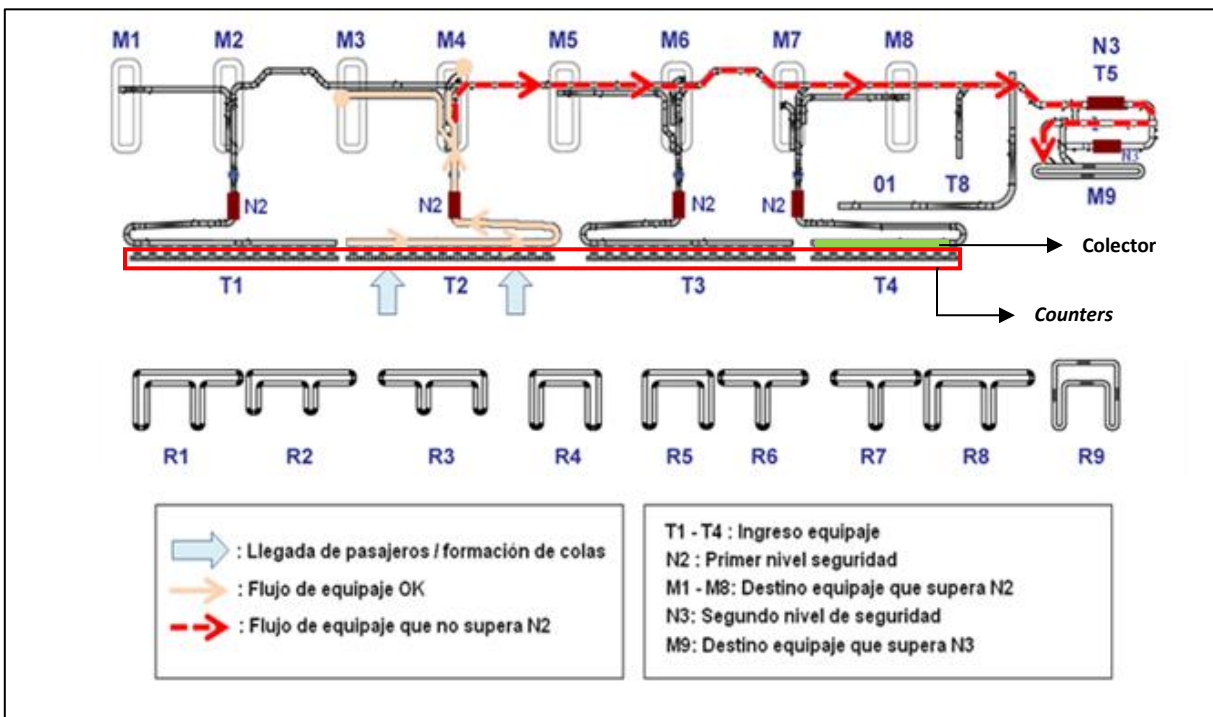


Figura 4 - Elementos del BHS

Por otra parte, la figura 5 muestra, en forma general, las operaciones del sistema que se quiere simular y que se describen en la sección siguiente.

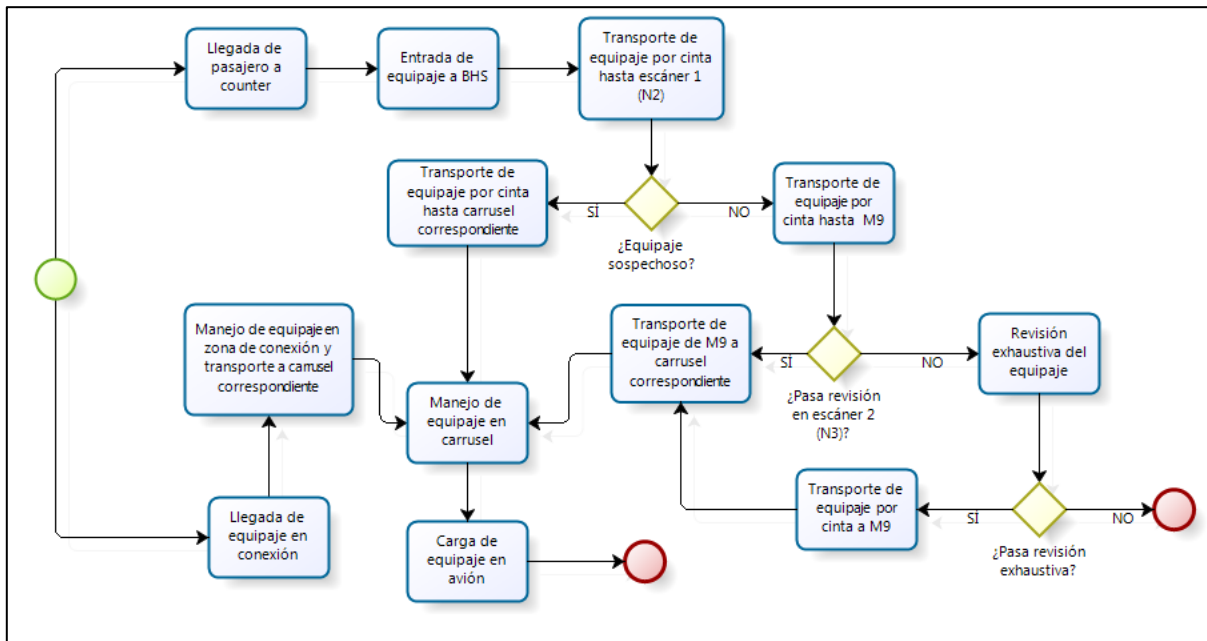


Figura 5 - Diagrama de flujo de las operaciones del sistema

2.1.1. Sector *Counters*

Los pasajeros ingresan al terminal por el tercer piso del edificio donde llegan hasta la fila correspondiente a su vuelo. Para una mejor atención en *counters*, cada fila está asociada a un conjunto de *counters*. Hay que agregar que la fila también recibe el nombre de corral.

Los corrales que existen en el aeropuerto son:

- T1 A: Corresponde a los vuelos de aerolíneas internacionales (excepto TAM) que son procesados por Andes. Tiene asignado los *counters* del 1 al 14.
- T1 B: Corresponde a los vuelos de aerolíneas internacionales (excepto TAM) que no son procesados por Andes. Tiene asignado los *counters* del 15 al 28.
- TAM: Corresponde a los vuelos de TAM. Tiene asignados los *counters* del 29 al 32.
- LAN Internacional Drop-Off²: Corresponde a todos los vuelos internacionales de LAN cuyo destino no es Estados Unidos u Oceanía. La asignación de *counters* depende de la programación de LAN.
- LAN Internacional USA y Oceanía: Corresponde a todos los vuelos internacionales de LAN cuyo destino es Estados Unidos u Oceanía. La asignación de *counters* depende de la programación de LAN.

² También es correcto decir “Bag Drop”

2. Descripción del Sistema BHS y del Simulador

- f) LAN NAC NORTE: Corresponde a todos los vuelos nacionales de LAN que van al norte de Chile. La asignación de *counters* depende de la programación de LAN.
- g) LAN NAC SUR: Corresponde a todos los vuelos nacionales de LAN que van al sur de Chile. La asignación de *counters* depende de la programación de LAN.
- h) T4 INTER: Corresponde a los vuelos internacionales de SKY y PAL. Tiene asignado los *counters* del 85 al 90.
- i) T4 NAC: Corresponde a los vuelos nacionales de SKY y PAL. Tiene asignado los *counters* del 91 al 104.

Cabe mencionar que es necesario representar el flujo de pasajeros de todas las compañías que operan en el aeropuerto de Santiago, ya que el sistema BHS interactúa con todo el aeropuerto.

Una vez que el pasajero está en el *counter* correspondiente a su vuelo, el agente del *counter* registra las maletas en el sistema utilizando una pistola de código de barras y luego lo deposita en la cinta transportadora.

El agente de *counter* debe seguir ciertas reglas para colocar el equipaje en la cinta transportadora, y si este debe ser enviado en una bandeja o no. Esto debido a que el BHS está diseñado para transportar maletas duras³ en posición horizontal. Lo anterior genera errores en la forma en que se colocan los equipajes en el sistema BHS y que pueden causar detenciones de cinta y que será tratado en la siguiente sección.

Por lo mismo, se realizaron mediciones en terreno que permitieron conocer, basado en una clasificación descrita en un documento interno de LAN, los tipos de errores que se producían en *counters*. Los datos fueron recogidos desde el 1 al 6 de noviembre del 2010, y desde el 10 al 17 de enero del 2011. Se midió la proporción de equipaje mal facturados según las especificaciones que LAN les entrega a sus operarios (tabla 1).

³ Maleta dura: Maleta de polipropileno u otro material rígido, apropiadas para facturar en vuelos y para transportar objetos frágiles.

Tabla 1 - Mediciones de errores al ingresar el equipaje por *Counter*

Equipajes mal ingresado a cinta transportadora (Desde counters)	Noviembre - 2010		Enero - 2011	
	Internacional	Nacional	Internacional	Nacional
Equipaje en la cinta sin bandeja (mochilas, equipaje pequeño y bolsos que no conservan su forma deben ingresar en bandejas)	9,5%	6,8%	10,0%	9,0%
Maletas en posición vertical	7,3%	7,9%	9,0%	8,0%
Dos equipajes juntos	1,1%	2,6%	0,4%	0,2%
Equipaje que excede medidas convencionales (que debiese ser enviado por cinta <i>oversize</i>)	0,1%	0,2%	1,0%	1,0%
Ruedas de equipajes hacia abajo	18,0%	19,0%	18,7%	18,7%
Poner equipaje manualmente en la cinta colectora	0,1%	0,5%	0,5%	0,6%
Sacar equipaje manualmente en la cinta colectora	0,0%	0,0%	0,0%	0,2%
Maletas paradas Y con ruedas hacia abajo	0,8%	0,2%	0,1%	0,2%
Personal caminando en las cintas	0,6%	0,1%	1,0%	0,3%
Maleta con las manilla arriba	0,5%	0,2%	0,1%	0,0%
% DE PROBLEMAS DE EQUIPAJE EN COUNTER	38,0%	37,5%	40,8%	38,2%
% DE EQUIPAJE ENVIADO CON BANDEJA	15,0%	24,4%	13,5%	34,1%

Luego de que el agente de *counter* ingresa la maleta a la cinta transportadora, el sistema controlador del BHS registra la posición de la maleta, conoce el carrusel que tiene por destino (que depende del *counter* por el que ingresó) y envía la orden de ingresar el equipaje a la cinta colectora. La maleta esperará en la entrada del colector hasta el momento que se genere una brecha en el colector, si el operario fuerza la entrada al colector o deposita un equipaje no registrado este será enviado al sector M9.

En caso que el equipaje exceda las dimensiones de la cinta, el personal del aeropuerto lo llevará desde el mesón hasta la cinta de *oversize*, donde es escaneado y enviado directamente al PEQ.

2.1.1.1. Válvula de escape

Como existen errores en la operación del ingreso de maletas al sistema BHS que producen detenciones de cinta, en la operación diaria del sector *counters* se ha implementado la política de la "válvula de escape". Esta política tiene como objetivo no interrumpir el flujo de maletas hacia el patio de equipajes cuando las cintas transportadoras asociadas a una "T" dejan de funcionar, haciendo que las maletas lleguen al patio de equipajes a través de la cinta de *oversize*.

La política funciona cuando la cinta del colector de la "T" se detiene por más de 3 minutos. En ese momento, en el cual se empieza a enviar el equipaje que se factura en los *counters* asociados a esa "T" por *oversize*, y se deja de utilizar la cinta de *oversize* cuando la cinta del colector vuelve a operar en forma normal. Cabe mencionar que la atención en *counters* no se ve afectada al implementar esta política.

La figura 6 muestra todos los procesos involucrados en el sector *counters*.

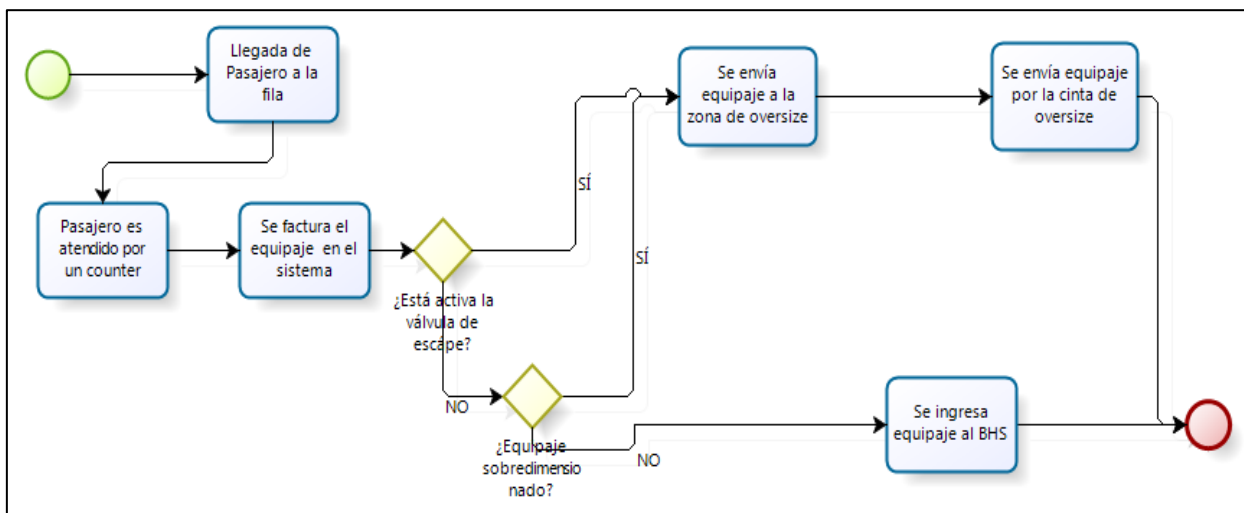


Figura 6 - Diagrama de flujo de las operaciones en el sector *counters*

2.1.2. Cintas Transportadoras (BHS)

Una vez dentro del colector la maleta desciende hasta el escáner N2 y llega al patio de equipajes. Luego de la salida del escáner se encuentra con un diverter (sistema de palas metálicas que permite desviar el equipaje) la cual la desviará hacia alguno de los dos carruseles dependiendo del *counter* por donde ingresó ó, en caso de haber sido encontrada sospechosa en el escáner, seguirá directo hacia la cinta L3.

La figura 7 muestra las operaciones que se relacionan con las cintas transportadoras.

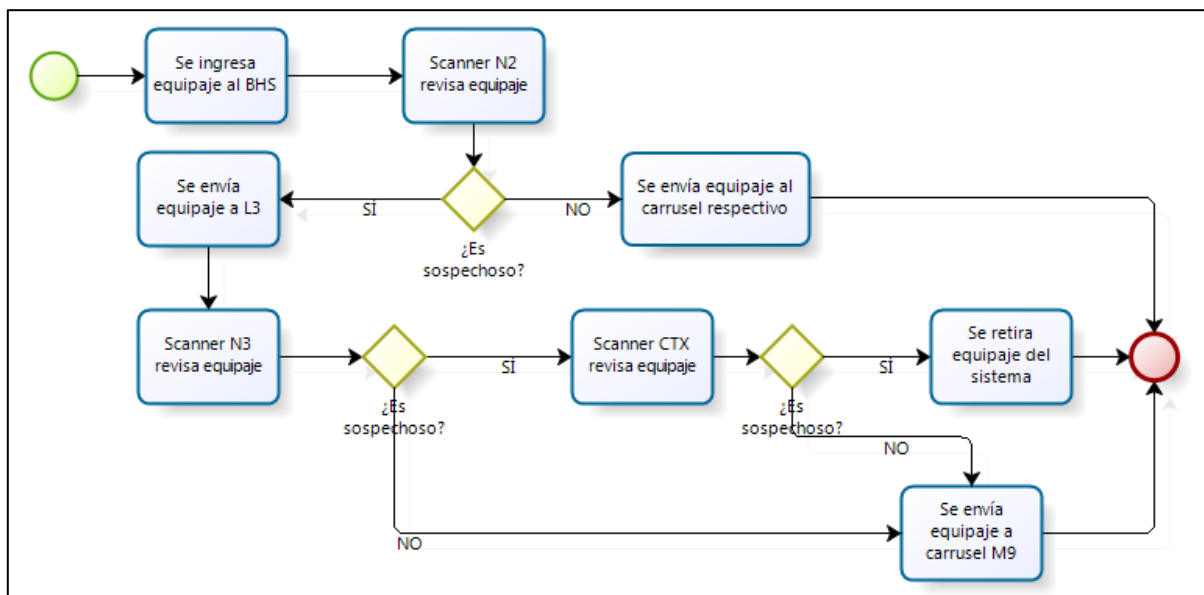


Figura 7 - Diagrama de flujo de las operaciones en las cintas transportadoras

2.1.3. Patio de Equipajes

Asumiendo que la maleta arribe sin contratiempos al carrusel que le corresponde, permanecerá en este hasta que un operario de la empresa a cargo del vuelo la retire. 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 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.

En caso que la maleta haya sido desviada hacia la cinta L3, esta llegará hasta el final del patio, donde pasará por un nuevo escáner (N3). Si luego de la segunda revisión el equipaje se sigue considerando sospechoso, este será desviado al sector de mayor nivel de seguridad, en caso contrario, llegará hasta el carrusel M9. Una vez allí un operario de la empresa a cargo del vuelo deberá registrar su llegada en el sistema y colocarla en un carro que la lleve hasta el carrusel donde se está preparando su vuelo o en caso de estar cercano la hora de salida del vuelo directamente el avión.

2.1.4. Conexiones

Aproximadamente el 30% del equipaje que debe cargarse en un avión no ingresa vía *counter*, sino que pertenece a pasajeros con vuelos en conexión, es decir que hacen transbordo de avión en el terminal. 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.

2.2. Descripción de la herramienta de simulación

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

- Sector *counters*.
- Comportamiento del BHS.
- Patio de equipajes.
- Conexiones.

En las siguientes subsecciones se detallará el funcionamiento de cada proceso así como los parámetros de entrada necesarios para llevar a cabo la simulación.

Además, se mostrará la información que el simulador entrega de cada escenario simulado y los indicadores creados a partir de esa información, los cuales permitirán

medir y comparar el impacto de distintos escenarios en cada uno de los elementos del sistema.

Dentro de los principales indicadores se encuentran las maletas cargadas antes de la salida del vuelo, el tiempo de espera en fila, la cantidad de maletas en un carrusel, entre otros.

Por último, se mostrará que la información entregada por el simulador es estadísticamente confiable, al validar la información proporcionada por el simulador con mediciones en terreno.

Es importante mencionar que el simulador fue desarrollado en conjunto con la tesis de Magíster de Juan Pablo Cavada. En beneficio de la completitud, algunas partes de su trabajo han sido replicadas en esta sección. Se recomienda la lectura de su trabajo (Cavada, 2012) para tener una visión completa de la herramienta.

2.2.1. Sector *Counters*

Este módulo se encarga de representar:

- Llegada de pasajeros al aeropuerto.
- Filas.
- Asignación Fila-*Counter*-Carrusel.
- Atención de pasajeros en el *counter*.
- Ingreso de maletas al sistema BHS.

Para lograr lo anterior, el simulador debe leer los siguientes parámetros de entrada:

Tabla 2- Parámetros de entrada utilizados por el simulador para crear escenarios

Elemento del simulador	Parámetro
Llegada de pasajeros	Itinerario de salida y llegada de vuelos
	Perfil de llegada de pasajeros
	Pasajeros por vuelo
	Maletas por pasajero
<i>Counter</i>	Errores en ingreso del equipaje al sistema
	Cantidad de <i>counter</i> abiertos por LAN a lo largo del día
	Tiempo de atención en <i>counter</i>
	Porcentaje de pasajeros Bag Drop por vuelo
	Carrusel al que debe llegar el equipaje según vuelo

Con los parámetros leídos, el simulador crea los pasajeros asignándoles un vuelo, una fila, una hora de llegada al aeropuerto y la cantidad de maletas que lleva.

2. Descripción del Sistema BHS y del Simulador

A medida que el tiempo de simulación progresa, el simulador empieza a ingresar a los pasajeros a las filas correspondientes según su hora de llegada y características del vuelo.

Al haber algún *counter* disponible, el pasajero ingresa a este para realizar la facturación o *check-in*, donde su tiempo de atención es una variable aleatoria que considera si viene o no pre-chequeado, el tipo de vuelo (nacional, internacional o destino a EEUU) y la cantidad de maletas que trae.

Al momento de ingresar la maleta al BHS, el simulador la “marca” como problemática o no (para ver si producirá algún tipo de detención en el sistema más adelante), y también realiza una segunda “marca” para determinar si será encontrada sospechosa y derivada al sector M9 al momento de ser escaneada.

La figura 8 muestra un diagrama de flujo de los procesos involucrados en este módulo.

2. Descripción del Sistema BHS y del Simulador

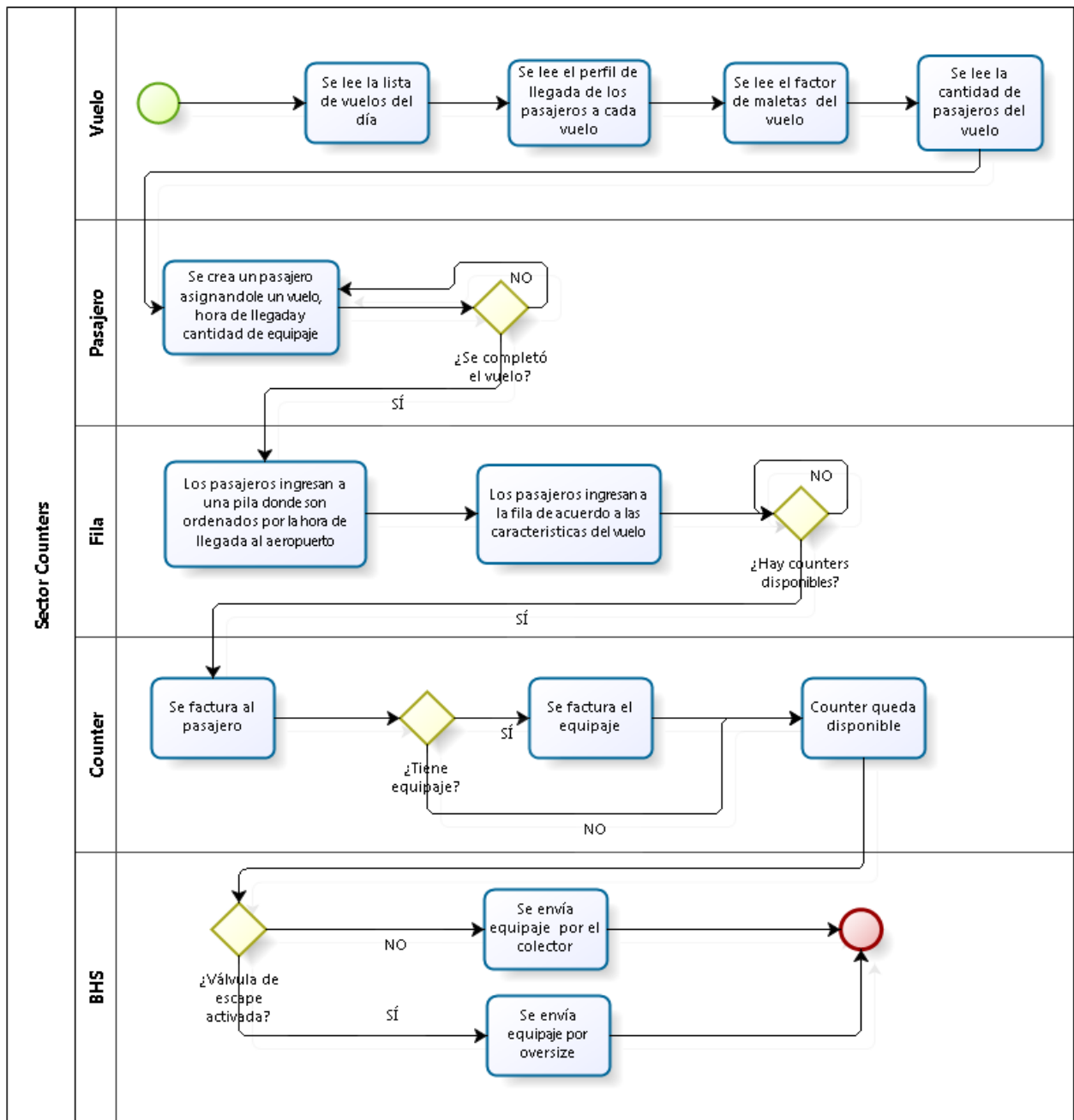


Figura 8 -Diagrama de flujo del módulo del sector *counters* del simulador

2.2.1.1. Llegada de pasajeros al aeropuerto

Para modelar la llegada de pasajeros al aeropuerto, el simulador utiliza los perfiles de llegada de pasajeros al terminal recopiladas por LAN y la siguiente información de los vuelos:

- Nº Vuelo: Corresponde al número de vuelo.
- Hora Salida: Corresponde a la hora de salida del vuelo.
- Pasajeros por counter: Es la cantidad de pasajeros del vuelo que ingresan por *counters*. Puede existir una fracción de pasajeros del vuelo que son de tránsito, es decir, provienen de otra ciudad de Chile en avión hasta Santiago y toman ese vuelo en particular para llegar a destino desplazándose por el área de embarque sin pasar por el sector de *counters*.
- Tipo de vuelo: Se establece si el vuelo es nacional, internacional o con destino a EEUU. Esta información es requerida por el simulador para establecer los tiempos de atención en el *counter*.
- Aerolínea: Corresponde a la aerolínea a la que pertenece el vuelo.
- T Inicio preparación: Se establece el tiempo (en segundos) antes de la salida del vuelo en que un operario del patio empieza a preparar las maletas del vuelo. Este parámetro se considera cuando se utiliza el sistema 1 operario-1 vuelo⁴.
- T Inicio preparación 2: Se establece el tiempo (en segundos) antes de la salida del vuelo en que un segundo operario del patio empieza a preparar las maletas del vuelo. Este parámetro se considera cuando se utiliza el sistema 1 operario-1 vuelo⁵. Si es -1, no se asigna un segundo operario.
- T Fin preparación 2: Se establece el tiempo (en segundos) antes de la salida del vuelo en que el segundo operario asignado termina de preparar las maletas del vuelo. Este parámetro se considera cuando se utiliza el sistema 1 operario-1 vuelo⁵. Si es -1, no se asigna un segundo operario.
- Porcentaje Drop-Off: Se le informa al simulador el porcentaje de pasajeros que vienen pre chequeados. Esta información es requerida por el simulador para establecer los tiempos de atención en el *counter*.
- Corral Asignado: Se establece el corral al cual pertenecen los pasajeros del vuelo.
- Factor de Maletas: Corresponde a un dato histórico del vuelo y se calcula como el promedio del cociente entre la cantidad de maletas y la cantidad de pasajeros de ese vuelo.
- Usa OS: Se utiliza este parámetro para simular escenarios donde todas las maletas de un vuelo son facturadas en *counters* y enviadas por *oversize* al patio de equipajes.

La tabla 3 muestra un ejemplo de la información de los vuelos que se le entrega al simulador y que fue explicada anteriormente.

⁴ Este sistema se explica en la sección 2.2.3.1, dedicada al módulo del patio de equipajes

Tabla 3– Información entregada al simulador para los vuelos

N° Vuelo	Hora Vuelo	Minuto Vuelo	Pasajero por vuelo	Tipo Vuelo	Aerolínea	T inicio preparación	T Inicio preparación 2	T Fin preparación 2	Corral Asignado	Porcentaje Drop-Off	Factor de Maletas	Usa OS
LA81	6	20	164	NAC	LAN	5400	-1	-1	lan_nac_sur	100	1,11	NO
LA93	18	40	159	NAC	LAN	5400	-1	-1	lan_nac_sur	100	1,01	NO
LA126	7	5	117	NAC	LAN	5400	-1	-1	lan_nac_norte	100	0,83	NO
LA120	12	10	117	NAC	LAN	5400	-1	-1	lan_nac_norte	100	0,83	NO
...

La figura 9 muestra un perfil de llegada típico de los pasajeros de un vuelo al aeropuerto. En este caso, se muestra el perfil observado para el vuelo Santiago-La Serena.

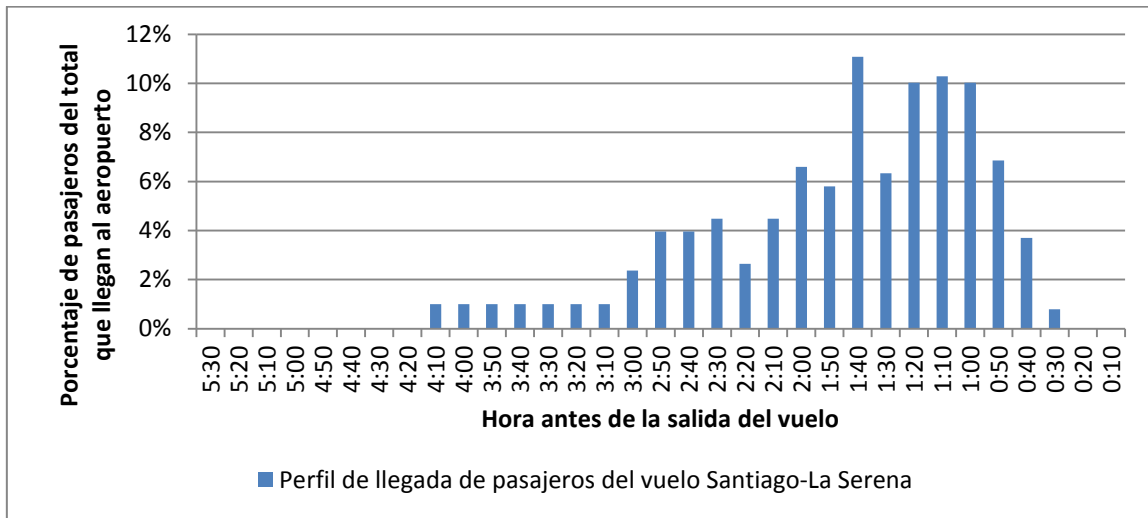


Figura 9- Perfil de llegada de pasajeros al aeropuerto del vuelo Santiago-La Serena

El simulador establece la hora de llegada de cada pasajero por vuelo tomando como referencia la hora de salida del vuelo y el perfil de llegada de ese vuelo. Luego, para cada intervalo de 10 minutos, el simulador calcula la cantidad de pasajeros que deben llegar en esa ventana de tiempo y los distribuye de forma uniforme.

Además, utilizando el factor de maletas del vuelo y la cantidad de pasajeros del vuelo que llegan al aeropuerto cada 10 minutos, se establece la cantidad de maletas que se deben repartir entre todos los pasajeros de ese vuelo para ese intervalo de 10 minutos. La asignación de maletas se realiza de forma aleatoria.

Una vez que se tiene los tiempos de llegada y cantidad de maletas de cada pasajero para cada vuelo, el simulador procede a ingresarlos a su fila respectiva.

Para los vuelos que no se tiene la información actualizada, se utilizó el perfil de llegadas de vuelos de LAN que tengan el destino y hora de salida lo más parecido al vuelo sin información. Por ejemplo, el vuelo de SKY con destino a Iquique que sale a las 6:45 (SKU190) utiliza el perfil de llegadas del vuelo de LAN con destino a Iquique que sale a las 6:15 (LA162).

2.2.1.2. Filas

Para que el simulador pueda modelar las filas (o corral) que existen en el sector de *counters*, se le entrega la siguiente información para cada fila:

- **ID Fila:** El simulador identifica cada fila por un id único.
- **Corral Asignado:** Corresponde al nombre que recibe la fila para efectos de la simulación. Debe ser único.
- **TEF Máximo:** Valor máximo que puede alcanzar (en segundos) el tiempo de espera en fila (TEF) promedio en un intervalo de 10 minutos. Si se pasa ese umbral, el simulador activa diversos mecanismos (que serán presentados en la sección 2.2.1.4) para que el TEF se ubique bajo el umbral.
- **T Mala:** Se utiliza este parámetro para simular escenarios donde el colector de la "T" se encuentre inutilizable. Se atiende a los pasajeros en los *counters*, pero las maletas se envían al patio de equipaje por la cinta *oversize*.

La siguiente tabla muestra un ejemplo de la información entregada al simulador.

Tabla 4 - Información entregada al simulador para las filas

ID Fila	TEF Máximo	Corral Asignado	T Mala
lan_nac_norte	600	lan_nac_norte	NO
lan_nac_sur	600	lan_nac_sur	NO
lan_750	1080	lan_750	NO
...

Cabe mencionar que si para un grupo de filas la T está marcada como mala, el simulador utiliza una política donde todos los pasajeros son atendidos, pero sólo se envía por *oversize* (al patio de equipajes) las maletas que pertenezcan a una cantidad determinada a priori de vuelos próximos a salir, con el objetivo de no colapsar la cinta *oversize*. Después de varias simulaciones, se determinó que entre todas las filas que tengan su T mala, sólo se puede procesar las maletas de los próximos 3 vuelos por salir como máximo para no colapsar la cinta de *oversize*.

2.2.1.3. Asignación Fila-Counters-Carrusel

El simulador está diseñado para tener la mayor flexibilidad en la atención de las filas (o corrales) por parte de los *counters*. Para eso, al simulador se le entrega:

- Una matriz (de 144x104) donde se especifica la fila que puede atender cada *counter*, en intervalos de 10 minutos.
- Una matriz (de 144x104) donde se especifica una segunda opción al *counter* para atender filas si este se encuentra en estado ocioso, en intervalos de 10 minutos.
- Una matriz (de 144x104) donde se especifica, en intervalos de 10 minutos, si cada *counter* se encuentra abierto o cerrado. La apertura de los

2. Descripción del Sistema BHS y del Simulador

counters 33 al 84 se basan en la programación que LAN prepara de acuerdo a sus políticas de calidad de servicio respecto a la espera en fila.

- Una matriz (de 144x104) donde se especifica el carrusel de destino que tiene configurado cada *counter* en intervalos de 10 minutos.

La siguiente tabla muestra un ejemplo de la matriz que se le entrega al simulador para especificar la fila que atiende cada *counter* en intervalos de 10 minutos.

Tabla 5 - Matriz entregada al simulador para establecer la relación Fila-Counter

	1	...	36	37	38	39	40	41	42	43	...	104
0:00	t1	...	lan_750	lan_750	lan_750	lan_750	lan_bag_drop	lan_bag_drop	lan_bag_drop	lan_bag_drop	...	t4_inter
...
9:10	t1	...	lan_750	lan_750	lan_750	lan_750	lan_bag_drop	lan_bag_drop	lan_bag_drop	lan_bag_drop	...	t4_inter
9:20	t2	...	lan_750	lan_750	lan_750	lan_750	lan_bag_drop	lan_bag_drop	lan_bag_drop	lan_bag_drop	...	t4_inter
9:30	t3	...	tam	tam	tam	tam	lan_bag_drop	lan_bag_drop	lan_bag_drop	lan_bag_drop	...	t4_inter
9:40	t4	...	tam	tam	tam	tam	lan_bag_drop	lan_bag_drop	lan_bag_drop	lan_bag_drop	...	t4_inter
...
23:50	t1	...	tam	tam	tam	tam	lan_bag_drop	lan_bag_drop	lan_bag_drop	lan_USA	...	t4_inter

2.2.1.4. Atención de pasajeros en el Counter

A través de mediciones en terreno, se estimó que el tiempo de atención de un pasajero en el *counter* se puede modelar como muestra la ecuación (1):

$$\text{Tiempo de atención total} = \text{Tiempo de registro en el sistema} + 30 \text{ seg por maleta} \quad (1)$$

Para determinar el tiempo de registro en el sistema, se realizó un análisis estadístico de tiempos de atención en base a las mediciones efectuadas por LAN, con datos que abarcan desde enero a junio del año 2011, para las distintas filas que existen.

El análisis estadístico se realizó utilizando el software StatFit en su versión 2.1.

Se determinó que la distribución para cada fila debía ser significativa (alta tasa de ajuste) y coherente con la teoría de colas, obteniéndose los siguientes resultados:

- **LAN Nacional:** El tiempo de atención para un *counter* nacional se distribuye como una exponencial con una media de 43 segundos, con un mínimo de 31 segundos.
- **LAN Internacional Drop-Off:** El tiempo de atención para un *counter* internacional Drop-Off se distribuye como una exponencial con media de 115 segundos, con un mínimo de 50 segundos.
- **LAN Internacional USA y Oceanía:** El tiempo de atención para un *counter* internacional USA u Oceanía se distribuye como una exponencial con una media de 190 segundos, con un mínimo de 75 segundos.

Además, el simulador tiene la capacidad, tal como existe en la realidad, de reasignar el personal en forma dinámica a diferentes filas, aumentando el número de agentes atendiendo en las filas cuyo TEF esté fuera de los rangos permitidos por la

definición del nivel de atención, quitando para ello agentes de filas con menor carga de trabajo. Para ello, el simulador ejecuta un algoritmo que puede describirse de la siguiente forma, donde cada 10 minutos el simulador:

- a) Calcula los TEF de cada fila como el cociente entre la cantidad de personas en la fila y la tasa de atención de los *counters* en ese momento. El TEF es calculado para las siguientes filas: nacional norte, nacional sur, internacional regional, internacional USA, más un corral que atiende los vuelos de LAN 750, 704, 801 y 847.
- b) Si alguna fila está sobre el TEF máximo, pasar a punto c) del algoritmo. Si todas operan dentro de los márgenes, el algoritmo termina.
- c) Busca las dos filas con TEF más bajo y que al liberar uno o dos *counters* (cada uno) no exceda el TEF máximo. Elige la combinación de *counters* a cerrar que afecte menos a las filas que ven disminuido su personal.
- d) Abre los *counters* extra en la fila con peor TEF y sigue atendiendo. Ir a paso a).

Además, se produce un fenómeno en la operación de los *counters* asociados a una T. Al aumentar la cantidad de pasajeros en una fila, existe otra fila (de la misma T) que tiene muy poco pasajeros. Entonces, los agentes empiezan a reasignar *counters* asociados a la cola más corta a la fila más larga, con el objetivo de no tener *counters* ociosos y así disminuir los TEF.

Para modelar esta situación, al simulador se le entrega la fila primaria y secundaria que cada *counter* puede atender. Para determinar cuando un *counter* debe atender su fila secundaria (que está en la misma T), el simulador verifica cada 10 minutos si la fila primaria del *counter* tiene menos de 5 personas y la fila secundaria tiene más de 5 personas. Si se cumple esa condición, en ese instante, el *counter* comienza a atender su fila secundaria. Al quedar liberado nuevamente el *counter*, se vuelve a evaluar la condición.

Por otra parte, se implementó un tercer mecanismo cuyo objetivo busca mejorar la asignación de *counters* que se le entrega al simulador. Utilizando la información de la fila primaria y secundaria que cada *counter* puede atender, el simulador verifica cada minuto si la fila primaria del *counter* tiene un TEF menor a 10 minutos y la fila secundaria un TEF mayor a 10 minutos. Si se cumple esa condición, en ese instante, el *counter* comienza a atender su fila secundaria. Al quedar liberado nuevamente el *counter*, vuelve a evaluar la condición.

2.2.1.5. Configuración Counters

Para poder replicar las condiciones y políticas existentes en los *counters* del aeropuerto, al simulador se le entregan los siguientes parámetros:

- Válvula de Escape: El simulador puede activar o no esta características que fue descrita en la sección 2.1.1.1.
- Tasa de maletas que van a M9: De lo observado en terreno, esta tasa es de un 12%.
- Reasignación de counters: El simulador puede activar esta característica descrita en la sección anterior.

- Cantidad de vuelos a atender si la T está mala: El simulador puede determinar la cantidad de vuelos a atender en la cinta de *oversize* si la T está mala. Esta característica fue descrita en la sección 2.2.1.2.
- Largo de fila máximo para determinar si el *counter* está ocioso: El simulador puede activar esta característica descrita en la sección anterior.
- TEF máximo para determinar si el *counter* está ocioso: El simulador puede activar esta característica descrita en la sección anterior.

2.2.1.6. Ingreso de maletas al BHS

Como se mencionó en la sección 2.1.1, los agentes de *counters* cometen ciertos errores al colocar la maleta en la cinta transportadora, lo cual puede producir detenciones en la cinta. Por lo que el simulador “marca” la maleta antes de ingresarla al sistema BHS, y en un proceso posterior (que le corresponde al módulo de “Comportamiento BHS”) se determina si existe o no detención.

Para poder determinar si una maleta puede producir una detención, el simulador debe saber qué tipo de maleta es la que ingresa al sistema. Para eso, se sintetizaron los tipos de error, mostrados en la tabla 1, en las siguientes categorías:

Tabla 6 - Clasificación para el simulador de errores al ingresar equipaje al sistema por *Counter*

Categoría	Error acontecido	Proporción
Tipo 1	Equipaje enviado sin bandeja	9,4%
Tipo 2	Equipaje con ruedas hacia abajo o parado o con manilla arriba	27,5%
Tipo 3	Equipaje parado y con ruedas abajo	0,4%
Tipo 4	Equipaje OK	62,5%

Con esta información, el simulador crea la maleta dada la distribución de la tabla anterior y le anexa el dato del tipo de equipaje. Luego, el módulo de “Comportamiento BHS” puede determinar, a través del dato anexado al equipaje, si la maleta marcada como problemática genera una detención o no.

Además, el simulador determina si la maleta ingresada al sistema BHS es considerada sospechosa (siendo derivada a M9 por L3) o está limpia (teniendo como destino el carrusel que le corresponde). De acuerdo a las mediciones que se realizaron en terreno, la tasa de maletas sospechosas es de 12%.

2.2.2. Comportamiento BHS

El BHS del aeropuerto de Santiago posee una serie de características que son necesarias para representar de la forma más cercana la realidad del sistema. Para ello, el módulo de “Comportamiento BHS” se encarga de modelar:

- Velocidad de Cinta
- Inyección de maletas al colector
- Detenciones de cinta

Para lograr lo anterior, el simulador debe leer los siguientes parámetros de entrada:

Tabla 7 - Parámetros de entrada utilizados por el simulador para crear escenarios

Elemento del simulador	Parámetro
BHS	Velocidad de las cintas
	Tasa de maletas que se envían a M9 por L3

A continuación se describirá cada una de las características modeladas en el simulador.

2.2.2.1. Velocidad de la Cinta

El BHS posee distintas velocidades en cada tramo que componen una T. Esto se debe a que es necesario disminuir la velocidad de las cintas para que los sistemas puedan escanear la maleta, ante una bifurcación de la cinta

Las velocidades de cada tramo de la T son también ajustadas en cada tramo de la T existente en el simulador.

2.2.2.2. Inyección de maletas al colector

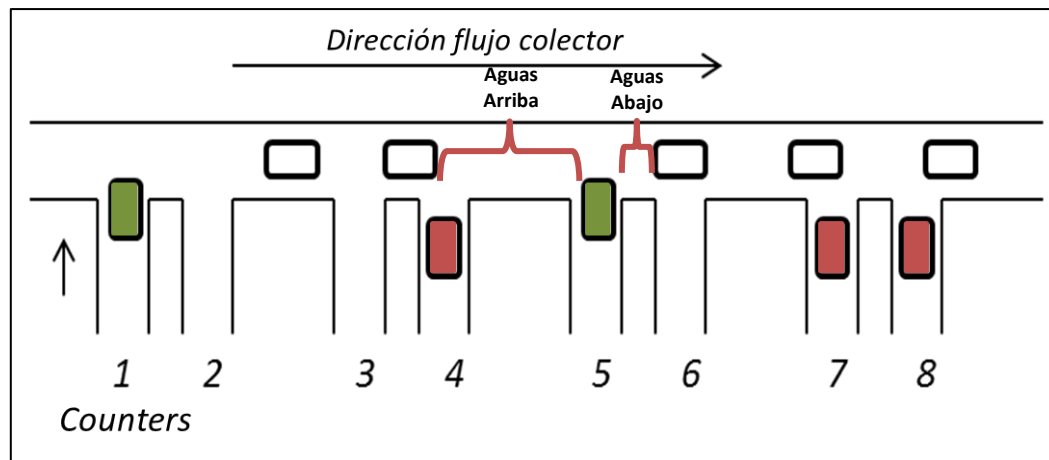
En el momento que el operario del *counter* pide al sistema ingresar una maleta al colector, esta debe esperar hasta que exista una brecha para poder ingresar. Sucede que en la medida que aumenta la cantidad de *counters* operando, aquellos ubicados “aguas abajo” tienen serias dificultades para poder inyectar las maletas, disminuyendo considerablemente su tasa de atención.

Para simular la forma en que el BHS inyecta maletas al colector de cada T, se programó un módulo que inyecta la maleta al colector si se cumplen las siguientes condiciones:

- El espacio entre la maleta “aguas arriba” y la intersección es de al menos 1 segundo.

- El espacio entre la intersección y la maleta “aguas abajo” es de al menos 1 segundo.

En la figura 10 se muestra la interacción del colector con los *counters*.



Fuente: Cavada (2012)

Figura 10 – Ingreso de equipajes al colector

Básicamente, el simulador prohibirá el paso de equipajes siempre que por el colector esté pasando otra maleta. Por ejemplo, en la figura 10, producto del flujo de equipajes en el colector, los counters 4, 7 y 8 (en rojo) no pueden ingresar las maletas a la cinta colectora.

2.2.2.3. Detenciones de cinta

Como se señaló en la sección 2.1.1, el BHS está diseñado para transportar maletas duras⁵ en posición horizontal. Cualquier otro tipo de equipaje o una maleta dura en posición vertical puede provocar atascos en la cinta.

Una detención en algún punto del sistema de cintas transportadoras que conforman la T produce una detención aguas arriba, pero el sistema sigue funcionando aguas abajo del punto de detención. Lo anterior provoca que el atasco detenga el colector de la T, el proceso de inyección de equipaje desde el *counter* al BHS, y por consiguiente, el *counter* se demora más en quedar libre para poder atender a los siguientes pasajeros.

De las observaciones en terreno, se pudo determinar que hay tres eventos que provocan detenciones en la cinta:

⁵Maleta dura: Maleta de polipropileno u otro material rígido, apropiadas para facturar en vuelos y para transportar objetos frágiles.

2. Descripción del Sistema BHS y del Simulador

- **Equipaje sin bandeja:** Equipaje que no clasifica como maleta dura y debía ser enviado en bandeja desde el *counter* (de tipo 1, según clasificación de la tabla 2).
- **Equipaje en mala posición:** Equipaje que fue enviado desde el *counter* con la manilla arriba, con las ruedas hacia abajo o una maleta dura en posición vertical (de tipo 2, según clasificación de la tabla 2).
- **Equipaje en muy mala posición:** Equipaje que fue enviado desde el *counter* en posición vertical y que posee ruedas (de tipo 3, según clasificación de la tabla 2).

Además, de las mediciones en terreno, se pudo determinar las siguientes características de los eventos:

Tabla 8 - Características de los tipos de detenciones

Categoría	Duración de la detención	Probabilidad de detener la cinta	Tipo de maleta asociado
Equipaje sin bandeja	~U[60",120"]	5%	Tipo 1
Equipaje en mala posición	~U[120",360"]	1%	Tipo 2
Equipaje en muy mala posición	~U[180",300"]	50%	Tipo 3

Por otra parte, se pudo comprobar en terreno que el punto de detención del sistema se encuentra en la zona donde está el escáner N2 de cada T. Es decir, en todo el sistema BHS existen 4 puntos de detención.

El simulador utiliza la información de la tabla anterior para generar detenciones de cinta según las probabilidades señaladas. Para ello, el simulador "lee" el tipo de maleta que pasa por el punto de detención, y si es del tipo 1, 2 o 3, tiene una probabilidad de atascar la cinta. Si la maleta atasca la cinta, se calcula la duración de la detención dependiendo el tipo de maleta que generó la detención y de la distribución que posea la duración.

2.2.3. Patio de Equipajes

El patio de equipajes del aeropuerto involucra fundamentalmente 3 procesos vinculados a los vuelos salientes y que fueron incluidos en la simulación:

- Preparación de vuelos.
- Recuperación de maletas redireccionadas.
- Conexiones.

Para lograr lo anterior, el simulador debe leer los siguientes parámetros de entrada:

Tabla 9 - Parámetros de entrada utilizados por el simulador para crear escenarios

Elemento del simulador	Parámetro
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

Una descripción más detallada de este módulo se encuentra en Cavada (2012).

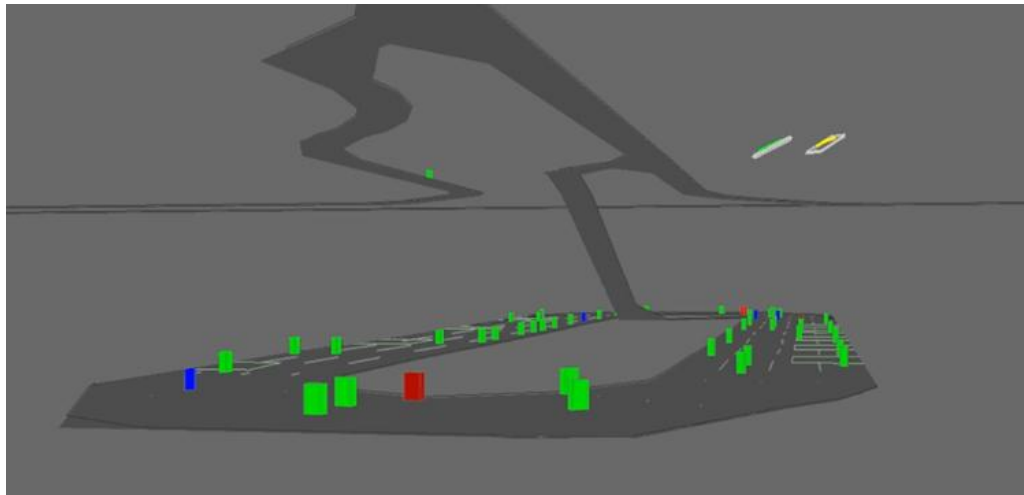


Figura 11 – Vista de un carrusel en el simulador

2.2.3.1. Preparación de vuelos

El proceso consiste en tomar las maletas que arriban a alguno de los 8 carruseles. En el momento que el equipaje pasa por la zona donde se está preparando el vuelo al que corresponde, si existe algún operario disponible que este cargando dicho vuelo, la maleta es retirada del carrusel y puesta en un carro que la llevará al avión. En caso contrario, procederá a dar una vuelta más en el carrusel.

El tiempo que un operario se demora en procesar una maleta se distribuye exponencialmente con tasa μ [maletas/minutos], por lo tanto si un vuelo es atendido por n operarios, tendremos que el tiempo que se demora en quedar libre al menos un operario se distribuirá exponencialmente con media $\frac{1}{n\mu}$ [minutos].

Cada carrusel tiene una capacidad máxima de vuelos que pueden ser procesados simultáneamente, la cual está dada por la cantidad de carros que es posible ubicar en torno a él. Dependiendo del destino de vuelo se define el espacio necesario para procesarlo, en base a la cantidad de postas (escalas) y el tipo de carro que utiliza.

2.2.3.1.1. Sistema un operario-un vuelo⁶

El simulador asigna uno o dos operarios a procesar un vuelo, en forma exclusiva, por 90 o 150 minutos antes de su salida, según las características de este.

La discusión y detalle del sistema un operario – un vuelo se encuentran en la memoria de Pregrado de Suarez (2012). Mientras que una discusión detallada de las políticas de asignación de personal se encuentra en Cavada (2012).

2.2.3.1.2. Sistema Pool⁷

Actualmente existe un proyecto para conciliar el equipaje con un sistema de pistolas lectoras de códigos de barra, más conocidas por las siglas en inglés HHT (*handheld terminal*) manejadas por los operadores en los carruseles, con el propósito de remplazar el actual procedimiento que consiste en la conciliación manual del equipaje, donde se remueve un sticker del bag-tag de la maleta y se pega en orden en una hoja.

Este sistema tiene como ventaja directa disponer de información sobre el equipaje conciliado en tiempo real, lo que permite hacer búsquedas de equipaje de forma más eficiente, logrando reducir los tiempos en que un vuelo logra tener todas sus maletas procesadas. Además, ayuda a evitar el error de cargar un equipaje en el carro incorrecto.

Por otra parte, el sistema permite eliminar el concepto de “un operario-un vuelo”, ya que no se necesita que alguien guarde físicamente el registro de la conciliación. Esto permite que un grupo de operarios puedan procesar varios vuelos a la vez, creando el concepto de “sistema pool”.

Por lo tanto, el simulador está diseñado para poder trabajar con ambos sistemas de operación y en los siguientes capítulos se mostrará la carga de maletas con las dos formas de operar.

El análisis entre el sistema pool y el sistema un operario-un vuelo se encuentra en la memoria de Pregrado de Suarez (2012), donde se comparan ambos sistemas de operación.

2.2.3.2. Recuperación de maletas redireccionadas

No todas las maletas que ingresan al BHS terminan en alguno de los carruseles. Aquellos equipajes que son encontrados sospechosos según el escáner y aquellos que el sistema pierde de rastro, son redirigidos por la cinta T3 hasta el carrusel M9, donde se efectúan controles de seguridad adicionales.

⁶Un análisis más detallado de este sistema y su impacto en la operación se encuentra en Suarez (2012).

⁷ Un análisis más detallado de este sistema y su impacto en la operación se encuentra en Cavada (2012).

Estas maletas deben ser retiradas posteriormente desde este carrusel y llevadas al lugar donde su vuelo es preparado. Operacionalmente funciona de la siguiente forma: cuando una maleta llega al carrusel y es tomada por un operario, se revisa el vuelo al que pertenece la maleta, si el vuelo está próximo a salir, la maleta es despachada inmediatamente al avión, en caso contrario, es colocado el equipaje en un carro con destino al carrusel donde se está preparando su vuelo. Los carros son repartidos periódicamente por el simulador.

2.2.3.3. Conexiones

El módulo de conexiones 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 si no existe dicha interacción.

Este módulo requiere los siguientes parámetros de entrada para poder llevar a cabo la simulación:

Tabla 10 - Parámetros de entrada utilizados por el simulador para crear escenarios

Elemento del simulador	Parámetro
Conexiones	Número del vuelo de llegada en conexión
	Hora llegada vuelo en conexión
	Número de maletas en conexión del vuelo de llegada
	Número del vuelo de salida de las maletas en conexión

El módulo de conexiones puede ser representando con el diagrama de flujo de figura 12.

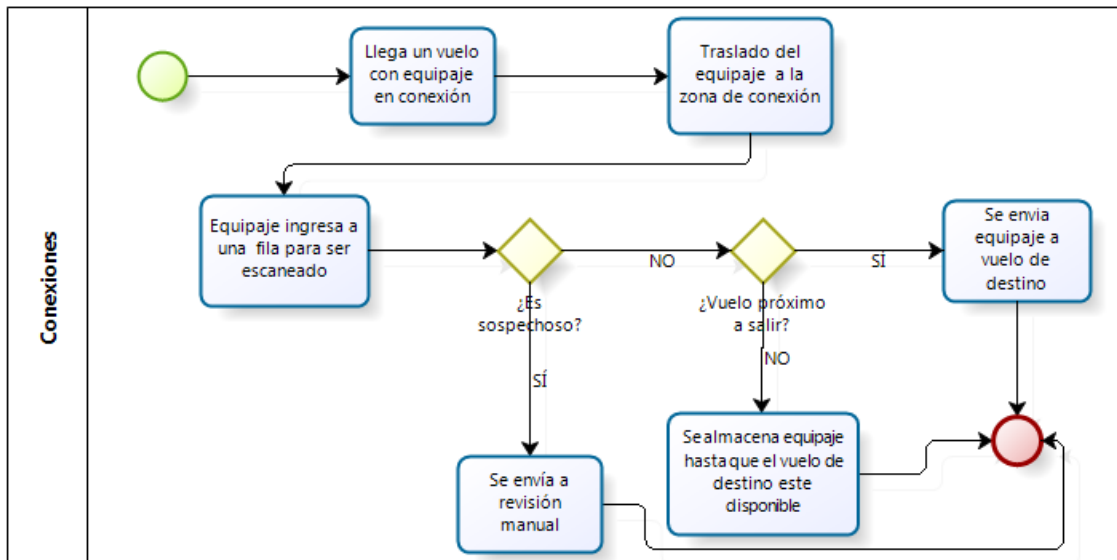


Figura 12 -Diagrama de flujo de las operaciones relacionadas con el equipaje en conexión

2. Descripción del Sistema BHS y del Simulador

Además, este módulo permite enviar maletas a M8 y a T8 dependiendo del tiempo que tiene la maleta antes de ser enviada a un vuelo. Por otra parte, se puede configurar los tiempos de revisión de los escáneres ubicados en M8 y T8.

Por último, este módulo permite utilizar dos formas de ordenar el equipaje que llega a conexiones:

- Segregar el equipaje antes de ser revisado, escaneando las maletas que están próxima a salir primero.
- Revisar el equipaje en el orden que llegan al patio de equipajes y luego enviar las maletas de los vuelos próximos a salir.

Esta flexibilidad dada al simulador permitirá analizar distintas políticas de operación en conexiones que serán estudiadas en el siguiente capítulo.

2.2.4. Resultados obtenidos con el simulador

Los resultados de simular un escenario corresponden al análisis de 50 a 100 simulaciones independientes. El simulador es capaz de mostrar la siguiente información:

Tabla 11 - Información obtenida de las simulaciones

Elemento del sistema	Información obtenida mediante simulación
Pasajero	Hora de llegada a la fila del <i>counter</i> respectivo
	Hora de llegada al <i>counter</i>
	Numero de Vuelo
	Fila en que se atendió
	Cantidad de maletas
	Tiempo que demoró su atención en <i>counters</i>
Maleta	Identificador único de cada maleta
	Vuelo al que pertenece
	<i>Counter</i> por el que ingresó al sistema
	Hora en que ingresa al BHS por <i>counter</i> , <i>oversize</i> o conexiones
	Hora en que pasa por el escáner N2
	Hora de llegada al carrusel
	Hora de salida del carrusel hacia el avión
	Hora de salida de M9, hacia el avión o de regreso a otro carrusel
	Hora en que abandona el área de conexiones
	Hora de eliminación por atraso
Hora salida vía <i>oversize</i>	

Con esta información de una simulación, es posible analizar los efectos de diferentes escenarios sobre las componentes del sistema BHS y medir diversos indicadores de gestión.

2.2.5. Descripción de Indicadores

Para analizar los diferentes escenarios y determinar qué políticas logran reducir la cantidad de maletas que no alcanzan a ser embarcadas, sin afectar otros procesos importantes del sistema, se definieron los siguientes indicadores:

- a) Maletas cargadas antes de la salida del vuelo: Este indicador se crea a partir del promedio de todos los vuelos que pertenezcan a un grupo, INTER (internacional), NAC (nacional) o INTERUSA (internacional a EEUU). Esto permite crear un perfil de carga de maletas de cada grupo de vuelos y comparar el impacto en la cantidad de maletas que se cargan en cada tipo de vuelo entre diferentes escenarios. El perfil de carga de maletas muestra las maletas cargadas a intervalos de 5 minutos para todo el proceso de carga de equipaje del vuelo, y cada 1 minuto para los últimos 30 minutos antes de la salida del vuelo.
- b) Tiempo de espera en fila (TEF): El indicador muestra el promedio de los tiempos de espera de todos los pasajeros que llegaron a una fila en particular dentro de una ventana horaria de una hora.
- c) Maletas en el carrusel: Este indicador muestra las maletas que hay en el carrusel a intervalos de 5 minutos.
- d) Uso de Cinta Oversize: corresponde a la fracción del tiempo que es utilizada esta cinta, considerando su uso normal para bajar equipajes, subir bandejas y en casos especiales para hacer frente a contingencias.
- e) Simultaneidad en colector: Para un momento dado, se mide como la cantidad de vuelos pertenecientes a la misma T que saldrán dentro de un horizonte definido, generalmente durante la próxima hora.
- f) Simultaneidad en carrusel: al igual que en el caso anterior, pero corresponde a los vuelos que están siendo preparados en cada carrusel simultáneamente.

La siguiente figura muestra las maletas en el carrusel M5 y M6, resultado de la simulación del sábado 14 de Enero del 2012.

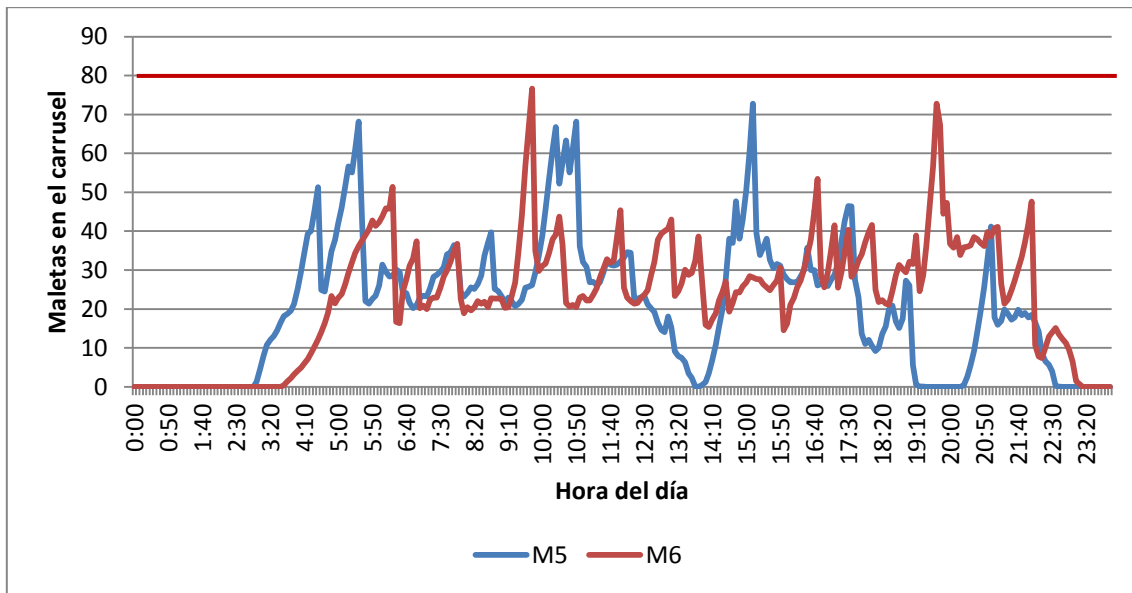


Figura 13 - Maletas en el Carrusel

Como se puede apreciar, en ningún momento a lo largo del día los carruseles M5 y M6 alcanzan a tener 80 maletas, cota máxima que un carrusel puede soportar sin provocar problemas en la operación.

La figura 14 en cambio, muestra las maletas cargadas antes de la salida del vuelo por tipo de vuelo, resultado de la simulación del 13 de enero del 2012.

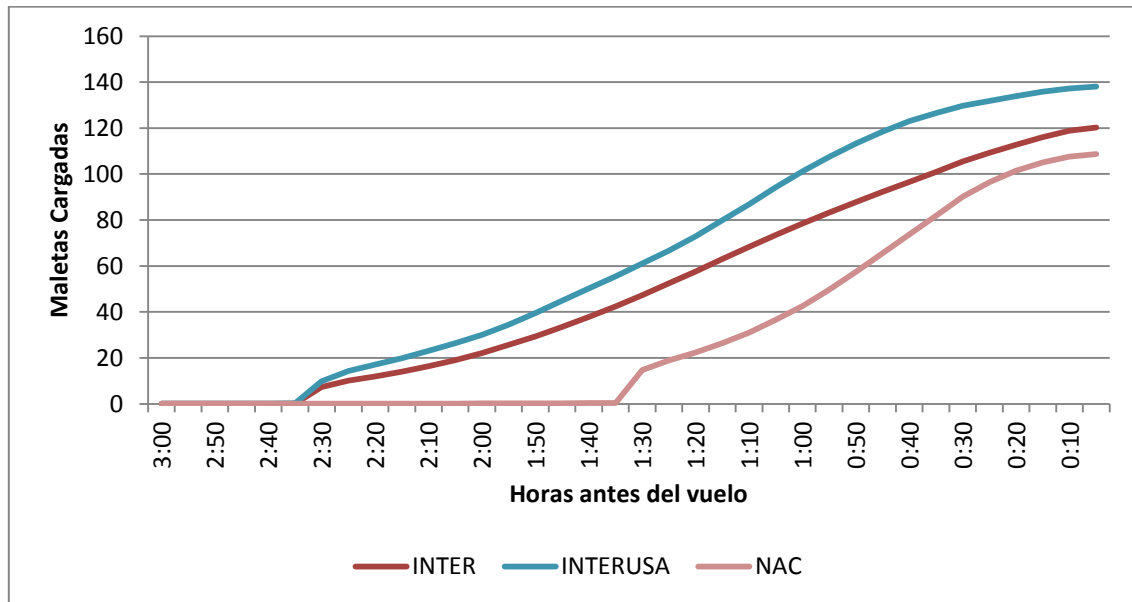


Figura 14 - Maletas cargadas por vuelo

Como se puede apreciar, para el 13 de enero del 2012, los vuelos internacionales tienen en promedio 120 maletas, los vuelos a EEUU 140 maletas y los vuelos nacionales 110 maletas.

Por último, la siguiente figura muestra los tiempos de espera en fila (TEF) de los corrales LAN Nacional Norte y LAN Nacional Sur, resultados de la simulación del 14 de enero del 2012.

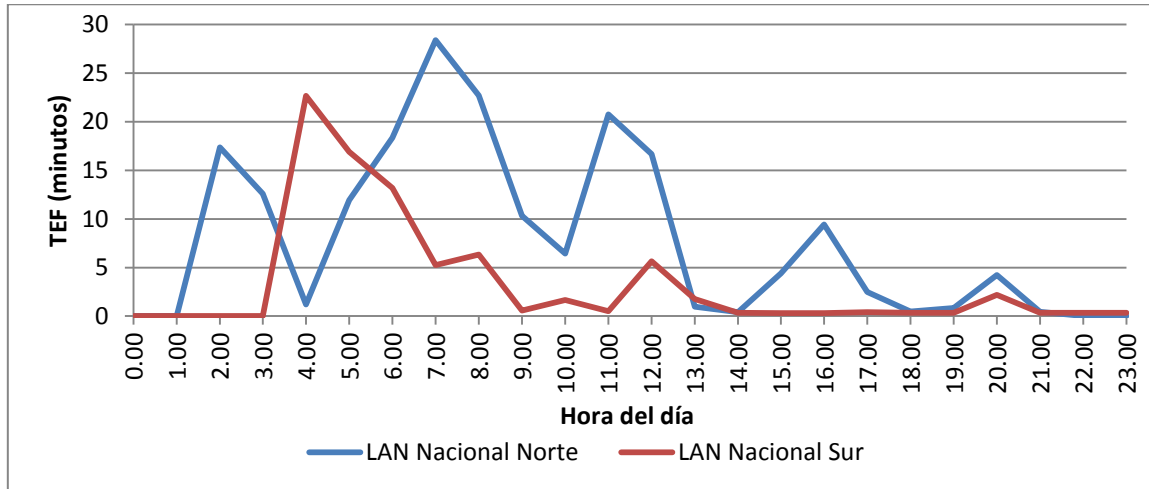


Figura 15– TEF a lo largo del día de vuelos LAN Nacional

Se puede ver que el tiempo de espera en fila del corral LAN Nacional Norte tiene un *peak* de 28 minutos a las 7:00 y el corral LAN Nacional Sur tiene un *peak* de 22 minutos a las 4:00.

2.2.6. Validación del Simulador

Para validar el simulador se midieron en terreno alguno de los indicadores mostrados anteriormente para ciertos días y se contrastaron con los resultados de la simulación de esos mismos días.

Para obtener resultados que sean estadísticamente significativos, se realizaron 100 replicaciones de cada escenario simulado, en un computador equipado con un procesador Xeon de 6 núcleos corriendo a 2.8 GHz, 3 gigabytes de RAM y utilizando el sistema operativo Windows XP.

Para validar la modelación de los *counters*, se contrastaron las mediciones en terreno y del simulador del flujo de maletas en el colector T3 (donde se atienden los vuelos de LAN nacional) y el TEF de la fila “*bag drop*” de los vuelos de LAN internacional.

El siguiente gráfico muestra los datos reales y el intervalo de confianza (a un 99% de confianza) de la simulación del flujo de maletas del colector T3 entre las 6:30 y las 8:15 del día 15 de julio del 2011.

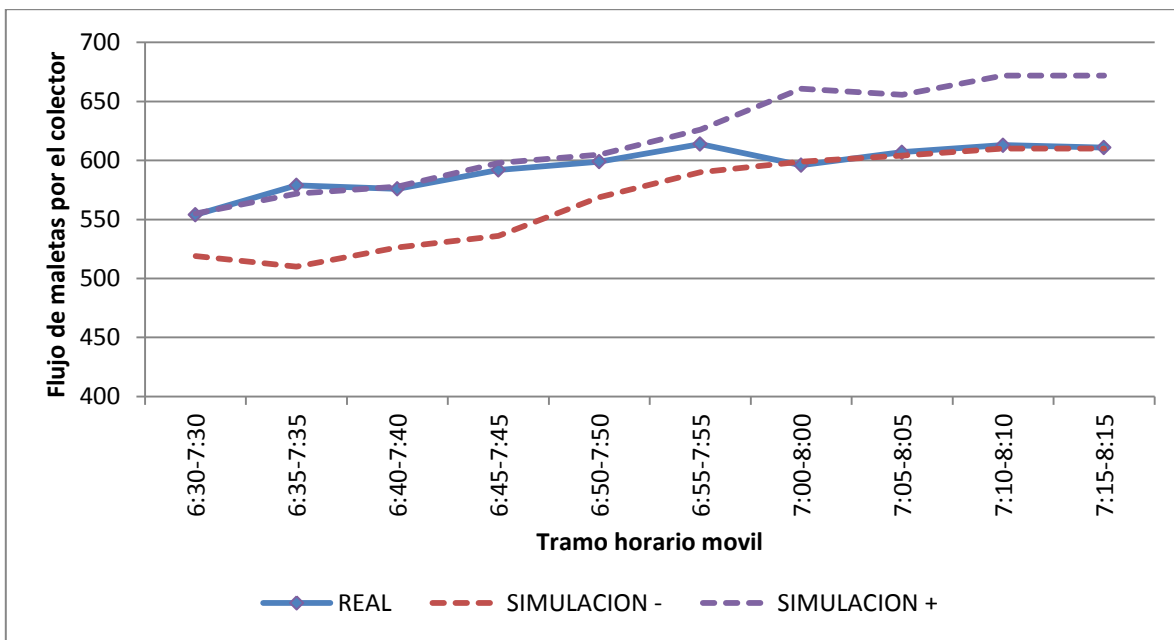


Figura 16 - Flujo de maletas en el colector T3 (LAN nacional)

Como se puede apreciar, el flujo de maletas observado en el colector T3 se encuentra dentro del intervalo de confianza de la simulación, lo cual permite validar el simulador en cuanto al funcionamiento del sistema BHS.

El siguiente gráfico muestra los datos reales y el intervalo de confianza (a un 99% de confianza) de la simulación del TEF en la fila “bag drop” de los vuelos de LAN internacional entre las 6:00 y las 10:00 del día 10 de enero del 2012.

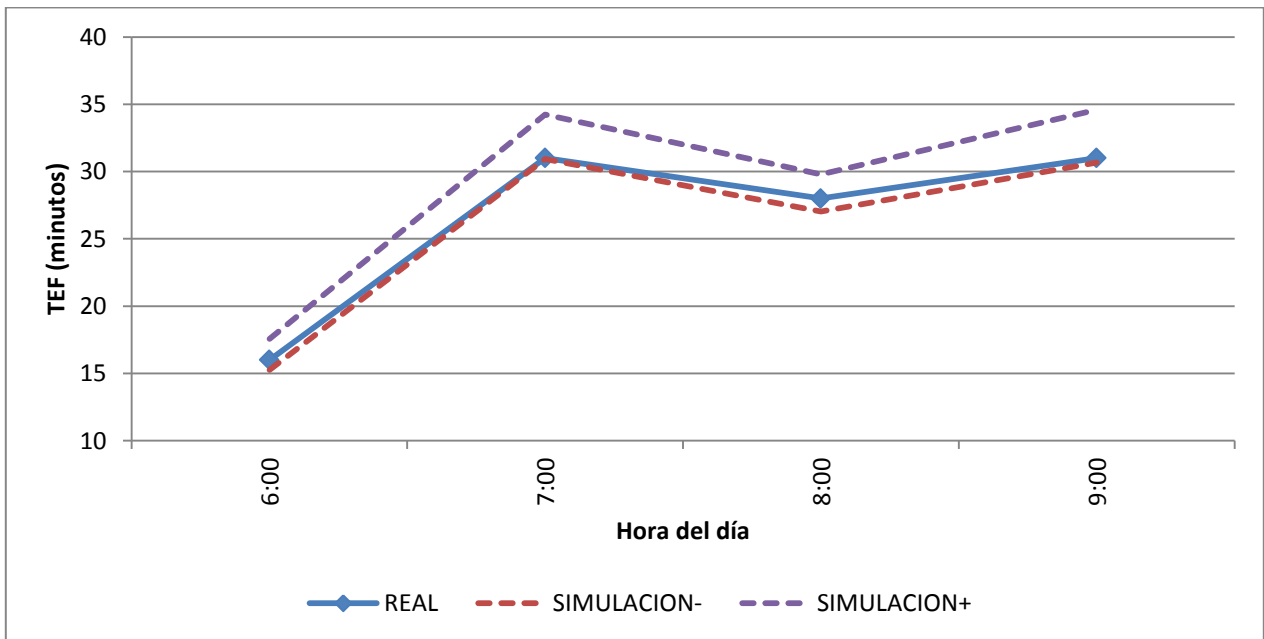


Figura 17 - TEF en “bag drop” (LAN internacional)

2. Descripción del Sistema BHS y del Simulador

Como se puede apreciar, el TEF en la fila “*bag drop*” de los vuelos de LAN internacional se encuentra dentro del intervalo de confianza de la simulación, lo cual permite validar el simulador en cuanto a la llegada de pasajeros, los tiempos de atención en *counters* y el funcionamiento de los mismos.

Además, se realizó un test de Turing mostrándoles a los expertos el gráfico de carga de maletas a lo largo del día de distintos carruseles para varios días simulados y de mediciones en terreno. En esas presentaciones, los expertos no fueron capaces de distinguir si los resultados mostrados eran del simulador o de las mediciones en terreno.

3. Análisis de Escenarios

A continuación se presenta el análisis de diferentes escenarios cuyo objetivo es disminuir la cantidad de maletas que se quedan en tierra.

En la primera sección se analiza el impacto de reducir los errores en *counters* en la cantidad de maletas que no alcanzan a ser procesadas.

En la segunda sección se analizan dos políticas para procesar el equipaje de vuelos en conexión con el objetivo de reducir las maletas no procesadas.

Por otra parte, en el capítulo siguiente se podrá ver un análisis del impacto de diferentes contingencias en el funcionamiento del sistema BHS y posibles políticas de operación para minimizar la cantidad de maletas que quedan en tierra.

Para obtener resultados que sean estadísticamente significativos, se realizaron 100 replicaciones de cada escenario simulado, en un computador equipado con un procesador Xeon de 6 núcleos corriendo a 2.8 GHz, 3 gigabytes de RAM y utilizando el sistema operativo Windows XP.

3.1.Reducción de errores en *counter*

Para poder mejorar el trabajo del patio de equipajes, y así disminuir la cantidad de maletas que se quedan en tierra, es necesario determinar los factores que pueden afectar su correcta operación. Entre los factores detectados se encuentran: la cantidad y distribución en el tiempo de maletas que pueden cargar (mostrados en la presente tesis como “perfiles de carga”), el nivel de errores a nivel de *counters* y las detenciones del sistema BHS.

Para estimar el efecto de los errores al nivel de servicio de Andes se realizó una medición de los errores cometidos al ingresar el equipaje al sistema BHS (como se vio en la sección 2.1.5); luego se usó dicha información junto a la proporcionada por Aerotech⁸ referida a las detenciones de la cinta transportadora para simular escenarios con distintos niveles de errores, y así estimar sus efectos en los perfiles de carga. Finalmente, se analiza un curso de acción para reducir los errores en la carga de equipaje al sistema.

⁸ Aerotech: Empresa encargada de mantener el sistema BHS del aeropuerto de Santiago.

3.1.1. Perfiles de carga de vuelos para diferentes niveles de errores en Counter

Se comparó la situación base, construida con información del día 22 de noviembre del 2010, con un escenario con errores cometidos al ingresar el equipaje en *counter* disminuidos en un 80%. Se obtiene, a nivel agregado para LAN, las siguientes curvas que indican maletas en riesgo de no ser ingresadas al avión:

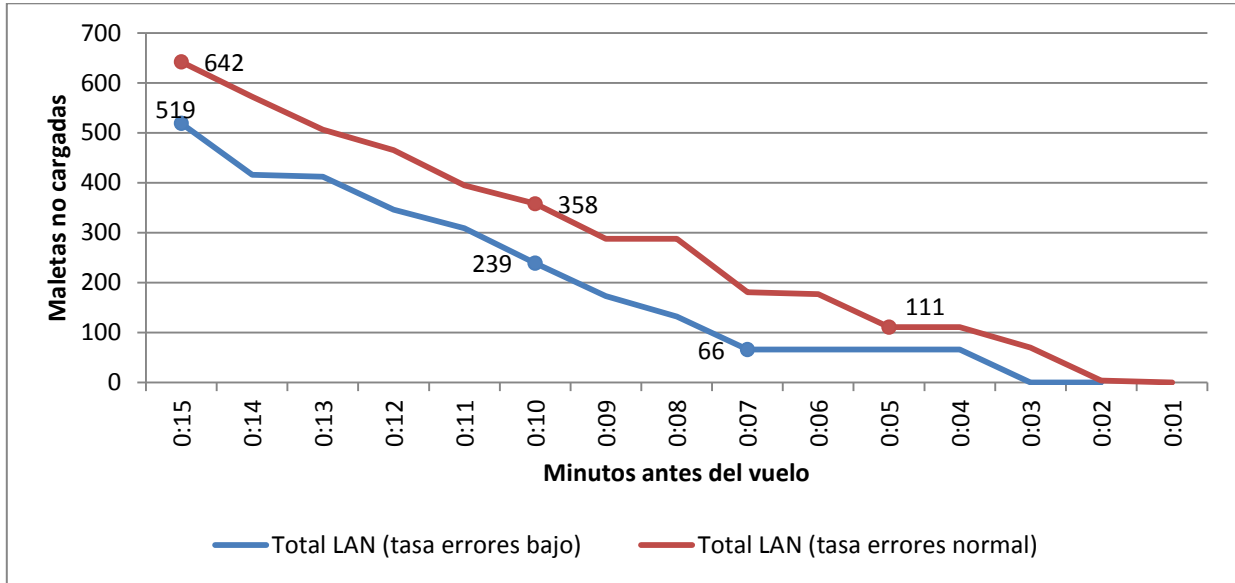


Figura 18 - Comparación de maletas no embarcadas para escenario normal v/s escenario de errores reducidos al 80%

Se puede observar que la reducción de errores a nivel de *counters* aumenta la cantidad de maletas cargadas: 15 minutos antes del vuelo se obtienen 123 maletas más (642 contra 519). Sin embargo aunque el límite formal de cierre de carga para Andes es de 15 minutos antes de la hora de salida del vuelo, los operarios siguen cargando los vuelos después de este límite. Se tiene que el día 22 de diciembre del 2010 quedaron 109 equipajes en tierra, lo que en la simulación del escenario base es similar a cargar los vuelos en el patio de equipaje hasta 5 minutos antes del despegue (en promedio), obteniendo como resultado 111 equipajes en tierra. Para el escenario de errores disminuidos en un 80%, la cantidad de maletas en tierra disminuye a 66 equipajes. Los vuelos se cargan (en promedio) hasta 7 minutos antes de la salida del vuelo.

En resumen, la reducción significativa (en un 80%) de los errores en *counters* trae un beneficio cuantificado para el día analizado de 45 equipajes extras que logran subir al avión, lo que equivale a una reducción de las maletas en tierra de un 40%.

Para lograr una reducción significativa de los errores en *counters* se deben tomar medidas en dos direcciones:

- Mejorar la capacitación de los operarios.
- Enviar todo el equipaje que llega en bandejas.

En la siguiente sección se profundiza en la segunda medida, analizando la cantidad de bandejas y reposición durante el día necesarios para poder llevar a cabo el envío de equipaje en bandejas. Sin embargo, en primer lugar se debe analizar el funcionamiento de la cinta destinada al equipaje *oversize*, la cual permitirá abastecer de bandejas al sector de *counters*.

3.1.2. Uso de la cinta de equipaje *oversize*

La cinta para bajar equipaje *oversize* es también utilizada para descargar equipaje cuando existen detenciones de cintas en alguna T. Es importante saber con cuanto tiempo se cuenta para detener la cinta y cambiar su sentido de modo de subir bandejas por ella desde el patio de equipaje hasta el sector de *counter*. Al momento de las mediciones (20 de enero del 2011) el flujo de bandejas realizado de esta forma era de aproximadamente 250 equipajes cada 2 horas.

En la siguiente tabla se presenta un resumen del funcionamiento observado de la cinta:

Tabla 12 - Descripción del funcionamiento de la cinta *oversize*

Parámetro	Valor
Promedio de número maletas ingresadas	36 [bags/hora]
Mayor intervalo sin ocupar cinta (mm:ss)	10:47
Tiempo promedio proceso de subir bandejas (mm:ss)	08:34
Largo máximo de cola de equipaje esperando bajar	4 [bags]
Porcentaje del tiempo de la cinta sin uso	39%

Al hablar de “cinta sin uso”, se consideran intervalos superiores a 3 minutos en los que la cinta está sin uso. Del promedio de maletas ingresadas y los largos de cola máximo se infiere que se puede programar el descenso del equipaje por horarios (por ejemplo, cada 20 minutos), con lo cual se logra aumentar el porcentaje de tiempo de cinta sin uso, el que puede ser usado para aumentar la capacidad de bandejas que suben hacia el sector de *counters*. Sin embargo, mientras no se desarrolle dicha política de programar el descenso, se toma el porcentaje de tiempo de cinta sin uso en un 39%, es decir aproximadamente 25 minutos por hora.

3.1.3. Stock necesario para la manipulación de equipaje en bandejas

El análisis del stock de bandejas necesario para manipular todo el equipaje en bandejas se desarrolló en base al último escenario simulado (2 de febrero del 2011), y tiene los siguientes supuestos como base:

- Toda bandeja que sale del área de *counter* está disponible para ser devuelta al sector donde están los *counters* en 5 minutos desde el área de carruseles o de M9.
- El análisis se realizó pensando en que las bandejas deben ser devueltas desde el patio al sector de *counters* cada una hora.

- La recolección de bandejas permite que todas las bandejas utilizadas dentro de una hora pueden volver a ser utilizadas en la hora siguiente.
- No es necesario que la devolución de bandejas hacia el área de *counter* sea continua, puede ir enviándose segmentadamente.

Para determinar el stock óptimo se desarrollo el siguiente problema de programación entera:

- Conjuntos:

S : Sectores en el área de *counters*

T : Períodos de tiempo

- Parámetros:

$D_{s,t}$: Demanda de bandejas del sector s en el periodo t

MB : Cantidad máxima de bandejas que puede subir por *oversize* por hora

SM_s : Stock mínimo de bandejas en el sector s

- Variables de decisión:

$X_{s,t} \in \mathbb{N}_0$: Cantidad de bandejas disponibles para el sector s en el periodo t

$Y_{s,t} \in \mathbb{N}_0$: Cantidad de bandejas a reponer para el sector s en el periodo t

- Modelo:

$$\text{Min} \sum_s X_{s0}$$

$$X_{s,t} - D_{s,t} \geq SM_s \quad \forall t \in T, \forall s \in S \quad (1)$$

$$X_{s,t+1} = Y_{s,t} + (X_{s,t} - D_{s,t}) \quad \forall t \in T, \forall s \in S \quad (2)$$

$$Y_{st} \leq D_{s,t} \quad \forall t \in T, \forall s \in S \quad (3)$$

$$\sum_s Y_{st} \leq MB \quad \forall t \in T \quad (4)$$

Donde la restricción (1) impone respetar el stock de seguridad de cada sector, (2) establece la conservación de flujo de bandejas, (3) define que la cantidad de bandejas a reponer sea menor o igual que la demanda y la restricción (4) impone que se debe respetar la capacidad de la *oversize*.

La demanda de bandejas se obtiene de la cantidad de maletas que ingresan a cada sector de trabajo de la T1 (Andes), T2 (TAM y LAN) y T3 (LAN Norte y LAN Sur). Además, se fija un stock de seguridad para cada sector de 20 bandejas, y se establece una capacidad máxima de bandejas que pueden subir por *oversize* de 1.200 [bandejas/hora].

Los resultados del problema se pueden observar a continuación:

Tabla 13 - Resumen de propuesta de envío de equipaje en bandejas; stock por sector de trabajo

Sector de trabajo	Stock de bandeja inicial	Stock de seguridad
T1 equipaje ANDES	289	20
T2 equipaje LAN	266	20
T2 equipaje TAM	278	20
T3 equipaje al norte	390	20
T3 equipaje al sur	137	20
TOTAL	1360	100

En el anexo B se muestra un análisis para cada sector de trabajo definido en la tabla anterior en la cual se señalan, para cada hora entre las 04:00 y las 23:00, el stock inicial y final, las bandejas ocupadas y las bandejas disponibles para ser subidas desde el patio de equipaje.

En la siguiente figura se presenta el stock de bandejas que existe en los *counters* (total agregado) y la demanda por bandejas para cada hora del día.

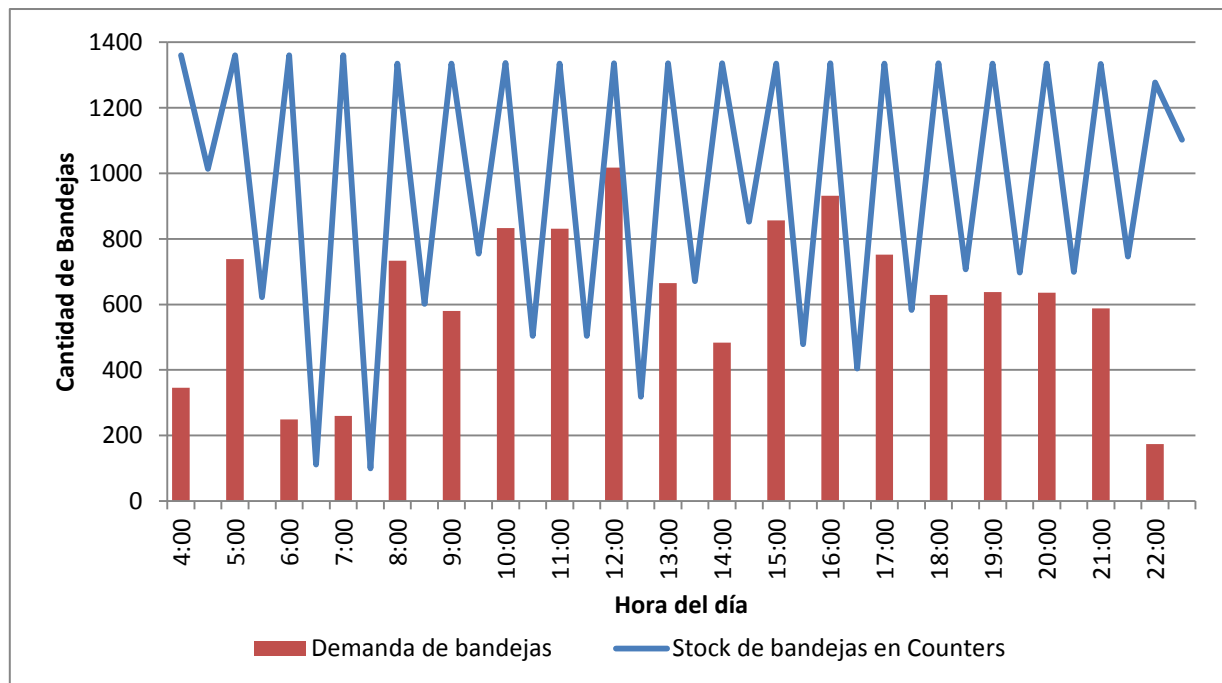


Figura 19 – Demanda y stock de bandejas en el sector de *counters*

Además, en la siguiente figura se muestra la cantidad de bandejas que suben por la cinta de *oversize* y el tiempo empleado en subirlas para cada hora del día.

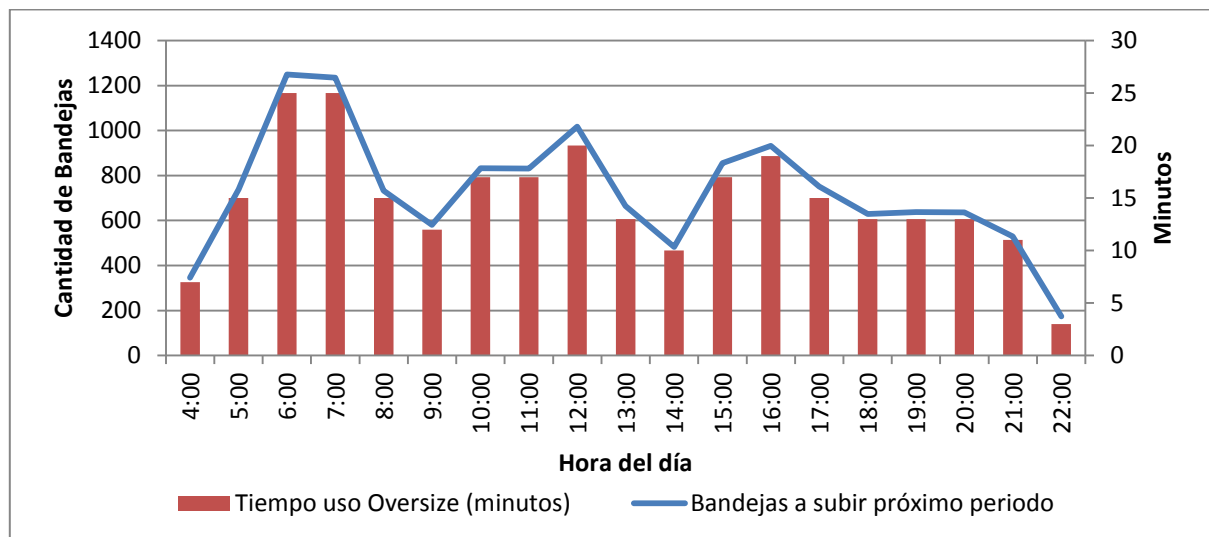


Figura 20– Uso de la cinta oversize para subir bandejas

Los datos agregados del gráfico anterior permiten tener una mejor magnitud del trabajo que se requiere para mantener esta política de 100% de equipaje en bandeja, con los parámetros de funcionamiento que han sido mencionados anteriormente.

Bajo esta política, se necesitaría como máximo 25 minutos de cinta de *oversize* por hora para poder reponer el stock de bandejas en los periodos de punta, tiempo que se encuentra disponible en la práctica para usar esta cinta con propósitos de reposición, según las mediciones detalladas en el punto anterior. Sin embargo, requiere que el personal asignado a recuperar las bandejas del patio de equipaje esté constantemente realizando esta labor. Cualquier falla repercute en que no será posible recuperar todas las bandejas y se vean quiebres de stock en el sector de *counter*.

Por otra parte, existen equipajes que no pueden ser enviados en bandeja, por ser demasiado grandes. Para determinar el impacto de esta situación se realizaron mediciones durante marzo del 2011, de las que se concluye:

- El porcentaje de equipaje enviado en bandejas alcanza un 41,81%, lo cual es un aumento con respecto a los registrados en enero del año 2012.
- El porcentaje de equipaje que pudiese ser enviado en bandejas alcanza al 95,47% del total; es decir, las maletas que por razones de tamaño no pueden ser enviadas en bandejas alcanzan un 4,53%, por lo que se concluye que la propuesta es generalizable a la mayoría del equipaje ingresado al sistema.

Se puede concluir que enviar el equipaje que entra al sistema por bandejas es una medida que se espera beneficie a Andes a reducir el riesgo de que existan maletas que no logren ser ingresadas a su correspondientes aviones, y que tomando una cantidad de bandejas en el sistema similar a la actual (1.300 bandejas) es posible definir reglas de operación para la manipulación y reposición de las bandejas que permita al sistema, en general, de no sufrir quiebres de stock.

3.2. Procesamiento de equipaje en conexión internacional

El área de conexiones trabaja de manera independiente al resto de los carruseles, pues no se alimenta del equipaje proveniente del sector de *counters*, sino que se alimenta del equipaje descargado de aviones que llegan al aeropuerto. Esto muestra la existencia de una operación compleja relacionada con la ventana de tiempo entre la llegada del vuelo donde viene el equipaje y la salida del vuelo donde la maleta tiene que ser cargada, donde el tiempo disponible para realizar la operación no puede ser de menos de 45 minutos.

Un análisis de los registros de reclamos efectuados por pasajeros debido a problemas con el equipaje (de noviembre de 2010) muestra que alrededor del 20% de los reclamos tienen su origen en tres tipos de errores que involucran equipaje en conexión:

- No se logra cargar el equipaje por atraso del vuelo que trae el equipaje.
- No se logra cargar el equipaje aun existiendo tiempo para ello.
- 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 lo tanto, el análisis se centrara 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 y se proponen y analizan dos nuevas políticas de trabajo.

3.2.1. Escenario Base: Flujo de Equipaje y Política de Trabajo

Para preparar este escenario se utilizó información sobre el trabajo en conexiones del 25 de noviembre del 2010, con alrededor de 2000 equipajes en conexión procesados por Andes. En la figura 21, se presenta el gráfico con el flujo a lo largo del día de equipaje en conexión que entra y sale del aeropuerto.

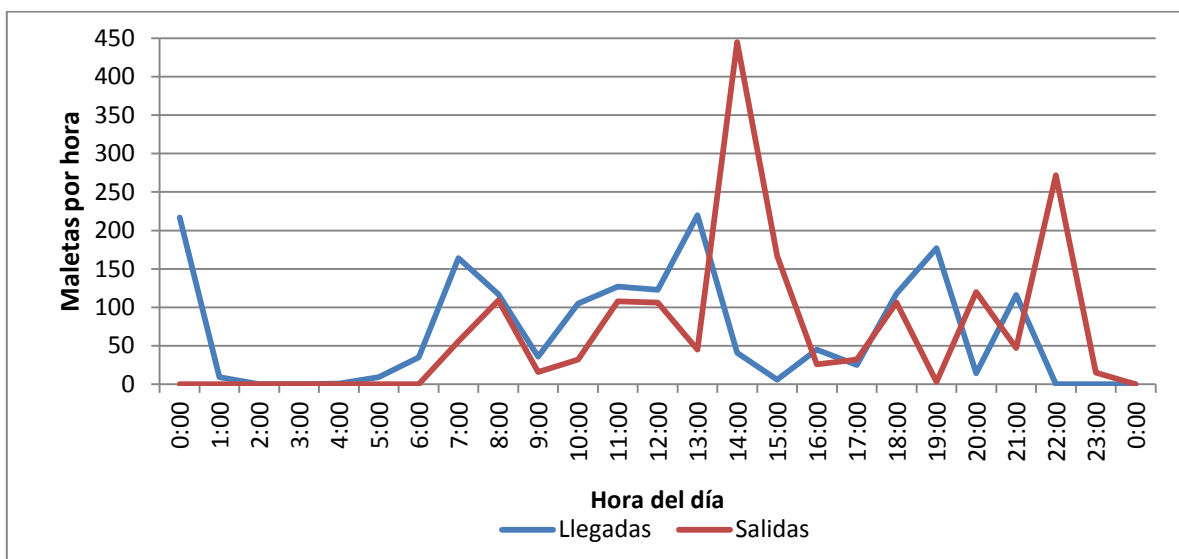


Figura 21 - Flujo diario de equipaje en conexión procesado por Andes

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 más importantes del día (en términos de cantidad de maletas que tiene cada vuelo), como el vuelo LA704 a Madrid, los vuelos nocturnos a EEUU y los vuelos LA622 a México y LA445 a Buenos Aires.

La política utilizada actualmente para atender este equipaje se denomina “escanear/segregar”, y corresponde a poner en la cola del escáner el equipaje a medida que llega, y luego de ser escaneado se segrega por destino.

La mayor ventaja de este enfoque es su simplicidad en la ejecución, pues no requiere mayor revisión del operario. Su desventaja es que no tiene ningún registro de la holgura horaria del equipaje ingresado; si en algún vuelo que está por cerrar faltan maletas los operarios deben ir a revisar el lote de maletas de conexión.

3.2.2. Políticas de Trabajo en Conexiones: Descripción de Alternativas

Al diseñar las políticas de trabajo se buscaba resolver dos problemas del área de conexiones:

- Como no segregar el equipaje antes de escanearlo hace que el equipaje próximo a salir se difícil de encontrar, al estar mezclado con maletas que sale mucho después.
- En las horas punta, el sistema colapsa por la cantidad de equipaje y los tiempos de proceso asociados.

Así, se idearon las siguientes políticas:

- a) Política 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, y la desventaja es la dificultad de manejar el equipaje que no entra a la cola del escáner, puesto que el equipaje no puede quedar en cualquier sitio, y menos no ser escaneado. Es por esto que se pensó la política en b).
- b) Política M8/T8: Se llama así pues utiliza la infraestructura de conexiones (M8) y la del equipaje que debe ser re-escaneado por seguridad. El equipaje es segregado tal como en el caso anterior, y aquel cuyos vuelos salen en más de 120 minutos son ingresados a la cinta T8 para su escaneo. La base de esta política es disminuir el uso del área de conexiones, utilizando el sistema en la forma que fue diseñada originalmente.

3.2.3. Resultado de experimentos realizados

Primero se analizará el impacto que tiene la política T8/M8 en el ingreso de equipaje por *counters*, ya que pueden producirse detenciones de cinta en la correa L3 (debido al alto flujo de maletas que pasarán por ahí hacia M9) que se propagarán aguas arriba hacia los otros carruseles del patio de equipajes, terminando en la zona de *counters*. Finalmente, esta propagación de detenciones hacia la zona de *counters* podría tener como consecuencia que el equipaje deba ser ingresado al sistema BHS por la “válvula de escape”, es decir, a través de la cinta de *oversize*.

En la siguiente tabla se presenta el porcentaje de equipaje enviado por la válvula de escape que se obtiene al simular las tres políticas descritas:

Tabla 14- Porcentaje de equipaje enviado por cinta de *oversize* (Comparación de escenarios)

Tipo de vuelo	Porcentaje de maletas enviadas por <i>Oversize</i> (vía de escape)		
	SCN/SEG	SEG/SCN	T8/M8
Nacional	0,0%	0,0%	43,3%
Internacional	0,6%	0,5%	21,2%
Inter USA	7,5%	7,6%	52,4%

La simulación demuestra que el uso de la correa de L3 por parte del equipaje en conexión afecta fuertemente el funcionamiento del sistema de T8, colapsando a tal nivel que el equipaje que comienza a acumularse comienza a afectar en funcionamiento de los carruseles, los cuales ya no pueden enviar equipaje a L3; con lo cual se bloquea el sistema y se activa el protocolo de “válvula de escape” continuamente. Además, la magnitud de los valores obtenidos equivale a una pérdida irrecuperable del nivel de servicio. Por último este colapso de T8 no solo afecta a LAN sino a todas las compañías que operan en el aeropuerto. Como conclusión, la política de usar el sector T8 para el equipaje en conexión no es aconsejable considerando estos resultados.

Para las otras dos políticas, se procede a comparar sus curvas de carga de equipaje en los respectivos vuelos (figura 22).

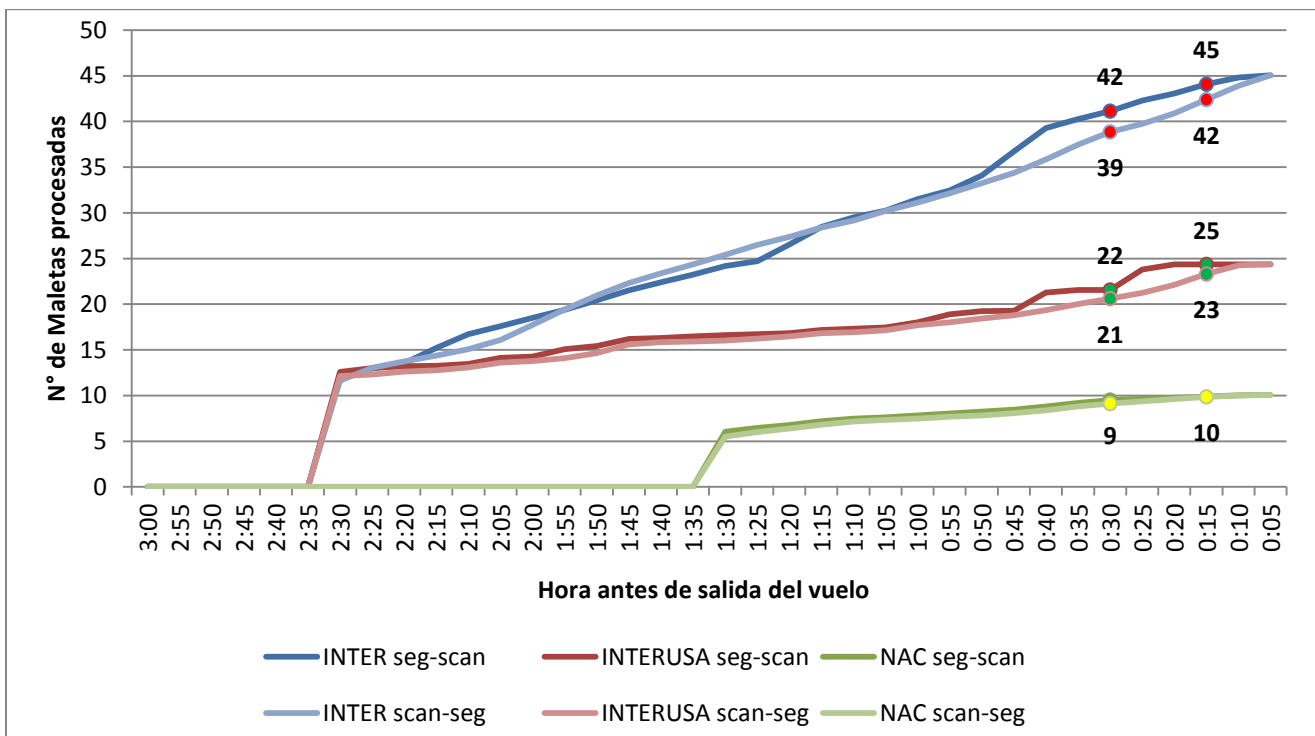


Figura 22 - Curva de carga de equipaje en conexión por tipo de vuelos - comparación de escenarios

De los resultados de la simulación se aprecia que la política segregar/escanear 15 minutos antes del vuelo, tiene una ganancia de 3 equipajes por vuelo internacional y de 2 por vuelo internacional con destino a EEUU respecto a la política escanear/segregar.

Además, la política de segregar/escanear permite cerrar un vuelo 10 minutos antes que la otra política. Por lo que se recomienda implementarla una vez que los problemas logísticos relacionados al espacio necesario para poder segregar y almacenar el equipaje que llega sean solucionados.

3.3. Discusión

El simulador permitió estudiar el impacto en la disminución de las maletas en tierra al aumentar la cantidad de equipajes que son enviados con bandeja desde *counters*. Este efecto se explica porque los agentes de counters se ven obligados a colocar el equipaje en la posición correcta dentro de la bandeja, y que la bandeja ayuda a reducir las posibles trabas, en el sistema BHS, que provocaría el equipaje si fuera enviado sin bandeja.

Otro fenómeno estudiado es una mejor política de operación con los equipajes en conexión. En esta aplicación, fue posible medir el impacto en los tiempos de carga de maletas de las diferentes formas de operar, concluyéndose que la mejor operación se obtiene al procesar primero los equipajes que tienen que estar en el avión en 120 minutos o menos.

Como se ha visto, el simulador permite analizar y comparar diferentes escenarios. Por lo que es posible estudiar escenarios donde el sistema BHS sea sometido a diversas contingencias con diferentes políticas que ayuden a enfrentar dicho evento. Así, ante una determinada contingencia, el simulador permite comparar distintas políticas de operación y escoger la que logre minimizar el impacto de la contingencia en las operaciones del BHS, y por ende, minimizar la cantidad de maletas que se quedan en tierra. El siguiente capítulo contiene el estudio de contingencias y su impacto en el sistema BHS.

4. Análisis de Contingencias

Se analizaron 3 tipos de contingencias que pueden afectar el sistema BHS del aeropuerto. Estas son:

1. Falla un carrusel todo el día.
2. Falla el colector todo el día.
3. Falla escáner de nivel 2 en una T todo el día.

Las contingencias analizadas corresponden a problemas en el sistema BHS que son de difícil solución. Es decir, restablecer el sistema BHS a su estado de operación normal le tomaría varias horas al equipo técnico de Aerotech.

Analizar contingencias que duran todo el día permite conocer el impacto en las operaciones de manejo de equipajes del aeropuerto en diferentes momentos del día. Además, permite determinar la mejor solución para enfrentar la contingencia dependiendo en qué momento del día se produce el evento.

Las soluciones para enfrentar estos escenarios adversos buscan minimizar la cantidad de maletas que quedan en tierra utilizando diferentes recursos como el uso de la cinta de *oversize* para enviar el equipaje, procesar el equipaje de cierta cantidad de vuelos, entre otros.

Para analizar las contingencias en vuelos internacionales se considerará el itinerario del viernes 13 de Enero de 2012, debido a lo siguiente:

- Es un día de semana, y los días de semana tienen la mayor concentración de vuelos internacionales, lo cual somete al sistema de BHS a un stress mayor. Esto permite probar las soluciones en un escenario adverso, lo cual le da mayor robustez a las políticas que se analicen.
- Esta fecha pertenece al período de mayor flujo de pasajeros en el aeropuerto, pues corresponde a una fecha de recambio de veraneantes en la ciudad de Santiago. Por lo mismo, ese día el aeropuerto tiene una gran cantidad de vuelos y de pasajeros.

Por otra parte, en vuelos nacionales se considerará el itinerario del sábado 14 de Enero de 2012 para analizar contingencias, debido a lo siguiente:

- Los sábados tienen una mayor concentración de vuelos nacionales en la mañana, lo cual somete al sistema de BHS a un stress mayor. Esto permite probar las soluciones en un escenario desfavorable, lo cual le da mayor robustez a las políticas que se analicen.
- Esta fecha pertenece al período de mayor flujo de pasajeros en el aeropuerto, pues corresponde a una fecha de recambio de veraneantes en la ciudad de Santiago. Por lo mismo, ese día el aeropuerto tiene una gran cantidad de vuelos y de pasajeros.

4. Análisis de Contingencias

Para que los análisis sean estadísticamente significativos, se realizaron 100 repeticiones de cada escenario simulado, en un computador equipado con un procesador Xeon de 6 núcleos corriendo a 2.8 GHz, 3 gigabytes de RAM y utilizando el sistema operativo Windows XP.

Se evaluaron los siguientes escenarios de contingencia y posibles soluciones:

Tabla 15 – Resumen escenarios evaluados en el simulador para enfrentar las contingencias en vuelos internacionales.

Tipo Vuelo	Tipo Contingencia	Solución Contingencia
Internacional	Ninguna	Escenario Base (Viernes 13 de Enero de 2012)
	Falla un carrusel en T2	Enviar todo el equipaje al otro carrusel.
		Enviar por <i>oversize</i> equipaje de vuelos con destino a: <ul style="list-style-type: none"> – Ezeiza (EZE) – Córdoba (COR) – Mendoza (MDZ) – Sao Paulo (GRU) Enviar por el carrusel operativo equipaje del resto de los vuelos internacionales.
	Falla el colector T2	Se envía el equipaje de los 3 siguientes vuelos internacionales que salen por <i>oversize</i> . Mientras que el equipaje de los vuelos a EEUU se envían de forma normal por <i>oversize</i> .
	Falla escáner nivel 2 en colector T2	Se envía todo a M9.
Enviar por M9 equipaje de los vuelos con destino a: <ul style="list-style-type: none"> – Ezeiza (EZE) – Córdoba (COR) – Mendoza (MDZ) – Sao Paulo (GRU) Enviar por <i>oversize</i> equipaje del resto de los vuelos internacionales.		

Tabla 16 - Resumen escenarios evaluados en el simulador para enfrentar las contingencias en vuelos nacionales.

Tipo Vuelo	Tipo Contingencia	Solución Contingencia
Nacional	Ninguna	Escenario Base (Sábado 14 de Enero de 2012)
	Falla un carrusel en T3	Enviar todo el equipaje al otro carrusel.
		Enviar al carrusel operativo equipaje de vuelos con destino a: <ul style="list-style-type: none"> - Concepción (CCP) - Temuco (ZCO) - Puerto Montt (PMC) - Punta Arenas noche (PUQ) - Norte (menos Arica (ARI)) Enviar por <i>oversize</i> equipaje del resto de los vuelos nacionales.
	Falla el colector T3	Se envía equipajes de los 3 siguientes vuelos nacionales que salen por <i>oversize</i> .
	Falla Escáner nivel 2 ⁹ en colector T3	Enviar por <i>oversize</i> equipaje de vuelos con destino a: <ul style="list-style-type: none"> - Concepción (CCP) - Temuco (ZCO) - Puerto Montt (PMC) Enviar por M9 equipaje del resto de los vuelos nacionales.
Enviar por <i>oversize</i> equipaje de vuelos con destino a: <ul style="list-style-type: none"> - Concepción (CCP) - Puerto Montt (PMC) - La Serena (LSC) - Copiapó (CPO) Enviar por M9 equipaje del resto de los vuelos nacionales.		

⁹Se simularon más escenarios con distintas configuraciones. Sin embargo, los resultados no fueron del todo satisfactorios. En el anexo A se puede ver un detalle de los demás escenarios simulados.

4.1. Escenario Base

En esta sección se muestran diversos indicadores (que se encuentran explicados en la sección 2.2.5 de esta tesis) de los escenarios base, y que van a servir para determinar el impacto de las distintas contingencias en las operaciones de carga de maletas.

Los indicadores utilizados para determinar el impacto en las operaciones son:

- Maletas cargadas por tipo de vuelo.
- Maletas en el carrusel.
- Uso de la cinta de *oversize*.
- Cantidad de vuelos que se procesan en un carrusel.

4.1.1. Día Semana (Vuelos Internacionales)

Se creó el escenario base representativo de un día de semana del aeropuerto, el cual está basado en el día Viernes 13 de Enero de 2012, para analizar las contingencias en vuelos internacionales. Se consideró este día por ser un período de alto recambio de veraneantes en la ciudad de Santiago, lo que permite estudiar el funcionamiento del aeropuerto ante un gran flujo de pasajeros. Los resultados de la simulación se muestran a continuación:

Tabla 17 - Características simulación día de semana

Parámetro	Tipo	Valor
Maletas Ingresadas	Por Counter	22.170
	Por Counter Andes	16.933
	Oversize	396
Vuelos	Total	173
	Andes	126
Pasajeros	Total	21.220
	Andes	16.116

Los perfiles de carga de los vuelos atendidos por Andes para este escenario representativo son:

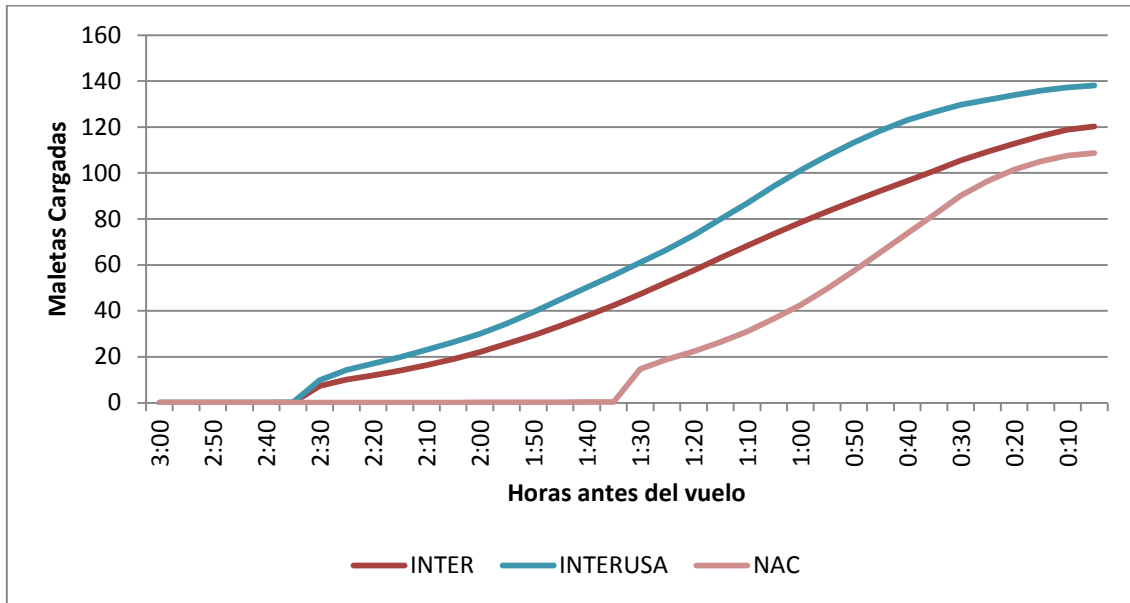


Figura 23- Maletas cargadas por tipo de vuelo

Además, los tiempos de espera en fila para cada corral de LAN resultaron ser los siguientes:

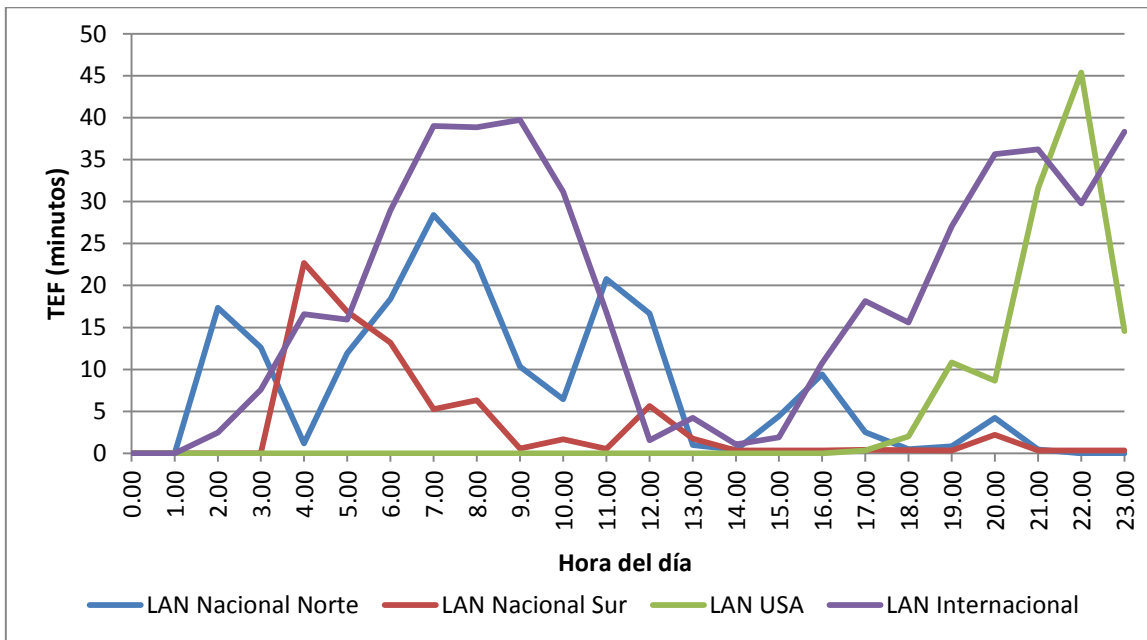


Figura 24 - Evolución del TEF (en minutos) a lo largo del día

Por otra parte, el promedio durante el día para cada fila es:

Tabla 18 - Promedio del TEF durante el día para cada fila

Fila	Minutos
LAN Nacional Norte	9,5
LAN Nacional Sur	4,0
LAN Internacional	20,8
LAN USA	16,2

La carga de maletas (bajo el sistema 1operario-1vuelo) y la cantidad de vuelos preparándose en los carruseles de LAN internacional se comporta de la siguiente manera:

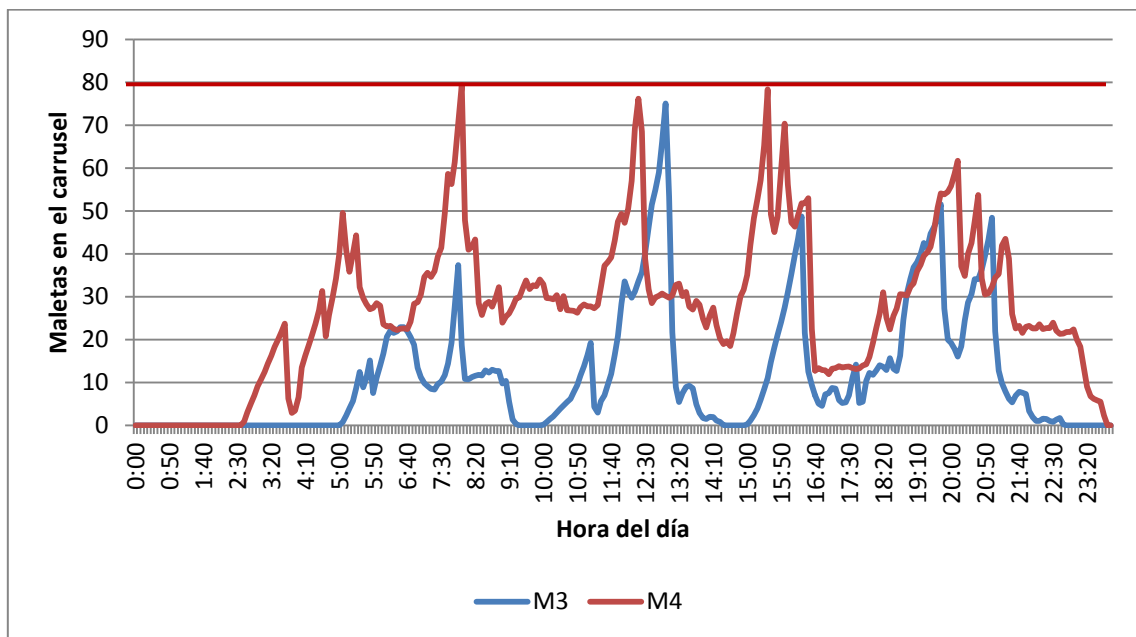


Figura 25 - Maletas en los carrusel de LAN internacional (bajo el sistema 1operario-1vuelo)

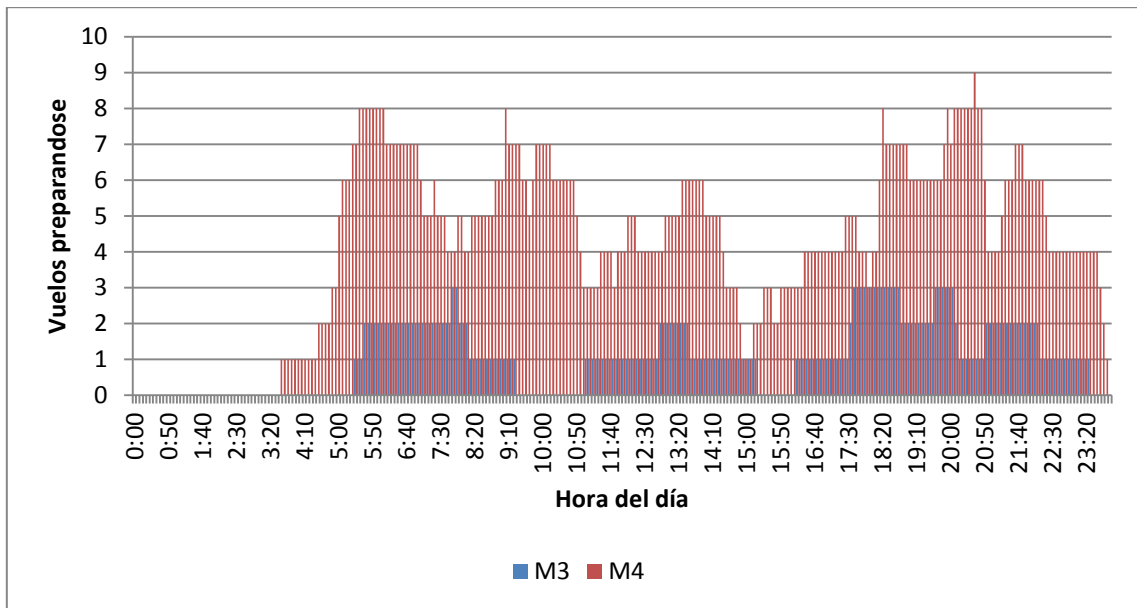


Figura 26 - Cantidad de vuelos preparándose en los carruseles de LAN internacional

Por otra parte, la carga de maletas (bajo el sistema 1operario-1vuelo) y la cantidad de vuelos preparándose en los carruseles de LAN nacional se comporta de la siguiente manera:

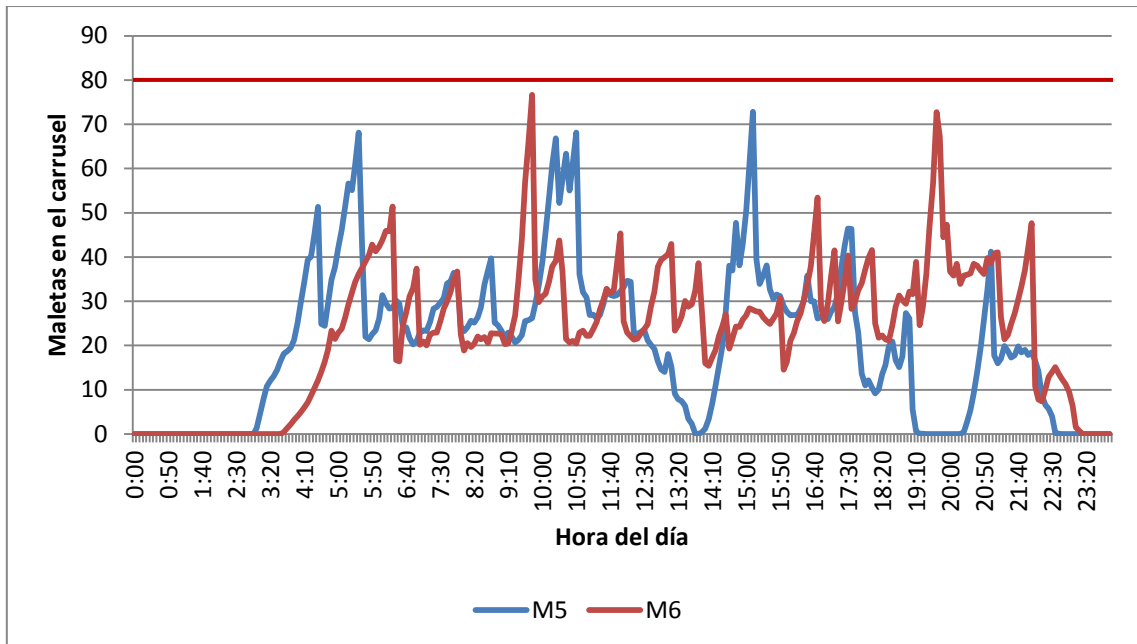


Figura 27 - Maletas en los carruseles de LAN nacional (bajo el sistema 1operario-1vuelo)

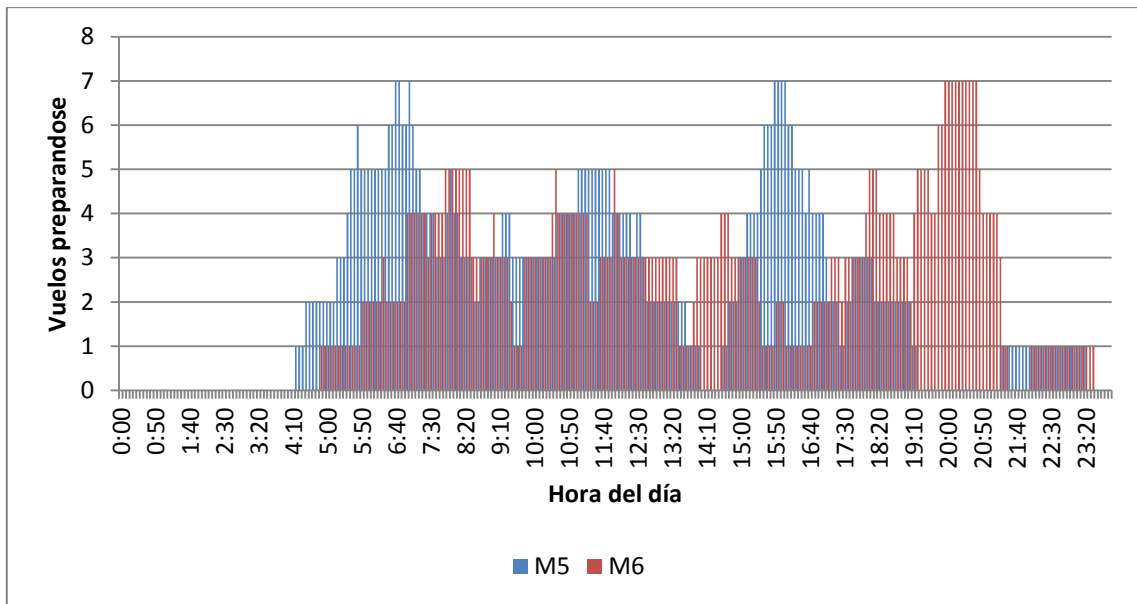


Figura 28 - Cantidad de vuelos preparándose en los carruseles de LAN nacional

Respecto a la política de usar bandejas, se debe decir que son necesarias 761 bandejas para enviar el 75% del equipaje que Andes procesa durante el día, y dejando un stock de seguridad de 100 bandejas en el sector de *counters*. Esto quiere decir que la *oversize* es utilizada según se muestra a continuación:

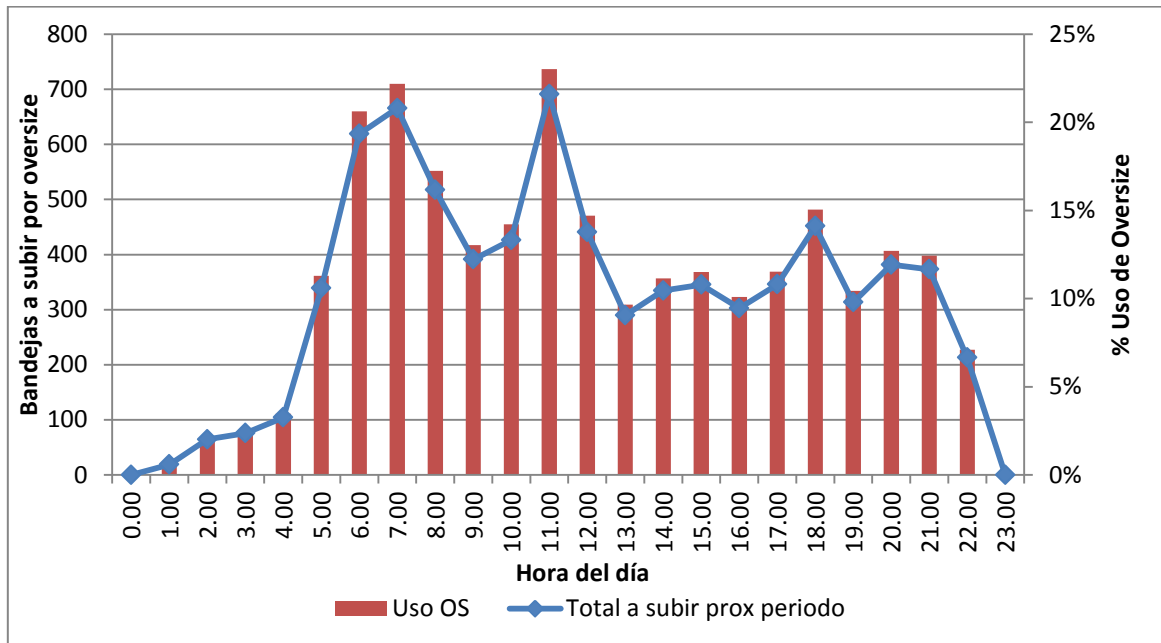


Figura 29 - Uso de la *oversize* para subir las bandejas a los *counters*

4.1.1.1. Sistema Pool

Se analizó el escenario anterior con el sistema pool implementado en los carruseles M3, M4, M5 y M6. A continuación, se muestra una comparación del sistema pool versus el sistema de 1 operario-1 vuelo:

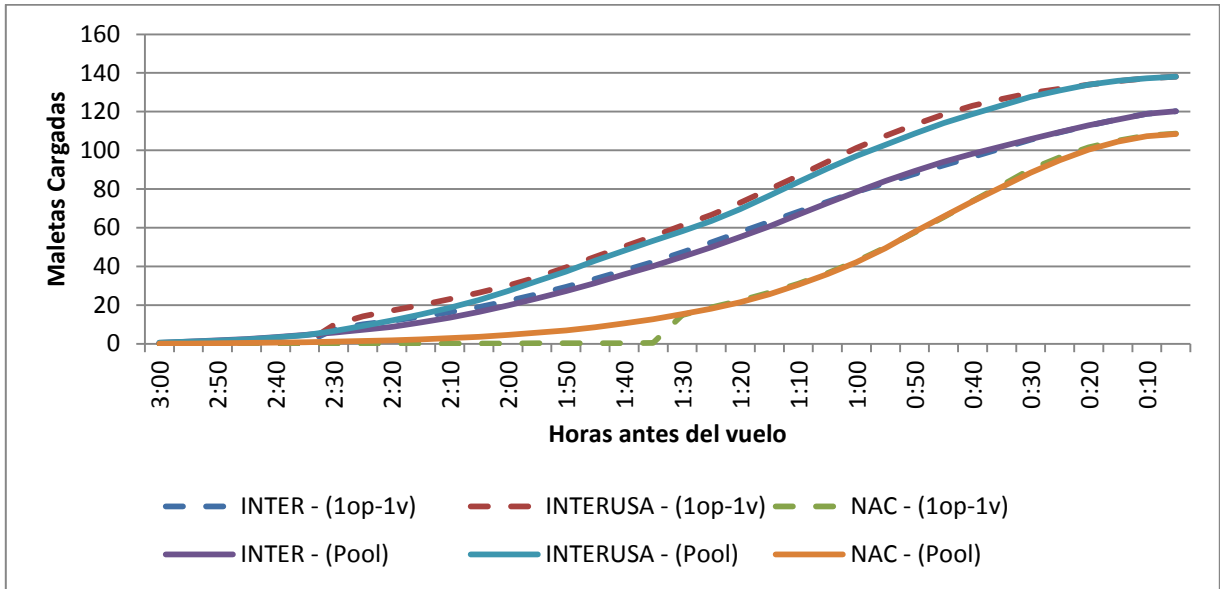


Figura 30 - Comparación de carga de maletas del sistema pool versus sistema 1operario-1vuelo

Por otra parte, la carga de maletas en los carruseles de LAN internacional es:

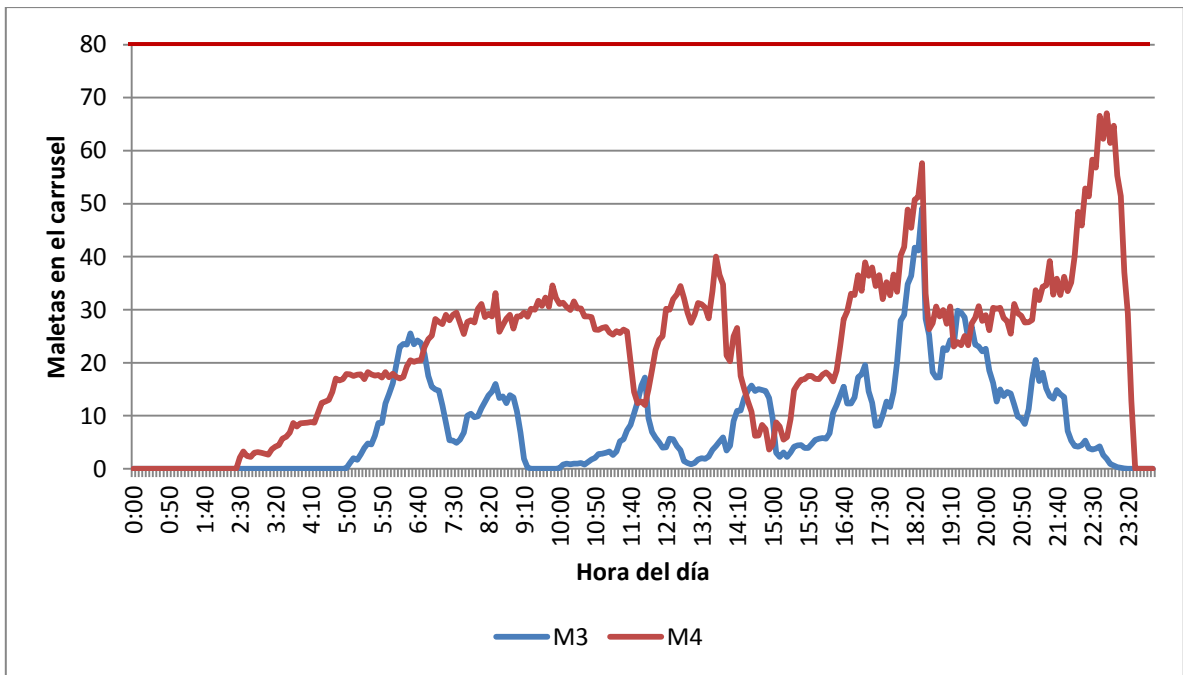


Figura 31 - Maletas en los carruseles de LAN internacional (bajo el sistema pool)

Mientras que la carga de maletas en los carruseles de LAN nacional es:

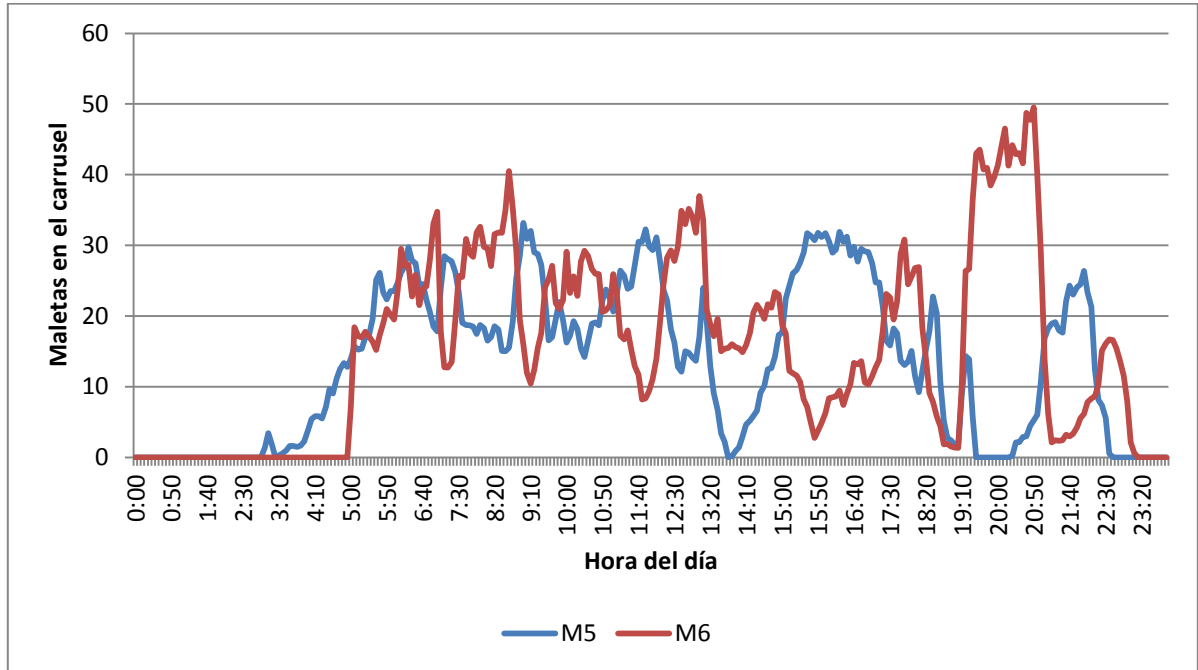


Figura 32 - Maletas en los carruseles de LAN nacional (bajo el sistema pool)

Se puede concluir que el sistema pool logra reducir la cantidad de maletas en los carruseles versus el sistema un operario-un vuelo, ayudando mejorar el orden en el patio de equipajes. Un análisis más profundo entre el sistema pool y el sistema un operario-un vuelo se encuentra en la memoria de Pregrado de Suarez (2012).

4.1.2. Día Sábado (Vuelos Nacionales)

Se creó el escenario base representativo de un día sábado del aeropuerto, el cual está basado en el día Sábado 14 de Enero de 2012, para analizar las contingencias en vuelos nacionales. Se consideró este día por ser un período de alto recambio de veraneantes en la ciudad de Santiago, lo que permite estudiar el funcionamiento del aeropuerto ante un gran flujo de pasajeros. Los resultados de la simulación se muestran a continuación:

Tabla 19 - Características simulación día sábado

Parámetro	Tipo	Valor
Maletas Ingresadas	Por Counter	19.705
	Por Counter Andes	14.340
	Oversize	320
Vuelos	Total	153
	Andes	106
Pasajeros	Total	18.663
	Andes	13.560

El perfil de carga de los vuelos atendidos por Andes para este escenario representativo son:

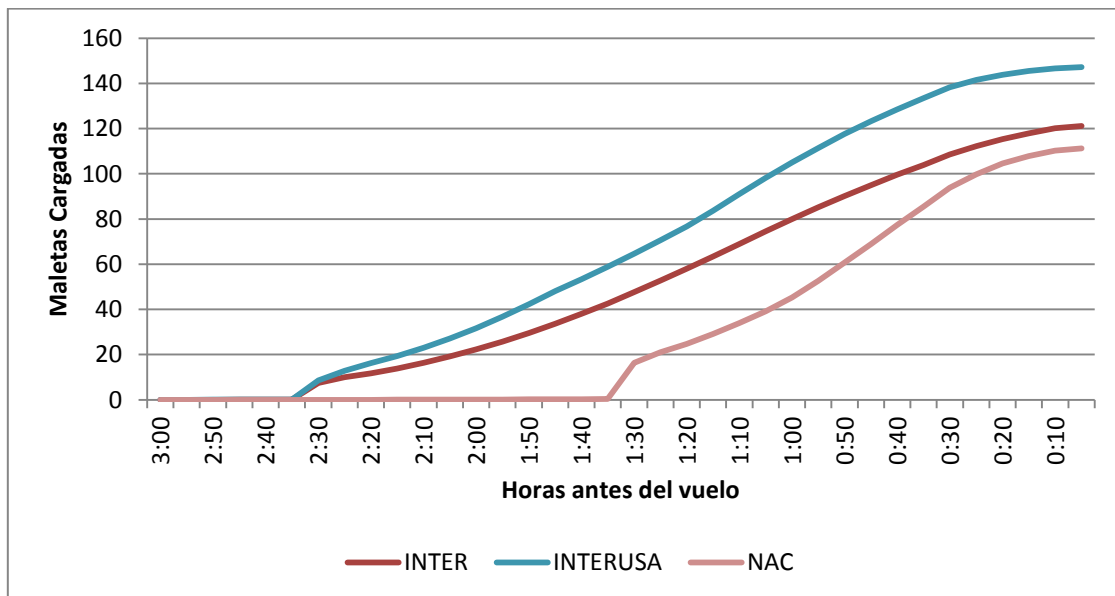


Figura 33- Maletas cargadas por tipo de vuelo

Además, los tiempos de espera en fila para cada corral de LAN resultaron ser los siguientes:

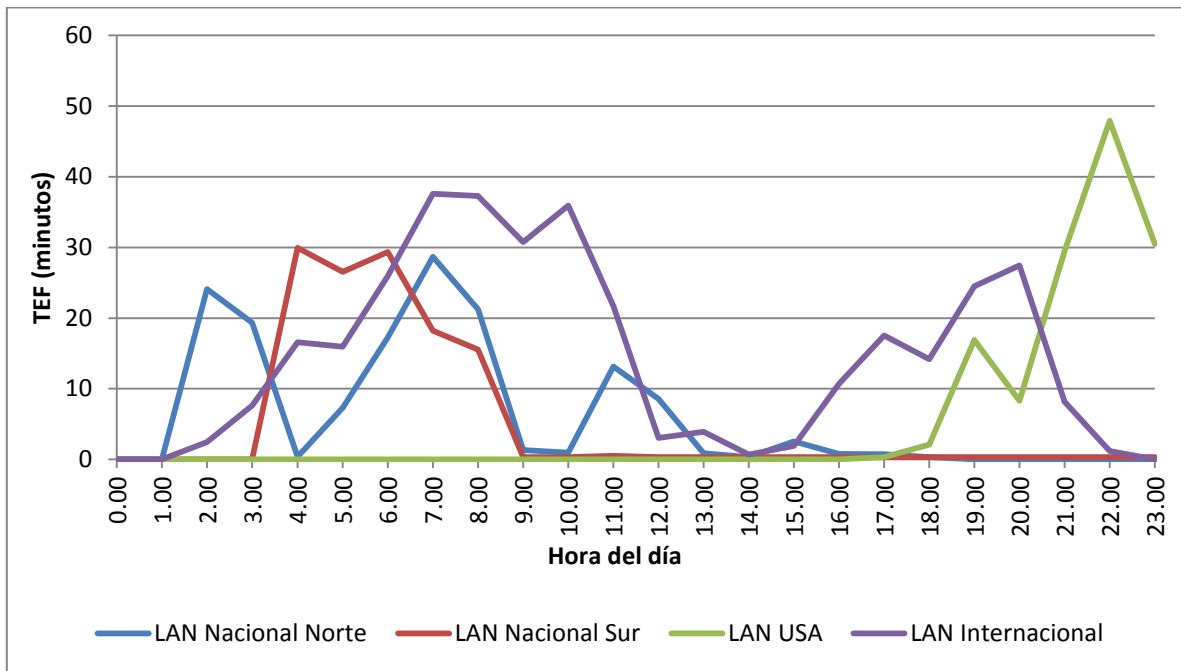


Figura 34 - Evolución del TEF (en minutos) a lo largo del día

Por otra parte, el promedio durante el día para cada fila es:

Tabla 20 - Promedio del TEF durante el día para cada fila

Fila	Minutos
LAN Nacional Norte	8,7
LAN Nacional Sur	6,3
LAN Internacional	19,4
LAN USA	16,4

Mientras que la carga de maletas (bajo el sistema 1operario-1vuelo) y la cantidad de vuelos preparándose en los carruseles de LAN internacional se comporta de la siguiente manera:

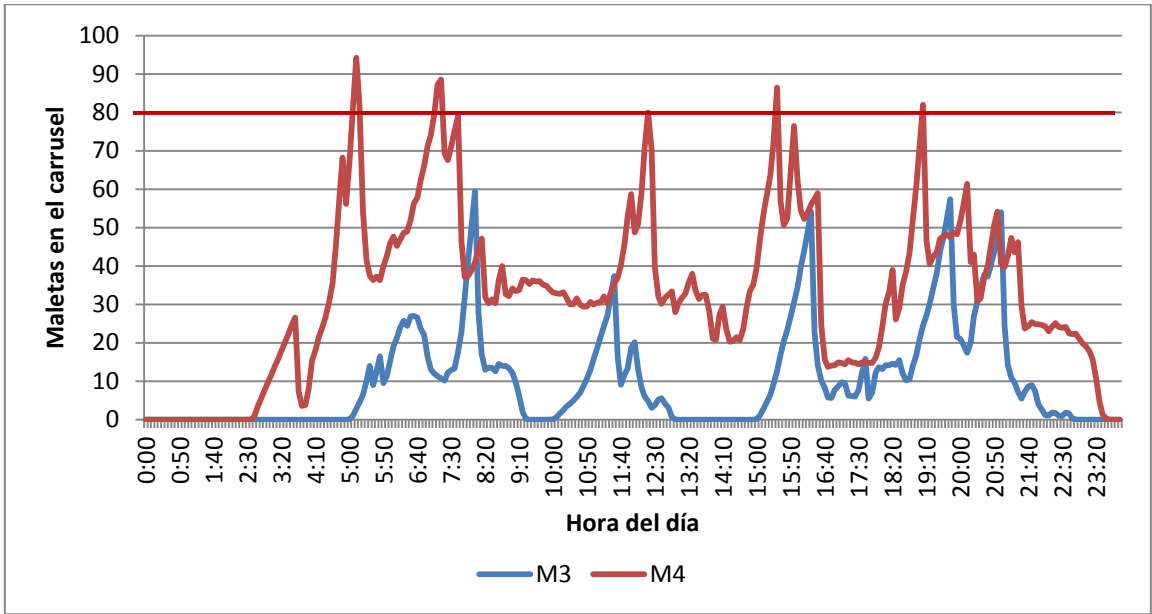


Figura 35 - Maletas en los carruseles de LAN internacional (bajo el sistema 1operario-1vuelo)

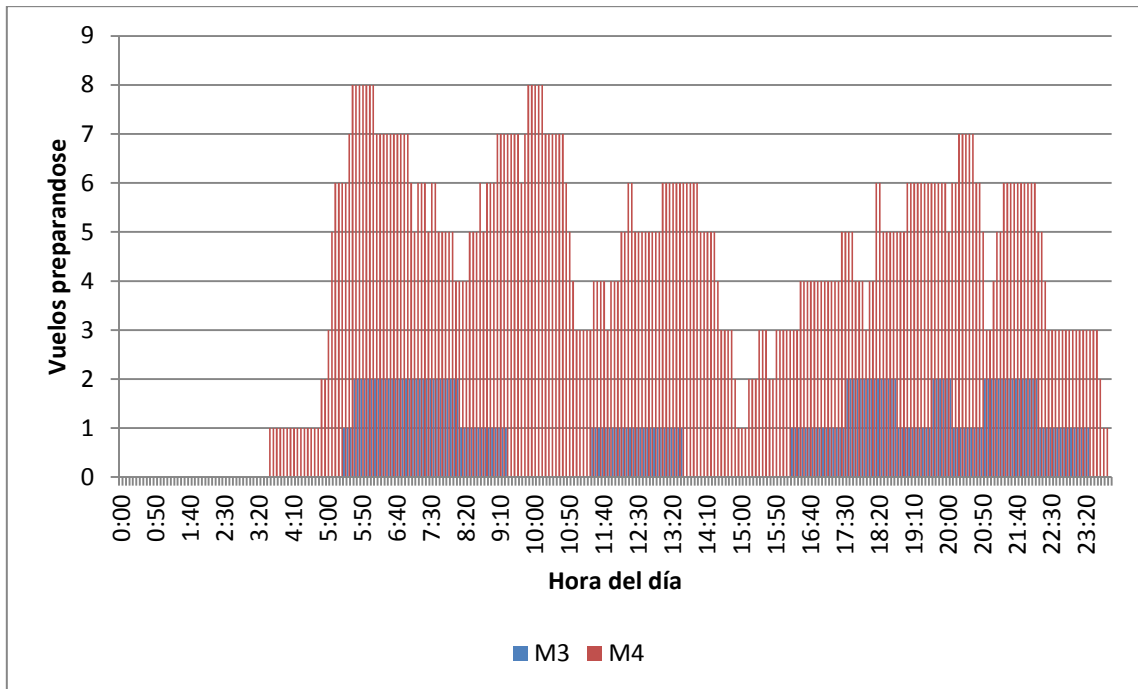


Figura 36 - Cantidad de vuelos preparándose en los carruseles de LAN internacional

4. Análisis de Contingencias

Por otra parte, la carga de maletas (bajo el sistema 1operario-1vuelo) y la cantidad de vuelos preparándose en los carruseles de LAN nacional se comporta de la siguiente manera:

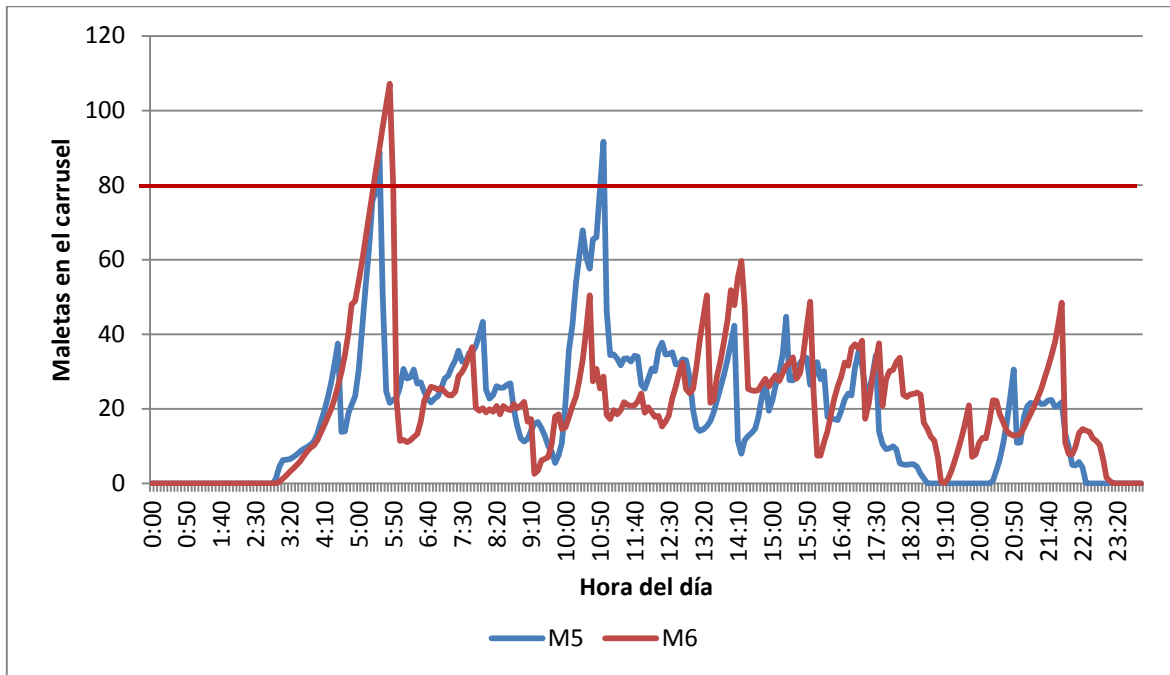


Figura 37 - Maletas en los carruseles de LAN nacional (bajo el sistema 1operario-1vuelo)

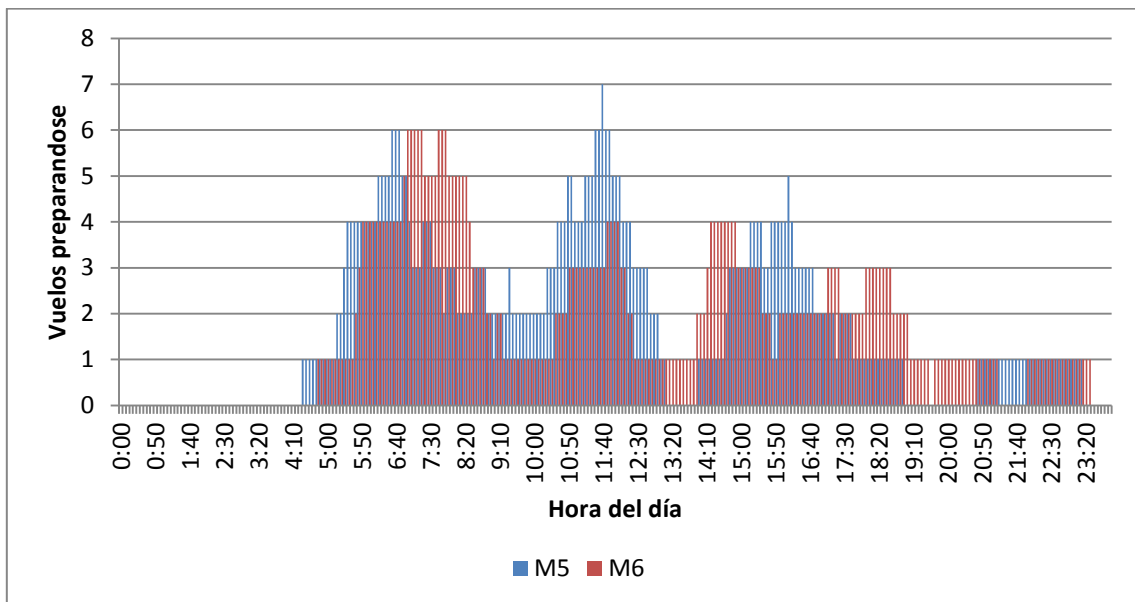


Figura 38 - Cantidad de vuelos preparándose en los carruseles de LAN nacional

4. Análisis de Contingencias

Respecto a la política de usar bandejas, se debe decir que son necesarias 844 bandejas para el 75% del equipaje que Andes procesa durante el día, y dejando un stock de seguridad de 100 bandejas en el sector de *counters*. Esto quiere decir que la *oversize* es utilizada según se muestra a continuación:

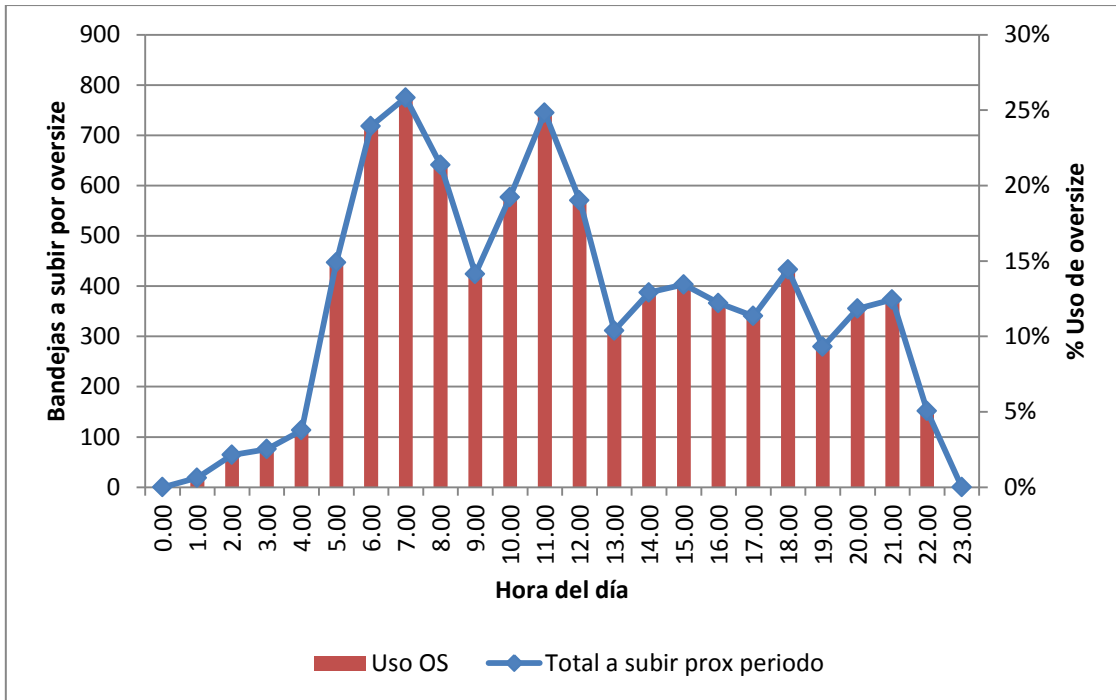


Figura 39 - Uso de la *oversize* para subir las bandejas a los *counters*

4.1.1.1. Sistema Pool

Se analizó el escenario anterior con el sistema pool implementado en los carruseles M3, M4, M5 y M6. A continuación, se muestra una comparación del sistema pool versus el sistema de 1 operario-1 vuelo:

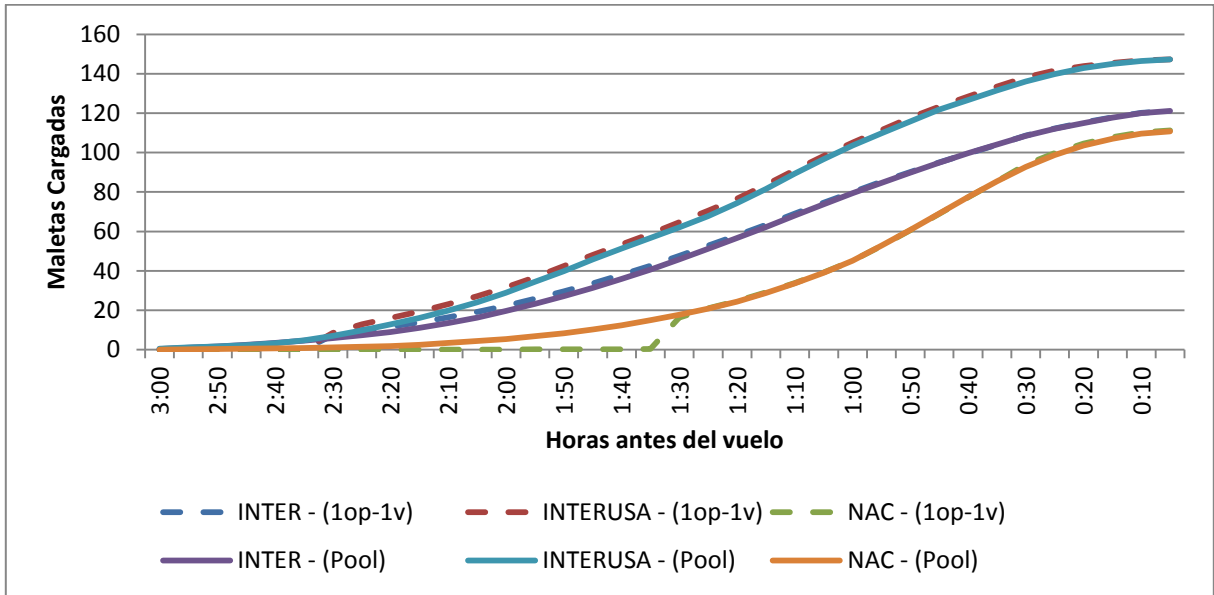


Figura 40 - Comparación de carga de maletas del sistema pool versus sistema 1operario-1vuelo

Por otra parte, la carga de maletas en los carruseles de LAN internacional es:

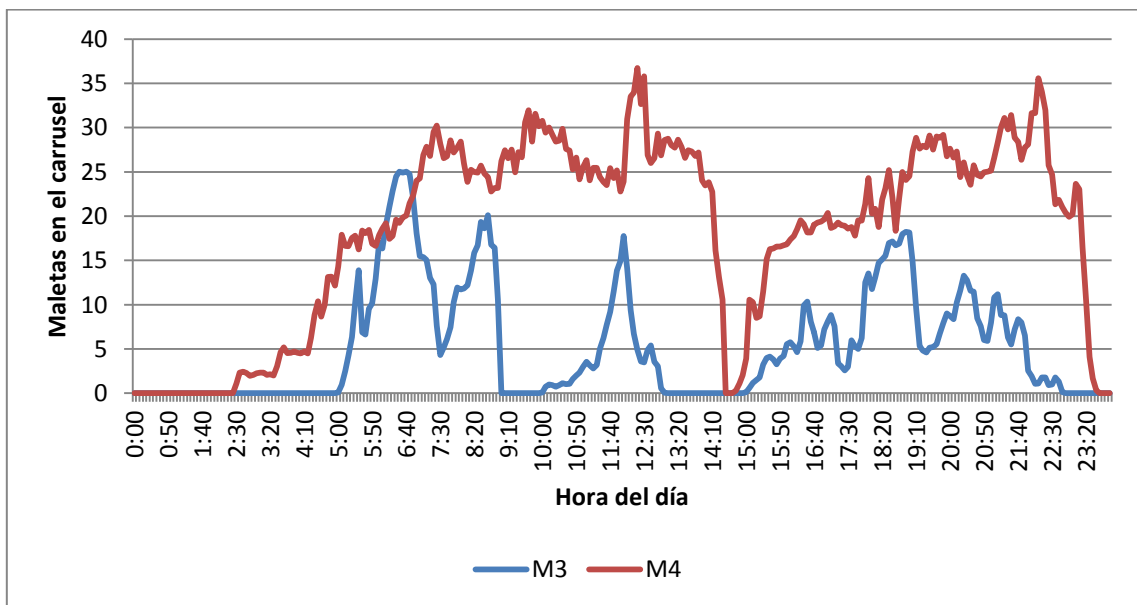


Figura 41 - Maletas en los carruseles de LAN internacional (bajo el sistema pool)

Mientras que la carga de maletas en los carruseles de LAN nacional es:

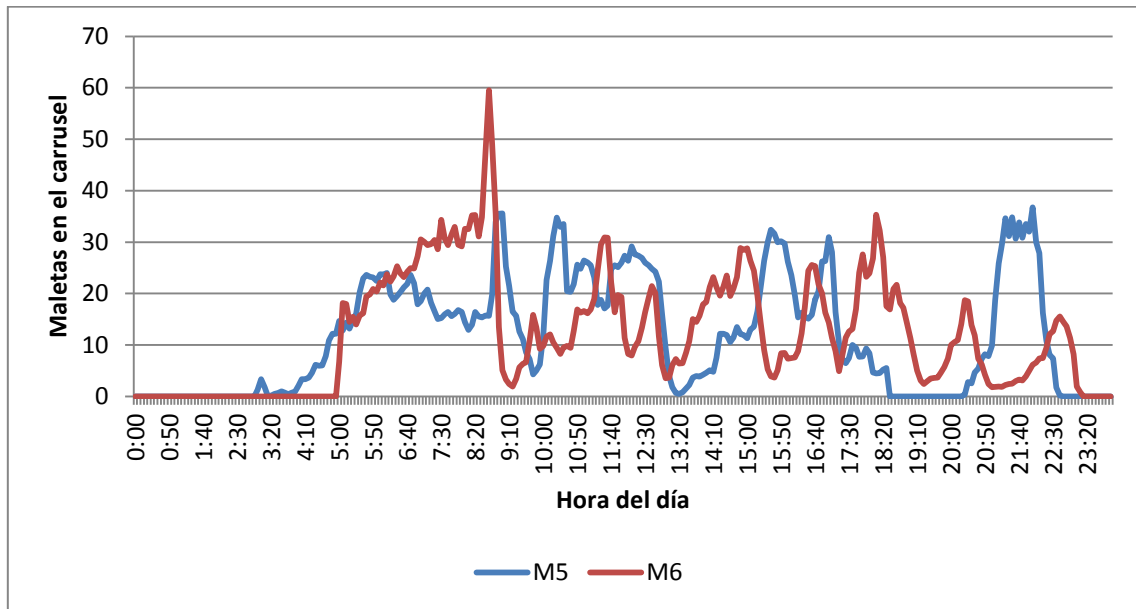


Figura 42 - Maletas en los carruseles de LAN nacional (bajo el sistema pool)

Se puede concluir que el sistema pool logra reducir la cantidad de maletas en los carruseles versus el sistema un operario-un vuelo, ayudando mejorar el orden en el patio de equipajes. De hecho, en el sistema pool no existen peaks que sobrepasen la capacidad de los carruseles (que es de 80 maletas) y que si existen al operar con el sistema un operario-un vuelo.

Un análisis más profundo entre el sistema pool y el sistema un operario-un vuelo se encuentra en la memoria de Pregrado de Suarez (2012).

4.2. Falla en un carrusel

Esta contingencia fue abordada a través de 2 formas diferentes que buscan reducir el impacto de perder un carrusel durante todo día. Cada solución se probó y validó de la siguiente forma:

- **Vuelos Internacionales:** Falla el carrusel M3, relacionado con los vuelos internacionales de LAN. Se simularon las siguientes propuestas:
 1. Todo M: Se envía todo el equipaje de T2 a M4.
 2. M y OS: Se envía el equipaje de los vuelos de LAN con destino a Ezeiza (EZE), Córdoba (COR), Mendoza (MDZ) y Sao Paulo (GRU) por *oversize*, y se envía el equipaje del resto de los vuelos internacionales al carrusel M4. Esta solución busca enviar el 70% de las maletas que entran por T2 al carrusel operativo y el 30% restante por *oversize*.

- **Vuelos Nacionales:** Falla el carrusel M5, relacionados con los vuelos nacionales de LAN. Se simularon las siguientes propuestas:
 1. Todo M: Se envía todo el equipaje de T3 a M6.
 2. M y OS: Se envía equipaje de vuelos con destino al norte de Chile (menos Arica, ARI), Concepción (CCP), Temuco (ZCO), Puerto Montt (PMC) y Punta Arenas noche (PUQ) al carrusel M6, y se envía el equipaje del resto de los vuelos nacionales (junto a los vuelos con destino a Arica (ARI)) de LAN por *oversize*. Esta solución busca enviar el 76% de las maletas que entran por T3 al carrusel operativo y el 24% restante por *oversize*.

4.2.1. Vuelos Internacionales

Los resultados del porcentaje de uso de *oversize* en una hora, bajando maletas (provenientes de T1, T2, T3 y T4) y subiendo bandejas, de cada propuesta son:

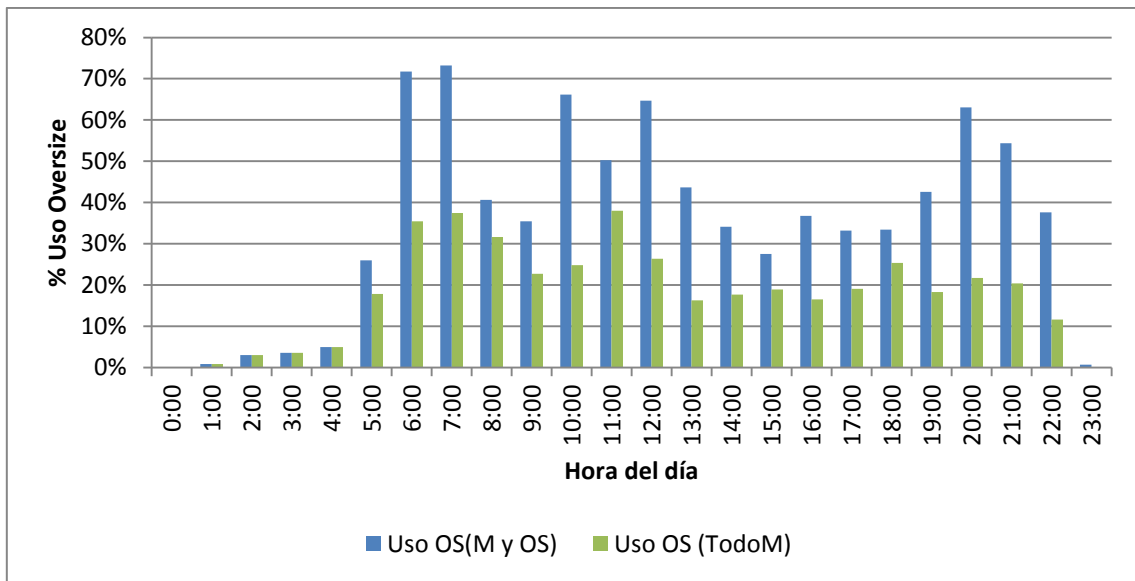


Figura 43 - Uso de la oversize (incluye el % de uso de oversize para enviar maletas y subir bandejas)

Mientras que la carga en el carrusel internacional M4 (bajo el sistema 1operario-1vuelo) de cada propuesta es:

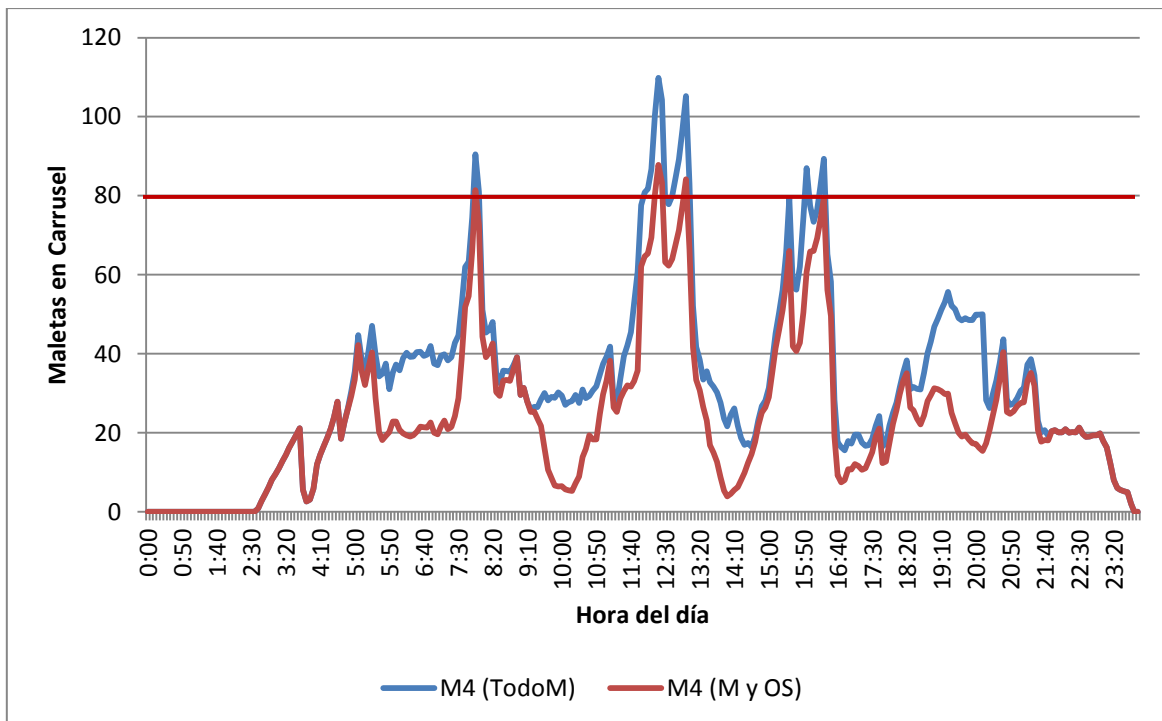


Figura 44 - Carga de maletas en el carrusel M4 para las diferentes propuestas (bajo el sistema 1operario-1vuelo)

Si se utilizara el sistema pool en el carrusel internacional M4, la carga se comportaría de la siguiente forma:

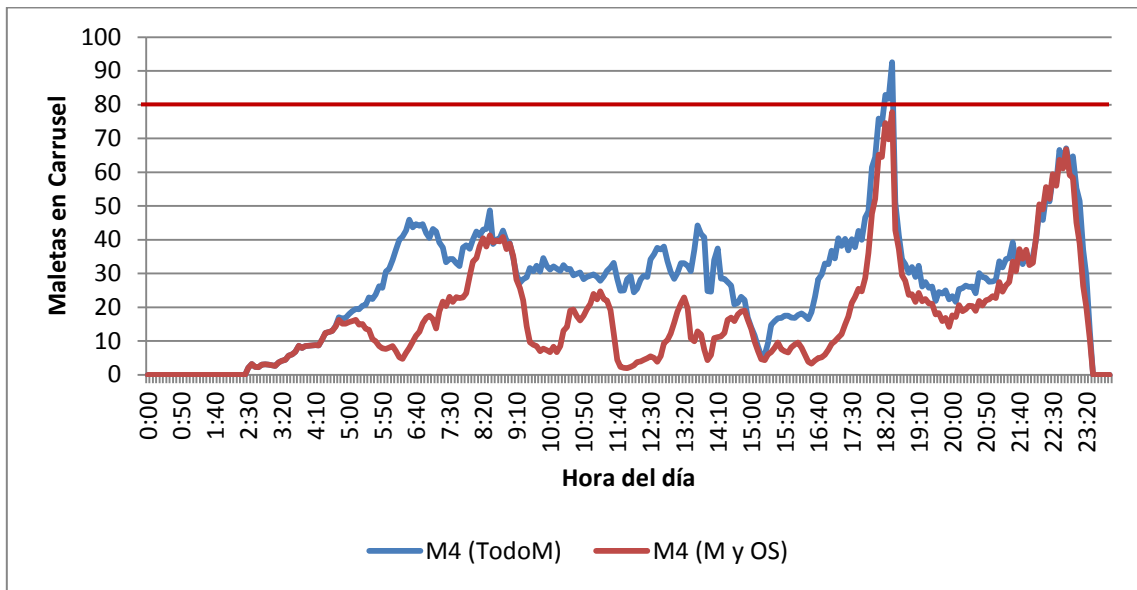


Figura 45 - Maletas en el carrusel al aplicar el sistema pool

Por otra parte, la cantidad de vuelos que se estarían procesando en el carrusel operativo para ambas alternativas es:

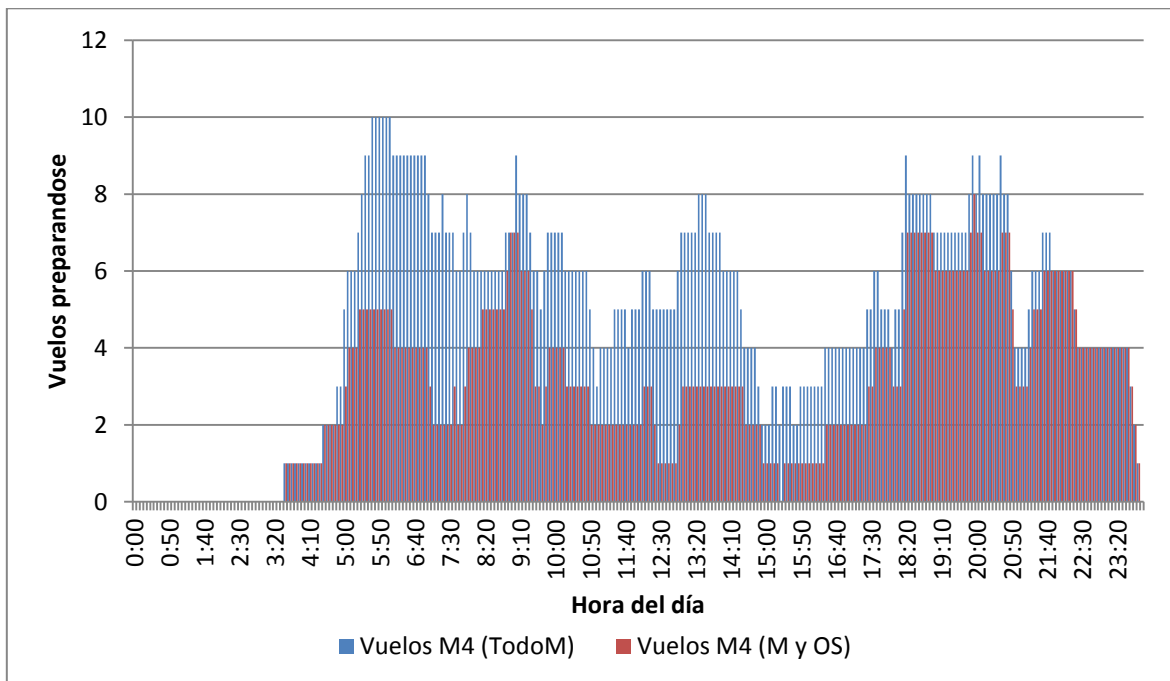


Figura 46 - Cantidad de vuelos que se están procesando en el carrusel operativo.

Por lo tanto, se puede apreciar que la mejor política a aplicar al perder un carrusel en LAN internacional depende de la hora en que se produzca la contingencia:

- 11:40-13:20 o 15:30-16:30: Si la contingencia ocurre en esos tramos horario, lo mejor es enviar el equipaje de los vuelos de LAN con destino a Ezeiza (EZE), Córdoba (COR), Mendoza (MDZ) y Sao Paulo (GRU) por *oversize*, y enviar el equipaje del resto de los vuelos internacionales al carrusel M4. Pues:
 - No se sobrecarga el carrusel operativo, ya que no alcanza a pasar la cota de 80 maletas en el carrusel en todo momento.
 - No interfiere con la reposición de bandejas hacia los *counters*, ya que es posible enviar maletas al patio más y subir bandejas a *counters* cada 1 hora con holgura (a lo más se ocupa un 60% de la *oversize*).
 - A lo más se procesan 3 vuelos en forma simultánea en el carrusel operativo.

- Resto del día: Si la contingencia ocurre en cualquier otro tramo horario, lo mejor es enviar el equipaje de todos los vuelos de LAN internacional al carrusel operativo. Pues:
 - No se sobrecarga el carrusel operativo, ya que no alcanza a pasar la cota de 80 maletas en el carrusel en todo momento.
 - No interfiere con la reposición de bandejas hacia los *counters*, ya que se utilizaría la *oversize* para enviar solamente equipaje *oversize* (a lo más se utiliza un 40%).

4.2.2. Vuelos Nacionales

Los resultados del porcentaje de uso de *oversize* en una hora, bajando maletas (provenientes de T1, T2, T3 y T4) y subiendo bandejas, de cada propuesta son:

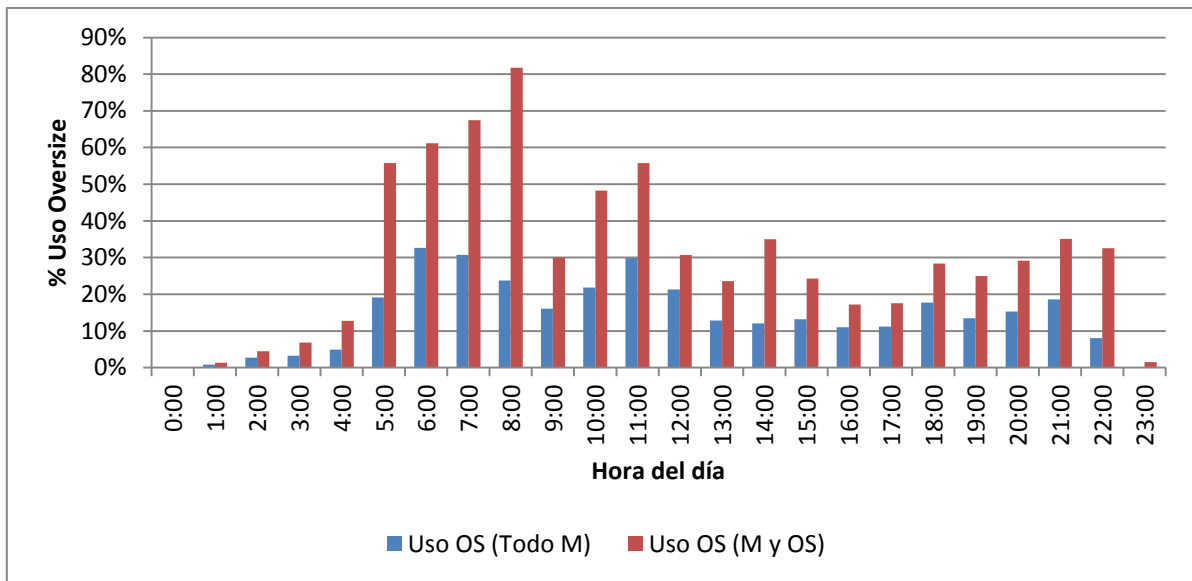


Figura 47 - Uso de la oversize (incluye el % de uso de oversize para enviar maletas y subir bandejas)

Mientras que la carga en el carrusel nacional M6 (bajo el sistema pool) de cada propuesta es:

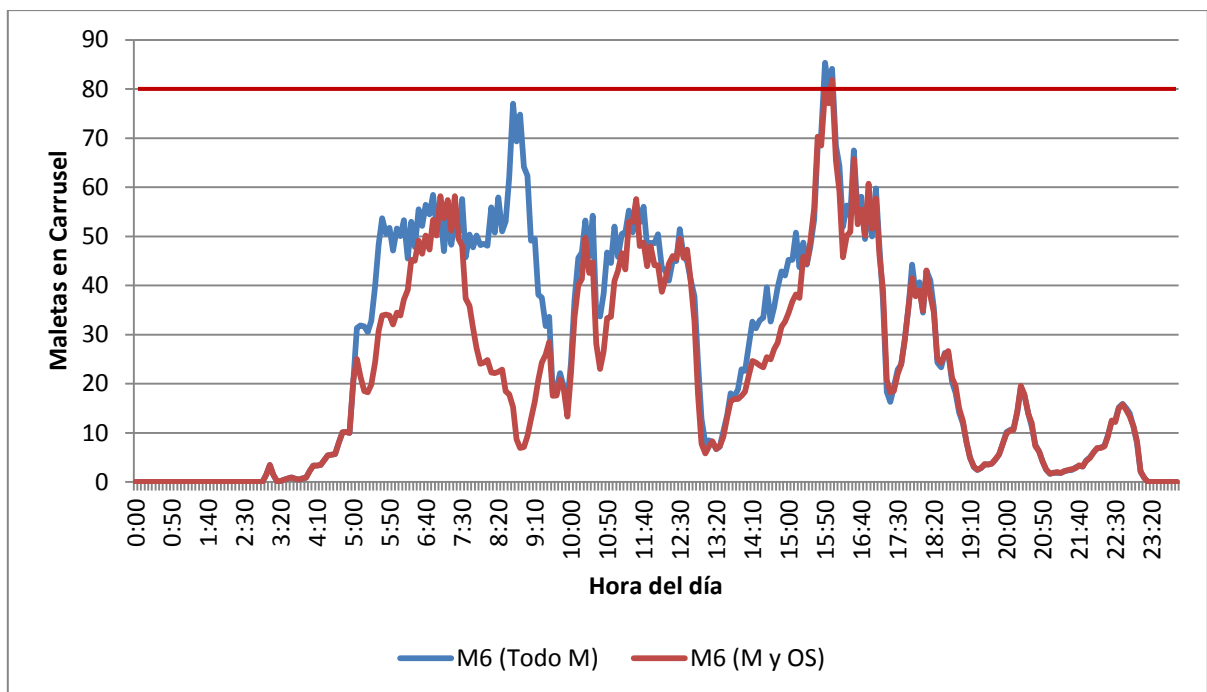


Figura 48 - Maletas en el carrusel al aplicar el sistema pool

Por otra parte, la cantidad de vuelos que se estarían procesando en el carrusel operativo para ambas alternativas es:

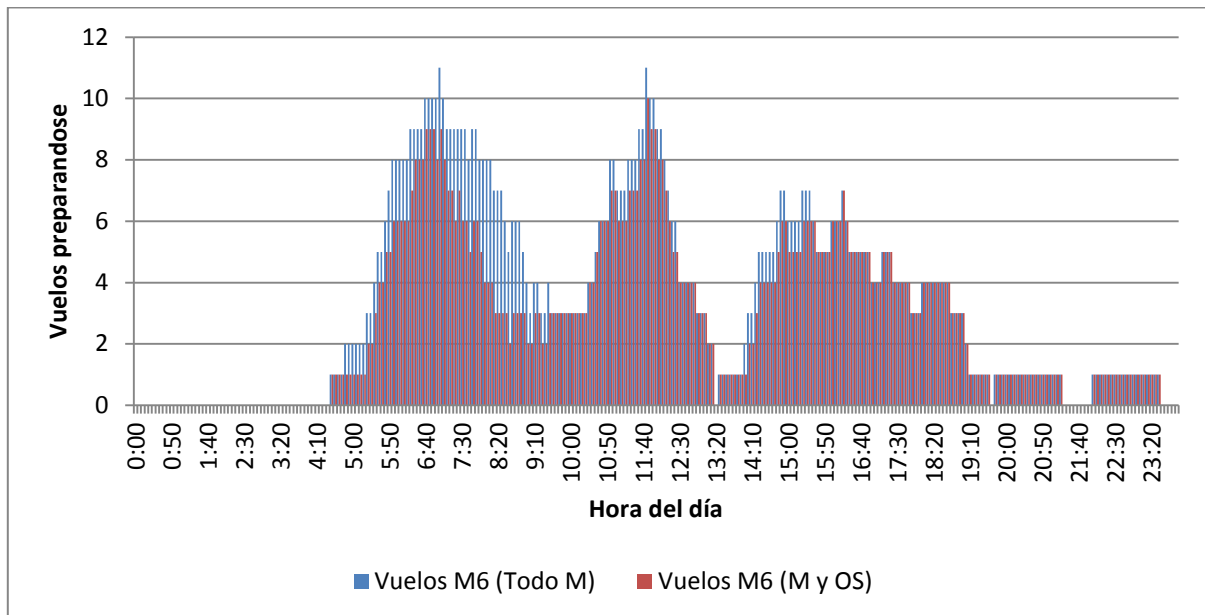


Figura 49 - Cantidad de vuelos que se están procesando en el carrusel operativo.

Por lo tanto, se puede apreciar que enviar el equipaje de todos los vuelos de LAN nacional al carrusel operativo resulta ser la mejor alternativa para enfrentar la pérdida de un carrusel. Pues:

- Se está por debajo de la cota de 80 maletas en el carrusel prácticamente durante todo el día, lo que asegura un buen trabajo en carruseles.
- No interfiere con la reposición de bandejas hacia los *counters*, ya que la *oversize* se utilizaría solo para enviar equipaje *oversize*.
- A lo más se procesan 11 vuelos en forma simultánea en el carrusel operativo.

4.3. Falla Colector

Esta contingencia fue abordada con propuestas que buscan minimizar el impacto de perder un colector durante todo día, maximizando el uso de la *oversize* (sin que colapse). Cada solución se probó de la siguiente forma:

- **Vuelos Internacionales:** Falla el colector T2, relacionado con los vuelos internacionales de LAN. Se simuló la siguiente propuesta:
 1. Se envía el equipaje de los 3 siguientes vuelos internacionales que salen por *oversize*. Mientras que el equipaje de los vuelos a EEUU se envían de forma normal por *oversize*.

- **Vuelos Nacionales:** Falla el colector T3, relacionados con los vuelos nacionales de LAN. Se simuló la siguiente propuesta:
 1. Se envía equipajes de los 3 siguientes vuelos nacionales que salen por *oversize*.

4.3.1. Vuelos Internacionales

El resultado del porcentaje de uso de *oversize* en una hora, bajando maletas (provenientes de T1, T2, T3 y T4) y subiendo bandejas, de la propuesta es:

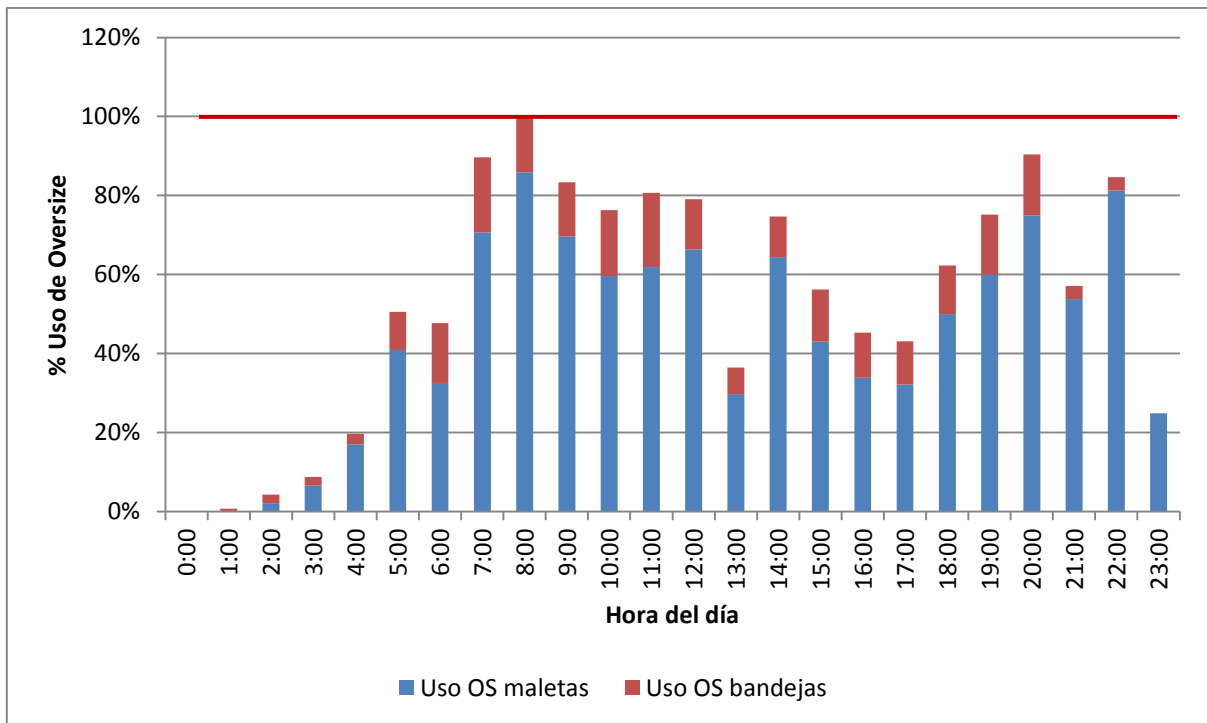


Figura 50- Uso de *oversize*.

Mientras que la carga de maletas para los vuelos internacionales de LAN en comparación al funcionamiento normal del colector es la siguiente:

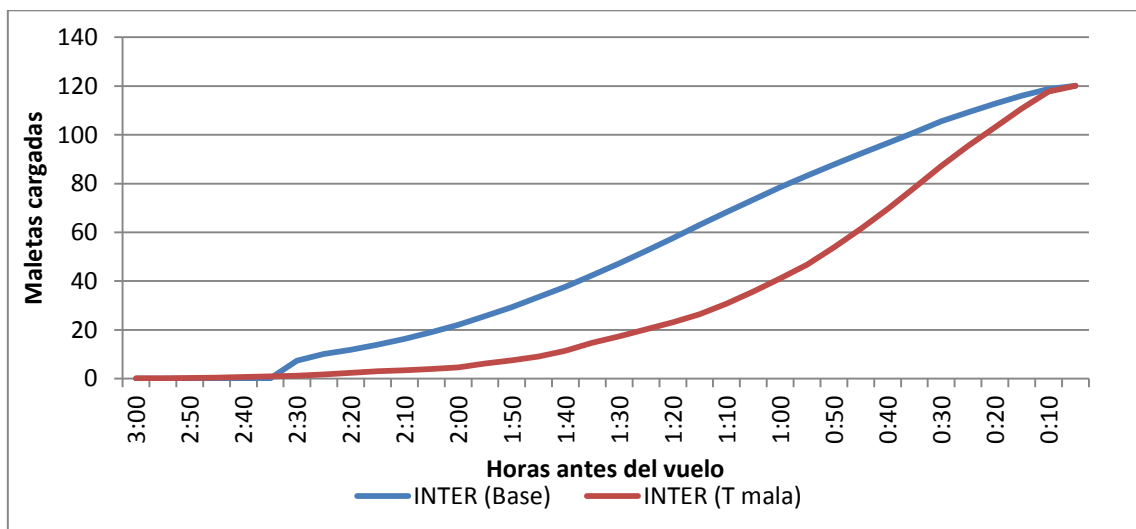


Figura 51 - Carga de maletas en vuelos internacionales de LAN

La siguiente tabla muestra la cantidad de maletas por cargar en los últimos 30 minutos para cada escenario:

Tabla 21 - Comparación de las maletas por cargar últimos 30 minutos para vuelos internacionales de LAN

Minutos antes del vuelo	INTER (Base)	INTER (T Mala)
0:30	15	33
0:25	11	25
0:20	7	17
0:15	4	9
0:10	1	2
0:05	0	0

Por otra parte, los vuelos a EEUU de LAN, los cuales no tienen restricciones en la atención en *counters*, tienen el siguiente perfil de carga:

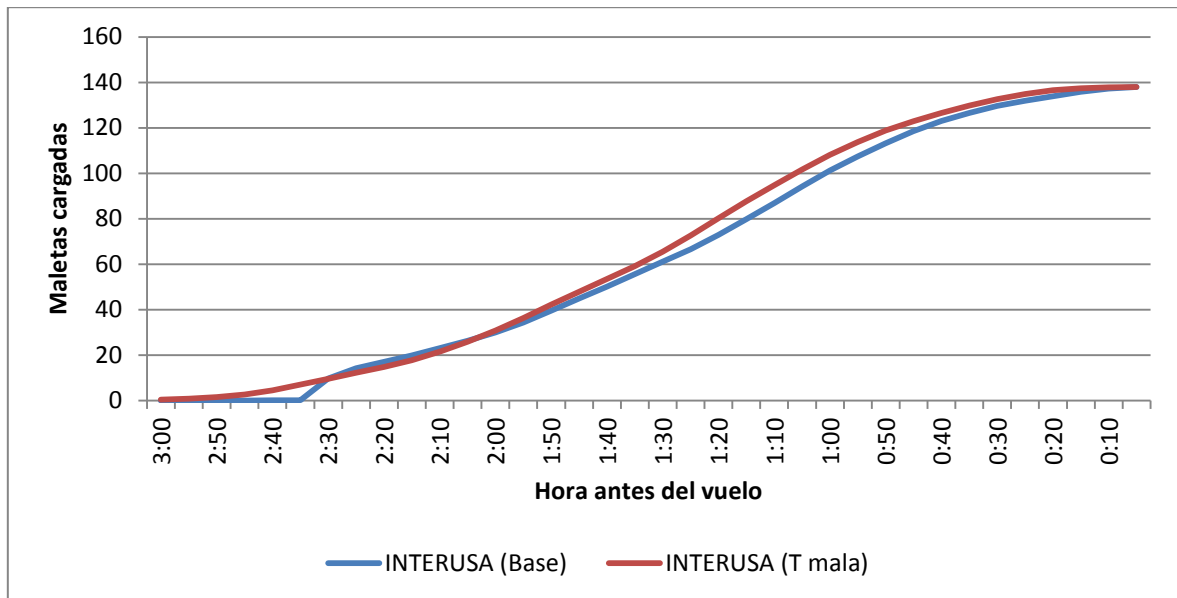


Figura 52 - Carga de maletas en vuelos a EEUU de LAN

La siguiente tabla muestra la cantidad de maletas por cargar en los últimos 30 minutos para cada escenario:

Tabla 22 - Comparación de las maletas por cargar últimos 30 minutos para vuelos a EEUU de LAN

Minutos antes del vuelo	INTERUSA (Base)	INTERUSA (T Mala)
0:30	8	6
0:25	6	4
0:20	4	2
0:15	2	1
0:10	1	1
0:05	0	0

Esta solución permite usar la cinta de *oversize* para enviar todas las maletas del colector T2, utilizando la política de atención en *counters* de atender los 3 próximos vuelos internacionales que están próximos a salir y siempre atender los vuelos a EEUU. Aunque esta solución, en algunos momentos, utiliza la cinta de *oversize* a plena capacidad, permite cumplir con cargar todas las maletas al avión de los vuelos internacionales.

4.3.2. Vuelos Nacionales

El resultado del porcentaje de uso de *oversize* en una hora, bajando maletas y subiendo bandejas, de la propuesta es:

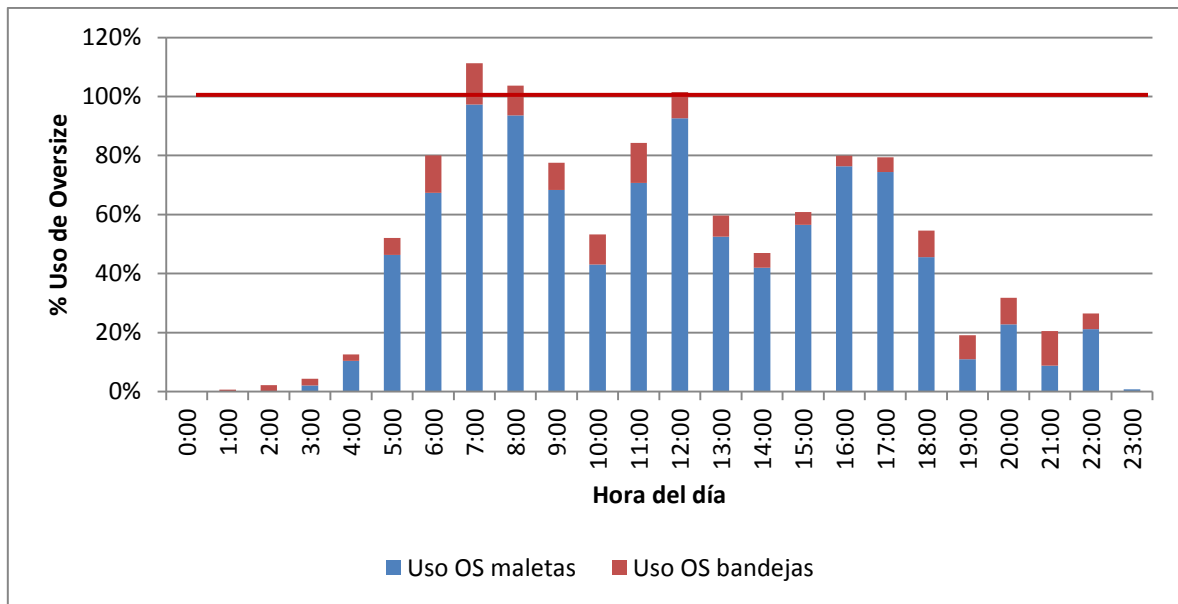


Figura 53- Uso de *oversize*.

Como muestra el gráfico anterior, la *oversize* no es capaz de enviar maletas al patio de equipajes y subir las bandejas entre las 7:00 y las 9:00, y entre las 12:00 y las 13:00. Por lo que en esos rangos horarios es necesario utilizar otras vías para subir las bandejas al sector de *counters*.

Por otra parte, la carga de maletas para los vuelos nacionales de LAN en comparación al funcionamiento normal del colector es la siguiente:

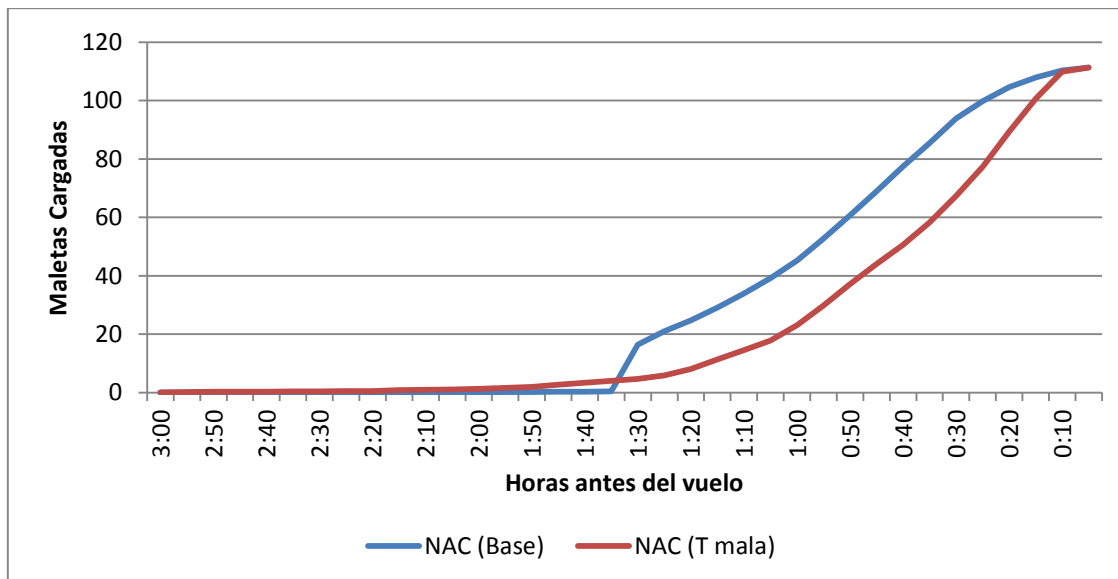


Figura 54 - Carga de maletas en vuelos nacionales de LAN

La siguiente tabla muestra la cantidad de maletas por cargar en los últimos 30 minutos para cada escenario:

Tabla 23 - Comparación de las maletas por cargar últimos 30 minutos para vuelos nacionales de LAN

Minutos antes del vuelo	NAC (Base)	NAC (T Mala)
0:30	18	44
0:25	12	34
0:20	7	22
0:15	4	10
0:10	1	1
0:05	0	0

Esta solución permite usar la *oversize* para enviar todas las maletas del colector T3, utilizando la política de atención en *counters* de atender los 3 próximos vuelos nacionales que están próximos a salir. Aunque es necesario recalcar que entre las 7:00 y las 9:00, y entre las 12:00 y las 13:00 la *oversize* es capaz sólo de enviar equipaje. Por lo que en esos rangos horarios se hace obligatorio usar otra vía para subir bandejas al sector de *counters*.

4.4. Falla Escáner Nivel 2

Esta contingencia fue abordada a través de 2 formas diferentes que buscan minimizar el impacto de perder el escáner de una T durante un día completo. Cada solución se prueba de la siguiente forma:

- **Vuelos Internacionales:** Falla el escáner de la T2, relacionado con los vuelos internacionales de LAN. Se simularon las siguientes propuestas:
 1. Todo M9: Se envía todo el equipaje de T2 a M9 para ser escaneado.
 2. M9 y OS: Se envía el equipaje de los vuelos de LAN con destino a Ezeiza (EZE), Córdoba (COR), Mendoza (MDZ) y Sao Paulo (GRU) a M9, y se envía el equipaje del resto de los vuelos internacionales por *oversize*. Esta solución busca enviar el 70% de las maletas que entran por T2 a *oversize* y el 30% restante a M9.

- **Vuelos Nacionales:** Falla el escáner de la T3, relacionados con los vuelos nacionales de LAN. Se simularon las siguientes propuestas:
 1. Enviar equipaje de vuelos con destino a Concepción (CCP), Temuco (ZCO), Puerto Montt (PMC) por *oversize*. Enviar equipaje del resto de los vuelos nacionales a M9. Esta solución busca enviar el 38% de las maletas que entran por T3 a *oversize* y el 62% restante a M9.
 2. Enviar equipaje de vuelos con destino a La Serena (LSC), Copiapó (CPO), Concepción (CCP), Puerto Montt (PMC) por *oversize*. Enviar equipaje del resto de los vuelos nacionales (junto a Arica (ARI), Antofagasta (ANF), Iquique (IQQ) y Calama (CJC)) a M9. Esta solución busca enviar el 37% de las maletas que entran por T3 por *oversize* y el 63% restante a M9.

4.4.1. Vuelos Internacionales

Los resultados del porcentaje de uso de *oversize* en una hora, bajando maletas (provenientes de T1, T2, T3 y T4) y subiendo bandejas, de cada propuesta son:

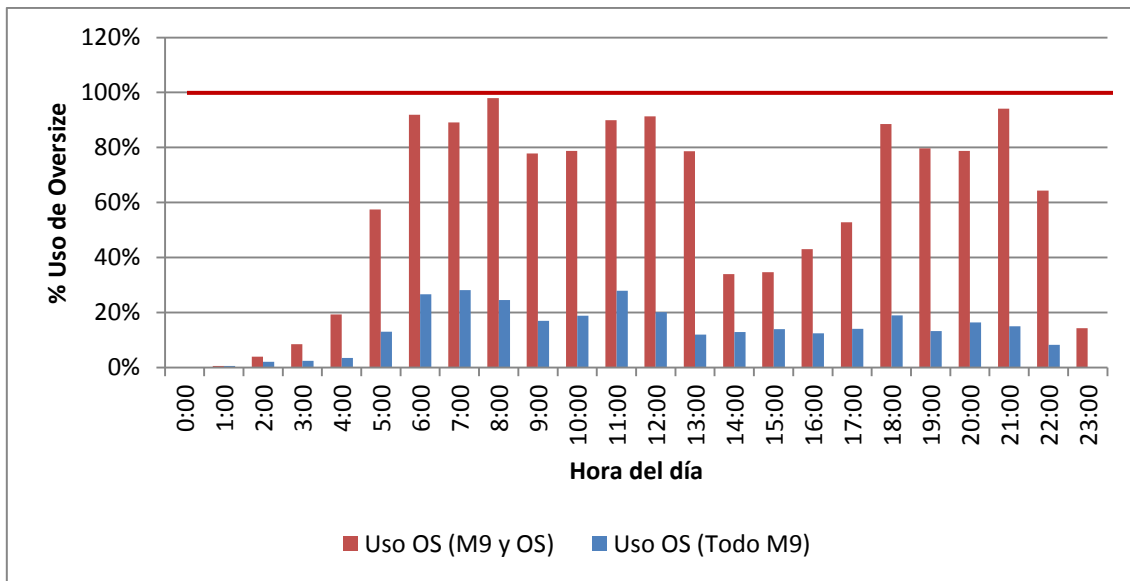


Figura 55 - Uso de la oversize (incluye el % de uso de oversize para enviar maletas y subir bandejas)

Además, la cantidad de maletas enviadas a M9 por las distintas propuestas es:

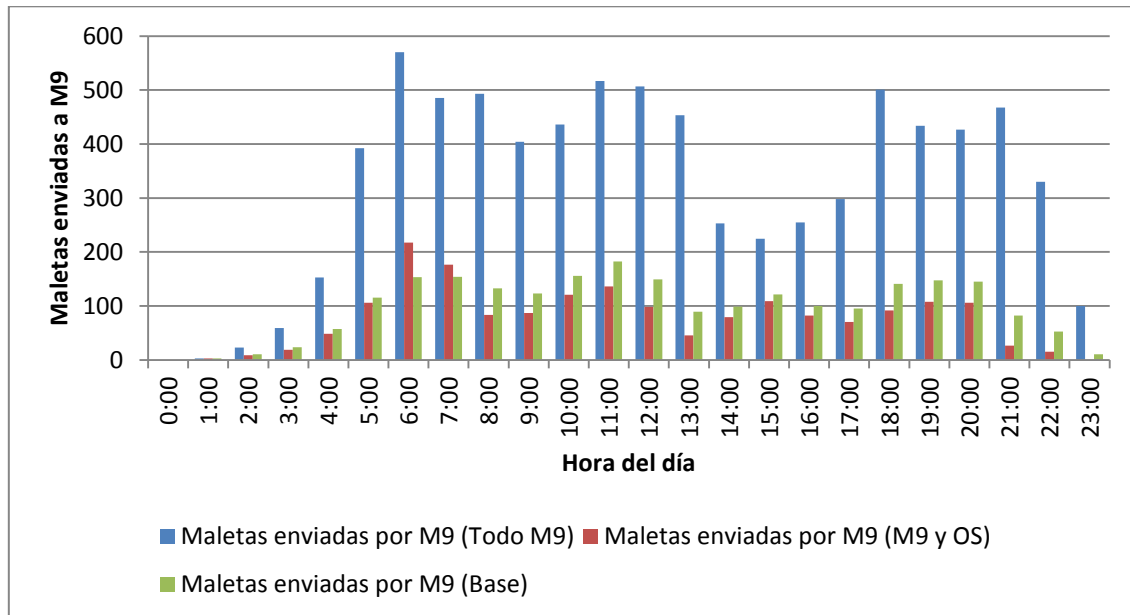


Figura 56 - Maletas enviadas a M9 de los diferentes escenarios

Mientras que la carga de maletas para los vuelos internacionales de LAN en comparación al funcionamiento normal del colector es la siguiente:

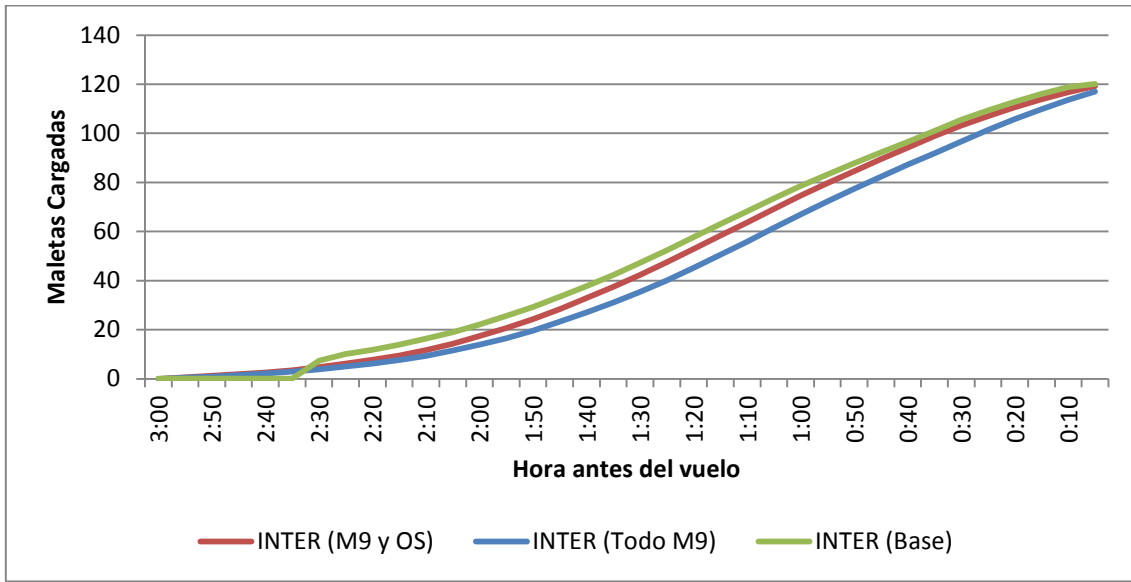


Figura 57 - Carga de maletas en vuelos internacionales de LAN

Considerando que los carruseles se encuentran funcionando, este perfil de carga considera el tiempo que toma llevar las maletas desde el *oversize* y M9 hacia los carruseles internacionales.

La siguiente tabla muestra la cantidad de maletas por cargar en los últimos 30 minutos para cada escenario:

Tabla 24 - Comparación de las maletas por cargar últimos 30 minutos para vuelos internacionales de LAN

Minutos antes del vuelo	INTER (Base)	INTER (M9 y OS)	INTER (Todo M9)
0:30	15	16	23
0:25	11	15	19
0:20	7	8	14
0:15	4	5	10
0:10	1	2	6
0:05	0	0	3

Por otra parte, los vuelos a EEUU de LAN tienen el siguiente perfil de carga:

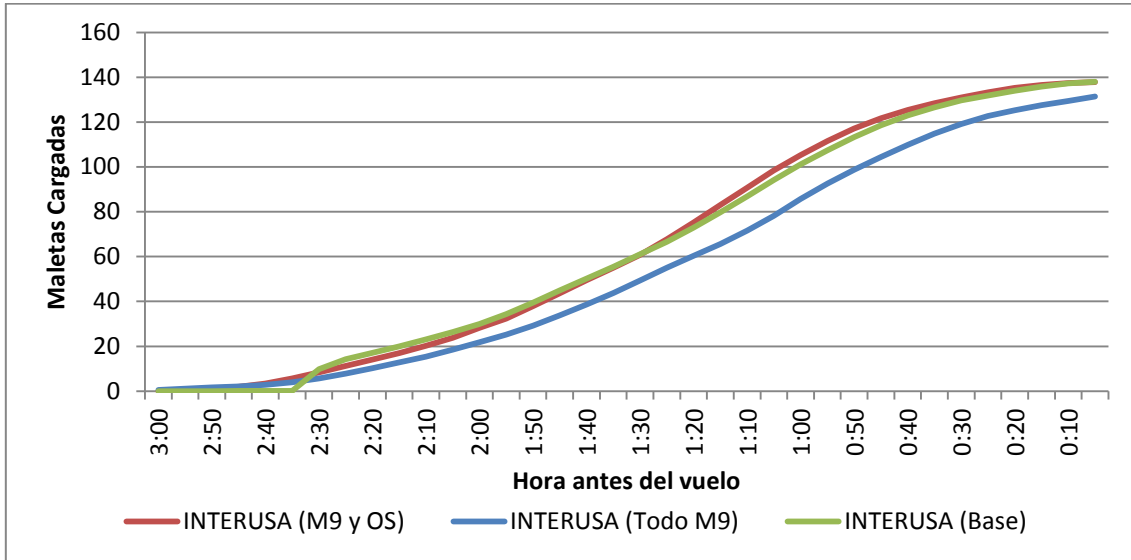


Figura 58 - Carga de maletas en vuelos a EEUU de LAN

La siguiente tabla muestra la cantidad de maletas por cargar en los últimos 30 minutos para cada escenario:

Tabla 25 - Comparación de las maletas por cargar últimos 30 minutos para vuelos a EEUU de LAN

Minutos antes del vuelo	INTERUSA (Base)	INTERUSA (M9 y OS)	INTERUSA (Todo M9)
0:30	8	7	19
0:25	6	5	15
0:20	4	3	13
0:15	2	1	10
0:10	1	1	9
0:05	0	0	7

Además, si se aumenta el flujo de maletas desde T2 a M9, existe la posibilidad de afectar la carga de maletas de los vuelos nacionales de LAN. El siguiente gráfico muestra el impacto en los vuelos nacionales de aumentar el flujo hacia M9 desde T2.

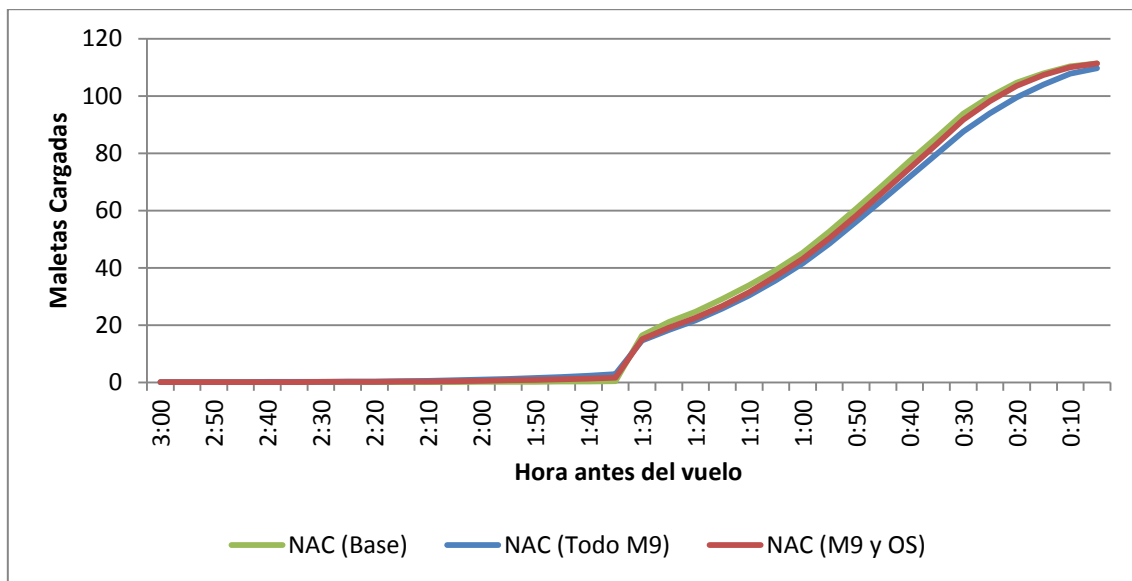


Figura 59 - Carga de maletas en vuelos nacionales de LAN

La siguiente tabla muestra la cantidad de maletas por cargar en los últimos 30 minutos para cada escenario:

Tabla 26 - Comparación de las maletas por cargar últimos 30 minutos para vuelos nacionales de LAN

Minutos antes del vuelo	NAC (Base)	NAC (M9 y OS)	NAC (Todo M9)
0:30	17	19	23
0:25	11	13	17
0:20	7	8	12
0:15	3	4	7
0:10	1	1	3
0:05	0	0	1

Por lo tanto, se puede apreciar que enviar el equipaje de los vuelos de LAN con destino a Ezeiza (EZE), Córdoba (COR), Mendoza (MDZ) y Sao Paulo (GRU) a M9, y enviar el equipaje del resto de los vuelos internacionales por *oversize* resulta ser la mejor alternativa para enfrentar la pérdida del escáner de nivel 2 en T2. Pues:

- Se reduce el impacto de la pérdida del escáner de nivel 2 en la cantidad de maletas en tierra por vuelo, logrando reducirlo a 1 maleta en tierra más respecto al escenario base en los vuelos internacionales antes de los 10 minutos de la salida del vuelo.
- No se sobrecarga M9 al enviar como máximo 220 maletas por hora.

- No impacta mayormente la carga de maletas en los vuelos nacionales de LAN.
- No interfiere con la reposición de bandejas hacia los *counters*, ya que es posible enviar maletas al patio más y subir bandejas a *counters* dentro del lapso de 1 hora con cierta holgura.

4.4.2. Vuelos Nacionales

Los resultados del porcentaje de uso de *oversize* en una hora, bajando maletas (provenientes de T1, T2, T3 y T4) y subiendo bandejas, de cada propuesta son:

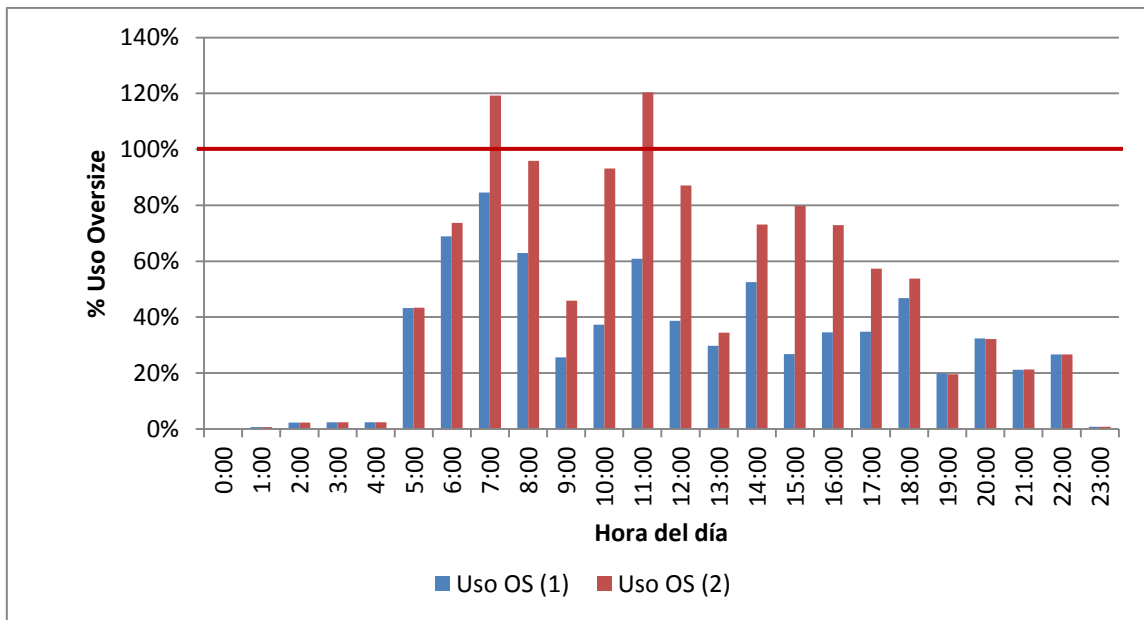


Figura 60 - Uso de la *oversize* (incluye el % de uso de *oversize* para enviar maletas y subir bandejas)

Como se observa en el gráfico anterior, en el caso hipotético de usar la alternativa 2, la cinta *oversize* no sería capaz de enfrentar la demanda de bandejas y maletas que resultan de esta alternativa.

Por otra parte, el uso de la *oversize* exclusivamente para bajar maletas de ambas propuestas es:

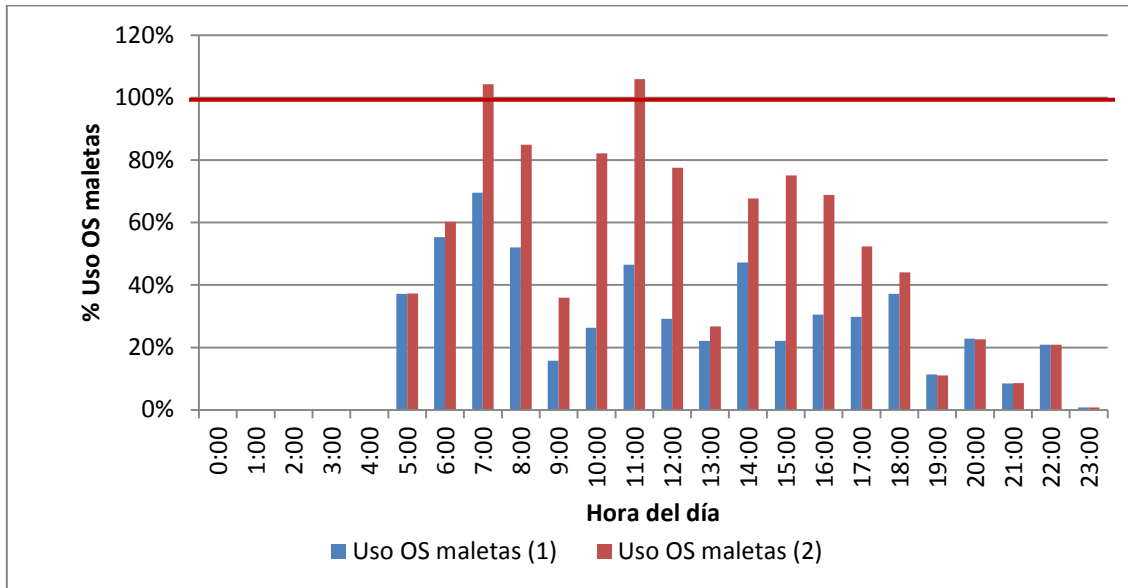


Figura 61 - Uso de la *oversize* (incluye el % de uso de *oversize* en enviar maletas)

Además, la cantidad de maletas enviadas a M9 por las distintas propuestas es:

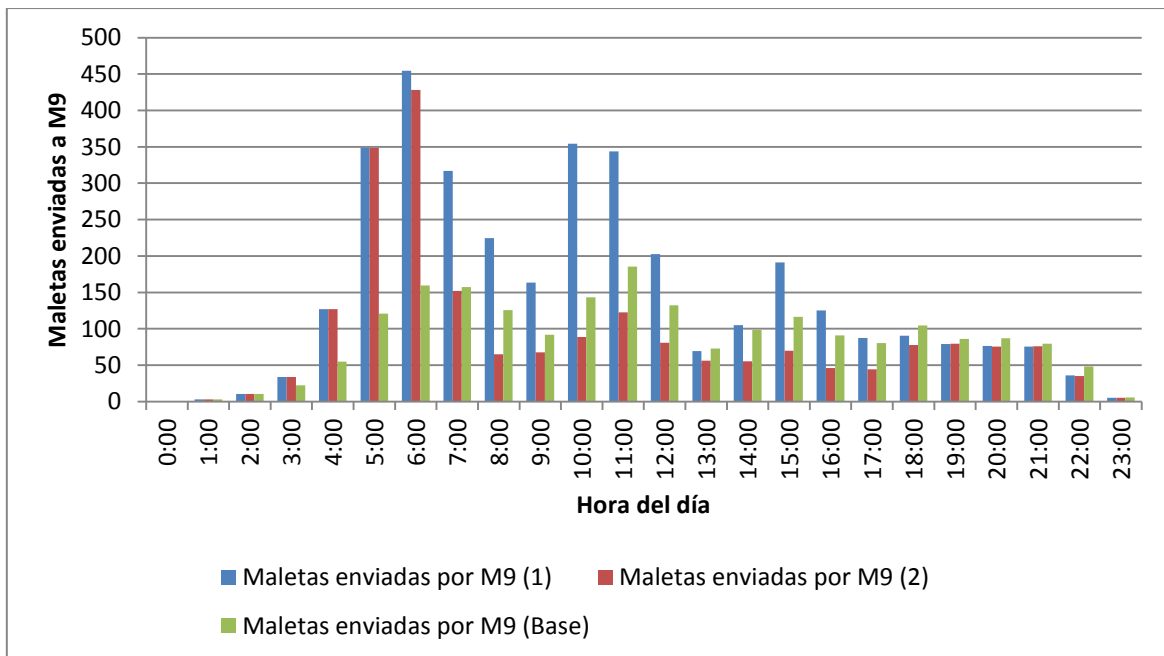


Figura 62 - Maletas enviadas a M9 de los diferentes escenarios

Mientras que la carga de maletas para los vuelos nacionales de LAN en comparación al funcionamiento normal del colector es la siguiente:

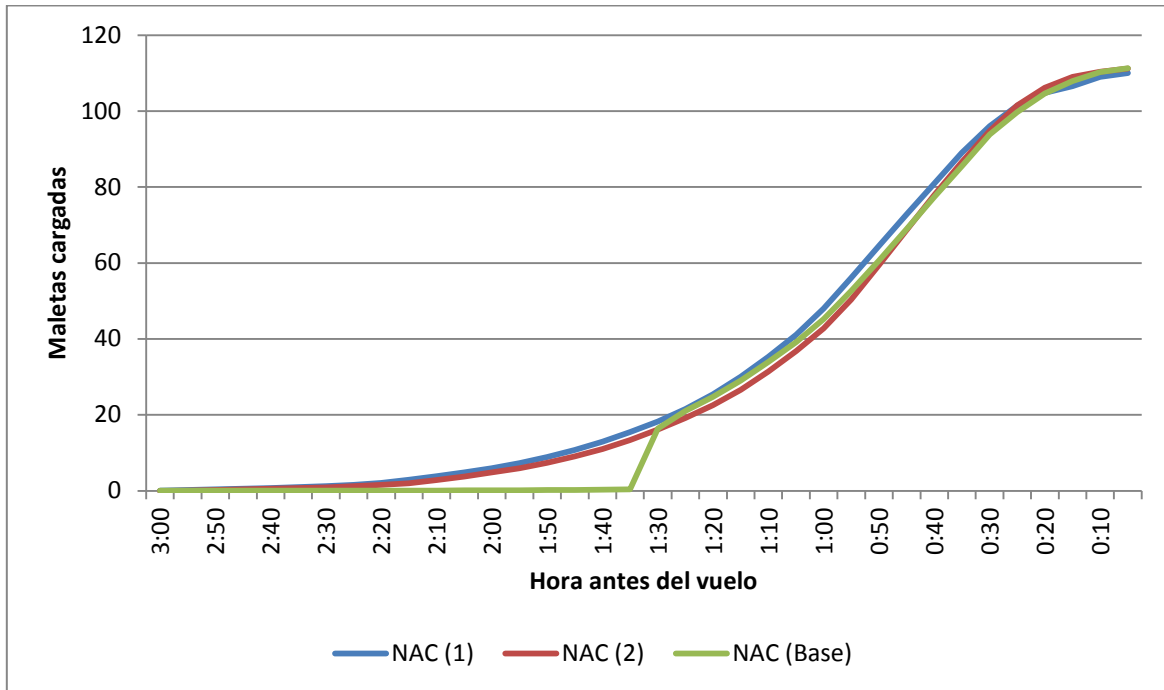


Figura 63 - Carga de maletas en vuelos internacionales de LAN

Considerando que los carruseles se encuentran funcionando, este perfil de carga considera el tiempo que toma llevar las maletas desde el *oversize* y M9 hacia los carruseles internacionales.

La siguiente tabla muestra la cantidad de maletas por cargar en los últimos 30 minutos para cada escenario:

Tabla 27 - Comparación de las maletas por cargar últimos 30 minutos para vuelos nacionales de LAN

Minutos antes del vuelo	NAC (Base)	NAC (1)	NAC (2)
0:30	17	15	17
0:25	11	10	11
0:20	6	6	6
0:15	3	4	3
0:10	1	2	1
0:05	0	1	0

Al aumentar el flujo de maletas desde T3 a M9, el impacto sobre la carga de maletas de los vuelos internacionales de LAN es baja, pues las maletas que van del colector T1 y T2 a M9 tienen prioridad sobre las maletas que van a de T3 a M9 (por diseño del sistema BHS). El siguiente gráfico muestra el impacto en los vuelos internacionales de aumentar el flujo hacia M9 desde T3.

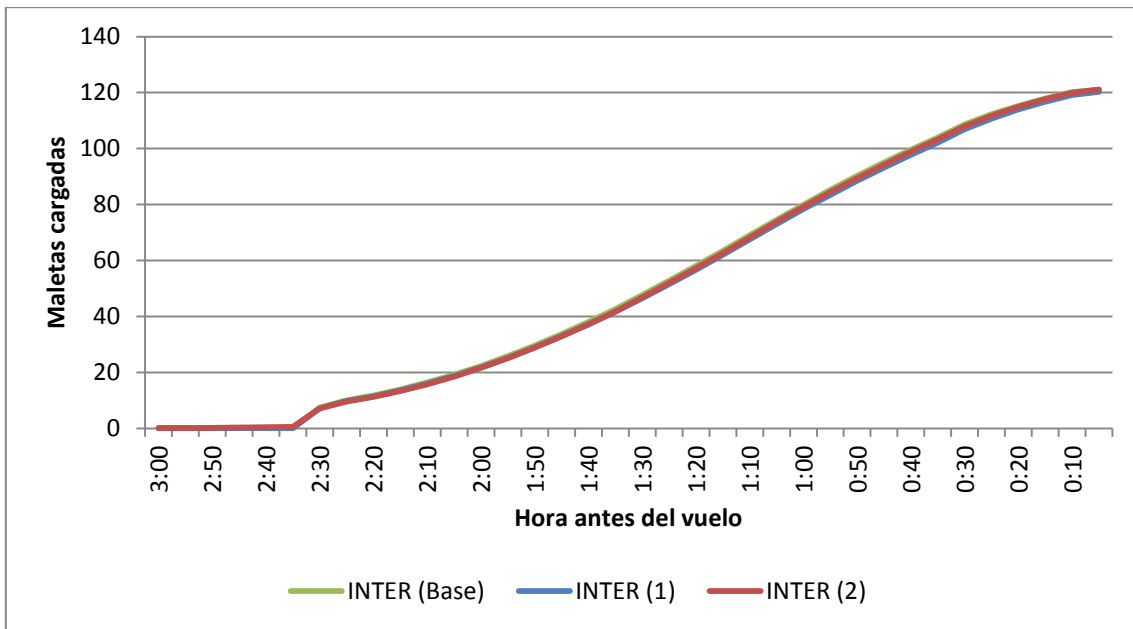


Figura 64 - Carga de maletas en vuelos internacionales de LAN

Por otra parte, el gráfico siguiente muestra que tampoco hay efectos sobre los vuelos con destino a EEUU de LAN:

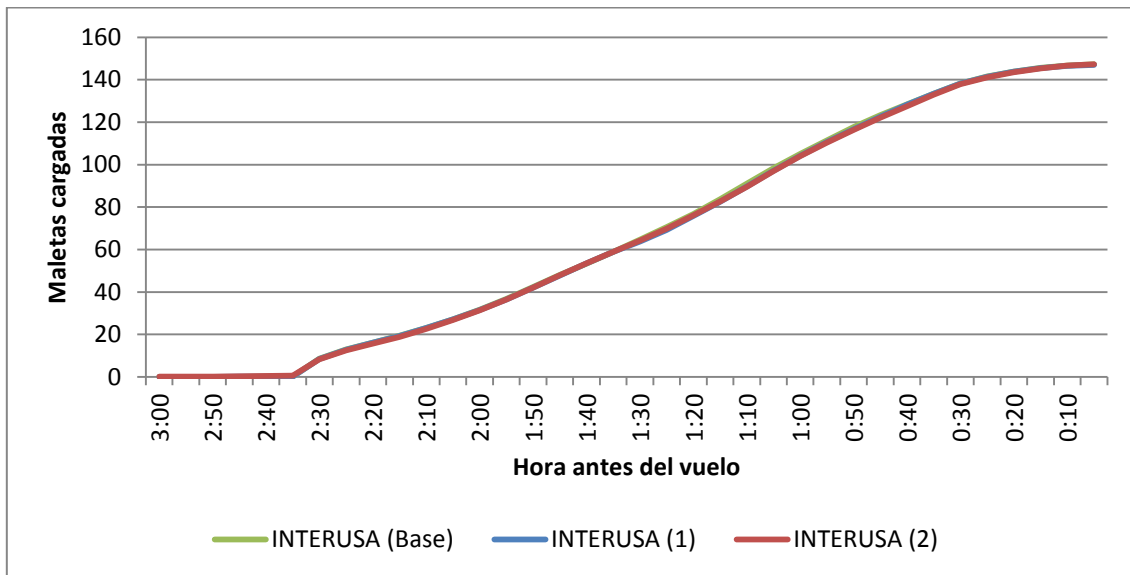


Figura 65 - Carga de maletas en vuelos a EEUU de LAN

Considerando todo lo anterior, en la tabla siguiente se muestra un resumen de ambas propuestas:

Tabla 28 - Resumen de indicadores de las propuestas ante la falla del escáner N2 en T3

	<u>Propuesta 1</u>	<u>Propuesta 2</u>
	<u>OS: CCP, ZCO y PMC</u> <u>M9: Resto de los vuelos</u>	<u>OS: PMC, CCP, CPO y LSC</u> <u>M9: Resto de los vuelos</u>
Máximo uso de <i>oversize</i> (entre las 7:00-8:00 y 11:00-12:00)	85%	120%
Máximo uso de <i>oversize</i> (resto del día)	69%	95%
Máximo uso de <i>oversize</i> sólo bajando maletas (entre las 7:00-8:00 y 11:00-12:00)	70%	104%
Máximo uso de <i>oversize</i> sólo bajando maletas (resto del día)	55%	85%
Máximo de maletas enviadas a M9	454	428
Maletas por cargar a los 15 minutos antes de la salida del vuelo nacional	4	3
Maletas por cargar a los 10 minutos antes de la salida del vuelo nacional	2	1
Maletas por cargar a los 5 minutos antes de la salida del vuelo nacional	1	0

En síntesis, la política a seguir si el escáner de la T3 falla depende del momento del día en que se produzca:

- 7:00-8:00 o 11:00-12:00: Si la contingencia ocurre en estos tramos horario, lo mejor es utilizar la propuesta 1 al usar eficientemente la cinta de *oversize* para bajar maletas al patio de equipajes y subir bandejas al sector de *counters*. Además, la propuesta 2 presenta problemas de capacidad en estos horarios que la vuelven inutilizable en estos horarios.
- Resto del día: Si la contingencia ocurre en cualquier otro tramo horario, lo mejor es utilizar la propuesta 2 al usar eficientemente la cinta de *oversize* para bajar maletas al patio de equipajes y subir bandejas al sector de *counters*.

4.5. Mejores políticas ante contingencias

A continuación se muestran las mejores políticas a seguir ante una contingencia en vuelos internacionales:

Tabla 29 – Resumen de propuestas para enfrentar contingencias en vuelos internacionales

Tipo Vuelo	Tipo Contingencia	Solución Contingencia	
Internacional	Falla un carrusel en T2	Falla carrusel entre 00:00 y 11:40	Enviar todo el equipaje al carrusel operativo.
		Falla carrusel entre 11:40 y 13:20	Enviar por <i>oversize</i> equipaje de vuelos con destino a: <ul style="list-style-type: none"> – Ezeiza (EZE) – Córdoba (COR) – Mendoza (MDZ) – Sao Paulo (GRU) Enviar por el carrusel operativo equipaje del resto de los vuelos internacionales.
		Falla carrusel entre 13:20 y 15:30	Enviar todo el equipaje al carrusel operativo.
		Falla carrusel entre 15:30 y 16:30	Enviar por <i>oversize</i> equipaje de vuelos con destino a: <ul style="list-style-type: none"> – Ezeiza (EZE) – Córdoba (COR) – Mendoza (MDZ) – Sao Paulo (GRU) Enviar por el carrusel operativo equipaje del resto de los vuelos internacionales.
		Falla carrusel entre 16:30 y 24:00	Enviar todo el equipaje al carrusel operativo.
		Falla el colector T2	Se envía el equipaje de los 3 siguientes vuelos internacionales que salen por <i>oversize</i> . Mientras que el equipaje de los vuelos a EEUU se envían de forma normal por <i>oversize</i> .
	Falla escáner nivel 2 en el colector T2	Enviar por M9 equipaje los de vuelos con destino a: <ul style="list-style-type: none"> – Ezeiza (EZE) – Córdoba (COR) – Mendoza (MDZ) – Sao Paulo (GRU) Enviar por <i>oversize</i> equipaje del resto de los vuelos internacionales.	

Por otra parte, se muestran las mejores políticas ante una contingencia en vuelos nacionales son:

Tabla 30 - Resumen de propuestas para enfrentar contingencias en vuelos nacionales

Tipo Vuelo	Tipo Contingencia	Solución Contingencia	
Nacional	Falla un carrusel en T3	Enviar todo el equipaje al carrusel operativo.	
	Falla el colector T3	Se envía equipajes de los 3 siguientes vuelos nacionales que salen por <i>oversize</i> .	
	Falla escáner nivel 2 en colector T3	Falla escáner entre las 0:00 y 7:00	Enviar por <i>oversize</i> equipaje de vuelos con destino a: <ul style="list-style-type: none"> - Concepción (CCP) - Puerto Montt (PMC) - La Serena (LSC) - Copiapó (CPO) Enviar a M9 equipaje del resto de los vuelos nacionales.
		Falla escáner entre las 7:00 y 8:00	Enviar por <i>oversize</i> equipaje de vuelos con destino a: <ul style="list-style-type: none"> - Concepción (CCP) - Temuco (ZCO) - Puerto Montt (PMC) Enviar a M9 equipaje del resto de los vuelos nacionales.
		Falla escáner entre las 9:00 y 11:00	Enviar por <i>oversize</i> equipaje de vuelos con destino a: <ul style="list-style-type: none"> - Concepción (CCP) - Puerto Montt (PMC) - La Serena (LSC) - Copiapó (CPO) Enviar a M9 equipaje del resto de los vuelos nacionales.
		Falla escáner entre las 11:00 y 12:00	Enviar por <i>oversize</i> equipaje de vuelos con destino a: <ul style="list-style-type: none"> - Concepción (CCP) - Temuco (ZCO) - Puerto Montt (PMC) Enviar a M9 equipaje del resto de los vuelos nacionales.
		Falla escáner entre las 12:00 y 24:00	Enviar por <i>oversize</i> equipaje de vuelos con destino a: <ul style="list-style-type: none"> - Concepción (CCP) - Puerto Montt (PMC) - La Serena (LSC) - Copiapó (CPO) Enviar a M9 equipaje del resto de los vuelos nacionales.

5. Conclusiones

Se construyó una herramienta de simulación del sistema de manejo de equipajes del Aeropuerto de Santiago (considerando 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, el cual posee muchos procesos que interactúan entre sí. Además, este simulador permite analizar alternativas hipotéticas de operación en el patio de equipajes y en *counters*, así como medir distintos indicadores de rendimiento del sistema bajo diversas modalidades de operación.

Lo novedoso de esta herramienta es que se construyó sobre una plataforma de simulación destinada a simular el tráfico urbano, lo cual permitió analizar en forma muy precisa la complejidad del sistema BHS.

Una vez calibrada la herramienta, potencialmente es posible utilizarla para muchas aplicaciones interesantes, en particular la simulación de operaciones hipotéticas de escenarios de operación reales con el objeto de entender y cuantificar el impacto de diversas medidas de acción, y su impacto sobre los distintos indicadores del sistema. De tales resultados, es posible plantear políticas de operación para hacer más eficiente y ordenada la operación del sistema, así como tomar los resguardos necesarios y prepararse adecuadamente para hacerse cargo de situaciones de contingencia, las que en la realidad ocurren frecuentemente en períodos de alta demanda e intensidad de uso del sistema.

Por ejemplo, se logró cuantificar el impacto en la disminución de las maletas que se quedan en tierra al aumentar la cantidad de equipajes que son enviados con bandejas desde los *counters*, donde el simulador pronosticó un 40% menos de maletas que no iban a ser cargadas en sus respectivos vuelos. Esta política se implementó en una experiencia piloto, mostrando disminuciones en la cantidad de maletas que no son cargadas en los vuelos similares a lo pronosticado por la herramienta de simulación, validando los resultados pronosticados por el simulador.

Lo anterior resultó en la compra de más bandejas y la creación de nuevas reglas para enviar una mayor tasa de equipajes con bandejas desde los *counters*. Además, se crearon nuevos procedimientos y roles para enviar las bandejas desde el patio de equipajes hacia el sector de *counters* a través de la cinta *oversize*.

Otro fenómeno estudiado, y que está en proceso de implementación, es la mejor política de operación con los equipajes en conexión. Donde se pudo medir el impacto en los tiempos de carga de maletas de las diferentes formas de operar, concluyéndose que la mejor operación se obtiene al procesar primero los equipajes que tienen que estar en el avión en 120 minutos o menos.

Además, el simulador permitió analizar el impacto de la cantidad de maletas en tierra al producirse las siguientes contingencias:

- Falla un carrusel todo el día.
- Falla el colector todo el día.
- Falla escáner de nivel 2 en una T todo el día.

Estas contingencias fueron estudiadas para el colector T2 (que procesa los vuelos internacionales de LAN) y para el colector T3 (que procesa los vuelos nacionales de LAN), utilizando escenarios de alta demanda e intensidad de uso del sistema. Esto permite que las políticas resultantes sean robustas ante diferentes escenarios.

Las políticas resultantes para enfrentar las contingencias logran procesar todas las maletas esperadas ante un funcionamiento normal del sistema. Por lo que es posible minimizar el impacto de las contingencias en la cantidad de maletas que no logran ser cargadas al avión.

Otro punto interesante es que el simulador demostró ser una herramienta que permite tomar decisiones tácticas sobre la operación del sistema sin la necesidad de interferir en las operaciones normales del aeropuerto. Es decir, el simulador permite probar diversos escenarios de operación y seleccionar los que son más prometedores para luego testarlos en un piloto. Esto se traduce en una reducción en las intervenciones al sistema.

En síntesis, se procesaron 120 escenarios distintos, equivalente a 12.000 simulaciones. Las 12.000 simulaciones consumieron 6.000 horas de CPU, o 250 días simulando escenarios en un computador con un procesador. Afortunadamente se utilizó un computador con 6 procesadores en paralelo, equivalente a 42 días continuos simulando escenarios.

Se propone como trabajo futuro de investigación realizar el *scheduling* de los agentes de *counters* y del personal de Andes en el sector de *counters*, desarrollar una asignación dinámica del personal para enfrentar contingencias, entre otros.

Para finalizar, se puede concluir que el presente trabajo logra cumplir el objetivo general al identificar los procesos críticos y proponer mejoras de corto y mediano plazo en el aeropuerto de Santiago. Además, alcanza los objetivos específicos al proponer políticas de mejoras en el sector de *counters* y conexiones, y políticas de operación para enfrentar diferentes fallas en el sistema BHS del aeropuerto.

6. Glosario

Sigla	Definición
Aerotech	Empresa encargada de mantener el sistema BHS del aeropuerto de Santiago.
BHS	Del inglés <i>Baggage Handling System</i> (sistema de manejo de equipajes).
CTR	Central de transferencias; ubicada en el patio de equipajes.
Diverter	Mecanismo del BHS que desvía hacia su M correspondiente un equipaje que baja desde el frente de <i>counters</i> .
EOP	Coordinador de vuelo.
Escáner N2	Máquinas de rayos X ubicadas en cada T para la revisión de seguridad de los equipajes.
HHT	Del inglés <i>Handheld Terminal</i> (pistola lectoras de códigos de barra).
ISV	Información de salida de vuelo.
Itinerario	Programación de la llegada y salida de vuelos en el aeropuerto.
L3	Cinta que lleva el equipaje catalogado como sospechoso o con pérdida de tracking desde la T de origen hasta los niveles de seguridad superior y finalmente a M9.
Layout	Configuración del frente de <i>counters</i> : número de corrales, cantidad de <i>counters</i> asociados a cada corral y M de destino del equipaje que entra al corral.
M (M1-M8)	Nombre dado a los carruseles donde llegan las maletas para ser llevadas a los aviones.
M9	Carrusel de destino para el equipaje que el sistema considera sospechoso o que pierde el tracking.
MCT	Mínimo tiempo de conexión.
PEQ	Patio de equipajes.
PJ	Cinta que transporta el equipaje de primera clase.
RL	Sigla con que se denominan los reclamos hechos por los pasajeros.
RX	Máquinas de rayos X.
SAT	Denominación que agrupa a todas las compañías que atiende Andes excluyendo a LAN.
SEQ	Servicio de equipaje.
T (T1-T4)	Cada uno de los cuatro subsistemas principales del BHS. Una T incluye 28 <i>counters</i> , un escáner de seguridad N2 y dos carruseles.
TEF	Tiempos de espera promedio en filas, en las colas de los <i>counters</i> .

7. Referencias

- Cavada, J. (2012). Modelos de simulación y asignación de personal para manejo de equipajes en un aeropuerto internacional. Tesis de Magíster en gestión de operaciones. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.
- Chun, H., Mak, R. (1999). Intelligent resource simulation for an airport check-in counters allocation system. *IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics—PART C: Application and reviews* 29, No.3.
- Gosling, G.D. (1979). An economic framework for the planning of airport passenger terminals. Ph.D. Dissertation, Civil Engineering and Institute of Transportation Berkeley, UCB-ITS—DS-79-1.
- Joustra, P., Van Dijk, N. (2001). Simulation of check-in at airports. *Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference*.
- Kleijnen, J. P. C. (1987). *Statistical tools for simulation practitioners*. New York: Marcel Dekker.
- Law, A. M. (2006). *Simulation modeling and analysis*. 4th Ed. McGraw-Hill.
- Naylor, T. H., Finger, J. M. (1967). Verification of computer simulation models. *Management Science*, 14 (2): B92-B101.
- Park, Y., Ahn, S. (2003). Optimal assignment for check-in counters based on passenger arrival behaviour at an airport. *Transportation Planning and Technology* 26, No. 5: 397-416.
- Parsons, R.M. (1976). The apron and terminal building. Planning Report. Report FAA—RD—75—191, July 1975, Revised March 1976.
- Parsons, R.M. (1971). *Baggage Handling: Final Report*. Department of Transportation, Office of Facilitation, Washington D.C.
- Sargent, R. (2005). Verification and validation of simulation model. *Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference*.
- Suárez, A. (2012). Levantamiento y propuestas de rediseño de procesos del patio de equipajes en el aeropuerto de Santiago. Memoria de Ingeniero Civil Industrial. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.
- Tanner, J.H. (1966). A queuing model for departure baggage handling at airports. Graduate Report, Institute of Transportation Studies, U.C. Berkeley, ITTE—GR—1966:10.
- Van Dijk, N., Van Der Sluis, E. (2005). Check-in computation and optimization by simulation and IP combination. *European Journal of Operational Research*, 171: 1152-1168.

8. Anexos

Anexo A: Escenarios adicionales cargados en el simulador para encontrar la mejor política a seguir al fallar escáner de nivel 2 en el colector T3 (LAN nacional)

Tabla 31 - Descripción de escenarios adicionales analizados al fallar escáner de nivel 2 en colector T3 (LAN nacional)

ID Escenario	Destino	Descripción
E13C	A OS	-Vuelos norte menos ARI, ANF -Vuelos sur solo CCP,ZCO PMC
	A M9	- ARI,ANF - Sur menos (CCP,ZCO y PMC)
E13D	A OS	-Vuelos norte menos ARI, ANF y CJC -Vuelos sur solo CCP,ZCO PMC
	A M9	- ARI,ANF y CJC - Sur menos (CCP,ZCO y PMC)
E13E	A OS	-Vuelos norte menos ARI, ANF, IQQ -Vuelos sur solo CCP,ZCO PMC
	A M9	- ARI,ANF, IQQ - Sur menos (CCP,ZCO y PMC)
E13F	A OS	-Vuelos norte menos ARI, ANF, IQQ y CJC -Vuelos sur solo CCP,ZCO PMC
	A M9	- ARI,ANF,IQQ y CJC - Sur menos (CCP,ZCO y PMC)
E13H	A OS	-Vuelos norte menos ARI, ANF, IQQ y CJC -Vuelos sur solo CCP PMC
	A M9	- ARI,ANF,IQQ y CJC - Sur menos (CCP y PMC)
E13G	A OS	-Vuelos norte menos ARI, ANF, IQQ y CJC -Vuelos sur solo ZCO PMC
	A M9	- ARI,ANF,IQQ y CJC - Sur menos (ZCO y PMC)
E13I	A OS	-Vuelos sur solo ZCO CCP PMC
	A M9	- TODO norte - Sur menos (ZCO CCP PMC)

Anexo B: Detalle de las bandejas a utilizar en cada sector de trabajo del sector de *counters*

Tabla 32 - Análisis del stock de bandejas necesario por hora en el sector de trabajo T1, equipaje LAN

T1 - equipaje procesado por LAN						
Hora inicio	Hora fin	Stock inicial	Demanda	Stock remanente	Disponibles del patio de equipaje para el próximo Periodo	Minutos cinta oversize (min)
4:00	4:59	289	0	289	47	0.9
5:00	5:59	336	95	241	0	0.0
6:00	6:59	241	216	25	179	3.6
7:00	7:59	204	184	20	96	1.9
8:00	8:59	116	0	116	85	1.7
9:00	9:59	201	26	175	17	0.3
10:00	10:59	193	84	109	80	1.6
11:00	11:59	189	91	98	126	2.5
12:00	12:59	224	167	57	70	1.4
13:00	13:59	127	12	115	53	1.1
14:00	14:59	168	68	100	46	0.9
15:00	15:59	146	102	44	52	1.0
16:00	16:59	96	0	96	76	1.5
17:00	17:59	171	10	161	48	1.0
18:00	18:59	209	160	49	2	0.0
19:00	19:59	51	1	50	0	0.0
20:00	20:59	50	0	50	0	0.0
21:00	21:59	50	0	50	0	0.0
22:00	22:59	50	0	50	0	0.0

Tabla 33 - Análisis del stock de bandejas necesario por hora en el sector de trabajo T2, equipaje LAN

T2 - equipaje enviado por LAN						
Hora inicio	Hora fin	Stock inicial	Demanda	Stock remanente	Disponibles del patio de equipaje para el próximo Periodo	Minutos cinta oversize (min)
4:00	4:59	266	73	193	206	4.1
5:00	5:59	399	251	148	290	5.8
6:00	6:59	438	416	22	534	10.7
7:00	7:59	556	536	20	492	9.8
8:00	8:59	512	466	46	244	4.9
9:00	9:59	291	165	126	203	4.1
10:00	10:59	329	263	66	267	5.3
11:00	11:59	332	262	70	315	6.3
12:00	12:59	386	354	32	412	8.2
13:00	13:59	444	410	34	318	6.4
14:00	14:59	352	127	225	224	4.5
15:00	15:59	449	219	230	319	6.4
16:00	16:59	549	375	174	371	7.4
17:00	17:59	545	271	274	339	6.8
18:00	18:59	613	277	336	365	7.3
19:00	19:59	701	297	404	381	7.6
20:00	20:59	785	342	443	404	8.1
21:00	21:59	847	452	395	183	3.7
22:00	22:59	578	31	547	7	0.1

Tabla 34 - Análisis del stock de bandejas necesario por hora en el sector de trabajo T2, equipaje TAM

T2 - equipaje enviado por TAM						
Hora inicio	Hora fin	Stock inicial	Demanda	Stock remanente	Disponibles del patio de equipaje para el próximo Periodo	Minutos cinta oversize (min)
4:00	4:59	282	64	218	13	0.3
5:00	5:59	231	158	73	52	1.0
6:00	6:59	125	104	21	0	0.0
7:00	7:59	21	1	20	94	1.9
8:00	8:59	114	0	114	14	0.3
9:00	9:59	127	1	126	14	0.3
10:00	10:59	140	21	119	38	0.8
11:00	11:59	157	100	57	37	0.7
12:00	12:59	94	58	36	133	2.7
13:00	13:59	169	0	169	5	0.1
14:00	14:59	174	5	169	5	0.1
15:00	15:59	173	29	144	5	0.1
16:00	16:59	149	76	73	24	0.5
17:00	17:59	97	44	53	4	0.1
18:00	18:59	57	1	56	0	0.0
19:00	19:59	56	0	56	0	0.0
20:00	20:59	56	0	56	0	0.0
21:00	21:59	56	0	56	0	0.0
22:00	22:59	56	0	56	0	0.0

Tabla 35 - Análisis del stock de bandejas necesario por hora en el sector de trabajo T3, equipaje LAN nacional al norte

T3 - equipaje vuelos al norte						
Hora inicio	Hora fin	Stock inicial	Demanda	Stock remanente	Disponibles del patio de equipaje para el próximo Periodo	Minutos cinta oversize (min)
4:00	4:59	386	207	179	66	1.3
5:00	5:59	245	185	60	242	4.8
6:00	6:59	302	281	21	215	4.3
7:00	7:59	236	216	20	235	4.7
8:00	8:59	255	100	155	160	3.2
9:00	9:59	315	102	213	131	2.6
10:00	10:59	344	160	184	190	3.8
11:00	11:59	374	223	151	199	4.0
12:00	12:59	350	181	169	202	4.0
13:00	13:59	371	85	286	139	2.8
14:00	14:59	425	226	199	82	1.6
15:00	15:59	280	260	20	272	5.4
16:00	16:59	293	264	29	215	4.3
17:00	17:59	244	186	58	164	3.3
18:00	18:59	222	122	100	220	4.4
19:00	19:59	320	293	27	253	5.1
20:00	20:59	280	253	27	119	2.4
21:00	21:59	146	116	30	159	3.2
22:00	22:59	189	65	124	51	1.0

Tabla 36 - Análisis del stock de bandejas necesario por hora en el sector de trabajo T3, equipaje LAN al sur

T3 - equipaje vuelos al sur						
Hora inicio	Hora fin	Stock inicial	Demanda	Stock remanente	Disponibles del patio de equipaje para el próximo Periodo	Minutos cinta oversize (min)
4:00	4:59	137	2	135	14	0.3
5:00	5:59	149	49	100	154	3.1
6:00	6:59	254	232	22	321	6.4
7:00	7:59	343	323	20	318	6.4
8:00	8:59	338	167	171	230	4.6
9:00	9:59	401	286	115	216	4.3
10:00	10:59	331	305	26	257	5.1
11:00	11:59	283	155	128	154	3.1
12:00	12:59	282	258	24	201	4.0
13:00	13:59	225	158	67	150	3.0
14:00	14:59	217	57	160	127	2.5
15:00	15:59	287	246	41	208	4.2
16:00	16:59	249	217	32	246	4.9
17:00	17:59	278	241	37	197	3.9
18:00	18:59	235	69	166	41	0.8
19:00	19:59	207	47	160	4	0.1
20:00	20:59	164	41	123	112	2.2
21:00	21:59	235	20	215	189	3.8
22:00	22:59	404	78	326	116	2.3

