

# Estudio para el Desarrollo de la Metodología de Medición de Tiempos de Espera

## **Junta de Aeronáutica Civil**

### Informe Final

05 de noviembre de 2015

## Índice de Contenidos

Resumen Ejecutivo .....	5
1 Introducción .....	9
2 Descripción del problema .....	11
3 Marco teórico.....	14
3.1 Índices de medición de tiempos de espera.....	14
3.2 Teoría de Colas .....	17
3.2.1 Definiciones.....	17
3.2.2 Tipos de cola.....	19
3.2.3 Cálculo de índices de tiempo de espera.....	23
3.3 Cálculo de tiempos de espera mediante aproximación de curvas.....	26
3.3.1 Metodología de aproximación de curvas de salida y llegada .....	26
3.3.2 Métodos de cálculo de tiempos de espera .....	30
4 Análisis y sistematización de metodologías .....	32
4.1 Comparación entre metodologías manuales y automáticas.....	32
4.2 Metodologías de medición manual.....	34
4.2.1 Medición directa de tiempos sobre intervalos fijos de pasajeros .....	36
4.2.2 Construcción de curvas de llegada y salida por conteo en cola.....	37
4.3 Metodologías de medición automática .....	37
4.3.1 Medición basada en identificación de pasajeros .....	38
4.3.2 Medición basada en conteo de pasajeros.....	39
5 Metodología actual .....	41
5.1 Períodos de muestreo .....	41
5.2 Método de cálculo.....	41
5.3 Análisis de la metodología actual.....	42
6 Metodología recomendada por ACI.....	45
6.1 Método definido por ACI según el tipo de cola .....	46

---

6.1.1	Sistemas de cola multicanal con fila única .....	46
6.1.2	Sistemas de cola multicanal con una fila por canal.....	47
6.1.3	Medición en colas vacías.....	47
6.2	Ventajas y desventajas del uso de la metodología ACI .....	48
7	Procesos en AMB y aplicabilidad de las metodologías .....	49
7.1	Procesos de emigración .....	49
7.1.1	Policía Internacional emigración .....	50
7.1.2	Control AVSEC Emigración .....	52
7.2	Procesos de inmigración .....	55
7.2.1	Pago de Reciprocidad .....	56
7.2.2	Policía Internacional inmigración .....	59
7.2.3	Control SAG/Aduana .....	60
7.3	Procesos de tránsito.....	63
7.3.1	Control AVSEC tránsito .....	63
7.4	Aplicabilidad de metodologías automáticas a controles del aeropuerto AMB .....	65
7.5	Variaciones de la demanda según temporada y periodo .....	67
7.5.1	Análisis de pasajeros entrantes y salientes.....	68
7.5.2	Patrones de llegada y salida de vuelos.....	69
8	Metodología propuesta para la medición y elaboración de índices.....	70
8.1	Metodología de medición automática .....	70
8.2	Metodología <i>ad hoc</i> de medición manual.....	71
8.2.1	Descripción de la metodología .....	72
8.2.2	Cálculo de tiempos de espera e índices .....	82
8.2.3	Comparación de tiempos de espera con valores de referencia.....	84
8.2.4	Plan de implementación de la metodología .....	85
8.2.5	Requerimientos para la implementación.....	90
9	Conclusiones .....	101



---

10	Bibliografía .....	105
	Anexos .....	106

## **Resumen Ejecutivo**

Para cumplir con su misión institucional, la Junta Aeronáutica Civil debe promover la facilitación del transporte aéreo internacional. Esta facilitación comprende el estudio y proposición de medidas para la eliminación de retrasos y disminución de los tiempos necesarios para realizar los trámites asociados a la emigración e inmigración de pasajeros. La mayor parte de estos retrasos se producen en la espera en las colas para realizar estos trámites. Por esta razón, se hace necesario conocer los tiempos de espera asociados, de modo de contar con antecedentes sólidos que permitan la promoción, a través de los organismos competentes, de medidas adecuadas de gestión sobre el sistema.

La Junta Aeronáutica Civil licitó un estudio para el desarrollo de la metodología de medición de tiempos de espera en los siguientes controles asociados a la emigración e inmigración de pasajeros de transporte aéreo internacional en el aeropuerto Arturo Merino Benítez: Policía Internacional, AVSEC, pago de impuesto de reciprocidad y control conjunto SAG/Aduana. DICTUC S.A. se adjudicó esta licitación.

El objetivo principal del estudio es definir una metodología de medición y cálculo de índices de tiempos de espera en las colas de los trámites anteriormente mencionados. Esta metodología debe ser implementable y generar parámetros comparables a los entregados por otras metodologías y/o estándares internacionales. Además, debe adecuarse a disposiciones internacionales y a la realidad y experiencia nacional.

Durante las visitas al aeropuerto, los consultores pudieron constatar que existe una alta variabilidad en la demanda de pasajeros por realizar los trámites. Existen periodos con bajos flujos de pasajeros (de menor demanda) y otros donde llegan grandes cantidades de personas en corto tiempo. Inevitablemente, bajo las condiciones actuales del aeropuerto, esto produce colas de espera en los trámites. También se pudo constatar que los controles poseen condiciones de operación bastante distintas entre sí.

Las metodologías de medición de tiempos de espera se pueden clasificar en metodologías automáticas y metodologías manuales. Las metodologías de medición automáticas suelen ser bastante convenientes por la cantidad de datos generados y por obtener datos continuamente y en forma inmediata, lo que permite la gestión en tiempo real del sistema. Por otro lado, las metodologías de medición manual son preferidas por ser más simples, rápidas y económicas de implementar.

Actualmente, SCL, la empresa que está terminando la concesión de operación del aeropuerto Arturo Merino Benítez, realiza diariamente mediciones del tiempo de espera en los distintos controles fronterizos del aeropuerto. La metodología actual de medición es manual, se realiza conteos de pasajeros atendidos y esperando en cola, y se calcula tiempos de espera a partir de Ley de Little<sup>1</sup>. Sin embargo, esta ley está mal aplicada y la metodología se basa en supuestos que no se cumplen en este caso. A partir de esta conclusión nace la necesidad de definir una nueva metodología de medición de tiempos de espera que considere las mejores prácticas internacionales y las actuales condiciones de operación de los controles del aeropuerto.

La ACI (Airports Council International) recomienda, por su parte, otra metodología de medición manual del tiempo de espera. Esta metodología, si bien es más difícil de aplicar que la actual, se ajusta a la realidad aeroportuaria y tiene la capacidad de proveer comparaciones con los resultados de otros aeropuertos. Sin embargo, los documentos públicos de la ACI (ACI, 2013; ACI, 2014a y ACI, 2014b) no entregan específicamente la metodología de cálculo necesaria para obtener los índices de tiempos de espera a partir de la metodología de medición que especifica.

Entre los resultados del estudio, los consultores recomiendan como primera opción metodologías de medición automática de tiempos de espera, debido a que en ellas se realiza mediciones continuas en el tiempo. El aeropuerto Arturo Merino Benítez cumple, o puede cumplir sin mayor dificultad, con la mayoría de las condiciones necesarias para implementar metodologías de medición automática. La principal desventaja de

---

<sup>1</sup> Resultado matemático de Teoría de Colas, detallado en el Anexo A del presente informe.

estas metodologías está en el alto costo de implementación respecto a los métodos manuales y en los costos de reinstalación que se debe incurrir frente a una modificación del *layout* del aeropuerto. Debido a lo anterior, se define una metodología manual *ad hoc*, que pudiera utilizarse en caso de no poder implementarse un sistema de medición automático.

Para el caso donde se opte no implementar una tecnología de medición automática, se recomienda una metodología de medición manual *ad hoc* a la situación de los controles fronterizos que son parte del presente estudio y que se basa en las mejores prácticas internacionales. La metodología *ad hoc* permite calcular todos los índices relacionados con tiempos de espera, tales como los tiempos de espera promedio, el tiempo máximo de espera y el porcentaje de pasajeros que espera más que cierto umbral fijado de antemano. Estos índices son utilizados por distintos organismos que establecen estándares de tiempos de espera, tales como los tiempos máximos de espera aceptables dados por el Manual de Desarrollo Aeroportuario de la DAP o con los tiempos de espera promedio medidos en el programa *ASQ Performance*.

Para identificar los periodos de medición se estudió la demanda de pasajeros entrantes y salientes del aeropuerto durante el año 2014. Se determinó que existen dos periodos de temporada alta: uno en los meses de enero y febrero y otro en el mes de julio. A nivel diario se tiene que, para los pasajeros salientes, existen dos periodos punta: uno entre 7:00 y 11:00 y otro entre 20:00 y 00:00. En el caso de los pasajeros entrantes solamente se tiene un periodo punta entre 6:00 y 12:00. Para los pasajeros de vuelos entrantes de México o Australia se tienen dos periodos punta: uno entre 6:00 y 7:00 y otro entre 10:00 y 13:00. No se dispuso de información suficiente para establecer la eventual existencia de periodos punta para los pasajeros en tránsito. Se ha estudiado el patrón de entrada y salida de vuelos salientes y entrantes, en sus respectivos periodos punta, en temporada alta y baja. Con ello, se ha determinado que en todos los casos existe una estructura por aerolínea que se repite diariamente, lo que permite anticipar momentos donde se producen peaks de llegada y salida de pasajeros, a partir de los itinerarios de vuelo.

En el presente informe, junto con la metodología de medición manual propuesta, se entrega un plan de implementación. Se sugiere considerar como período de medición el año completo (por lo que el plazo mínimo de ejecución de las mediciones es, también, un año) y subperíodos máximos mensuales (se sugiere utilizar unidades menores, en lo posible semanales, o, en su defecto quincenales). La duración recomendada para las mediciones es de una hora. Estas mediciones deben ser realizadas durante los periodos punta definidos previamente con la información de itinerarios e información en línea justo antes de las mediciones, pudiendo utilizarse un único período de una hora (la hora de mayor demanda del día) o varios períodos (cantidad prefijada según control); en este último caso, los resultados han de reportarse separadamente según control y período punta analizado.

Se entregan como parte de la propuesta metodológica manual los requerimientos necesarios para llevar a cabo las mediciones, incluyendo la conformación de los equipos necesarios para cada control. Se requiere que el personal de terreno sea capacitado para realizar el proceso de medición, de acuerdo al método de medición que vaya a utilizarse: en papel o digital. Se entregan indicaciones al respecto. Asimismo, se sugiere la realización de un período de pilotaje para ajustar el método. Por otro lado, se indica que se requiere un sistema computacional que pueda recibir, almacenar y procesar los datos, así como establecer procedimientos de validación de la información. Finalmente, se establece que, para llevar a cabo las mediciones, se debe contar con un presupuesto aproximado de 210 UF mensuales, en caso de considerar dos mediciones mensuales, es decir, subperíodos quincenales.

## 1 Introducción

La Secretaría General de la Junta Aeronáutica Civil (en adelante, JAC) tiene como misión ejercer la dirección superior de la aviación civil en Chile, gestionando políticas públicas que promuevan su desarrollo y, especialmente, el del transporte aéreo comercial nacional e internacional, con el fin de que exista la mayor cantidad de servicios aéreos accesibles, eficientes, competitivos, seguros y de calidad, en beneficio de los usuarios de este modo de transporte<sup>2</sup>.

Para cumplir su misión institucional, a la JAC le corresponde promover la facilitación del transporte aéreo comercial. Esto comprende la adopción de medidas que permitan simplificar y agilizar los trámites que deben realizar los usuarios del servicio en los controles fronterizos de emigración e inmigración, con el fin de eliminar retrasos y disminuir los tiempos que invierten en realizar estos trámites. Los mayores retrasos se producen en las colas de espera de los trámites<sup>3</sup>. Para poder tomar medidas adecuadas de gestión en las estaciones de atención donde se realizan trámites, es necesario conocer los tiempos de espera en cada cola de cada estación.

La JAC ha llamado a una licitación para la realización de un estudio para la definición de una metodología de medición de tiempos de espera en los siguientes controles asociados a la emigración e inmigración de pasajeros de transporte aéreo internacional en el aeropuerto Arturo Merino Benítez (en adelante, aeropuerto AMB): Policía Internacional (inmigración y emigración), AVSEC (en la emigración y para los pasajeros en tránsito), pago de Impuesto de Reciprocidad (en la inmigración) y control conjunto SAG/Aduana (en la inmigración). DICTUC S.A. se adjudicó esta licitación.

En el capítulo 2 se da una descripción del problema planteado y se revisa los objetivos del estudio. En el capítulo 3 se expone el marco teórico necesario para el análisis de las metodologías de medición de tiempos de espera y, en el capítulo 4, realiza un análisis general de las metodologías existentes. En este último caso, se compara las

---

<sup>2</sup> Misión institucional según <http://www.jac-chile.cl/quienes-somos/vision-mision-y-valores>

<sup>3</sup> Ver capítulo 3.1 del presente informe.

metodologías manuales y automáticas, y se analiza la metodología actualmente utilizada en AMB, dejando para un capítulo independiente el análisis de la metodología recomendada por la ACI en su *Guía de Medición Manual de Tiempos de Servicio de Proceso de Pasajeros y KPI* (ACI, 2013).

La problemática específica de las colas de los distintos controles objeto del presente estudio es detallada en el capítulo 7, donde se analiza también la aplicabilidad de las principales medidas recomendadas a cada caso. Al cierre de ese capítulo, se analizan las variaciones de demanda que se observan en el servicio según temporada y período.

En el capítulo 9 se exponen y analizan tanto la metodología automática sugerida por el consultor como primera opción, como la alternativa de metodología de medición manual *ad hoc* que se considera más recomendable como segunda opción. Esto, para el caso del específico del aeropuerto AMB y los controles analizados como parte de este estudio. Para esta última, se establece un plan de implementación detallado y los requerimientos humanos, técnicos, de espacio físico y presupuestarios correspondientes.

Finalmente, en los últimos dos capítulos se entregan conclusiones del estudio y referencias bibliográficas.

## 2 Descripción del problema

En esta sección se describe brevemente el problema en estudio, se entregan algunos detalles respecto del contexto que lo origina, y se presentan los objetivos generales y específicos.

De acuerdo al artículo 6 del Decreto con Fuerza de Ley N° 241<sup>4</sup>, corresponde a la JAC promover la facilitación del transporte aéreo internacional en Chile.

A nivel internacional, Chile suscribió el Convenio de Aviación Civil Internacional (en adelante, Convenio de Chicago) En Chile fue promulgado a través del Decreto N° 509 bis, del año 1947, del Ministerio de Relaciones Exteriores y publicado, en el Diario Oficial, en diciembre del año 1957<sup>5</sup>. De dicho convenio, particularmente de su artículo 22, se desprende su Anexo 9 sobre facilitación.

En términos generales, la facilitación en Chile debe propender a la implementación de las disposiciones del Anexo 9 del Convenio de Chicago. En particular, a los métodos recomendados 3.36 y 3.39, los cuales sugieren la adopción de medidas de facilitación de modo que los procesos de emigración e inmigración de pasajeros no tomen más de 60 y 45 minutos, respectivamente.

Las medidas de facilitación promovidas por la JAC deben tener en cuenta, además del Convenio de Chicago, su consistencia con la realidad nacional (por ejemplo, la normativa del Manual de Desarrollo Aeroportuario para terminales de pasajeros (DAP-MOP, 2011)).

El tiempo utilizado por un pasajero para realizar trámites se puede dividir en: tiempo de caminata, tiempo de espera en cola y tiempo de atención<sup>6</sup>. El tiempo más

---

<sup>4</sup> Decreto con Fuerza de Ley 241 de 1960, disponible en <http://www.jac-chile.cl/wp-content/uploads/2014/10/DFL-N%C2%BA-241.pdf>

<sup>5</sup> Disponible en <http://www.jac-chile.cl/wp-content/uploads/2014/10/Decreto-N%C2%BA-509-bis.pdf>

<sup>6</sup> Esta es una subdivisión amplia, en la cual se puede clasificar todas las partes del proceso de inmigración o emigración en subprocesos que comprenden tiempos en cola, atención y/o caminata. Por ejemplo, el retiro

susceptible a sufrir retrasos es el tiempo de espera en cola<sup>7</sup>. Es por esto que los índices más importantes e internacionalmente utilizados para medir objetivamente la calidad de la facilitación están relacionados con este tiempo.

SCL es la empresa que actualmente está terminando la concesión de operación del aeropuerto AMB. SCL realiza diariamente mediciones de los tiempos de espera en los distintos subprocesos relacionados con el transporte nacional e internacional de pasajeros en el aeropuerto. Para ello, encarga la medición de estos parámetros a una empresa particular. SCL pone a disposición estas mediciones a la JAC para su posterior análisis.

Desde el año 2009, la JAC elabora informes trimestrales de tiempos de espera basados en la información entregada por SCL, con el fin de proveer una herramienta útil a los organismos de control fronterizo, que permita la facilitación en los trámites de los pasajeros de transporte internacional. La información obtenida está relacionada con los subprocesos de inmigración y emigración de pasajeros internacionales en el aeropuerto AMB. Específicamente, se provee información relativa a los subprocesos de:

- Policía Internacional (PDI), en la inmigración y emigración.
- Control conjunto de SAG/Aduana, en la inmigración.
- Control de seguridad AVSEC de la DGAC, en la emigración y para pasajeros en tránsito.
- Pago de la *Tarjeta de Turismo* o *Impuesto de Reciprocidad* en la *Tesorería General de la República*<sup>8</sup>, en la inmigración.

---

de equipaje posee un tiempo de caminata hacia el carrusel, un tiempo de espera hasta tener acceso a la correa y un tiempo de servicio en el cual recibe y recoge su maleta.

<sup>7</sup> Para una explicación detallada, ver capítulo 3.1.

<sup>8</sup> Actualmente, este cobro sólo se realiza a los inmigrantes de nacionalidad australiana o mexicana.

La JAC ha observado la necesidad de contar con una nueva metodología para la medición de estos tiempos, que entregue índices que permitan capturar la situación actual de la operación de los subprocesos anteriormente mencionados, en periodos punta.

El objetivo principal del estudio fue elaborar una metodología para la medición de los tiempos de espera en fila para la atención de pasajeros en los controles fronterizos del Aeropuerto AMB, en los procesos de embarque y desembarque internacional, así como diseñar los requerimientos que serán necesarios para la aplicación y sistematización de la medición a partir de la metodología desarrollada, y la publicación y difusión de los resultados.

Para lograr el objetivo principal, se plantean los siguientes objetivos específicos:

- a) Contar con una metodología de medición de tiempos de espera que sea capaz de representar la real situación en el Aeropuerto AMB, tanto en temporada alta, como en temporada baja.
- b) Contar con una metodología que sea capaz de adaptarse a los cambios de temporada y horarios punta, o una metodología diferenciada para cada temporada u horario si fuere procedente.
- c) Contar con un sistema de medición que permita compararse con sistemas de medición exitosos extranjeros y estándares internacionales con niveles de tiempo óptimo, en busca de optimizar la calidad del servicio.
- d) Identificar las necesidades de recursos humanos, técnicos y presupuestarios para la implementación del sistema propuesto.

### 3 Marco teórico

En este capítulo se introducen los índices de medición de tiempos de espera como medida objetiva de los niveles de servicio asociados a la espera en los controles fronterizos de un aeropuerto. Se presentan los principales conceptos de Teoría de Colas necesarios para el análisis de las metodologías de medición de tiempos de espera. Finalmente, se muestra una metodología que, a partir de algunas mediciones en una cola durante un periodo acotado de tiempo, permite aproximar ciertas funciones que posibilitan el cálculo de índices de tiempos de espera.

#### 3.1 Índices de medición de tiempos de espera

De forma general, los tiempos asociados a los distintos trámites en un aeropuerto se pueden dividir en:

- **Tiempos de servicio**, tiempo de procesamiento o tiempo de atención para la realización de un trámite en una estación o subproceso; que corresponde al tiempo que demora cada estación en procesar el respectivo trámite que debe realizar un pasajero.
- **Tiempo de espera en la cola** asociada a dicho subproceso, que corresponde al tiempo desde que el pasajero ingresa a la cola de atención del subproceso, hasta que se inicia su atención.
- **Tiempos de traslado entre estaciones**, que corresponde al tiempo de viaje (la mayoría de las veces caminata), entre la salida de un pasajero de una estación hasta su ingreso a la cola de la siguiente.

La medición de índices basados en estos tiempos busca encontrar medidas objetivas de los niveles de servicio. Por un lado, los índices basados en tiempos permiten comparar el desempeño de los distintos subprocesos involucrados en la facilitación de viajes internacionales de un aeropuerto, entregando una herramienta de evaluación y gestión, de modo de identificar brechas con respecto a niveles de tiempos definidos como óptimos. Por otro, estos índices, al ser objetivos y consistentes con medidas

internacionales, permiten la comparación de la gestión de los procesos entre distintos aeropuertos o con otros estándares internacionales.

Dentro de los tiempos de caminata, tiempo de servicio y tiempo de espera en cola (en adelante, simplemente tiempo de espera), el último es el que:

- Tiene la mayor variabilidad entre distintos periodos (punta o fuera punta) y temporadas (alta o baja), y al interior de los mismos. En general, el tiempo de servicio no depende de la cantidad pasajeros en el aeropuerto. El tiempo de caminata puede variar producto de la congestión de pasajeros en las dependencias del aeropuerto, pero su variación no es significativa con respecto a la variación en los tiempos de cola. Ante congestión en los controles, al existir una mayor cantidad de pasajeros en el aeropuerto, las colas para realizar trámites crecen, causando una variación proporcional en los tiempos de espera.
- Genera mayor molestia en los usuarios: mientras los tiempos de proceso y caminata son obligatorios, el tiempo de espera en cola es un tiempo ocioso.
- Es más factible de reducir mediante una buena gestión de los puestos de control abiertos para realizar cada trámite: el tiempo de caminata difícilmente puede disminuirse sin realizar cambios a la infraestructura del aeropuerto (por ejemplo, ampliando y/o construyendo pasillos; o instalando pasillos o escaleras mecánicas) y el tiempo de servicio depende de la rapidez con que se pueda realizar el trámite, la cual tampoco es fácil de aumentar (se podría, por ejemplo, reducir la complejidad de las tareas dentro de cada trámite o implementar cambios tecnológicos, como la mejora en los escáneres documentos o de equipaje). En cambio, el tiempo de espera en un trámite puede disminuirse directamente abriendo más servidores de atención de pasajeros.

Dado que se requiere que el presente estudio entregue medidas objetivas y con valores comparables del desempeño de los controles fronterizos en lo que respecta a espera de sus usuarios, los índices basados en tiempos de espera se consideran los

más adecuados para medir el desempeño de los controles fronterizos del aeropuerto AMB.

Los índices más comunes relacionados con la medición de tiempos de espera son:

- **Tiempo promedio de espera de los usuarios.** Corresponde al promedio de los tiempos de espera de un conjunto de usuarios. Este conjunto puede ser, por ejemplo, los usuarios que entraron y salieron de la cola durante el intervalo de medición.
- **Tiempo máximo de espera de los usuarios.** Corresponde al máximo tiempo que esperó un usuario dentro de un conjunto de usuarios.

También pudiera resultar relevante considerar el **porcentaje de usuarios que esperaron más de cierto umbral de tiempo**, definiendo de antemano el umbral de tiempo y considerando todos los usuarios que entraron y salieron de la cola en ese período.

Cada tipo de índice tiene distintos usos. Los tiempos promedio buscan tener un indicador del tiempo esperado que un pasajero esperaría al utilizar el servicio dentro del intervalo de medición. Sin embargo, el tiempo promedio no captura la variabilidad en los tiempos, por lo que un pasajero podría llegar a esperar mucho tiempo más (o mucho menos) que el tiempo promedio de todos los pasajeros. El tiempo máximo de espera da un indicador del mínimo nivel de servicio que las instalaciones ofrecen a los usuarios; sin embargo, para ello sólo toma en cuenta la información de un usuario particular: el que esperó una mayor cantidad de tiempo. El aeropuerto podría tener buenas políticas de reacción frente a variaciones importantes en la demanda, de modo que el nivel de servicio ofrecido a este usuario no represente la realidad del aeropuerto. Por otro lado, los índices de tiempos de espera frecuentemente son utilizados para diseñar la capacidad de procesamiento, ya sea la capacidad estática (tamaño del espacio dedicado para albergar las filas) o dinámica (tasa de atención de los usuarios). Diseñar para el pasajero con peor tiempo puede resultar en el

sobredimensionamiento de las instalaciones cuando existe alta variabilidad en la demanda y las situaciones *peak* sólo ocurren escasas veces en el periodo de estudio.

### 3.2 Teoría de Colas

En las siguientes secciones se presentan conceptos fundamentales de la Teoría de Colas, entre ellos: algunas definiciones básicas, una clasificación de tipos de colas y la teoría que sustenta el cálculo de los tiempos de espera; la Ley de Little, un resultado importante de Teoría de Colas, se presenta en el Anexo A .

La Teoría de Colas es la rama de Investigación de Operaciones que estudia el comportamiento de las líneas de espera dentro de sistemas semi-cerrados, con entradas y salidas conocidas.

Para un sistema, o un subsistema dentro del mismo, la Teoría de Colas busca identificar, entre otros:

- Número de entes presentes en el sistema.
- Número de entes procesados por el sistema.
- Tasas o intervalos de entrada y salida de entes del sistema.
- Tasas o intervalos de proceso.
- Tasas de ocupación de las capacidades de cola o de servicio.

En Teoría de Colas se han obtenido importantes resultados a partir del supuesto de que las tasas de llegada y de atención de entes al sistema se comportan de acuerdo a ciertas distribuciones de probabilidad (Gazmuri, 1995).

#### 3.2.1 Definiciones

Durante el resto del informe se utilizarán varios conceptos relacionados con colas de servicio: la distinción entre fila y cola; la disciplina y aglomeración de una cola; y la regularidad de una fila. Estos conceptos se definen a continuación.

### **Fila y cola**

Para efectos del presente estudio es importante diferenciar los conceptos de *fila* y *cola*. Una cola es un sistema donde los pasajeros pueden esperar o ser atendidos. En cambio, una fila se refiere a una línea de espera. Una fila es una parte de un sistema de colas. Una cola puede incluir el o los servidores de atención, una fila no. Una cola puede tener sólo una fila, tal como se muestra en la figura 1 y la figura 2; o puede tener varias filas, tal como se muestra en la figura 3 y la figura 4.

### **Disciplina de una cola**

La disciplina de una cola es la manera en cómo sus usuarios son servidos. Las disciplinas más usuales son las FIFO (*First In First Out*), donde se sigue un orden tal que si un usuario llega antes que otro a la fila entonces sale antes de la misma, y LIFO (*Last In First Out*), donde si un usuario llega después que otro a la fila, entonces sale antes de la misma.

### **Regularidad de una fila**

Una fila regular es aquella que funciona lo más parecido posible a una fila teórica: con sólo una entrada y salida de usuarios de la misma; y con una disciplina constante. Posibles fuentes de irregularidad de una cola son:

- Un pasajero puede entrar al medio de la fila si es que otro pasajero le “reservó el puesto”.
- Un pasajero puede desertar en medio de la fila si es impaciente o si tiene alguna urgencia.
- En la fila hay usuarios mezclados con no usuarios (lo que ocurre, por ejemplo, en algunos tipos de servicio en que puede haber acompañantes junto a algunos pasajeros).
- Hay usuarios a los cuales les afecta el tiempo de espera en la fila, pero que no están presentes en ella. Por ejemplo, cuando hay un usuario realizando el pago de un trámite por varios usuarios, y estos últimos esperan fuera de la fila.
- Cuando hay pasajeros que pueden entrar directamente a ser servidos, sin entrar o salir de la fila. Por ejemplo, embarazadas, personas de la tercera edad

o, un caso que se da en algunos aeropuertos, donde se le da preferencia a pasajeros de vuelos que están a punto de partir.

Dado el tipo de servicio que presta cada uno de los controles del aeropuerto AMB, sus filas son generalmente regulares.

### **Aglomeración**

Una cola tiene una capacidad diseñada para albergar usuarios esperando a ser atendidos (eventualmente, la capacidad podría ser infinita). Se entiende por aglomeración a la relación entre el número de pasajeros presentes en la cola y su capacidad. Existe alta aglomeración cuando existen largos excesivos de cola, cercanos a su capacidad de diseño. En ocasiones, la aglomeración puede ser tan alta, que la cola supera su capacidad, saliendo del recinto que la alberga.

#### **3.2.2 Tipos de cola**

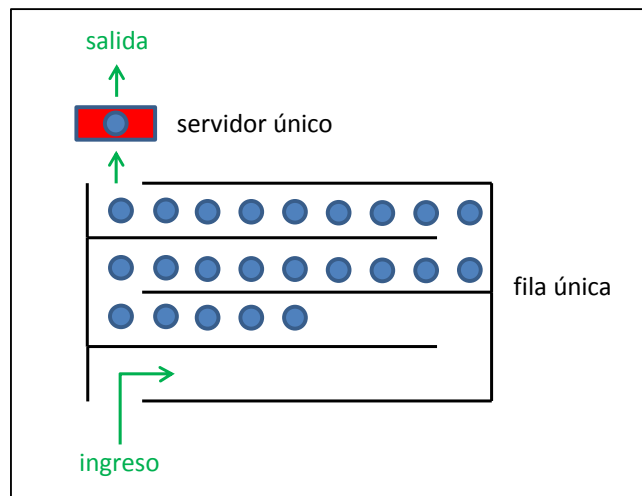
En la presente sección se definirán algunos tipos de cola en términos de los siguientes elementos:

- Cantidad de canales: se refiere a la cantidad de servidores o estaciones que proveen servicio a los usuarios del sistema.
- Cantidad de filas: se refiere a la cantidad de líneas de espera donde pueden permanecer los usuarios antes de ser atendidos.
- Configuración de los elementos del sistema de cola: se refiere a la disposición física y relación entre los elementos de una cola o eventuales subsistemas en un sistema principal de cola.

### **Sistema de cola monocanal**

Corresponde al sistema de cola más simple, que posee una única fila de atención, servida por una única estación de servicio. Cada usuario espera al principio de la fila para ser atendido por el servidor cuando se desocupe, tal como se muestra en la figura 1. En el caso de la figura, la fila única funciona con disciplina FIFO.

**Figura 1.** Sistema de cola monocanal con fila única y disciplina FIFO.  
**Fuente:** Elaboración propia

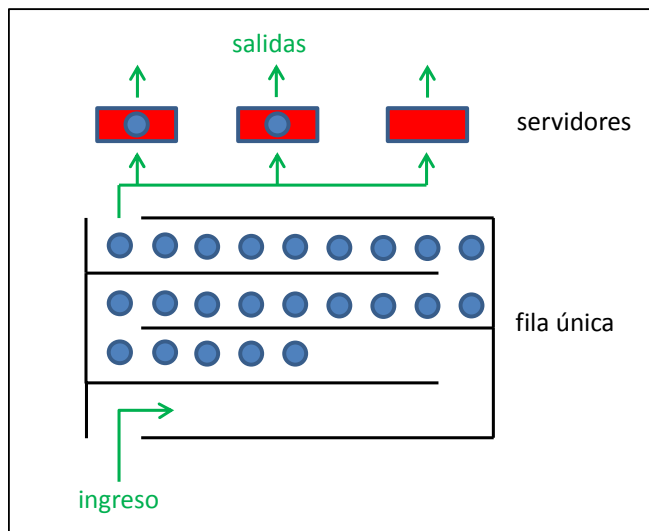


### **Sistema de cola multicanal con fila única**

Sistema de cola que posee una única fila de atención que desemboca en múltiples estaciones de servicio (servidores o canales de atención de usuarios). Cada usuario a ser atendido espera al principio de la fila y selecciona el primer módulo en ser desocupado, tal como se muestra en la figura 2. En el caso de la figura, la fila única funciona con disciplina FIFO.

**Figura 2.** Sistema de cola multicanal con fila única con disciplina FIFO.

**Fuente: Elaboración propia**

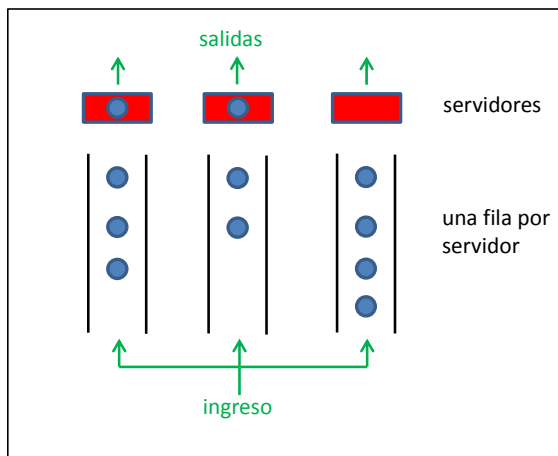


### Sistema de cola multicanal con una fila por canal

Sistema de cola con varias filas, donde cada fila desemboca en un servidor. Cada usuario selecciona una fila donde esperar su atención, tal como se muestra en la figura 3. En el caso de la figura, cada una de las filas funciona con disciplina FIFO.

**Figura 3.** Sistema de cola multicanal con una fila por canal y disciplina FIFO en cada canal.

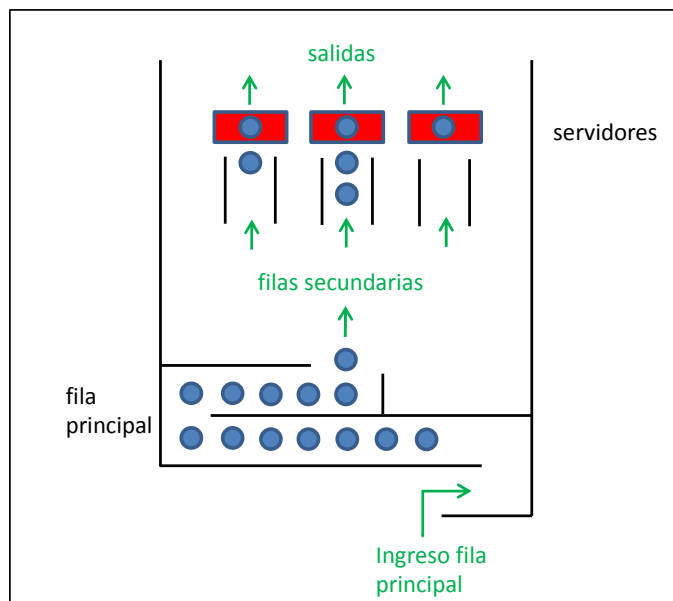
**Fuente: Elaboración propia**



### Sistema de cola multicanal con fila principal que desemboca en filas secundarias

Sistema de cola que posee una fila principal única de entrada de pasajeros que en un punto bifurca en varias filas secundarias, cada una las cuales lleva a una estación de servicio. Al llegar al inicio de la fila principal, el usuario debe seleccionar una fila secundaria. Al llegar al inicio de su fila secundaria, el usuario debe esperar su atención, tal como se muestra en la figura 4. En el caso de la figura, tanto la fila principal como las secundarias funcionan con disciplina FIFO. Sin embargo, por la disposición de las filas, un pasajero que llega antes que otro al sistema puede ser atendido después de este, por lo que el sistema como un todo no necesariamente tiene disciplina FIFO.

**Figura 4.** Sistema de cola multicanal con una fila principal que desemboca en filas secundarias.  
**Fuente:** Elaboración propia



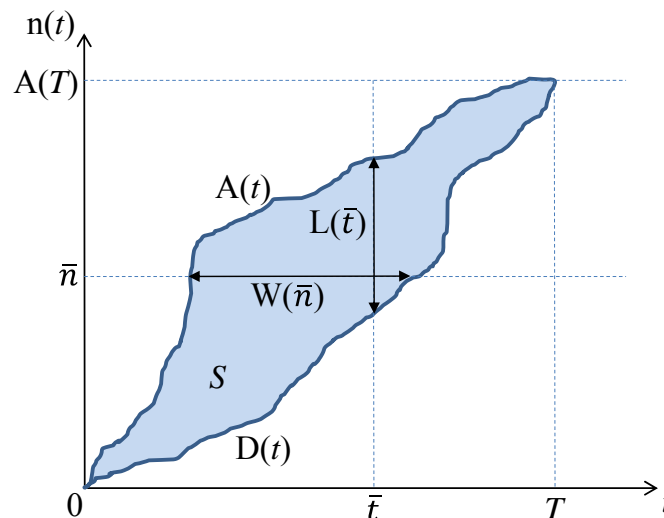
Cabe notar que el número de estaciones de servicio al inicio de cada fila secundaria no afecta el funcionamiento de las mismas, por lo que se podría tener múltiples canales de atención al final de cada fila secundaria, sin afectar el funcionamiento del sistema.

### 3.2.3 Cálculo de índices de tiempo de espera

En el gráfico de la figura 5 se muestra funciones de cantidad de pasajeros en función del tiempo  $t$ .  $n(t)$  es la definición genérica para cualquiera de estas funciones. La función  $A(t)$  representa el total de llegadas de pasajeros en el tiempo, y se conoce como curva de llegada (o entrada) de pasajeros, mientras que  $D(t)$  representa el total de atenciones de pasajeros y es conocida como curva de atención (o salida) de pasajeros. La diferencia entre ambas curvas  $A(t) - D(t)$  representa el largo de la cola en el instante  $t$ ,  $L(t)$ . Por ejemplo, en el gráfico se puede ver que, en el momento  $\bar{t}$ , el largo de la cola es  $L(\bar{t}) = A(\bar{t}) - D(\bar{t})$ .

El área entre las curvas de llegada y atención de pasajeros,  $S$ , representa la espera total de todos los individuos en la cola. Si se supone que la disciplina de la cola es FIFO, entonces la distancia horizontal entre ambas curvas representa el tiempo de espera de cada individuo  $n$  que llega al sistema. Por ejemplo, en el gráfico, el tiempo de espera del individuo  $\bar{n}$  es  $W(\bar{n})$ .

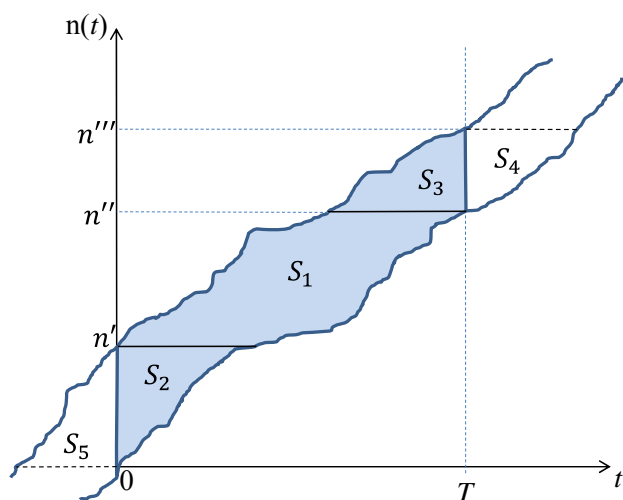
**Figura 5.** Curvas de llegada y salida de pasajeros con largo inicial y final nulo.  
**Fuente:** Elaboración propia



En el gráfico de la figura 5 el tiempo promedio de espera es el área entre ambas curvas dividida por la cantidad de usuarios atendidos en el sistema  $\frac{S}{A(t)}$ . Sin embargo, esto sólo se cumple si la cola comienza y termina vacía en el periodo de medición.

En la figura 6 se puede ver las curvas de llegada y salida de pasajeros para una fila cuyos largo final e inicial son no-nulos. El tiempo de espera total de los individuos entre 0 y  $n'''$  durante el intervalo de medición es el área entre ambas curvas es  $S_1 + S_2 + S_3$ . Sin embargo, con la información recopilada en el intervalo de medición  $[0, T]$  no es posible determinar (a) cuánto esperaron antes del periodo de medición los pasajeros que ya estaban en la cola al inicio del mismo, ni (b) lo que esperarán después del periodo de medición los pasajeros que quedan en espera después del mismo. Si la disciplina de la cola es FIFO, estos serían: (a) el tiempo total  $S_5$  que esperaron los pasajeros entre 0 y  $n'$ ; y (b) el tiempo total  $S_4$  que esperarán los pasajeros entre  $n''$  y  $n'''$ .

**Figura 6.** Curvas de llegada y salida de pasajeros con largo inicial y final no nulo.  
**Fuente:** Elaboración propia



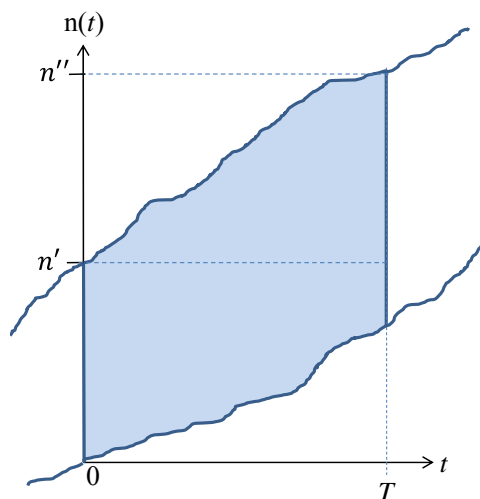
Independiente de la metodología de medición, sólo se puede saber el tiempo total que esperaron los pasajeros que llegaron y fueron atendidos dentro del intervalo de medición  $[0, T]$ . Si la disciplina de la cola es FIFO, el tiempo total esperado por estos

pasajeros (pasajeros entre  $n'$  y  $n''$ ) es el área  $S_1$ , por lo que el tiempo promedio de espera es  $S_1/(n'' - n')$ . Así, teniendo las curvas de salida y llegada de pasajeros (e implícitamente el largo de la fila) en el tiempo, si se supone que la disciplina del sistema de colas es FIFO, es posible calcular el *tiempo promedio de espera en el intervalo* para los pasajeros en  $[n', n'']$ . Además, es posible determinar el tiempo de espera de cada pasajero en  $[n', n'']$ , lo cual permite obtener distintos índices de tiempos de espera, tales como los mencionados en la sección 3.1.

Existe una situación límite en que no se puede calcular un tiempo promedio de espera. Es lo que se observa en la figura 7, donde no se observan pasajeros que logren entrar y salir de la cola dentro del intervalo de medición. En el gráfico se puede ver que, si la disciplina de la cola es FIFO, el primer pasajero que llega a la cola en el intervalo de medición  $[0, T]$  (el pasajero  $n'$ ) no alcanza a salir de la fila en el mismo periodo. Por ende, ninguno de los pasajeros que llegó en el periodo de medición (pasajeros entre  $n'$  y  $n''$ ) pudo salir de la fila en el mismo periodo, por lo que no se cuenta con tiempos de espera para calcular índices. En esta situación, se recomienda extender la duración de la medición para contar con pasajeros que atraviesen la cola durante el periodo.

**Figura 7.** Ejemplo de curvas de llegada y salida de pasajeros sin observaciones de tiempos de espera.

**Fuente: Elaboración propia**



### 3.3 Cálculo de tiempos de espera mediante aproximación de curvas

En la presente sección se presenta una metodología de cálculo de tiempos de espera a partir de aproximaciones de las curvas de llegada y atención de pasajeros, realizadas a partir de mediciones en la cola.

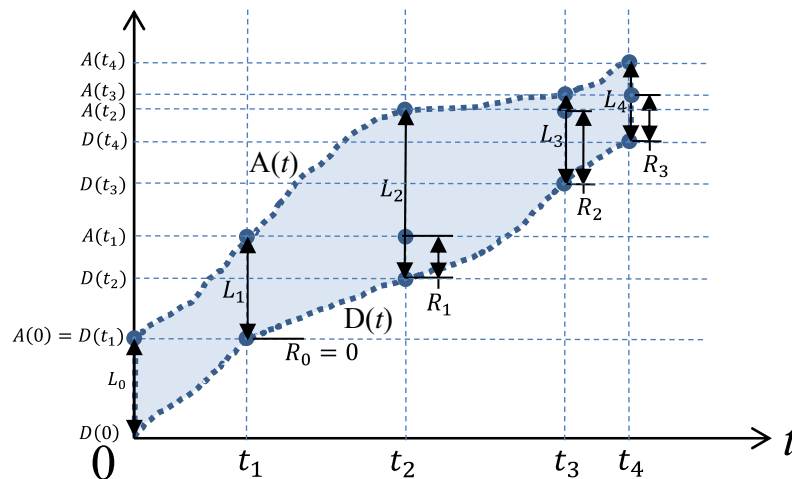
#### 3.3.1 Metodología de aproximación de curvas de salida y llegada

Las curvas de salida y llegada de pasajeros pueden ser aproximadas a partir de información obtenida de mediciones. Se puede suponer, por ejemplo, que se tiene un conjunto de observaciones de una cola, cada una en el instante  $t_i$ . En general, para la medición, se definirá de antemano un intervalo regular de tiempo entre observaciones (cantidad fija de minutos, definida acorde a la dinámica de la cola analizada). Al inicio de cada observación se identifica el último individuo de la cola y se cuenta la cantidad de individuos en ella,  $L_i$ . Al final de la observación se determina cuánto avanzó este individuo en términos de la cantidad de individuos que quedan sin atender delante de él. Esta última cantidad se denomina remanente de la cola  $R_i$ . Si el pasajero avanzó toda la fila hasta ser atendido, el remanente de la observación es nulo y la siguiente observación se debe realizar cuando el siguiente pasajero pase a ser atendido. Con estos datos  $t_i$ ,  $L_i$  y  $R_i$  es posible construir una aproximación de las curvas de llegada y salida de pasajeros de la fila.

En el ejemplo de la figura 8 se muestra las curvas  $A(t)$  y  $D(t)$  en líneas segmentadas, puesto que son funciones no conocidas en la medición. Se tiene cuatro observaciones que inician en  $t_0 = 0$ ,  $t_1$ ,  $t_2$  y  $t_3$ ; y terminan en  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$  y  $t_4$ , respectivamente. Al inicio  $t_i$  de cada una de estas observaciones se mide el largo de la fila  $L_i$ . Si al momento final de alguna observación el pasajero es atendido, ese será el momento de inicio de la siguiente observación, y el remanente de fila de la observación actual es nulo, tal como se muestra en la figura 8 tomando como ejemplo la primera observación. Por el contrario, en este ejemplo, en las observaciones que inician en  $t_1$ ,  $t_2$  y  $t_3$  terminaron antes de que el pasajero fuera atendido, quedando remanentes de fila  $R_1$ ,  $R_2$  y  $R_3$ , respectivamente. Al finalizar la última observación, en  $t_4$ , se mide el largo de la fila  $L_4$ . En la figura se puede notar que es posible obtener  $A(t_i)$  y  $D(t_i)$  para todas las

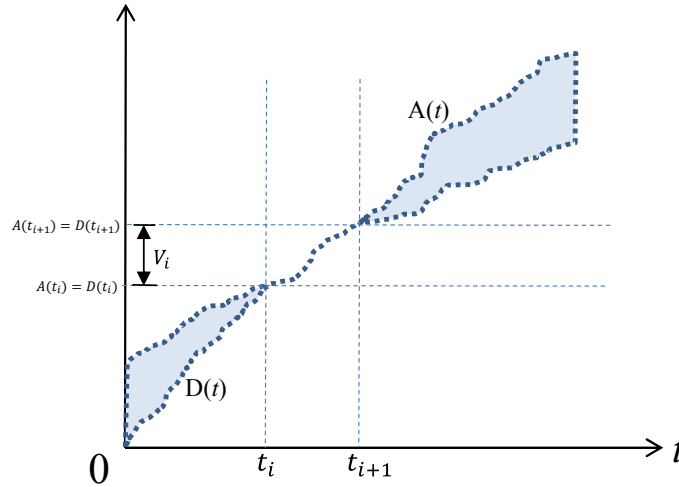
observaciones en  $t_0 = 0, t_1, t_2, t_3$  y  $t_4$ . Cabe notar que en este ejemplo la fila jamás queda vacía dentro del intervalo de medición.

**Figura 8.** Mediciones en curvas de entrada y salida de pasajeros.  
**Fuente:** Elaboración propia



En la figura 9 se muestra las curvas de llegada y atención de pasajeros para una cola que se queda vacía entre  $t_i$  y  $t_{i+1}$ . Los pasajeros que llegaron en este intervalo de tiempo no tuvieron que esperar tiempo en cola y fueron inmediatamente atendidos. Para efectos del cálculo de ciertos índices de tiempos de espera (por ejemplo, el tiempo promedio o el porcentaje de usuarios que espera más que cierto umbral) es necesario considerar que el tiempo de espera en cola de estas personas es cero, de modo de capturar el nivel de servicio ofrecido a todos los usuarios y no solamente a quienes tuvieron que hacer cola. Se llamará  $V_i$  a la cantidad de personas que llegaron entre  $t_i$  y  $t_{i+1}$ .

**Figura 9.** Mediciones en curvas de entrada y salida de pasajeros con periodo sin cola.  
**Fuente:** Elaboración propia



Con los valores de las mediciones en  $t_i$ , los largos de fila medidos  $L_i$ , los remanentes de fila  $R_i$  (iguales a cero si el pasajero en observación recorrió toda la fila) y las cantidades de pasajeros atendidos inmediatamente sin hacer cola  $V_i$  (iguales a cero si en la observación hay pasajeros en alguna fila), es posible determinar algunos puntos de las curvas  $A(t_i)$  y  $D(t_i)$ , tal como se muestra en la figura 10.

Concretamente, los valores de  $A(t_i)$  se calculan como:

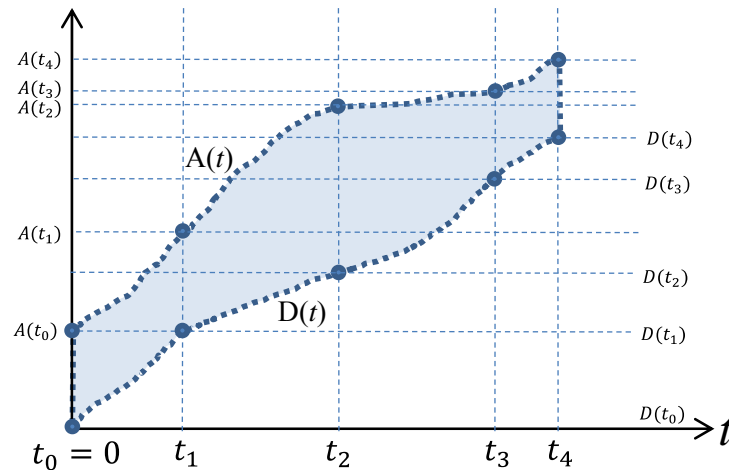
$$A(t_i) = \begin{cases} L_0 & \text{si } i = 0 \\ A(t_{i-1}) + L_i - R_{i-1} + V_{i-1} = \sum_{j=0}^i L_j - \sum_{j=0}^{i-1} R_j + \sum_{j=0}^{i-1} V_j & \text{si no} \end{cases} \quad (1)$$

Los valores de  $D(t_i)$  se calculan como:

$$D(t_i) = \begin{cases} 0 & \text{si } i = 0 \\ D(t_{i-1}) + L_{i-1} - R_{i-1} + V_{i-1} = \sum_{j=0}^{i-1} L_j - \sum_{j=0}^{i-1} R_j + \sum_{j=0}^{i-1} V_j & \text{si no} \end{cases} \quad (2)$$

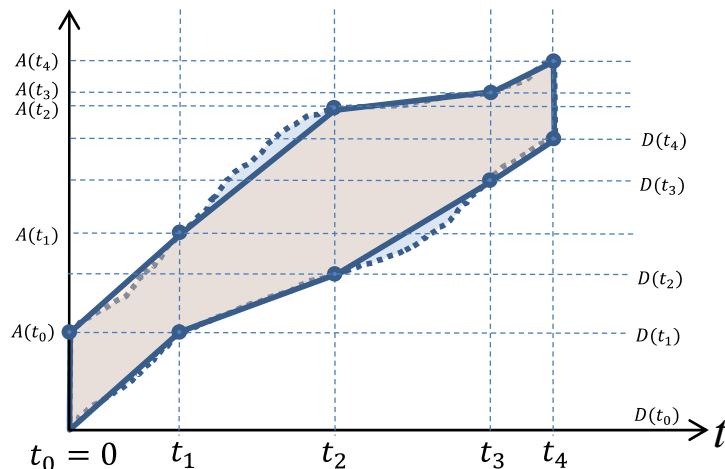
Cabe notar que, en cualquier caso, se tiene que  $L_i = A(t_i) - D(t_i)$ .

**Figura 10.** Muestra de puntos de las curvas de entrada y salida de pasajeros.  
**Fuente: Elaboración propia**



Con los puntos  $(t_i, A(t_i))$  y  $(t_i, D(t_i))$  es posible aproximar las curvas de entrada y atención de pasajeros tal como se muestra en la figura 11.

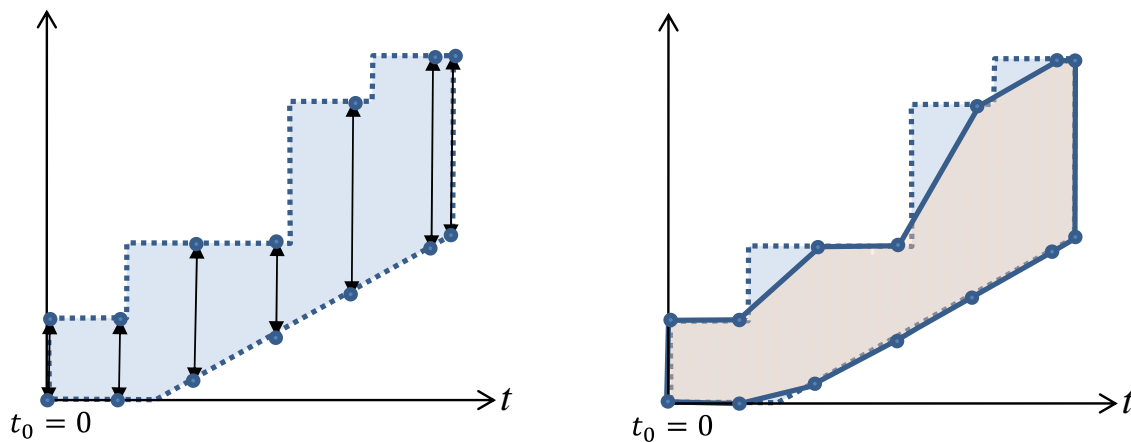
**Figura 11.** Aproximación de curvas de entrada y salida de pasajeros.  
**Fuente: Elaboración propia**



Cabe notar que, en ciertas situaciones, las aproximaciones de las curvas de entrada y salida son menos exactas. En la figura 12 se muestra una situación que puede suceder en los vuelos entrantes en un aeropuerto, en que las tasas de atención son

relativamente constantes y las llegadas de pasajeros son por lotes. En el ejemplo todas las mediciones son realizadas en intervalos iguales de tiempo y justo *antes* de las llegadas de los lotes de pasajeros. Como consecuencia y tal como se puede notar en la figura derecha, los tiempos de espera han quedado subestimados. Si las mediciones fueran justo *después* de las llegadas por lotes, los tiempos quedarían sobreestimados.

**Figura 12.** Aproximación de curvas de entrada y salida de pasajeros para un caso particular.  
**Fuente:** Elaboración propia

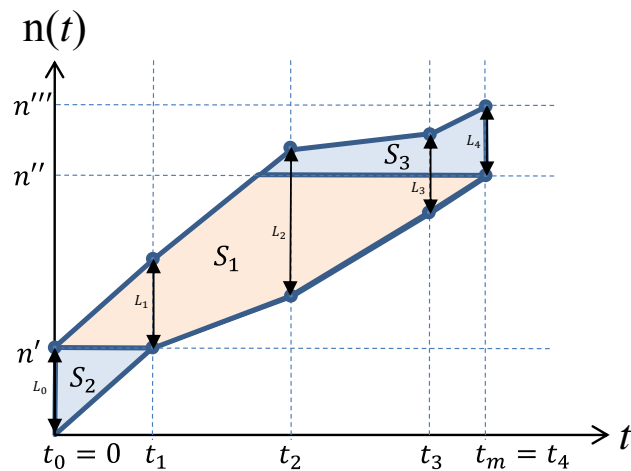


### 3.3.2 Métodos de cálculo de tiempos de espera

En el ejemplo de la figura 13 se observa aproximaciones de las curvas de entrada y salida de pasajeros construidas a partir de  $m$  observaciones entre  $t = t_0 = 0$  y  $t = t_m$ . Idealmente, se desea calcular los tiempos de espera de los pasajeros que hayan entrado y salido de la cola dentro del intervalo de medición. Si se asume que la disciplina de la cola es FIFO, estos son los pasajeros con  $n$  entre  $n' = A(t_0)$  y  $n'' = D(t_m)$  y su estimación del tiempo total esperado está dada por el área  $S_1$ . Bajo el mismo supuesto, es posible calcular los tiempos de espera de cada uno de estos pasajeros, a través de las funciones inversas de  $A(t)$  y  $D(t)$  (denominadas  $A^{-1}(t)$  y  $D^{-1}(t)$ , respectivamente) que entregan los valores de  $t$  para cualquier valor de  $n$  entre  $n'$  y  $n''$ . De esta forma, el tiempo de espera de cierto pasajero  $n$ , con  $n$  en  $[n', n'']$ , está dado

por  $D^{-1}(n) - A^{-1}(n)$ . Con los tiempos aproximados de espera de todos y cada uno de estos pasajeros, se puede calcular directamente los índices deseados.

**Figura 13.** Tiempos de espera en aproximación de curvas de entrada y salida de pasajeros.  
**Fuente:** Elaboración propia



En este método de cálculo no se hacen supuestos acerca de lo que sucede con los individuos que ya estaban esperando en fila al comienzo de la medición o respecto a los que quedaron esperando después del término de la misma. Sólo supone que el sistema de colas funciona como un sistema FIFO. Además, según este método es posible calcular el tiempo de *todos* los individuos en el sistema, lo que no sólo permite estimar los tiempos promedios de espera, sino también los tiempos máximos de espera o cualquier otro índice de tiempo de espera que se requiera. Sin embargo, para que el método entregue resultados, es necesario contar con pasajeros que hayan entrado y salido de la fila durante el intervalo de medición, puesto que son los únicos individuos sobre los cuales se realizan cálculos de índices.

## **4 Análisis y sistematización de metodologías**

Las metodologías de medición se pueden clasificar en metodologías manuales y metodologías automáticas. En este capítulo se comparan ambas metodologías, se clasifican las mediciones manuales en sus subtipos relevantes, y se analizan las metodologías más destacadas de cada tipo. En la última sección se presenta la metodología que actualmente se emplea en el aeropuerto AMB.

### **4.1 Comparación entre metodologías manuales y automáticas**

En los métodos automáticos, los datos son levantados de manera continua, durante las 24 horas del día, por sensores electrónicos instalados en varios puntos dentro del aeropuerto, que envían los datos a través de una red hasta un servidor de datos. Así, se genera una gran población de datos, que posteriormente debe ser procesada para su limpieza y la generación de índices útiles para el usuario. Por su parte, en las metodologías de medición manual los datos son recopilados por un grupo de personas, capacitadas para tales efectos, quienes observan a los pasajeros y registran sus observaciones en planillas o *tablets*. Estos datos son posteriormente ingresados a un servidor, donde son procesados para su análisis. Dado que es poco probable que existan errores importantes en los datos, a diferencia de la medición automática, no es necesaria una exhaustiva limpieza de los datos recolectados, pero suelen considerarse distintos criterios de validación. Para un análisis de consideraciones de aplicabilidad de las mediciones automáticas, véase el Anexo B. Una clasificación de las mediciones manuales, se presenta en la sección siguiente.

Aun cuando las tecnologías de medición automática son una alternativa recomendada por los consultores, las metodologías de medición manual también presentan ciertas ventajas, que deben ser tomadas en cuenta. En la siguiente tabla se presenta una comparación de ambas.

**Tabla 1** Cuadro comparativo tecnologías manuales y automáticas

**Fuente: Elaboración propia**

<b>Atributo</b>	<b>Medición manual</b>	<b>Medición automática</b>
Costos de instalación	Bajo. La capacitación del equipo de medidores.	Alto. Compra e instalación de equipo de medición y recolección de datos.
Costos de mantención	Depende de la cantidad de mediciones que se desee realizar. Es el costo de mantener un equipo de medidores.	Bajo, aunque dependiente del tipo de tecnología. Es el costo de mantención de los equipos de medición y almacenamiento de datos, además del procesamiento y la depuración de la información recopilada.
Objetividad en las mediciones.	Media. Depende de capacitación y desempeño de los medidores.	Alta.
Flexibilidad en las mediciones	Alta. Medidores humanos se pueden adaptar rápidamente a cambios en la estructura o funcionamiento de las colas.	Baja. Frente a cambios en la estructura o funcionamiento de la cola, se debe adaptar el sistema completo.
Flexibilidad en reinstalación de medidores	Alta. Los medidores pueden reposicionarse rápidamente de un lugar a otro.	Baja. Se debe mover los sensores y calibrarlos nuevamente.
Estructura del espacio de medición	Requiere una estructura que permita la visibilidad para realizar las mediciones.	Requiere que el espacio esté muy estructurado y fijo.
Cantidad de datos recolectados	Sólo se recolecta durante los periodos de muestreo.	Recolección continua, durante las 24 horas.
Definición de periodos de medición	Es necesario determinar las horas de medición. Por ejemplo, los periodos punta de demanda.	Al medir continuamente no es necesario definir periodos de medición.
Depuración de mediciones	Baja. El muestreo se diseña para que haya una baja cantidad de observaciones con errores, aunque suele requerir procedimientos de validación de los datos.	Alta, aunque dependiente del tipo de tecnología. Puede requerir una depuración intensiva debido a que los datos recolectados pueden tener una alta tasa de errores.

## 4.2 Metodologías de medición manual

Las metodologías para la medición manual de tiempos de espera se pueden dividir en:

- **Por medición directa.** En este tipo de metodología se mide directamente el tiempo de espera de los pasajeros en cola.
- **Por conteo de pasajeros al inicio y final de la cola.** En este tipo de metodología se registra los instantes en que entra y sale cada pasajero de la cola, y la cantidad de pasajeros que inicialmente tiene la cola. Con estos datos se puede construir las curvas de llegada y atención de pasajeros, con las que se puede obtener distintos índices de tiempos de espera.
- **Otras metodologías mixtas.** Se mezcla elementos de medición directa de tiempos y de conteo de pasajeros en cola. Un ejemplo de estas metodologías es la de la Guía de Medición Manual de la ACI que mide el tiempo de espera de algunos pasajeros y mide largos de fila cada cierto intervalo de tiempo.

Dependiendo del fin para el que se requiera los tiempos de espera, la dinámica de la cola en cuestión, y las posibles situaciones irregulares que puedan suceder en una cola, una metodología manual puede ser mejor que otra. Esto tiene vital relevancia al momento de seleccionar una metodología que se adapte adecuadamente al caso analizado y a los objetivos específicos que se persigan.

En general, para la medición retrospectiva<sup>9</sup> de tiempos de espera, las metodologías por muestreo directo o mixtas suelen ser las más utilizadas; en la tabla 2 se compara sus ventajas frente a las metodologías por conteo, y en la tabla 3 se presentan algunas desventajas comparativas.

---

<sup>9</sup> Los tiempos de espera medidos se pueden dividir en retrospectivos y predictivos. El primero es el que le ha tomado a un pasajero recorrer la fila antes de abandonarla, y es útil para reportar tiempos de espera en cierto periodo ya pasado. El segundo, es el valor esperado del tiempo que el pasajero esperará, estimado en el momento en que ingresa a la fila, y es útil para informar, en tiempo real, cuánto es lo que un pasajero debería esperar en la cola.

**Tabla 2** Cuadro comparativo de ventajas de metodologías directas o mixtas frente al conteo

**Fuente: Elaboración propia**

<b>Atributo</b>	<b>Metodologías de medición directa o mixtas</b>	<b>Metodologías de conteo de entrada y salida de pasajeros</b>
Aplicabilidad frente a irregularidades	No se ven mayormente afectadas frente a ciertos tipos de irregularidades.	Necesita que las colas sean regulares.
Requerimiento de exactitud en la medición	No tiene mayores problemas frente a pequeños errores en las observaciones.	Los resultados se pueden ver afectados frente a diferencias entre los conteos en la entrada o salida de pasajeros.
Grado de concentración de los medidores durante la medición	Requiere una concentración media a baja de los medidores.	Requiere alta concentración de los medidores para no perder la contabilización de los pasajeros.
Posibilidad de medir sobre una muestra	Está diseñado para medir solamente una muestra de los pasajeros.	Se debe medir la totalidad de los pasajeros.
Supuestos sobre disciplina de la cola	En el caso de las metodologías directas, no es necesario suponer disciplina FIFO.	Para calcular ciertos índices de tiempos de espera es necesario suponer que la disciplina de la cola es FIFO.

**Tabla 3** Cuadro comparativo de desventajas de metodologías directas o mixtas frente al conteo

**Fuente: Elaboración propia**

<b>Atributo</b>	<b>Metodologías de medición directa o mixtas</b>	<b>Metodologías de conteo de entrada y salida de pasajeros</b>
Exactitud de la medición	Se obtienen aproximaciones de los tiempos de espera.	Bajo ciertos supuestos <sup>10</sup> , se obtiene los tiempos de espera exactos.
Duración del muestreo	En el caso de la metodología directa, se requiere periodos de medición lo suficientemente mayores a los tiempos de espera, de modo de tener suficientes observaciones en la muestra.	Bajo ciertos supuestos <sup>11</sup> , se puede utilizar periodos de muestra de cualquier duración.

<sup>10</sup> Se requiere que no haya irregularidades de cola, que la disciplina de la cola sea FIFO y que no haya errores en las mediciones.

<sup>11</sup> Para periodos de baja duración, se puede calcular tiempos promedio de espera utilizando la Ley de Little, por lo que se utiliza supuestos tales como los mostrados el Anexo A.

A continuación se especifican dos metodologías alternativas de medición manual, que los consultores consideran destacables. La primera corresponde al tipo de medición directo y la segunda al tipo de medición por conteo, según se ha descrito en esta sección.

#### **4.2.1 Medición directa de tiempos sobre intervalos fijos de pasajeros**

Dado que no es posible que un medidor pueda observar los tiempos de espera de todos los pasajeros, este método se basa en la observación del tiempo sobre una muestra de ellos. Con los tiempos medidos se puede obtener índices tales como tiempo promedio de espera y las cotas mínimas sobre los tiempos máximos de espera.

Para que el conjunto de observaciones sea representativo del universo de pasajeros, se debe tener precaución de que la muestra no esté sesgada; es decir, que no se mida un mayor porcentaje de pasajeros con tiempo de espera largo (o corto) que el porcentaje que posee el universo. Además, la muestra debe tener el tamaño suficiente para representar al universo.

La medición comienza cuando entra un pasajero a la fila. El medidor debe registrar el momento en que el pasajero entra a la fila y algunas características físicas del mismo. El medidor debe esperar la entrada de  $n$  pasajeros a la fila antes de registrar la entrada de uno nuevo<sup>12</sup>. Al mismo tiempo, y con ayuda de las características físicas registradas, el medidor anota el momento de salida del pasajero respectivo.

Esta forma de medir permite tener observaciones de tiempos de espera cada  $n$  pasajeros, donde  $n = 1$  representa la medición de todo el universo. La medición será más exacta para valores de  $n$  más bajos, dependiendo de la variabilidad del fenómeno. Por su parte, a menor valor de  $n$ , más difícil será llevar a cabo la medición. Por esta razón, el valor seleccionado de  $n$  dependerá de la dinámica de la fila. Mientras más larga y mayor sea la tasa de atención de la cola, mayor será el valor de  $n$  que deberá ser utilizado. Se recomienda calibrar el valor de  $n$  en una medición de prueba.

---

<sup>12</sup> Para evitar el sesgo en la muestra, esta metodología de medición mide el tiempo de espera de un pasajero cada  $n$  pasajeros que entran a la fila, donde  $n$  es un número fijo seleccionado de antemano.

#### **4.2.2 Construcción de curvas de llegada y salida por conteo en cola**

Esta metodología construye las curvas de llegada y salida de pasajeros para cierto intervalo de medición, en base al conteo de pasajeros al inicio y final de la cola, comenzando cuando un pasajero sale de la cola para ser atendido. En este instante se registra la cantidad de pasajeros en la cola. Se debe registrar los instantes de tiempo de entrada y salida de pasajeros de la cola.

La metodología puede ser aplicada a distintos sistemas de colas considerando todo el sistema como única fila, contabilizando los pasajeros entrantes a todas las entradas de filas y los pasajeros atendidos por todos los servidores. En sistemas de cola con fila única esta metodología requiere dos medidores, uno en cada extremo de la fila. En colas largas, puede requerir un medidor adicional para el conteo inicial de la cola. En el caso de múltiples filas, desde donde se atiendan pasajeros, la metodología puede requerir medidores adicionales.

El método tiene la ventaja de que, en colas con disciplina FIFO, se obtiene los tiempos de espera reales de los pasajeros y se construye las curvas exactas de llegada y atención. Sin embargo, para esto es necesario ser muy preciso en los conteos de pasajeros, lo cual puede ser difícil para un medidor en colas cuyas tasas de llegada y/o atención no sean bajas. De hecho, en filas con altas tasas de llegada y/o atención, o irregularidades de cola, existe una alta probabilidad de errores en los conteos, lo cual distorsiona los valores de los largos de cola en el tiempo y por ende, los valores de los tiempos de espera.

En el Anexo C.1 se presenta un cuadro resumen en que se analiza la aplicabilidad de metodologías manuales según diversos aspectos, considerando las metodologías presentadas en este capítulo, así como la recomendada por ACI, que se detalla en el capítulo 6.

#### **4.3 Metodologías de medición automática**

A continuación se presentan las alternativas tecnológicas destacadas de medición automática, clasificadas según el principio de medición: directa de los tiempos, o por

conteo de pasajeros. Estas tecnologías son mencionadas en ACI (2013), ACI (2014a) y SITA (2014). Cabe mencionar que existen soluciones que utilizan más de un tipo de tecnología.

Algunos casos conocidos de medición de tiempos de espera utilizando metodologías automáticas son:

- Aeropuerto de Austin en Texas.
- Aeropuerto internacional de Indianapolis en Indiana.
- Aeropuerto de Copenhague en Dinamarca.
- Aeropuerto de Munich en Alemania.
- Aeropuerto de Stuttgart en Alemania.
- Aeropuerto intercontinental de Houston en Texas.
- Aeropuerto de Bruselas en Bélgica.
- Aeropuerto de Londres-Heathrow en Inglaterra.
- Aeropuerto de Frankfurt en Alemania.
- Aeropuerto Internacional de Hong Kong.
- Aeropuerto de Helsinki-Vantaa en Finlandia.

#### **4.3.1 Medición basada en identificación de pasajeros**

El principio de estas metodologías es simple: se tiene un “medidor” al principio y otro al final de la fila. Este medidor puede ser uno o más sensores que permite identificar individuos en cierto punto. Los medidores identifican pasajeros y su momento de pasada por el punto. Cuando el sistema logra formar una pareja de datos al inicio y final de la fila, se obtiene el tiempo de espera del pasajero en la fila. Los tiempos de espera son almacenados en una base de datos, para su posterior limpieza y cálculo de estadísticas. El tiempo promedio se puede calcular como el promedio de los tiempos experimentados por los pasajeros muestreados y el tiempo máximo se puede acotar por abajo como el máximo tiempo experimentado por los pasajeros de la muestra.

Las alternativas más usuales para este tipo de medición son<sup>13</sup>:

- La captura de direcciones MAC de dispositivos con WiFi y/o Bluetooth que porten los individuos. Estas direcciones se capturan con una pareja de sensores al inicio y final de la fila.
- La lectura de códigos de barra o chips RFID o NFC en tarjetas de embarque o pasaportes. Estos dispositivos son únicos y se pueden leer al principio y final de una cola. Un ejemplo es la actual lectura de tarjetas de embarque en el pre-chequeo del AVSEC en emigración. Una segunda lectura a la entrada de los módulos de AVSEC permitiría calcular tiempos de espera en este sector.
- La geolocalización de pasajeros que porten dispositivos WiFi. Esto funciona similar a la triangulación que realizan los dispositivos de localización GPS. La geolocalización permite detectar cuando un pasajero que porta un dispositivo WiFi ingresa al sector de la cola y se detiene antes de la última persona esperando en ella; y cuando sale del sector de la cola.
- Mediante el reconocimiento térmico o biométrico de pasajeros al inicio y final de la cola.

#### 4.3.2 Medición basada en conteo de pasajeros

Estas metodologías construyen las curvas de llegada y salida de pasajeros continuamente en el tiempo. Para ello, se debe tener dos dispositivos de conteo de pasajeros: uno al inicio y otro al final de la fila. Durante las mediciones, implícitamente se registra la cantidad de pasajeros esperando en la cola (largo de la cola). Dados los errores que puede haber en el conteo de pasajeros, esta cantidad se reajusta cada cierto tiempo. Por simplicidad, en general, se comienza la medición cuando la cola está vacía y se reajusta el “largo de la cola” cada vez que la cola se vacía nuevamente<sup>14</sup>. Con los conteos de pasajeros se construye las curvas de llegada y salida de pasajeros del sistema.

---

<sup>13</sup> Esta lista no es exhaustiva.

<sup>14</sup> El reajuste del largo de la fila podría ser manual o automático, pero suele ser automático (se detecta térmicamente, o mediante análisis de imágenes, el momento en que el espacio de la fila está vacío).

Las alternativas más usuales para este tipo de medición son<sup>15</sup>:

- Lectura de códigos de barra o chips RFID o NFC en tarjetas de embarque o pasaportes, tal como en el caso de la medición basada en identificación de pasajeros.
- Contadores basados en el reconocimiento biométrico o termal de los pasajeros o contadores láser.

Un aspecto importante de las distintas alternativas tecnológicas es el grado de participación de los pasajeros que requiere el proceso de medición. Una alternativa para la medición de tiempos de espera es la lectura de código de barra o chip de pasaporte o tarjetas de embarque. Sin embargo, esta tecnología requiere la participación de los usuarios, lo que puede ser disruptivo en el sistema y limita la cantidad de puntos de lectura que se puede instalar.

No se realiza una comparación entre los tipos de tecnologías automáticas dada la gran cantidad de soluciones de medición automática existentes en el mercado para cada tipo de tecnología, cada una con distintas características técnicas. En el cuadro del Anexo C.2 (Fuente: SITA, 2014) se provee las ventajas y desventajas de un conjunto de soluciones de conteo y seguimiento de pasajeros.

---

<sup>15</sup> Esta lista no es exhaustiva.

## 5 Metodología actual

La metodología actualmente utilizada en AMB es una metodología de medición manual, en que se realiza el conteo de pasajeros atendidos y la medición del largo de fila al inicio y final del periodo de medición, para posteriormente calcular el tiempo promedio de espera utilizando la Ley de Little (descrita en Anexo A ). Además, se registra el número de módulos atendiendo, con lo que se calcula las tasas de procesamiento. La metodología se aplica en distintos controles del aeropuerto, incluyendo los que son parte del presente estudio.

### 5.1 Períodos de muestreo

La metodología actual define horarios punta fijos pero flexibles. Esto es, para obtener tiempos promedio, los horarios punta de medición se definen considerando los itinerarios de los vuelos regulares, y se cuenta con cierta flexibilidad para modificar los momentos de medición previstos debido a, por ejemplo, atrasos o cancelaciones de vuelos.

### 5.2 Método de cálculo

Para el cálculo del tiempo promedio de espera, se recopilan los siguientes datos sobre cierto periodo de tiempo donde se quiere calcular este promedio:

- Tiempo de medición (*MED*): minutos que duró la medición.
- Stock Inicial (*SI*): largo de la fila al inicio del periodo de medición.
- Stock Final (*SF*): largo de la fila al final del periodo de medición.
- Número de atenciones (*NAT*): cantidad de pasajeros atendidos en el periodo.

Para el cálculo del tiempo de espera se utiliza siguiente fórmula:

$$Espera\_promedio = \frac{Largo\_promedio}{Tasa\_salida} \quad (3)$$

donde se supone que el largo de la fila varía linealmente con el tiempo, de modo que el largo promedio está dado por:

$$Largo\_promedio = \frac{SI + SF}{2} \quad (4)$$

y las tasas de salida y llegada se calculan como:

$$Tasa\_salida = \frac{NAT}{MED} \quad (5)$$

$$Tasa\_llegada = \frac{NAT - SI + SF}{MED} \quad (6)$$

con lo que se puede llegar a la fórmula:

$$Espera\_promedio = \frac{SI}{TS} + \frac{NAT - SI + SF}{2} \left( \frac{1}{Tasa\_salida} - \frac{1}{Tasa\_llegada} \right) \quad (7)$$

### 5.3 Análisis de la metodología actual

El procedimiento tienen la ventaja de que, en las colas más simples, la medición puede ser realizadas por un solo medidor, el cual cuenta la cantidad de pasajeros en la cola, luego se ubica al inicio de la misma y cuenta el total de pasajeros que salen de ella durante el período (junto con el número de puestos atendiendo) y, finalmente, cuenta la cantidad de pasajeros en la cola al final del periodo<sup>16</sup>.

La metodología está basada en la Ley de Little. Sin embargo, esta ley está mal aplicada, ya que, como se puede notar al comparar las fórmulas (3) y (11) (en el Anexo A), la Ley de Little utiliza la tasa de llegada de pasajeros al sistema. En cambio, la fórmula de la metodología actual utiliza la tasa de salida de pasajeros.

Utilizar la tasa de salida es bastante conveniente puesto que basta con medir el número de atenciones al inicio de la fila, justo a la salida de pasajeros de la fila. Por otro lado, medir al inicio de la cola permite que el mismo medidor mida el número de atenciones y el número de servidores abiertos.

---

<sup>16</sup> En los casos donde la fila es muy larga, o se tiene una alta tasa conjunta de atención de pasajeros, se debiera contar con el apoyo de un medidor adicional.

La fórmula (3) se puede corregir. Sin embargo, las principales distorsiones en el valor de los tiempos de espera calculados provienen del supuesto de comportamiento de la cola: las fórmulas (4) y (7) suponen que el largo de la fila varía linealmente en función del tiempo, de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$Largo(t) = SI - (Tasa\_salida - Tasa\_llegada) \cdot t \quad (8)$$

Como se puede apreciar en la fórmula, se asume que la diferencia entre la tasa de salida y la tasa de llegada es constante en el tiempo. Además, al ser una relación lineal, se asume que la cola siempre aumenta de tamaño, disminuye de tamaño, o permanece de un largo fijo. Esto, a una tasa constante en el tiempo. Este supuesto es irreal, salvo periodos extremadamente cortos de tiempo. Las colas reales tienen un largo que aumenta y disminuye en el tiempo a lo largo de un periodo de medición. Aun cuando se pueda suponer que la cola siempre tiene pasajeros esperando y que la tasa de salida es igual a una tasa conjunta de atención relativamente constante, los pasajeros suelen llegar con tasas variables (por ejemplo, en lotes), de modo que hay periodos donde la cola aumenta de tamaño y otros donde disminuye.

Un caso extremo es el de una cola que empieza y termina vacía, llegando un lote único de pasajeros en el medio del periodo de medición que son atendidos entre el inicio y fin del mismo. Según (4) el largo promedio es nulo, por lo cual el tiempo de espera es igualmente nulo. Sin embargo, es claro que el último pasajero atendido en el lote tuvo que esperar bastante tiempo<sup>17</sup>.

Se concluye que la metodología actual permite una medición simple de los tiempos de espera, pero la fórmula de cálculo tiene un error que distorsiona los valores obtenidos para el tiempo promedio de espera. Aun cuando este error puede ser corregido, los supuestos en los que se basa la metodología actual son irreales, de modo que puede entregar malas aproximaciones de los tiempos de espera promedio.

---

<sup>17</sup> Este es el caso del pago del Impuesto de Reciprocidad, donde en un vuelo llega un lote de pasajeros a la cola y donde todos podrían ser atendidos en un lapso menor a 15 minutos, situación observada durante una visita al aeropuerto AMB.

Los errores de aproximación en el cálculo de los tiempos de espera que presenta la metodología actualmente utilizada, hacen imposible comparar sus resultados con los entregados por otras metodologías estándar empleadas para medir tiempos de espera, tales como las metodologías revisadas en el presente estudio.

## 6 Metodología recomendada por ACI

La Guía de Medición Manual de la ACI (ACI, 2013) provee una metodología (en adelante, Metodología ACI) para la recolección de datos para el posterior cálculo de dos tipos de KPI asociados con el nivel de servicio de pasajeros:

- *Tiempos de espera promedio en las colas de los servicios*, los cuales miden la experiencia del usuario y permiten identificar cuellos de botella y la cantidad de tiempo que un pasajero permanece en cada cola del aeropuerto.
- *Velocidad de proceso en los servicios*, el cual monitorea el desempeño global del aeropuerto y de sus empleados en la facilitación del flujo de pasajeros a través del aeropuerto.

Para efectos de este estudio, sólo es relevante la medición de tiempos de espera en cola.

La Guía de Medición Manual de la ACI, recomienda:

- Medir estos KPI durante todo el año y cada mes, de modo de capturar las estacionalidades en los mismos.
- Dado que la situación de las colas en horarios fuera de punta es de poco interés, realizar las mediciones en horarios punta.
- Para la definición de horas punta de los días de muestreo, utilizar las agendas de tráfico de vuelo<sup>18</sup>. Esta información, junto con la capacidad de cada vuelo agendado, permite elaborar el plan de muestreo.
- Medir por separado las colas segmentadas por tipo de usuario (por ejemplo, colas segmentadas para clase *business* y económico).
- Utilizar tecnologías para la medición automática (aunque también entrega recomendaciones para la medición manual apoyada en el uso de dispositivos

---

<sup>18</sup> Recomienda utilizar las agendas de la *Official Airline Guide* ([www.oag.com](http://www.oag.com)) complementadas con información del aeropuerto para los vuelos fuera de agenda.

electrónicos tales como *tablets*, de modo que las mediciones puedan ser hechas por medidores con poca experiencia).

- Que la medición se haga durante los periodos punta del día de muestra. Además, que:
  - Cada medición dure una hora, durante la cual se hacen múltiples observaciones.
  - Cada observación dure un máximo de 10 minutos. Si la observación dura más de 10 minutos, debe ser repetida<sup>19</sup>. Si no se observa cola, se debe esperar 5 minutos antes de la siguiente observación.
- Tamaños mínimos de muestra, en términos de las mediciones anuales mínimas para el periodo de la medición.
- Mediciones específicas para cada tipo de control del aeropuerto.

La Guía de Medición Manual de la ACI da sendas metodologías de medición para los siguientes tipos de cola:

- Colas Disney, o sistema de cola multicanal con fila única.
- Colas Simples, o sistema de cola multicanal con una fila por canal.

## 6.1 Método definido por ACI según el tipo de cola

### 6.1.1 Sistemas de cola multicanal con fila única

En el caso de la medición en sistemas de cola multicanal con fila única, se tiene un medidor que comienza la observación cuando un pasajero deja la cola para ser atendido. Al mismo tiempo, el medidor identifica al *último pasajero*<sup>20</sup> en la fila. Una vez que la observación comienza, el medidor cuenta la cantidad de pasajeros en la fila y el número de servidores disponibles. En este conteo se incluye al *último pasajero*, pero

---

<sup>19</sup> En la parte de las recomendaciones de la Guía de Medición Manual de la ACI dice textualmente que la observación debe ser repetida. Del resto del documento se puede deducir que esto se refiere a que se debe finalizar la observación y comenzar la siguiente.

<sup>20</sup> El *último pasajero* se refiere al pasajero que está al final de la fila y que debe ser seguido durante la observación. Este pasajero es distinto al que deja el sistema para ser atendido, que es el que gatilla el inicio de la observación.

no el que acaba de entrar para ser atendido. Cada observación puede concluir de dos formas:

- El *último pasajero* es atendido en menos de 10 minutos, caso en que el medidor anota el tiempo y el número de servidores disponibles.
- El *último pasajero* aún está esperando después de 10 minutos, caso en que el medidor anota que han pasado 10 minutos y cuenta el número de pasajeros delante del *último pasajero* y el número de servidores disponibles.

#### **6.1.2 Sistemas de cola multicanal con una fila por canal**

En el caso de medición de sistemas de cola multicanal con una fila por canal, el observador identifica la cola más larga y comienza la observación cuando un pasajero es atendido. Al mismo tiempo, el medidor identifica al *último pasajero* en la fila más larga y cuenta tanto el número de pasajeros en esta fila como el número de pasajeros en todas las líneas (filas) disponibles. En el conteo de la fila más larga se incluye al *último pasajero*, pero no el acaba de ser atendido. Cada observación puede concluir de dos formas:

- El *último pasajero* es atendido en menos de 10 minutos. En este escenario, el medidor anota el tiempo y el número de servidores disponibles.
- El *último pasajero* aún está esperando después de 10 minutos. En esta situación, el medidor anota que han pasado 10 minutos y cuenta el número de pasajeros delante del *último pasajero* en su propia fila y el número de servidores disponibles.

#### **6.1.3 Medición en colas vacías**

En cualquier caso de sistema de cola, si las colas están vacías, se recomienda:

- Que el medidor anote que la cantidad de pasajeros y el tiempo en cola es cero y también anote el número de servidores disponibles.
- Después de medir una cola vacía, el observador debería esperar 5 minutos antes de realizar una nueva observación.

La Guía de Medición Manual de la ACI menciona que es importante registrar tanto las colas llenas como las vacías, ya que la cantidad de pasajeros en fila varía considerablemente durante las horas punta y, para tener una visión realista de los tiempos de espera, se debe tener un promedio de ambas situaciones. Sin embargo, la Guía no menciona cómo se registra a los pasajeros que llegan cuando la cola está vacía.

La Guía de Medición Manual de la ACI presenta una metodología para realizar las mediciones manuales en terreno, pero no provee la metodología para el cálculo de los índices a partir de las mediciones realizadas, ni provee una metodología de medición para sistemas de cola multicanal con una fila principal que bifurca en filas secundarias.

## **6.2 Ventajas y desventajas del uso de la metodología ACI**

La metodología ACI cuenta con las siguientes ventajas:

- Es una metodología sencilla, no es muy exigente con respecto a la capacitación de los medidores, ni con la concentración de los mismos durante la medición.
- La metodología cuenta con una variante para sistemas de cola multicanal con una fila por canal.

Por su parte, tiene las siguientes desventajas:

- Se requiere hacer seguimiento de pasajeros, lo que puede ser difícil cuando las filas de espera son demasiado largas y los espacios que la albergan estrechos.
- Se necesita realizar varios conteos de pasajeros en la(s) fila(s), lo cual puede ser complejo cuando las filas son demasiado largas, hay demasiadas filas en el sistema, o ciertas filas avanzan muy rápido. Tales casos se podrían abordar con medidores adicionales.
- El conteo de pasajeros debe ser realizado inmediatamente después de terminada una observación, lo que puede ser difícil de realizar con un solo medidor.

## 7 Procesos en AMB y aplicabilidad de las metodologías

En las tres secciones siguientes se describen estos controles en cada proceso, presentándose en el Anexo D un cuadro resumen de las principales características de las colas asociadas. Para cada control de cada proceso, se incluye un análisis de aplicabilidad de métodos manuales de medición, incluyendo la metodología ACI. En la sección 7.4 se analiza la aplicabilidad de métodos automáticos (muy similar para los distintos procesos). Finalmente, la sección 7.5 contiene un resumen del análisis de demanda desarrollado a partir de la información de vuelos entrantes y salientes, la que fue utilizada para diseñar el plan de implementación de la metodología propuesta, detallado en la sección 8.2.4.

Los procesos del aeropuerto AMB se pueden dividir en procesos de emigración, inmigración y de pasajeros en tránsito. Como parte de estos procesos, los pasajeros enfrentan uno o más de los siguientes controles fronterizos:

- Policía Internacional o PDI, ya sea para emigración o en inmigración. En adelante, simplemente Policía Internacional.
- Control de seguridad AVSEC de la DGAC, ya sea en emigración o para pasajeros en tránsito. En adelante, simplemente control AVSEC.
- Pago de *Tarjeta de Turismo* o *Impuesto de Reciprocidad* en inmigración, gestionado por la Tesorería General de la República. En adelante, simplemente pago de reciprocidad.
- Control conjunto de SAG y Aduana en inmigración. En adelante, simplemente control SAG/Aduana.

### 7.1 Procesos de emigración

Los pasajeros de vuelos salientes del país, una vez en el aeropuerto, deben pasar a los *counters* de *check-in*, donde entregan su equipaje. Posteriormente, deben ir al control

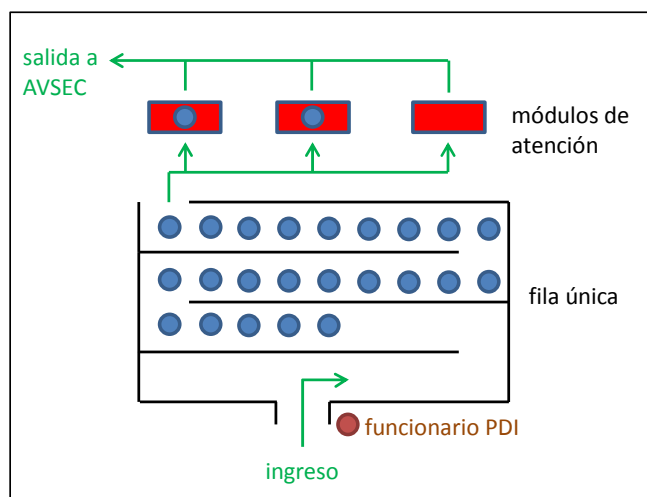
de Policía Internacional para luego pasar por el control AVSEC de la DGAC. Finalmente, entran al proceso de embarque a la aeronave<sup>21</sup>.

### 7.1.1 Policía Internacional emigración

Policía Internacional cuenta con 36 módulos de atención para emigración, tanto para pasajeros nacionales como extranjeros, dispuestos en un sistema de cola multicanal con fila única y disciplina FIFO, tal como se muestra en la figura 14. La fila está dentro de un corral tipo “cuncuna”, el cual está en un recinto destinado especialmente a este control. En el ingreso de la fila hay un funcionario de Policía Internacional, indicándoles a los pasajeros que lleven a mano su tarjeta de embarque y documentos de viaje (pasaporte o carné de identidad, permisos para menores, etc.).

**Figura 14.** Sistema de cola multicanal con fila única con disciplina FIFO.

**Fuente:** Elaboración propia



Durante las visitas al aeropuerto AMB se observó variabilidad en la demanda. Los pasajeros son atendidos con fluidez, aun cuando no todos los módulos de atención

<sup>21</sup> Algunos pasajeros pueden pasar a aduana para declarar el transporte de bienes de valor.

estaban operando. En momentos de demanda alta se observó aglomeración, aunque no como para que la fila saliera del recinto<sup>22</sup>.

En general, la cola analizada se observó muy regular. Todos los pasajeros deben pasar por este control, por lo que no tienen incentivo a salir en la mitad de la fila. Asimismo, la fila, al estar en un espacio cerrado, imposibilita la entrada de pasajeros a la mitad de ella. Al ser fila única, la medición de tiempos de espera es simple, sin embargo, la fila es bastante larga en periodos punta, lo que dificulta el conteo de largo de fila o el seguimiento de pasajeros por parte de un medidor ubicado en una posición fija.

### ***Aplicabilidad Metodologías Manuales***

La fila es muy regular y la frecuencia de atención bastante alta (dada la alta cantidad de módulos de atención, necesarios para enfrentar las ocasiones de alta demanda, aunque no necesariamente todos estén funcionando siempre). Aun así, en periodos donde hay muchos vuelos salientes, la demanda puede ser tal que el largo de cola sea de cientos de personas, aunque esta cola en general no alcanza a salir del corral destinado a ella.

- Metodología de medición directa de los tiempos de espera

No se recomienda la medición directa de los tiempos de espera, debido a que esta fila puede llegar a ser muy larga, por lo que en periodos punta no se tiene visibilidad entre el inicio y final de la cola. Además, los tiempos de cola pueden ser bastante altos.

- Metodología de conteo de pasajeros

En filas largas y con poca visibilidad como esta se puede utilizar la metodología de construcción de curvas de entrada y salida de pasajeros. Sin embargo, se debe tener en cuenta que los medidores deben tener una concentración tal que les permita registrar todos los eventos, lo cual es difícil en este control, donde las tasas de entrada y atención de pasajeros suelen ser altas en periodos punta.

---

<sup>22</sup> Según un funcionario del aeropuerto consultado, desde el término de la reciente remodelación del aeropuerto AMB, denominada “Fase 1”, no ha habido situaciones donde la fila salga del recinto de Policía Internacional.

- Metodología ACI

La metodología ACI para sistemas de cola multicanal con fila única es aplicable a este tipo de cola. Igualmente, debe considerarse que, dada la gran cantidad de módulos que podrían estar abiertos (hasta 36), las tasas de atención pueden ser muy altas, lo que puede dificultar la medición a menos que se cuente con medidores adicionales (al menos uno para apoyar el conteo de pasajeros en la fila). Al aplicar la metodología ACI se debe tener en cuenta que ésta no registra los pasajeros que no tuvieron que hacer fila (por lo que su tiempo de espera es nulo).

#### **7.1.2 Control AVSEC Emigración**

El control de seguridad AVSEC se encuentra inmediatamente después del control de Policía Internacional. Cuenta con cinco módulos dispuestos como sistema de cola multicanal con una fila principal que después bifurca en filas secundarias, con un canal de atención por cada una.

Los pasajeros deben ingresar a la fila principal y, luego de un pre-chequeo, elegir la fila de uno de los módulos de atención que esté operando (hasta cinco módulos que se van abriendo o cerrando según el tamaño de la fila y la cantidad de funcionarios disponibles). Luego, los pasajeros deben esperar para acceder a un espacio en un mesón con bandejas. Posteriormente, cuando ya están al lado del mesón, los pasajeros deben dejar sus pertenencias metálicas en una bandeja y pasarlas junto con sus bolsos de mano por la máquina de inspección (máquina de rayos X). Mientras las pertenencias son examinadas, los pasajeros deben pasar por pórticos detectores de metales.

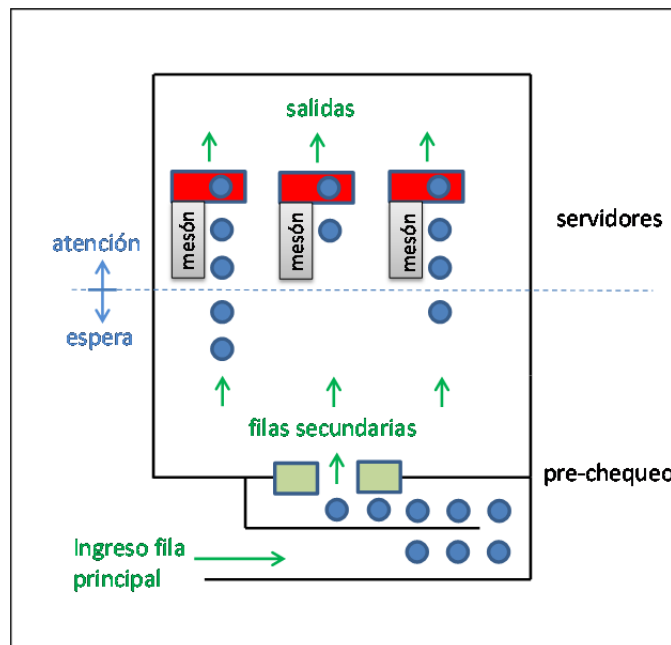
Actualmente, al inicio de la fila se ha instalado un par de módulos de pre-chequeo, cada uno con dos lectores de códigos de barra. En estos lectores se lee electrónicamente:

- La tarjeta de embarque de todos los pasajeros que pasan por el control<sup>23</sup>.
- El documento de identidad, ya sea pasaporte o carné de identidad, de algunos pasajeros seleccionados aleatoriamente<sup>24</sup>.

Tal como en Policía Internacional, la fila está dentro de un recinto destinado especialmente a este control. En la figura 15 se muestra la disposición de los servidores. En verde, están los módulos de pre-chequeo (donde comienza la fila principal). Una vez pasado el pre-chequeo están las filas secundarias que llevan al inicio de cada mesón. Después de la línea segmentada espera-atención, los pasajeros son atendidos en el mesón y en los controles AVSEC.

**Figura 15.** Sistema de cola multicanal con filas principal y secundarias en control AVSEC emigración.

**Fuente:** Elaboración propia



<sup>23</sup> En una visita al aeropuerto AMB se pudo observar que este control toma pocos segundos. Sin embargo, la mayoría de los pasajeros desconocían el control y algunos de ellos se demoraron en buscar su tarjeta de embarque.

<sup>24</sup> Durante periodos con aglomeración no se solicita este documento.

De la figura 15 se desprende que entre el ingreso por la fila principal y la salida por una fila secundaria existe un tiempo de pre-chequeo que se confunde con el tiempo de espera. Sin embargo, los tiempos de pre-chequeo parecen ser bastante bajos (aun cuando no se observó la situación del chequeo de documento de identidad). Por esta última razón, y asumiendo que estos tiempos se mantienen bajos, los tiempos de espera se pueden medir como si el sistema fuera uno solo, incluyendo el tiempo de pre-chequeo. Para efectos del presente estudio, el límite entre el proceso de espera y el de atención está dado por el momento cuando el pasajero ingresa al mesón.

Durante las visitas al aeropuerto se observó demanda variable en esta parte del proceso pero, en general, tal como en Policía Internacional, los pasajeros fueron atendidos con fluidez, aun cuando no todos los módulos estaban operando. En demanda alta se observó aglomeración en la fila principal, y de acuerdo a un funcionario del aeropuerto, ante demanda muy alta también se aglomeran las filas secundarias<sup>25</sup>.

La cola analizada es muy regular. Todos los pasajeros deben pasar por este control, por lo que no tienen incentivo a salirse en la mitad de la cola. La cola, al estar en un recinto cerrado y sin espacio entre Policía Internacional y AVSEC, imposibilita la entrada de pasajeros en la mitad de ella. Además, la cantidad de pasajeros que puede esperar en el conjunto de filas es alta, el recinto es muy cerrado y con pilares que dificultan la visibilidad de la fila.

### ***Aplicabilidad Metodologías Manuales***

Aunque el sistema de cola de AVSEC para emigración es muy regular, hereda la alta demanda de la cola de Policía Internacional de emigración y, además, posee altas tasas de atención. Por otro lado, el sistema de cola existente (una fila principal se bifurca en varias filas secundarias) podría dificultar la medición de tiempos de espera.

---

<sup>25</sup> El funcionario también indicó que desde la remodelación del aeropuerto no ha habido situaciones donde la fila principal salga del recinto e interfiera con la operación de los servidores aguas arriba, asociados a Policía Internacional (similar a lo que mencionara respecto a dicho recinto el funcionario mencionado en nota anterior). Indicó, además, que AVSEC no es cuello de botella para emigración.

Si bien la fila es más corta que en Policía Internacional, la cantidad de personas en la fila principal y las filas secundarias puede ser no menor, lo que dificultaría el conteo de personas en fila. Además, la configuración del espacio dificulta el seguimiento visual de pasajeros desde una posición fija.

- Metodología de medición directa de los tiempos de espera

Esta cola, aun cuando no tiene el largo de la de Policía Internacional, es bastante larga. La visibilidad de la fila no es muy adecuada, debido a los grandes pilares del recinto y a que las salidas de cada fila secundaria están distanciadas entre sí. Por esta razón, la aplicabilidad de la medición directa de los tiempos de espera es limitada.

- Metodología de conteo de pasajeros

Dado que esta fila es muy regular, la metodología de construcción de curvas de entrada y salida de pasajeros podría ser utilizada. Al igual que en Policía Internacional emigración, se debería tener cuidado con la concentración requerida de medidores, por la alta tasa de atención de pasajeros. Además, se debería realizar conteo de pasajeros salientes de la fila simultáneamente, en la entrada de todos los mesones de los módulos de atención, por lo que puede requerirse medidores adicionales.

- Metodología ACI

La metodología ACI no es aplicable a sistemas de cola multicanal con una fila principal que bifurca en filas secundarias, por lo que no es aplicable en este control.

## 7.2 Procesos de inmigración

En los procesos de inmigración, los pasajeros deben pasar por el control de Policía Internacional y por el control conjunto SAG/Aduana. En particular, los pasajeros australianos y mexicanos deben pasar por el pago del Impuesto de Reciprocidad, antes de pasar por Policía Internacional<sup>26</sup>. Esto último se realiza en módulos que, en

---

<sup>26</sup> Los pasajeros de estas nacionalidades deben tener pagada su Tarjeta de Turismo. Este pago, es un impuesto necesario para poder ingresar al país. En el caso de los pasajeros australianos, el pago tiene una validez de tres meses, permitiéndoles múltiples entradas al país.

temporada baja, se ubican en un recinto del primer nivel del aeropuerto, al lado de Policía Internacional para pasajeros nacionales. En temporada alta, en el verano, se abre un segundo recinto de iguales características en el segundo nivel.

Los módulos de Policía Internacional están divididos en tres sectores: uno para extranjeros, otro para nacionales y extranjeros residentes en Chile (en adelante, también referidos como nacionales) y el último para tripulación y personas con movilidad reducida. De los tres sectores, interesa a este estudio el asociado a atención de pasajeros nacionales y el de atención a extranjeros, que cuentan con una separación física entre sí, aunque están ubicados uno al lado del otro.

Después de Policía Internacional, los pasajeros pueden pasar al *Duty Free*, para luego retirar su equipaje en los carruseles destinados a ello. Finalmente, deben pasar por el control SAG/Aduana para la revisión del equipaje.

A diferencia de los de vuelos salientes, cuyos pasajeros llegan con anticipación y dispersos en el tiempo, los pasajeros que ingresan al país deben dirigir a los distintos procesos apenas descienden de sus vuelos. Esto hace que los momentos con aglomeración en los controles coincidan con momentos donde llegan vuelos desde fuera del país.

#### **7.2.1 Pago de Reciprocidad**

Cada recinto cuenta con cinco módulos de atención, dispuestos en sistema de cola multicanal con fila única. La fila está dentro de un corral tipo cuncuna<sup>27</sup> y el recinto es compartido con otras dependencias del aeropuerto (Policía Internacional y los pasillos de circulación de pasajeros en el primer y segundo nivel, respectivamente).

Durante las visitas al aeropuerto AMB solamente se encontraba operando el recinto del primer nivel. Se observó una demanda media, aun cuando se visitó la cola en un momento donde llegaron vuelos (tanto de México como de Australia) y no estaban

---

<sup>27</sup> En el momento de realizar la visita, el recinto del segundo nivel no estaba funcionando y no tenía corral para la fila única. Sin embargo, como indica un funcionario del aeropuerto, en el lugar se tiene los implementos para instalar un corral.

todos los módulos funcionando. Durante buena parte del tiempo la fila se observó vacía. El tiempo de atención se observó breve, similar al que toma una persona hacer un pago en efectivo o con tarjeta de crédito. Aun cuando no se observó periodos de alta aglomeración, un funcionario del aeropuerto indicó que existen ocasiones con altísima aglomeración<sup>28</sup>, donde la fila sale de corral.

Se considera que la cola analizada tiene regularidad media. Los pasajeros que deben pagar este impuesto no tienen incentivo a salir en medio de la fila y, aunque la fila no está en un recinto cerrado, por la poca demanda los pasajeros no tendrían incentivo a entrar en la mitad de la fila. Sin embargo, se podría dar las siguientes situaciones irregulares:

- En la fila puede haber pasajeros que tienen que pagar el impuesto junto con acompañantes. En particular, pasajeros que llegan en un mismo grupo de viaje, pero donde no todos deben pagar el impuesto.
- En la fila podría haber un pasajero pagando el impuesto por otros integrantes de su grupo de viaje, quienes lo esperan fuera de la fila. En el pago de reciprocidad sólo se pide mostrar el pasaporte de quien debe pagar el impuesto.

Estas situaciones son difíciles de detectar y contabilizar en una medición pero, salvo estos casos, se considera que la fila es regular. El hecho que la fila se pueda alargar hasta otras dependencias, dificulta la medición de tiempos de espera.

### ***Aplicabilidad Metodologías Manuales***

La principal dificultad en la medición de tiempos en este control son las irregularidades recién mencionadas: acompañantes mezclados con pasajeros en la fila (sus tiempos de espera no son de interés) y pasajeros pagando el impuesto por otros pasajeros no presentes en la fila (cuyos tiempos de espera sí interesan); es decir, sólo son de interés los tiempos de espera de los pasajeros mexicanos y australianos, ya sea que pasen o no por la fila. Estas dificultades no son fáciles de sortear y, de hecho, no son

---

<sup>28</sup> Se indicó que, en general, el pago de reciprocidad está programado para tener tres funcionarios en la mañana y uno en la tarde. En las ocasiones cuando se retrasan vuelos hasta la tarde, la fila puede colapsar.

abordables por las metodologías expuestas en el presente informe, por lo que, de ser aplicadas, se pueden producir distorsiones en los resultados. Otra dificultad para la medición de los tiempos es que, ante demanda alta, la fila sale del corral destinado para ella, hacia otras dependencias del aeropuerto.

- Metodología de medición directa de los tiempos de espera

Esta cola es, en general, corta y con una baja tasa de atención, por lo que la metodología de medición directa podría ser utilizada, teniendo en cuenta las consideraciones de irregularidad mencionadas anteriormente. Sin embargo, en periodos de alta demanda o cuando existan ciertas contingencias con los vuelos, que retrasen la llegada de pasajeros australianos o mexicanos hacia la tarde, la fila se puede alargar mucho, de modo que no haya buena visibilidad entre el inicio y el final de la cola. Esto puede dificultar la aplicación de esta metodología.

- Metodología de conteo de pasajeros

Aun cuando la fila no es muy regular, no existen pasajeros que entran o salgan en medio de la fila, por lo que no deberían existir desajustes en el conteo de personas al inicio y final de la misma. Por esta razón, es posible utilizar la metodología de conteo de pasajeros. Considerando la tasa de atención observada, y la fila tiene sólo una entrada y una salida, sólo se requeriría dos medidores, a menos que la fila fuera muy larga, caso en el que se necesitara un medidor adicional al inicio de la medición.

- Metodología ACI

La metodología ACI para sistemas de cola multicanal con fila única es aplicable a este tipo de cola. Dado que las tasas de atención son bajas y hay pocos módulos atendiendo, bastaría con utilizar un medidor. En caso que la fila fuera demasiado larga, se podría requerir un medidor adicional. Al aplicar la metodología ACI se debe tener en cuenta que ésta no registra los pasajeros que no tuvieron que hacer fila.

### **7.2.2 Policía Internacional inmigración**

El sector de atención a pasajeros nacionales cuenta con 19 módulos y el de atención a extranjeros, con 16. En ambos, se cuenta con un sistema de cola multicanal con fila única. Las filas están en corrales tipo cuncuna y se ubican en un recinto compartido con el pago de reciprocidad.

Durante las visitas al aeropuerto AMB se observó variabilidad en la demanda en la inmigración. En los momentos con vuelos entrantes se observó filas largas, pero sin sobrepasar el espacio destinado para ellas, aun cuando no estaban abiertos todos los módulos de atención. Sin embargo, según lo que indica un funcionario del aeropuerto, ante una llegada de varios vuelos en un corto periodo de tiempo, puede producirse mucha aglomeración, de modo que las filas salen del corral y llegan hasta otras dependencias del aeropuerto.

Al igual que en Policía Internacional para emigración, la cola analizada es muy regular. Todos los pasajeros deben pasar por el control, por lo que no hay incentivo a salir en la mitad de la fila. En casos de alta aglomeración la fila podría salir del corral por lo que, eventualmente, pasajeros podrían entrar en la mitad de la fila, aunque esto último no es una situación esperable, al ser el primer control al descender el avión y no existir servicios (como el Duty Free) previo a este control. Al igual que en emigración, al haber fila única, la medición es simple. Sin embargo, en caso de que salgan del corral, se dificulta la medición de tiempos de espera.

En la cola para extranjeros, pudiera haber pasajeros mexicanos y australianos que requieran hacer la fila dos veces, en caso de haber olvidado pagar el impuesto de reciprocidad antes de pasar a Policía Internacional. En algunos casos, el funcionario de Policía Internacional permite que el pasajero pueda pasar el control sin hacer nuevamente la fila, pero en otros, los pasajeros podrían hacerla nuevamente.

#### ***Aplicabilidad Metodologías Manuales***

Estas colas, para pasajeros nacionales y extranjeros, son muy similares a las del control de Policía Internacional en emigración. La principal diferencia es que en

inmigración las filas de pasajeros pueden salir del corral y del recinto destinado a la fila. Otra particularidad de la fila es la recién mencionada, de pasajeros eventualmente rechazados, que deban devolverse a los módulos de pago de reciprocidad. Sin embargo, lo esperable es que estos pasajeros sean pocos y que su ocurrencia se pueda reducir con mejoras en la información al descenso del vuelo.

En consecuencia, la aplicabilidad de las distintas metodologías manuales analizadas es la misma que para el caso de Policía Internacional emigración (ver 7.1.1). Básicamente, no resulta aplicable la medición directa de tiempos de espera y tanto la construcción de curvas como la metodología ACI requerirían analizar la eventual necesidad de medidores adicionales.

### **7.2.3 Control SAG/Aduana**

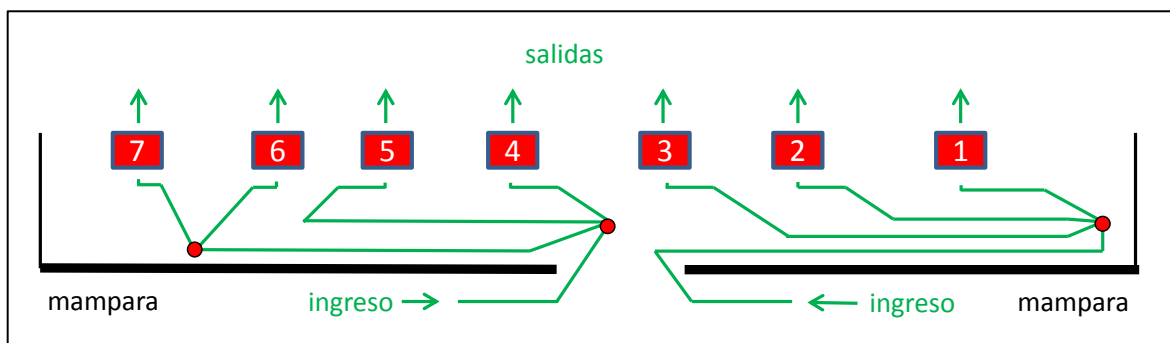
El control conjunto SAG/Aduana cuenta con siete módulos de atención y, próximamente, abrirá otro sector con tres módulos más<sup>29</sup>. Por aquí deben pasar todos los pasajeros después del control de Policía Internacional, habiendo retirado previamente su equipaje (en caso de traer equipaje adicional al de mano). En este control se revisa la totalidad del equipaje, con máquinas de rayos o manualmente.

La disposición de la cola es variable. En momentos de baja demanda funciona como un sistema multicanal con una fila por canal. Sin embargo, ante un aumento en la demanda, en el sistema se forman filas paralelas que bifurcan en otras filas. El caso con mayor demanda es el que se da en la figura 5. Existen dos filas de ingreso al sector SAG/Aduana, que están al otro lado de la mampara que separa SAG/Aduana de los carruseles de retiro de equipaje. La fila derecha da acceso a los módulos de atención del 1 al 3, y la fila izquierda da acceso a los módulos 4 al 7. La fila de la derecha bifurca en tres filas secundarias, una para cada módulo. En la fila de la izquierda bifurca en tres filas secundarias, una para cada módulo 4, 5 o 6. Sin embargo, ante alta demanda, la fila que iría al módulo 6 bifurca en dos filas secundarias, una para cada módulo 6 o 7.

---

<sup>29</sup> Se espera que el sector con tres módulos adicionales abra en temporada alta y cuando haya dotación suficiente para ello, tanto en SAG como en Aduana.

**Figura 16.** Sistemas paralelos de colas multicanal con fila única en control SAG/Aduana.  
**Fuente: Elaboración propia**



El sistema de cola es bastante desordenado, lo cual dificulta mucho la medición de tiempos de espera. Aun cuando pareciera tener una estructura, ésta es bastante dinámica. Durante las visitas se observó momentos con demanda baja, donde había un par de módulos abiertos. En la medida que aumentó la demanda se abrieron módulos y cada uno funcionó con una fila independiente. Sin embargo, a medida que la demanda aumentó aún más, se empezaron a formar las filas que bifurcan en otras filas. Se observó personas que hacían la fila de la izquierda pero que, al llegar a la entrada de la mampara, eran desviados a los módulos de la derecha. En la fila de la derecha fue clara la bifurcación en varias filas en la esquina derecha del recinto. Sin embargo, en la de la izquierda, al haber una bifurcación justo al lado de la mampara, se forma confusión entre los pasajeros que llegan a ese punto. Según lo que indican funcionarios del aeropuerto, en periodos con mucha aglomeración las filas principales se pueden alargar mucho, hasta llegar a otras dependencias del aeropuerto.

La cola analizada tiene regularidad media. Todos los pasajeros deben pasar por el control, lo que desincentiva la salida de pasajeros a mitad de la fila. Sin embargo, en el caso que haya aglomeración, la fila sale a un sector abierto, lo que posibilita la potencial entrada de pasajeros en la mitad de la fila. Eso se podría dar en dos casos: cuando un pasajero queda esperando en fila por un grupo de pasajeros acompañantes que visitan el *Duty Free* (en especial ante tiempos de espera muy altos) o cuando un pasajero de un grupo hace la fila mientras otro(s) esperan la salida de su equipaje.

Por otro lado, en el caso de alta demanda, las filas principales que se producen son rectas, por lo que el final de una fila se puede alejar mucho de los módulos de atención. Las filas rectas se realizan en espacios abiertos y estrechos, lo que dificulta la observación de los pasajeros en ellas. Todas las situaciones antes mencionadas hacen que la medición de los tiempos de espera sea muy compleja.

### ***Aplicabilidad Metodologías Manuales***

Esta es la fila más compleja de todas las analizadas, por ser de tipo variable y dinámica. El sistema de cola tiene varias configuraciones y éstas pueden ir cambiando rápidamente en el tiempo, a medida que aumenta o disminuye la demanda, no permitiendo distinguir con facilidad lo que ocurre en la cola. Por otro lado, el espacio para la cola se divide en dos partes: el espacio del recinto de SAG/Aduana que está detrás de una mampara, donde están los corrales y filas secundarias; y el espacio exterior que está destinado al retiro de equipaje, pero que puede albergar parte de la fila cuando el recinto SAG/Aduana colapsa. El primer recinto es muy estrecho como para tener corrales independientes, y en el segundo los usuarios de la fila comparten espacio con quienes retiran equipaje, haciendo difícil distinguir las filas. Todo lo anterior hace que, para el funcionamiento actual del control, no exista una metodología de medición manual aplicable. Por un lado, la cola tiene una alta demanda, por lo que las filas que se forman son muy largas y se hace imposible tener visibilidad del principio y final de las filas, condición necesaria para aplicar la metodología de medición directa de tiempos de espera. Por otro lado, la fila tiene irregularidades de cola que permiten la entrada de pasajeros en el medio de las filas, lo que no permite utilizar la metodología de conteo de pasajeros debido a que se descuadra el conteo de llegadas de pasajeros. Finalmente, para poder aplicar cualquier metodología se requiere que la cola tenga una estructura clara, la cual no existe. Igualmente, a continuación se analizan otras dificultades específicas:

- Metodología de medición directa

La metodología de medición directa es adecuada para filas irregulares y con estructura y/o disciplina pobre como la del control SAG/Aduana. Sin embargo, se requiere una

buena visibilidad entre el inicio y final de la cola, lo cual no ocurre actualmente cuando existe aglomeración. Además, los altos tiempos de espera que se pueden dar en este control podrían entregar una pobre (o eventualmente nula) cantidad de datos.

- Metodología de conteo de pasajeros

Dado que se tiene irregularidades de cola que permiten la entrada de pasajeros en medio de la fila, lo esperable es que el conteo de pasajeros entrantes a la cola sea menor que el conteo de pasajeros salientes. Esto provoca serios problemas al momento de construir las curvas de entrada y salida de pasajeros y, por ende, distorsiona los valores de tiempos de espera. Por esta razón, bajo el actual funcionamiento del control, no se recomienda este tipo de metodología.

- Metodología ACI

La metodología ACI no es aplicable a sistemas de cola multicanal con filas que bifurquen, por lo que no es aplicable en este control.

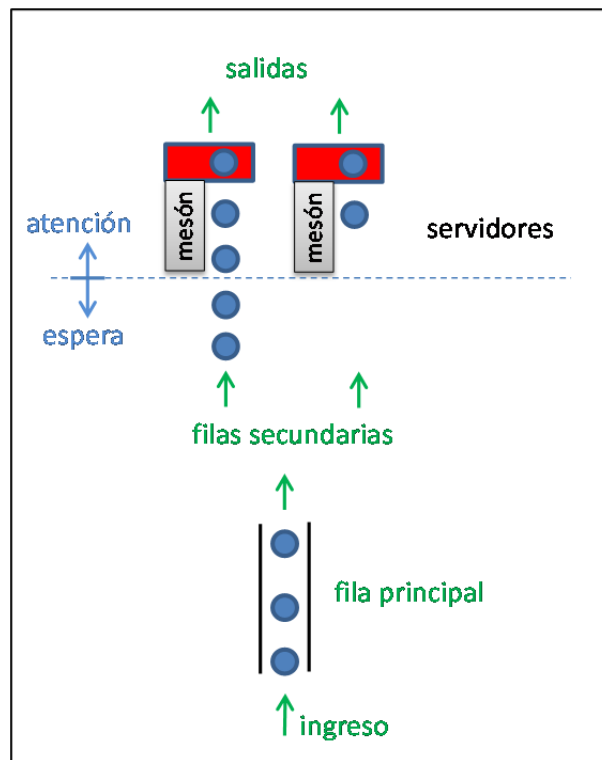
### **7.3 Procesos de tránsito**

En el aeropuerto AMB, los pasajeros en tránsito deben pasar únicamente por el control de seguridad AVSEC de la DGAC.

#### **7.3.1 Control AVSEC tránsito**

Este control cuenta con dos módulos dispuestos como sistema de cola multicanal con fila principal que desemboca en filas secundarias, una fila por canal. Su funcionamiento es muy parecido al de AVSEC de emigración, con la diferencia que no existe pre-chequeo. Cada pasajero, al llegar al inicio de la fila principal debe elegir una fila secundaria hacia uno de los módulos de atención. Al igual que en el caso de AVSEC emigración, el tiempo de espera termina una vez que el pasajero ingresa al mesón. En la figura 17 se muestra la configuración de la cola. En el caso de baja demanda, sólo se tiene un módulo funcionando, de modo que el sistema de cola funciona como uno monocanal. Ante un aumento en la demanda se abre el segundo módulo de atención. La fluidez es menor a la de AVSEC emigración, al contar con menos módulos.

**Figura 17.** Sistema de cola multicanal con fila única, en control AVSEC tránsito.  
**Fuente:** Elaboración propia



La cola analizada es muy regular. Todos los pasajeros en tránsito deben pasar por este sector. El recinto donde se realiza el control es pequeño y los pasajeros se aglomeran con facilidad. Durante la visita se observó que la fila principal se extendió muy lejos del recinto de AVSEC, hasta dependencias comunes (compartidas con pasajeros inmigrantes).

### ***Aplicabilidad Metodologías Manuales***

Tal como es el caso del control AVSEC emigración, el sistema de colas existente (con filas principales y secundarias) podría dificultar la medición de tiempos de espera. Sin embargo, en este caso solamente hay dos filas secundarias. Por otro lado, dado que los pasajeros que hacen conexión llegan en lotes y que en AVSEC tránsito sólo existen dos módulos de atención, la fila puede salir hasta dependencias lejanas de AVSEC

tránsito (en la visita se observó que la fila externa puede ser mucho más larga que la interna del recinto AVSEC). Esto hace que, ante situaciones de aglomeración, la visibilidad de la fila completa sea prácticamente nula, lo que podría dificultar el conteo de pasajeros en las filas.

- Metodología de medición directa de los tiempos de espera

Dado que en situaciones de aglomeración no hay visibilidad de la fila completa, no se recomienda la metodología de medición directa para este control.

- Metodología de conteo de pasajeros

Dado que esta fila es muy regular, la metodología de construcción de curvas de entrada y salida de pasajeros podría ser utilizada. La tasa de atención de pasajeros es baja, por lo que no debería haber mayores problemas con la concentración de los medidores. Se debe tener cuidado con las eventuales entradas en el medio de la fila que se podría haber en la porción que está fuera del recinto AVSEC.

- Metodología ACI

La metodología ACI no es aplicable a sistemas de cola multicanal con una fila principal que bifurca en filas secundarias, por lo que no es aplicable en este control.

#### **7.4 Aplicabilidad de metodologías automáticas a controles del aeropuerto AMB**

Las características de las colas de los controles del aeropuerto AMB analizadas en el presente estudio se adecuan bien a la mayoría de las necesidades de las principales metodologías de medición automática presentadas en la sección 4.3. Concretamente, con respecto al diseño de aeropuerto:

- Los espacios destinados para la espera de usuarios son fijos, exclusivos y bien definidos, salvo dos excepciones: en el pago de reciprocidad, donde puede

haber no usuarios en la cola y en el control SAG/Aduana donde una porción del espacio de cola se comparte con el retiro de equipaje.

- La altura de los espacios de cola es adecuada para la instalación de sensores. Ninguna estructura tiene una altura demasiado elevada, salvo en el espacio SAG/Aduana. Sin embargo, en este sector se posee vigas transversales donde se podría instalar sensores.
- Los espacios de cola son interiores. Además, en gran parte, la iluminación es artificial y fija.

Con respecto al comportamiento de los pasajeros:

- En general, los pasajeros del aeropuerto están dispuestos a participar en procesos de medición, tal como se ha visto en el nuevo proceso de pre-chequeo en AVSEC emigración.
- Las colas son en su mayoría regulares o muy regulares, y es muy inusual que los pasajeros abandonen la fila. Casos donde se producen irregularidades de cola:
  - Ingreso de pasajeros en el medio de la fila: sólo se da en el caso del control SAG/Aduana, donde es necesario realizar cambios para realizar cualquier tipo de medición.
  - Acompañantes de usuarios en la fila, o un usuario haciendo la fila por varios usuarios: sólo se da en el pago de reciprocidad. Este tipo de situación es difícil de detectar, aunque se podría relacionar con la información de pago de los usuarios.
- No hay reingreso de usuarios a la cola, excepto en el caso de algunos pasajeros australianos y mexicanos que son rechazados en Policía Internacional cuando les corresponde pagar el Impuesto de Reciprocidad y no lo han hecho.
- En todas las filas sólo se requiere medir sólo un tipo de usuario.

Aun así, existen algunas situaciones que dificultan la medición automática. La principal dificultad para implementar tecnologías automáticas de medición en el aeropuerto AMB es que en varios controles, en momentos de altísima aglomeración, la fila sale del

espacio que tiene asignado y pierde estructura. Es el caso de las filas de pago de reciprocidad, Policía Internacional inmigración, SAG/Aduana y AVSEC para pasajeros en tránsito. En general, esto se puede mitigar aumentando la cantidad de módulos atendiendo en periodos punta, de modo de disminuir el largo máximo de las filas, y/o aumentando el espacio para ellas y dándoles una estructura fija (por ejemplo, instalando nuevos corrales). En algunos casos como AVSEC para pasajeros en tránsito o en SAG/Aduana, no hay espacio para aumentar la capacidad de cola dentro del recinto.

Se debe tener especial cuidado en la aplicación de tecnologías automáticas en el caso el control SAG/Aduana, donde el espacio fuera de la mampara no es de exclusivo uso de los pasajeros en espera, sino que es compartido con los pasajeros que retiran sus equipajes. Para la aplicación de las tecnologías automáticas es recomendable que ambos espacios estén físicamente separados mediante estructuras rígidas, tales como muros, tabiques o paneles modulares fijos.

También se debe tomar en cuenta que las tecnologías de medición automática requieren un alto costo de instalación, por lo que no son recomendadas para espacios de cola cuya geometría es variable en el tiempo. Este es el caso del aeropuerto AMB en el mediano plazo, el cual estará en remodelación durante los próximos años.

## **7.5 Variaciones de la demanda según temporada y periodo**

Como parte del proceso del análisis de la situación actual del aeropuerto AMB, y con el propósito de orientar el plan de implementación de la metodología propuesta, se realizó un estudio de la demanda de pasajeros para uno de los controles fronterizos del aeropuerto AMB. Para ello, se utilizó información histórica de los vuelos entrantes y salientes del país durante el año 2014. Los hallazgos más relevantes del análisis se muestran a continuación. El análisis completo se detalla en el Anexo E .

### 7.5.1 Análisis de pasajeros entrantes y salientes

Del análisis realizado para los pasajeros entrantes y salientes, es posible concluir que:

- Existen dos **temporadas de demanda alta**: una coincidente con los meses de vacaciones de verano en Chile (enero y febrero) y otra con el mes de vacaciones de invierno (mes de julio).
- Adicionalmente, se observan dos **periodos de *peaks* puntales de demanda**: uno coincidente con Fiestas Patrias y otro con Navidad.
- Existen dos periodos punta para los **pasajeros salientes**: uno en la mañana (entre 7:00 y 11:00) y otro en la noche (entre 20:00 y 00:00). En los meses de abril, mayo, junio, septiembre, octubre y noviembre (coincidentes con meses de temporada baja) la demanda en estos periodos punta baja de intensidad, de modo que se genera un periodo adicional punta (entre 15:00 y 18:00), de intensidad menor aunque de mayor extensión. Por otro lado, no fue posible detectar suficientes diferencias en la demanda de cada día de la semana como para definir días de mayor flujo dentro de la semana.
- Para el caso de los **pasajeros entrantes**, solo se observa un periodo punta en la mañana (6:00 a 12:00). Este periodo punta es consistente durante todos los meses del año. Al igual que en el caso de los pasajeros salientes, no existen suficientes diferencias en la demanda de cada día de la semana como para definir días de mayor flujo dentro de la semana<sup>30</sup>.

En el caso particular de los vuelos provenientes de Australia y México, existen dos periodos punta: uno en la mañana entre 6:00 y 7:00; y otro a mediodía entre 10:00 y 13:00, por lo que es esperable un aumento en la demanda del pago de reciprocidad a estas horas.

---

<sup>30</sup> En el caso particular de los vuelos provenientes de Australia y México, existen dos periodos punta: en la mañana de 6:00 a 7:00 y a mediodía entre 10:00 y 13:00.

### 7.5.2 Patrones de llegada y salida de vuelos

Finalmente, en el estudio de los **patrones de llegada y salida de vuelos** en temporada alta y baja se pudo concluir lo siguiente:

- En todas las instancias analizadas, la mayor parte de los vuelos tiene una clara estructura en aerolíneas y orígenes/destinos, que se repite todos los días (aunque hay casos en que la estructura es mucho más marcada que en otros). En efecto, los vuelos pertenecientes a la estructura definida pueden representar entre un 73% y un 95% del total de los vuelos entrantes o salientes, en las distintas temporadas.
- Existe una alta concentración de los vuelos en un bajo porcentaje de las aerolíneas.
- La mayoría de las aerolíneas repite gran parte de sus orígenes/destinos a lo largo de la semana. Sin embargo, durante un día, los vuelos están repartidos entre varios orígenes/destinos, existiendo sólo unos pocos que se repiten en una aerolínea.
- En general, se observa que los vuelos están bastante repartidos entre cada una de las horas que componen cada periodo punta.

En el caso de los vuelos salientes, en ambas temporadas, la cantidad de vuelos y asientos es menor en punta noche que en punta mañana. Sin embargo, la cantidad de pasajeros transportados es similar, lo que muestra que los vuelos de la punta noche tienen mayor ocupación que los de punta mañana.

## 8 Metodología propuesta para la medición y elaboración de índices

En el presente capítulo se describen las metodologías de medición de tiempos de espera automática y manual definidas y recomendadas por los consultores. En el caso de la metodología automática, se entregan algunas consideraciones para la implementación del sistema. El sistema de medición manual se desarrolla en detalle, incluyendo una completa descripción del procedimiento y de los cálculos a efectuar, además de un plan de implementación del método adaptado a las particularidades del aeropuerto AMB.

### 8.1 Metodología de medición automática

Atendiendo a las precauciones presentadas en secciones anteriores, la tecnología de medición automática recomendada es la de identificación de pasajeros mediante sensores WiFi/Bluetooth. Ésta corresponde a una tecnología probada y utilizada desde el año 2006 (SITA, 2014), que tiene una alta tasa de captura de datos (alrededor de 40% a 80% de los pasajeros, dependiendo del aeropuerto), una buena proporción de los cuales son utilizables (aproximadamente 50% de datos con errores), lo que permite tener una muestra estimada no inferior al 20% del total de pasajeros. Este porcentaje de cobertura puede ser aún mayor, en la medida que una mayor cantidad de dispositivos personales utilicen WiFi mientras el usuario está en las colas de espera de los aeropuertos, comportamiento esperable teniendo en cuenta que el tiempo esperando en cola generalmente es considerado como “tiempo perdido”.

Además, tal como se menciona en SITA (2014), este método se puede complementar con otras tecnologías de conteo de pasajeros al inicio de la fila (por ejemplo, el pre-chequeo de tarjetas de embarque en AVSEC emigración). Debe notarse que la captura de señales de dispositivos está sujeta a que los dispositivos estén emitiendo señal. Los dispositivos Bluetooth sólo emiten señal cuando están en modo *discovery* y los dispositivos WiFi cuando están buscando una conexión WiFi o transmitiendo datos sobre una red. En el caso de WiFi, cuando el dispositivo está buscando una conexión, emite una señal cada uno o dos minutos (dependiendo del dispositivo), lo que no

permite una medición exacta. En cambio, cuando el dispositivo está transmitiendo datos, emite señales continuamente, permitiendo recolectar buenas mediciones. Por esta razón, es recomendable que en el aeropuerto donde se instale esta tecnología exista una red WiFi abierta a los usuarios, de modo de incentivar que los dispositivos transmitan datos mientras los pasajeros estén en las colas.

El principal cuidado que se debe tener para implementar esta tecnología es la necesidad de instalar los sensores a baja altura (de 3 a 4 metros). No obstante, en la mayoría de las instalaciones de AMB en que existen filas los techos son bajos, salvo en SAG/Aduana, pero incluso en este lugar se cuenta con pilares transversales donde es posible instalar sensores a baja altura. En cualquier caso, instalando sensores con antenas direccionales se puede utilizar esta tecnología en cielos de hasta 30 metros de altura.

## **8.2 Metodología *ad hoc* de medición manual**

La metodología de medición manual recomendada corresponde a un procedimiento definido por los consultores, en base en las mejores prácticas internacionales, y adaptado a la situación de las colas del aeropuerto AMB. Esta metodología es aplicable a casi todos los controles del aeropuerto AMB (a excepción del control SAG/Aduana) y, por su naturaleza, permite construir prácticamente cualquier índice de tiempos de espera.

La irregularidad y falta de estructura del sistema de colas del control SAG/Aduana no permite que se pueda aplicar la metodología *ad hoc* en él. Se podría crear adaptaciones de la metodología a sistemas con múltiples bifurcaciones, pero éstas serían muy difíciles de implementar. La metodología *ad hoc* podría ser aplicada al control SAG/Aduana bajo ciertos cambios en su estructura de sistema de cola, tal como se sugiere en el Anexo F .

En las siguientes secciones se presenta la metodología de medición de tiempos de espera para los sistemas de cola que son parte del presente estudio, incluyendo procedimiento de aplicación y plan de implementación.

### **8.2.1 Descripción de la metodología**

A continuación se presentan el método propuesto de medición de tiempos de espera para los distintos sistemas de cola observados en los controles del aeropuerto AMB. Para cada caso, se define el procedimiento de obtención de los parámetros requeridos para la aproximación de curvas de entrada y salida, necesarios para calcular los indicadores requeridos (tiempos de espera medios y máximos y cantidad de pasajeros que espera más que un cierto umbral). Debe notarse que, en el caso que sólo se desee medir los tiempos máximos de espera, no es necesario medir la cantidad de personas atendidas inmediatamente (denominada  $V_i$ ) y basta con considerarla nula.

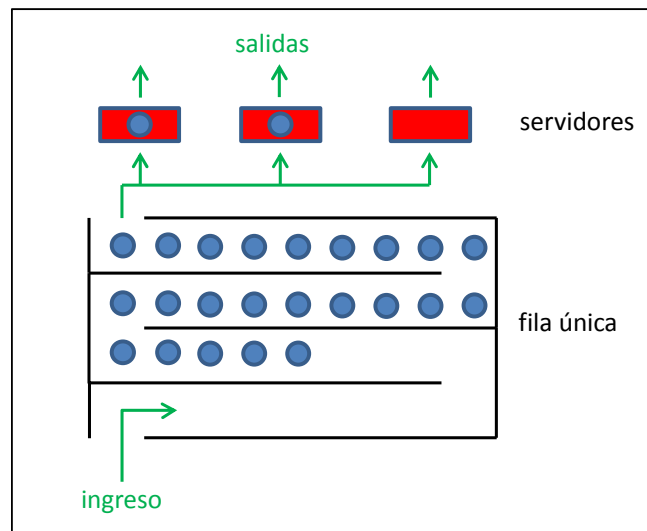
Estas definiciones abordan todos los tipos de control observados, salvo el caso del conjunto SAG/Aduana, sistema que requeriría ajustes previos a la aplicación de cualquier método de medición. Para un análisis de estos ajustes, considerando la metodología de medición manual propuesta, se puede consultar la información entregada en el Anexo F .

#### **8.2.1.1 Sistema de cola multicanal con fila única**

Este tipo de sistema es el que se muestra en la figura 18, y se encuentra en los siguientes controles:

- Policía Internacional emigración.
- Pago de Impuesto de Reciprocidad.
- Policía Internacional inmigración.

**Figura 18.** Sistema de cola multicanal con fila única.  
**Fuente:** Elaboración propia



En la medición de este tipo de sistemas es posible encontrarse en dos situaciones: la fila puede estar con pasajeros o no. En el primer caso (fila no vacía), el medidor comienza la observación cuando un pasajero deja la cola para ser atendido. Al mismo tiempo, se identifica al *último pasajero*<sup>31</sup> en la fila. Una vez que la observación comienza, el medidor cuenta la cantidad de pasajeros en la fila, incluyendo en el conteo al *último pasajero*, pero no al que acaba de entrar para ser atendido (el que deja la fila y pasa al servidor). En este caso  $L_i$  está dado por el largo de la fila, y la cantidad de pasajeros atendidos inmediatamente  $V_i$  es nula. Cada observación puede concluir de dos formas:

- El *último pasajero* es atendido en menos de 10 minutos. En este caso el medidor registra el tiempo. En este caso el valor de  $R_i$  (remanente de la cola, o número de individuos que quedan sin atender delante del *último pasajero*) es nulo.

<sup>31</sup> El *último pasajero* se refiere al pasajero que está al final de la fila y que debe ser seguido durante la observación. Este pasajero es distinto al que deja el sistema para ser atendido, que es el que gatilla el inicio de la observación.

- El *último pasajero* no es atendido en menos de 10 minutos. Caso en que el medidor registra que han pasado 10 minutos y cuenta el número de pasajeros delante del *último pasajero* y el número de servidores disponibles, que corresponde al valor de  $R_i$  en este caso.

En caso que la fila esté vacía, el medidor debe contabilizar la cantidad de personas que llegan al sistema mientras la cola estuvo vacía, hasta que se forme cola nuevamente o termine la medición (lo que ocurra primero). En este caso,  $L_i$  y  $R_i$  son nulos, y  $V_i$  es la cantidad de pasajeros que alcanzan a ser atendidos sin esperar mientras la fila está vacía.

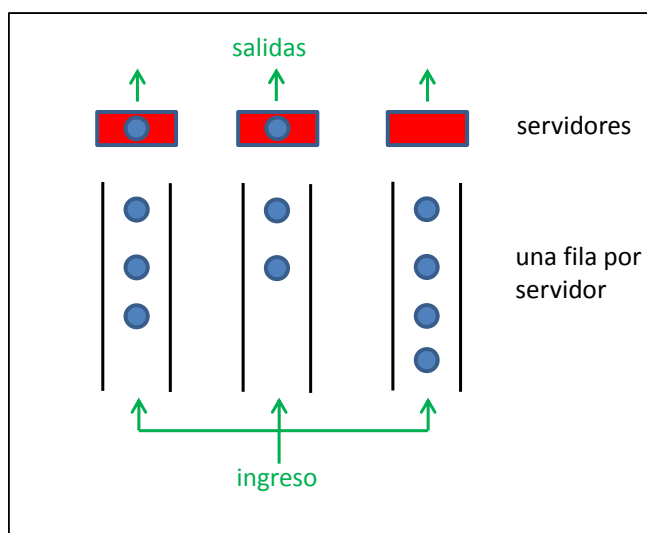
Al final del periodo de medición se debe registrar el largo final de la fila  $L_n$ .

#### 8.2.1.2 Sistema de cola multicanal con una fila por canal

Este tipo de sistema se muestra en la figura 19. Si bien no se observa en la actualidad en ninguno de los controles del aeropuerto AMB, podría darse después de alguna reestructuración de filas o remodelación del aeropuerto.

**Figura 19.** Sistema de cola multicanal con una fila por canal.

**Fuente:** Elaboración propia



En este tipo de cola, también se cuenta con dos casos principales: la fila puede estar con pasajeros o no. Si la fila no está vacía, el medidor comienza la observación cuando un pasajero del sistema deja la fila para ser atendido. En ese instante, el medidor identifica al *último pasajero* en la fila más larga y cuenta tanto el número de pasajeros en esta fila (digamos, **a**), como el número de pasajeros en todas las filas disponibles (digamos, **b**). En este conteo de la fila más larga se incluye al *último pasajero*, pero no el que acaba de ser atendido (el que deja la fila y pasa al servidor). En este escenario, los largos de fila  $L_i$  en cada observación están dados por **b** y la cantidad de pasajeros atendidos inmediatamente  $V_i$  es nula.

Cada observación puede concluir de dos formas:

- El *último pasajero* es atendido en menos de 10 minutos. El medidor anota el tiempo; en este caso,  $R_i$  es nulo.
- El *último pasajero* no es atendido en menos de 10 minutos. El medidor anota que han pasado 10 minutos y cuenta el número de pasajeros delante del *último pasajero* en su respectiva fila (digamos, **c**). En este escenario,  $R_i$  es igual a la cantidad estimada de pasajeros que quedaron sin atender al final de la observación, la cual se aproxima de acuerdo a la proporción<sup>32</sup> de pasajeros que quedaron sin atender en la fila del último pasajero. Es decir,  $R_i$  está dado por **b**, multiplicado por **c** y dividido por **a**.

Por el contrario, en el caso que la(s) fila(s) esté(n) vacías, el medidor debe contabilizar la cantidad de personas que llegan al sistema mientras la cola estuvo vacía, hasta que se forme cola nuevamente o termine la medición, lo primero que ocurra. Para este caso,  $L_i$  y  $R_i$  son nulos; y  $V_i$  es la cantidad de pasajeros que alcanzan a ser atendidos sin esperar mientras las filas estén vacías. En este caso, la observación termina cuando se empieza a formar cola o cuando termine el periodo de medición, lo que ocurra primero.

---

<sup>32</sup> También se puede suponer que todas las filas atienden a la misma tasa que la fila más larga, por lo que en el periodo atendieron a la misma cantidad de clientes.

Al final del periodo de medición se debe registrar la cantidad de pasajeros en el sistema,  $L_n$ .

En este tipo de sistema, se mide todo el sistema de colas como si fuera sólo una cola. Aunque, en estricto rigor, este sistema no es FIFO, para efectos del cálculo de tiempos de espera, se puede suponer que el sistema total de colas se comporta de manera similar a uno con disciplina FIFO.

El método de cálculo propuesto se basa en dos supuestos adicionales a los de la metodología para sistemas con fila única:

- 1) En las observaciones de una medición, la cantidad de pasajeros promedio que se atienden antes del *último pasajero* (en la fila más larga) es igual a la cantidad total de pasajeros en todas las filas contabilizados al inicio de la observación. Este supuesto está implícito al suponer que la disciplina del conjunto de colas es FIFO; y
- 2) En promedio, la fracción de pasajeros atendidos sobre el total de pasajeros en un intervalo de tiempo es igual entre los pasajeros de la fila más larga y todos los pasajeros del conjunto de filas.

#### **8.2.1.3 Sistema de cola multicanal con una fila principal que desemboca en filas secundarias**

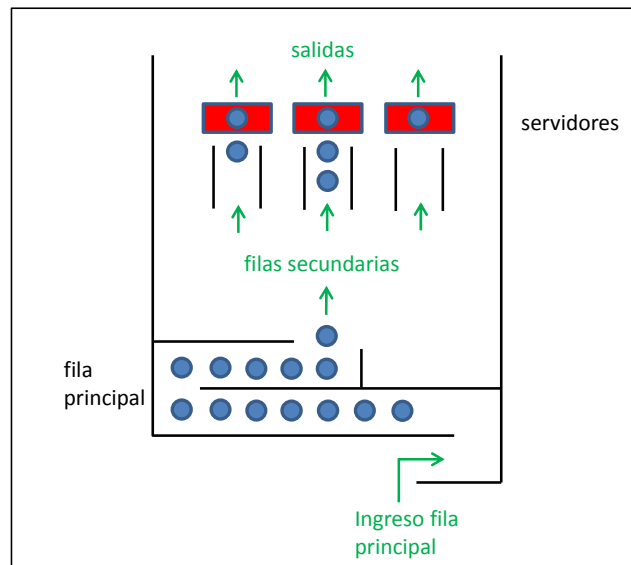
Este tipo de sistema se presenta en la figura 20 y se da en los siguientes controles:

- AVSEC emigración
- AVSEC para pasajeros en tránsito

Además, es la situación que se daría en el control SAG/Aduana bajo la reestructuración propuesta en el Anexo F .

**Figura 20.** Sistema de cola multicanal con una fila principal que desemboca en filas secundarias.

**Fuente:** Elaboración propia



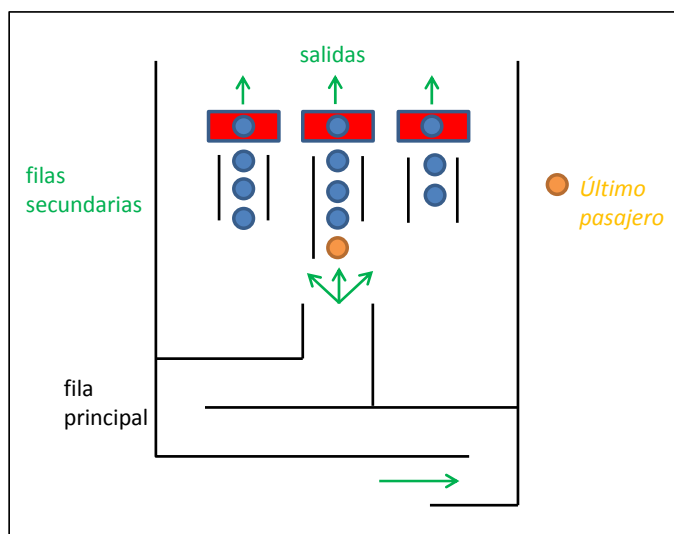
Al igual que en los casos anteriores, en este escenario se tiene dos situaciones posibles: la fila puede estar ocupada o no. En el caso que la fila no esté vacía, el medidor comienza la observación cuando un pasajero del sistema deja la fila para ser atendido. A partir de este escenario hay varias posibilidades:

- Si al comenzar la observación no hay pasajeros en la fila única, sino solamente en las filas secundarias, tal como se muestra en la figura 21. En el momento que comienza la observación, el medidor identifica al *último pasajero* de la fila más larga y cuenta tanto el total de pasajeros en esta fila (digamos, **a**), como el total de pasajeros en todas las filas secundarias (digamos, **b**). Este conteo incluye al *último pasajero*, pero no el que acaba de ser atendido (el que deja la fila y pasa al servidor). En este escenario, el largo de fila  $L_i$  es **b** y la cantidad de pasajeros atendidos inmediatamente  $V_i$  es nula. La observación puede concluir de dos maneras:
  - Si el *último pasajero* es atendido en menos de 10 minutos. En este caso el medidor registra el tiempo, y  $R_i$  es nulo.

- Si el *último pasajero* no es atendido en menos de 10 minutos y se da la situación de la figura 22 (independiente de si detrás del *último pasajero* hay o no pasajeros en la fila principal), el medidor registra que han pasado 10 minutos y cuenta la cantidad de pasajeros delante del *último pasajero* en su fila respectiva (digamos *c*). En esta situación entonces  $R_i$  está dado por el total de pasajeros iniciales *b*, multiplicado por la cantidad delante de *último pasajero* *c* y dividido por la cantidad inicial de pasajeros en la fila más larga *a*.

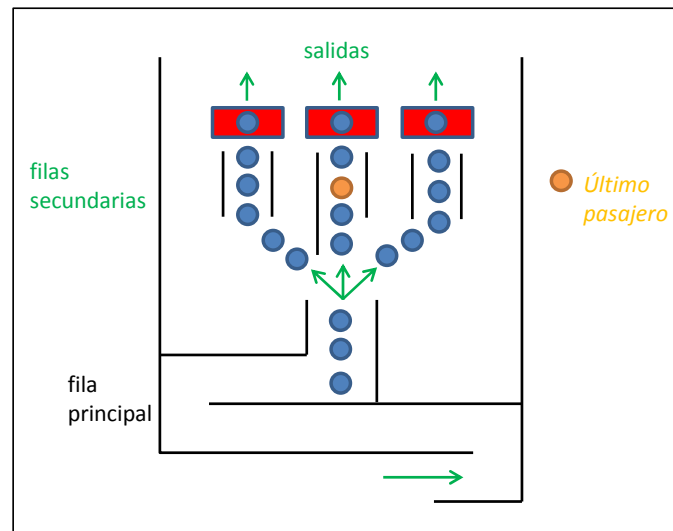
**Figura 21.** Inicio de la medición en un sistema de cola multicanal con una fila principal que desemboca en filas secundarias, sin pasajeros en fila principal.

**Fuente: Elaboración propia**



**Figura 22.** Fin de la medición en un sistema de cola multicanal con una fila principal que desemboca en filas secundarias, donde el último pasajero termina en una fila secundaria.

**Fuente:** Elaboración propia

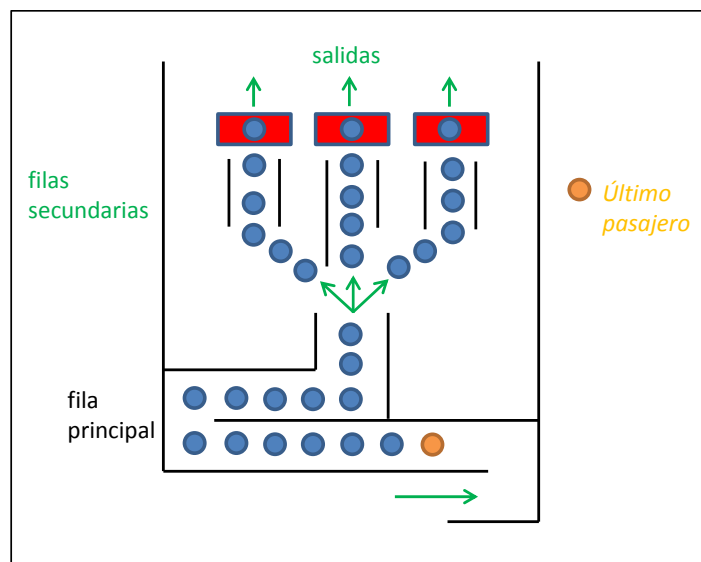


- Si al comenzar la observación hay pasajeros en la fila única (y por ende en las secundarias), tal como se muestra en la figura 23. En el momento que comienza la observación, el medidor identifica al *último pasajero* de la fila principal y cuenta el total de pasajeros en todas las filas (principal y secundarias; el total se denominará  $d$ ). Este conteo incluye al *último pasajero*, pero no al que acaba de ser atendido. En este escenario, el largo de fila  $L_i$  es  $d$  y la cantidad de pasajeros atendidos inmediatamente  $V_i$  es nula. La observación puede concluir de dos maneras:
  - El *último pasajero* es atendido en menos de 10 minutos. Se registra el tiempo, y el remanente de cola es cero ( $R_i = 0$ ).
  - Si el *último pasajero* no es atendido en menos de 10 minutos y:
    - Si el pasajero termina en la fila principal (se da la situación de la figura 24), el medidor registra que han pasado 10 minutos y cuenta la cantidad de pasajeros delante del *último pasajero* en todas las filas (principal y secundarias), que se llamará  $e$ . En particular, en esta situación,  $R_i = e$ .

- Si el *último pasajero* alcanza a elegir una fila secundaria, tal como se muestra en la figura 22 (independiente de si detrás del *último pasajero* hay o no pasajeros en la fila principal), entonces se registra la cantidad de pasajeros en todas las filas secundarias en el momento que este pasajero dejó la fila principal (digamos,  $f$ ). Luego, cuando han pasado 10 minutos, el medidor registra esto último y cuenta la cantidad de pasajeros en la fila seleccionada por el *último pasajero* (digamos,  $g$ ) y la cantidad de pasajeros delante del *último pasajero* en el momento de concluir la medición (digamos,  $h$ ). El remanente de cola en esta situación estará dado por  $f$  multiplicado por  $h$  y dividido por  $g$ .

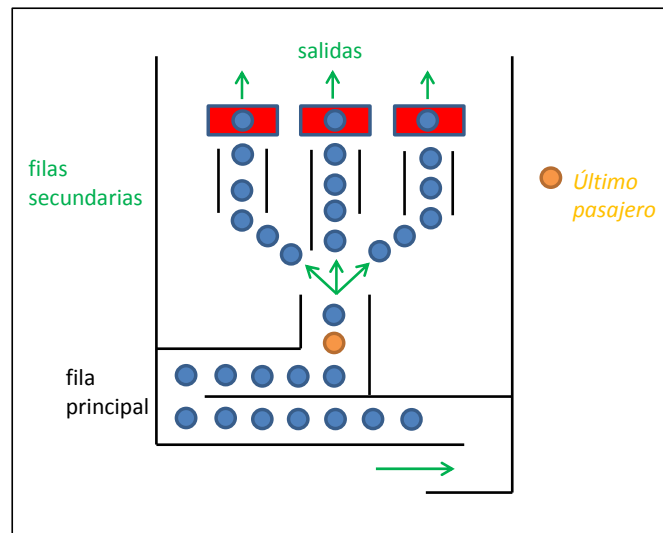
**Figura 23.** Inicio de la medición en un sistema de cola multicanal con una fila principal que desemboca en filas secundarias, con pasajeros en fila principal.

**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 24.** Fin de la medición en un sistema de cola multicanal con una fila principal que desemboca en filas secundarias, donde el último pasajero termina en una fila principal.

**Fuente:** Elaboración propia



Por el contrario, en el caso que la(s) fila(s) esté(n) vacías, el medidor debe contabilizar la cantidad de personas que llegan al sistema mientras la cola estuvo vacía, hasta que se forme cola nuevamente o termine el período de medición (lo que ocurra primero). Si esto sucede,  $L_i$  y  $R_i$  son nulos; y  $V_i$  es la cantidad de pasajeros que alcanzan a ser atendidos sin esperar mientras las filas estén vacías.

Al final del periodo de medición se debe registrar la cantidad total de pasajeros en el sistema,  $L_n$ .

### 8.2.2 Cálculo de tiempos de espera e índices

Según los métodos de cálculo de la sección 3.3, se obtienen los valores de los parámetros  $L_i$ ,  $R_i$  y  $V_i$  para cada observación realizada en  $t_i$ . Los puntos de las aproximaciones de las curvas de entrada y atención de pasajeros se aproximan según las fórmulas (1) y (2) en la sección 3.3.1, que se replican a continuación.

Los valores de  $A(t_i)$  se calculan como:

$$A(t_i) = \begin{cases} L_0 & \text{si } i = 0 \\ A(t_{i-1}) + L_i - R_{i-1} + V_{i-1} = \sum_{j=0}^i L_j - \sum_{j=0}^{i-1} R_j + \sum_{j=0}^{i-1} V_j & \text{si no} \end{cases} \quad (9)$$

Los valores de  $D(t_i)$  se calculan como:

$$D(t_i) = \begin{cases} 0 & \text{si } i = 0 \\ D(t_{i-1}) + L_{i-1} - R_{i-1} + V_{i-1} = \sum_{j=0}^{i-1} L_j - \sum_{j=0}^{i-1} R_j + \sum_{j=0}^{i-1} V_j & \text{si no} \end{cases} \quad (10)$$

Con estos puntos es posible construir aproximaciones  $\bar{A}(t)$  y  $\bar{D}(t)$  de las curvas reales de entrada y atención de pasajeros  $A(t)$  y  $D(t)$ , respectivamente, tal como explica en la misma sección.

Los consultores recomiendan utilizar las funciones inversas  $\bar{A}^{-1}(t)$  y  $\bar{D}^{-1}(t)$  para estimar el tiempo de espera de un pasajero  $n$  como  $\bar{D}^{-1}(n) - \bar{A}^{-1}(n)$ . Esto, para todos los pasajeros que entraron y salieron de la fila durante el periodo de medición. Con los tiempos de espera de esta muestra de pasajeros es posible calcular distintos índices de tiempos de espera (por ejemplo, tiempos promedio y máximos de espera, o porcentaje de pasajeros que esperaron más que cierto umbral).

Las principales razones para recomendar este método son:

- Permite calcular tiempos de espera individuales, lo que a su vez posibilita calcular varios tipos de índices asociados a tiempos de espera.

- No hace supuestos sobre la cantidad de tiempo que esperaron los pasajeros que estaban al inicio del periodo de medición, ni lo que esperarán los que no alcancen a salir de la cola al final del periodo.

Para el cálculo directo de los tiempos de espera de los pasajeros de la muestra, a partir de los valores de  $L_i$ ,  $R_i$  y  $V_i$  en  $t_i$  se recomienda utilizar un programa computacional diseñado especialmente para ello.

A partir de la información anterior, se puede obtener, entre otros, los siguientes índices<sup>33</sup>:

- *Tiempo promedio de espera*, a obtener como un promedio de los tiempos de los pasajeros observados dentro del periodo de medición, o en sub-periodos del mismo.
- *Tiempo máximo de espera*, que corresponde al tiempo máximo que esperó un pasajero dentro del grupo observado en un periodo de medición.
- *Porcentaje de pasajeros que esperó más que cierto umbral de tiempo de espera*, que corresponde a una fracción del total de pasajeros observados dentro del periodo de medición. Para obtener este índice es necesario definir de antemano el valor fijo del umbral de tiempo máximo.

El número requerido de observaciones para estimar estos indicadores debe definirse en función de los valores medios y desviaciones del tiempo de espera, que dependerán de las tasas de atención y de llegada, así como del nivel de error deseado y periodo que se busca representar (mes, temporada, año). En el Anexo G se dan detalles al respecto.

---

<sup>33</sup> Cada uno de estos índices tiene distintos usos, tanto en la gestión del nivel de servicio entregado al usuario, como para diseños de capacidad de procesamiento de las colas. Para más detalles se puede consultar la sección 3.1.

### 8.2.3 Comparación de tiempos de espera con valores de referencia

Uno de los objetivos del estudio es que la metodología entregue índices comparables con los de mediciones en otros aeropuertos y estándares internacionales, permitiendo el análisis comparado y la identificación de brechas, respectivamente.

Existe un conjunto de fuentes de referencia de valores estándar relacionados con tiempos de espera en controles aeroportuarios, las que fueron revisadas en el contexto del presente estudio. Los resultados de esta revisión se reportan detalladamente en el Anexo H , y se resumen en la siguiente tabla, en que se comparan sus distintas características.

**Tabla 4** Cuadro comparativo de fuentes de referencia para comparación de tiempos de espera  
**Fuente: Elaboración propia**

Atributo	Fuente de referencia			
	Convenio de Chicago	Manual de Desarrollo Aeroportuario DAP	Guía de medición manual ACI	Guía de mejores prácticas para elaborar SLA
Uso	Definir metas de tiempos en aeropuertos.	Diseño de instalaciones.	Definir estándares internacionales de KPI. Otros objetivos	Diseño de un acuerdo de calidad de servicio.
Unidad de medición de meta	Tiempo máximo.	Tiempo máximo.	Tiempo promedio.	Porcentaje de usuarios que superan cierto umbral de tiempo máximo, u otros definidos por el usuario
Procesos involucrados	Inmigración o emigración como un todo	Controles separados	Controles separados	Controles separados o definidos por el usuario.
Entrega valores estándar	Sí.	Sí.	No, pero se puede tener con el programa ASQ Performance.	No.
Periodo de validez	Constante en el tiempo.	Para el periodo de inversión.	No indica.	Según vigencia del acuerdo de nivel de servicio.

A partir de este resumen, se constata que sólo dos documentos entregan valores estándares de tiempos de espera. De estos, el Convenio de Chicago entrega valores de tiempos máximos globales para todo el proceso de inmigración o emigración (esto excluye el pago de reciprocidad) y el Manual de Desarrollo Aeroportuario entrega valores por separado para cada uno de los controles que son parte del presente estudio. No se cuenta con valores de referencia para los tiempos promedio en cada control; sin embargo, se podrían obtener si el aeropuerto contratara el programa *ASQ Performance*<sup>34</sup>.

La metodología propuesta permite elaborar índices comparables tanto con los tiempos máximos entregados por el Manual de Desarrollo Aeroportuario de la DAP y como con los tiempos promedio del programa *ASQ Performance*. En caso de ser factible, se recomienda contratar este último programa, el cual entrega valores de tiempos promedio de espera por tipo de control para los aeropuertos participantes del programa.

#### 8.2.4 Plan de implementación de la metodología

En esta sección se presenta una propuesta para el plan de implementación de la metodología de medición manual *ad hoc*, orientado a obtener indicadores de desempeño que puedan ser utilizados para la gestión y el mejoramiento de los distintos controles, y que sean comparables con estándares internacionales de referencias. Se entregan sugerencias para el diseño de campañas de medición, en términos de extensión del periodo de medición y la definición de subperiodos, días y duración y horarios de medición por control, así como la recomendación de realizar una medición piloto para probar el método.

##### 8.2.4.1 Periodo de medición

Se recomienda realizar mediciones a lo largo de todo el año; es decir, considerar un **periodo de medición** anual, de forma de captar adecuadamente las variaciones en los tiempos de espera frente a las variaciones estacionales de la demanda.

---

<sup>34</sup> Ver <http://www.airportservicequality.com/content/performance/participating.html>

Por su parte, en general, el plazo total u horizonte de aplicación de las mediciones (es decir, la cantidad de períodos a medir) dependerá del objetivo que se persiga:

- Si se requiere contar con índices para supervisar y gestionar el desempeño de los controles fronterizos, se recomienda considerar un plazo indefinido.
- Si se requiere observar el desempeño de los controles fronterizos, entonces el plazo mínimo sugerido es un período (un año).

En cualquier caso, al realizar comparaciones de resultados entre períodos, se debe considerar los efectos producidos por las fases de remodelación del aeropuerto.

En este punto cabe notar que, dado que el comportamiento de las entradas y salidas de pasajeros es muy diferente en los procesos de emigración e inmigración, estos procesos se deben analizar por separado, según se destaca en las secciones siguientes, cuando corresponde.

#### **8.2.4.2 Subperíodos de medición**

El periodo de medición anual debe ser subdividido en unidades de análisis menores sobre las cuales se efectuarán las observaciones, cuidando garantizar que las unidades escogidas cubran el periodo de medición (año) completo. Se recomienda considerar **subperíodos** semanales, quincenales<sup>35</sup> o mensuales, en el mismo orden de preferencia; esto es, privilegiándose obtener mediciones en unidades temporales menores<sup>36</sup> (la disponibilidad presupuestaria podría condicionar la adopción de la unidad temporal más agregada, es decir, optar por quincena o mes).

---

<sup>35</sup> Pudiendo entenderse la quincena como un período de 14 días (dos semanas) para facilitar la asignación dentro del año y la coordinación del trabajo del o los equipos de medidores.

<sup>36</sup> No es recomendable adoptar como subperíodos intervalos como las “temporadas” (alta/baja), los “trimestres” o los “semestres” debido a que, a pesar de detectarse cierta estacionalidad, el momento específico de las altas demandas depende del proceso (inmigración/emigración) y presenta periodos *peaks* que no necesariamente calzan con un mes completo; en particular, se observan efectos de quincena o traspasos hacia principios del mes siguiente.

#### **8.2.4.3 Selección de días de medición**

Dentro de cada subperiodo del año, se deberá seleccionar días específicos para la medición de cada control. Para esto, se recomienda realizar una selección aleatoria de días en que se asigne, cada vez, un día específico del subperiodo (semana, quincena o mes, según corresponda) a cada control, entre los seis analizados (pudiendo seleccionarse días distintos para los distintos controles, es decir, realizar una selección aleatoria sin repetición).

Este esquema, además, hace posible que un mismo equipo de trabajo realice las mediciones de todos los controles del aeropuerto AMB durante la semana (o subperíodo de medición escogido), sin que exista sesgo de asignación del día en particular.<sup>37</sup>

#### **8.2.4.4 Extensión de las observaciones**

Se recomienda una duración mínima de una hora para cada medición, rango que resulta adecuado considerando las cantidades de pasajeros esperados que atraviesan las colas en las situaciones más restrictivas en los controles observados, según lo detallado en Anexo G. Adicionalmente, el intervalo de tiempo se trata de un rango manejable desde la perspectiva de la planificación y ejecución del terreno.

En el caso en que los tiempos de espera en un control en particular sean cercanos a una hora (o superen este umbral), será necesario asignar a dicho control un plazo temporal de medición mayor a una hora. En este contexto, se recomienda prolongar las mediciones en una hora adicional<sup>38</sup> en caso que el primer pasajero que se registró no logre salir de la cola.

---

<sup>37</sup> Aunque también pudiera utilizarse una selección aleatoria con repetición (dos controles pudieran ser medidos un mismo día) esto no se considera recomendable si se va a trabajar con un único equipo de medición, pues aunque, en principio, los peaks de los distintos controles pudieran estar desfasados, no existe garantía de que esto suceda siempre. La coincidencia de días haría necesario trabajar con equipos independientes para garantizar que se respeten los horarios peak pre-seleccionados.

<sup>38</sup> En caso, poco probable, de que los tiempos de espera superen el nuevo plazo temporal (dos horas) se requeriría considerar otra hora adicional.

#### **8.2.4.5 Selección de horarios de medición**

Dentro de cada día, se recomienda medir una hora dentro del horario *peak* que se defina para cada proceso (la hora más cargada de los procesos de inmigración, emigración o tránsito, cuyos horarios *peak* se definen independientemente), asignándose los mismos horarios para los distintos controles de un mismo proceso.

Alternativamente, en caso que en un control se observe más de un horario *peak* a lo largo del día de medición, es posible realizar mediciones durante cada uno de ellos. En este caso, se deberá definir para la medición la hora más cargada dentro de cada horario *peak* de interés. En este caso, los indicadores que se obtengan como resultado de cada medición serán representativos del horario *peak* correspondiente, y por tanto, deberán ser reportados de manera independiente de los provenientes de otros horarios *peak* dentro del mismo control<sup>39</sup>.

En ambos contextos, el rango de medición (rango de 60 minutos más cargado del día o período *peak* analizado) deberá ser definido a principios de cada mes, a partir de información que pueda obtenerse de los itinerarios planificados, identificando, por ejemplo, aquellos intervalos de tiempo en los que exista una mayor cantidad de asientos. Sin embargo, tomando en cuenta que los vuelos entrantes/salientes (o su hora de llegada/salida) pueden modificarse respecto a la información reportada en los itinerarios, es recomendable actualizar el horario de medición predeterminado con información disponible antes del inicio de la medición respectiva<sup>40</sup>. De esta forma, se contará con definiciones horarias de carácter flexible, que permitan reprogramar la medición de acuerdo a eventuales contingencias.

---

<sup>39</sup> Considerando que los distintos horarios *peak* a lo largo de un mismo día tienen distinta intensidad y afectan a un volumen distinto de personas, si se pretende generar un indicador “representativo” de tiempo de espera para el día a partir de mediciones provenientes de varios horarios *peak* del día, deberá considerarse la representatividad o relevancia de cada período *peak* (volumen de pasajeros afectados, respecto al global día o al total de los períodos considerados de alta demanda), para no derivar en estimaciones erróneas (no son valores que deban, por ejemplo, promediarse directamente).

<sup>40</sup> Esto, pudiera realizarse el día anterior o incluso el mismo día, lo que dependerá de la forma de administrar la información de vuelos de AMB, por lo que en esta recomendación metodológica el horario de medición no se deja cerrado. No obstante, es importante señalar que lo recomendable es establecer esta periodicidad de forma explícita, para que forme parte del procedimiento establecido.

Para el proceso de inmigración, las mediciones se debieran realizar inmediatamente al momento de la hora punta observada según horario de llegada de los pasajeros (ver Figura 35, Anexo E.2.3). En cambio, para el proceso de emigración, las mediciones se deben programar para ser realizadas antes de la hora punta observada según horario de los vuelos salientes (ver Figura 34, Anexo E.2.2) puesto que a los pasajeros se les pide que lleguen con dos o tres horas de antelación a su vuelo. Este requisito de llegada anticipada, hace que el perfil de llegada al aeropuerto de los pasajeros salientes (emigrantes) no coincida temporalmente con el perfil de salida observado de los asientos de vuelos correspondientes. Este desfase dependerá tanto del comportamiento de los usuarios de los distintos vuelos, como de las características físicas y operativas del aeropuerto, por lo que se recomienda realizar un breve estudio que analice la relación temporal entre ambos fenómenos, para este caso particular. En el intertanto, se sugiere utilizar un desfase de 3 horas.

#### **8.2.4.6 Medición Piloto**

La metodología propuesta no define un tamaño muestral en términos de un número de pasajeros a medir en cada proceso-control-periodo, sino que se define un rango de tiempo específico para cada medición (una hora, tal como se recomienda en las metodologías analizadas). Por este motivo, se desconoce a priori el volumen de datos resultantes con que se realizarán las estimaciones de los indicadores.

Este aspecto será relevante precisamente en aquellas colas en las que se observen tiempos de espera que superen la extensión temporal de la medición sugerida (una hora) para las que se recomendó, como resguardo, extender la medición al doble de tiempo (de forma de lograr captar pasajeros que ingresen y abandonen la cola durante el rango elegido para medir, y calcular los indicadores requeridos a partir de estas observaciones).

En consecuencia, y tomando en consideración también la necesidad de capacitar al personal y probar los procedimientos, se considera necesario realizar un pilotaje del método de medición, durante un plazo mínimo de tres semanas (con lo que se contaría con información de tres horas en cada control) para revisar la variabilidad de los largos

de cola y tiempos de espera observados. A partir de esta experiencia piloto, se contaría con información tener una estimación de tamaños de muestras que se obtendrían en cada proceso-control-periodo, e incluso un tamaño mínimo objetivo que pueda quedar establecido para las mediciones posteriores, el que será definido en función de la variabilidad del indicador a elaborar<sup>41</sup>.

#### **8.2.4.7 Resultados a obtener de la medición**

Los resultados a obtener de la medición serán utilizados para generar indicadores independientes para cada proceso-control. De la forma en que está propuesta, la metodología manual permite establecer, entre otros indicadores:

- Tiempos medios (del período, subperíodo o mes)
- Tiempos máximos (del período, subperíodo o mes)
- Porcentaje de pasajeros que espera más de un umbral de tiempo establecido (del período, subperíodo o mes)

Agregaciones diferentes a las indicadas para estos u otros indicadores, por ejemplo, análisis por temporada (alta, baja) u otro tipo de subperíodo (trimestre, semestre) pueden ser elaborados en función de los resultados de los subperíodos.

#### **8.2.5 Requerimientos para la implementación**

En la presente sección se exponen la información a recopilar y los requerimientos humanos, técnicos, presupuestarios y de espacio físico, necesarios para aplicar la metodología recomendada de medición de tiempos de espera, así como las consideraciones de validación relevantes para este caso.

##### **8.2.5.1 Información a recopilar**

La información a recopilar en cada control dependerá del tipo de sistema de cola que exista en él. Por ejemplo, en el caso de Policía Internacional emigración, pago de

---

<sup>41</sup> Este tamaño mínimo objetivo pudiera implicar la necesidad de adicionar días dentro de los subperíodos a uno o más controles, lo que deberá verificarse a partir del análisis de los datos provenientes de la medición piloto.

reciprocidad inmigración y Policía Internacional inmigración, que cuentan con un sistema de cola multicanal con fila única, la información recopilada en las mediciones debe incluir, al menos, los siguientes campos:

- Hora de inicio de la observación.
- Largo de la fila.
- Remanente de fila al final de la medición (si el *último pasajero* es atendido en más de 10 minutos).
- Indicador de cola vacía.
- Cantidad de pasajeros que arribaron mientras la cola estuvo vacía (si es que la cola estuvo vacía).

Si bien actualmente no existen en AMB controles con sistemas de cola multicanal con una fila por canal, en caso que los hubiese, el instrumento de recopilación de información debe permitir obtener los siguientes datos:

- Hora de inicio de la observación.
- Cantidad de pasajeros en todas las filas al inicio de la observación.
- Cantidad de pasajeros en la fila más larga al inicio de la observación.
- Cantidad de pasajeros delante del *último pasajero* en su fila al final de la observación (si el *último pasajero* es atendido en más de 10 minutos).
- Indicador de cola vacía.
- Cantidad de pasajeros que arribaron mientras la cola estuvo vacía (si es que la cola estuvo vacía).

En el caso de AVSEC Emigración y AVSEC Tránsito, que cuentan con sistemas de cola multicanal con una fila principal que después desemboca en filas secundarias, se debe recopilar la siguiente información:

- Hora de inicio de la observación.
- Indicador de existencia de fila única al inicio de la observación.
- Cantidad de pasajeros en todas las filas al inicio de la observación.
- Para el caso que no haya fila única al inicio de la observación:

- Cantidad de pasajeros en la fila más larga al inicio de la observación.
- Cantidad de pasajeros delante del *último pasajero* en su fila al final de la observación (si el *último pasajero* es atendido en más de 10 minutos).
- Para el caso que haya fila única al inicio de la observación:
  - Indicador de término de observación en fila única o secundaria.
  - Si la observación termina con el último pasajero en la fila principal:
    - Cantidad de pasajeros delante del *último pasajero* en todas las filas al final de la observación (si el *último pasajero* es atendido en más de 10 minutos).
  - Si la observación termina con el último pasajero en una fila secundaria:
    - Cantidad de pasajeros en todas las filas secundarias al llegar el *último pasajero* a la bifurcación de fila.
    - Cantidad de pasajeros en la fila seleccionada por el *último pasajero* al llegar a la bifurcación de fila.
    - Cantidad de pasajeros delante del *último pasajero* en su fila al final de la observación (si el *último pasajero* es atendido en más de 10 minutos).
- Indicador de cola vacía.
- Cantidad de pasajeros que arribaron mientras la cola estuvo vacía (si es que la cola estuvo vacía).

En el caso que se aplique la reestructuración sugerida al control SAG/Aduana se tendría dos sistemas de cola multicanal con una fila principal funcionando paralelamente. La descripción de los ajustes recomendados para poder aplicar la metodología propuesta se presenta en el Anexo F .

### **8.2.5.2 Requerimientos humanos**

#### **Conformación del equipo de medición en un sistema de colas**

En general, para llevar a cabo la metodología propuesta, se requerirá más de un medidor para registrar las mediciones de tiempo de espera, salvo en casos en que las filas sean cortas, con pocos canales de atención y con bajas tasas totales de atención.

Para un sistema de cola multicanal con fila única en que las filas sean largas, y/o tengan rápida tasa de atención, se requerirá un mínimo de dos medidores: un primer medidor realiza el conteo y seguimiento; y un segundo, identifica el último pasajero de la fila. En el momento que el primer medidor comience una nueva observación, le comunicará al segundo medidor (visualmente o por radio en espacios con poca visibilidad) que debe identificar al último pasajero. En ese momento, el primer medidor debe contar pasajeros desde el inicio, hacia el final de la fila, contabilizando el total de pasajeros en la fila y el remanente de cola de la observación anterior. Cuando el primer medidor se acerque al final de la fila, el segundo medidor le debe indicar cuál es el último pasajero, para que el primer medidor finalice la cuenta y continúe con el seguimiento del pasajero de la nueva observación. Dado que todas las filas del aeropuerto AMB pueden ser largas y algunas tienen rápida tasa de atención, se concluye que en todos los controles se necesitará, al menos, dos medidores.

En sistemas de colas con filas paralelas<sup>42</sup>, en cada observación se debe contar a todas las personas presentes en todas las filas, lo cual puede ser difícil de realizar por un solo medidor. Para solucionar este problema se debe asignar medidores adicionales para contar los pasajeros en las filas. La cantidad de medidores dependerá, entonces, de la cantidad de filas que pueda contar cada medidor, lo cual a su vez depende de la cantidad de pasajeros que pueda existir en cada fila y de la visibilidad de las mismas. En el caso del aeropuerto AMB, se tienen los siguientes casos:

---

<sup>42</sup> Por ejemplo, sistemas de cola multicanal con una fila por canal, y multicanal con una fila principal que después desemboca en filas secundarias.

- En AVSEC emigración las filas secundarias no deberían ser muy largas, pero los módulos están separados entre sí, por lo que se podría requerir dos o tres medidores adicionales.
- En SAG/Aduana (en el caso que se reestructure el sistema de colas) las filas serían largas y los módulos de atención están muy separados entre sí, por lo que se podría requerir un medidor cada dos filas.
- En AVSEC para pasajeros en tránsito, las filas son cortas y sólo se tiene dos módulos de atención, por lo que no se requeriría otro medidor adicional.

De lo anterior se concluye que en AVSEC emigración y control SAG/Aduana se requiere medidores adicionales para el conteo simultáneo de pasajeros en más de una fila.

El número esperado de medidores por control se entrega a continuación, en la Tabla 5:

**Tabla 5** Número mínimo de medidores por control

<b>Control</b>	<b>N° mínimo de medidores</b>
Policía Internacional emigración	2
AVSEC emigración	4
Policía Internacional inmigración	2
Pago de reciprocidad	2
SAG/Aduana [Reestructurado según propuesta]	6 <sup>43</sup>
AVSEC tránsito	2

Adicionalmente, es necesario contar con un coordinador del grupo de medidores, encargado de la organización general del trabajo, entrega y recepción de materiales y equipos, resolución de dudas y contingencias, y reporte con la coordinación del estudio.

Finalmente, la cantidad total de personas necesarias para realizar las mediciones en el conjunto de controles dependerá de la necesidad de realizarlas en forma simultánea. Según la metodología propuesta, las mediciones deben ser de, al menos, una hora y ser realizadas durante los horarios punta; sin embargo, ante la posibilidad de que los horarios punta de los distintos controles puedan traslaparse, se sugiere medir cada

<sup>43</sup> Son 6 medidores si sólo se cuenta el sector actual, y 3 adicionales si se abre el nuevo sector.

control en un día distinto dentro de cada subperiodo (semana, quincena o mes), si se trabajará con un mismo equipo de medición.

Según los tamaños de equipo propuestos en la Tabla 5, se deberá contar con un equipo variable de entre 2 y 6 medidores, dependiendo del control que corresponda medir cada día.

### **Capacitación de los medidores**

Previo a la realización de las mediciones resulta necesario capacitar a los medidores y supervisores. Se considera que esta actividad es fundamental para garantizar que la metodología se aplique apropiadamente, y la información sea recopilada de acuerdo a los lineamientos definidos en el diseño.

El análisis de la metodología permitió verificar su dificultad, especialmente en los casos más complejos (como el sistema de cola multicanal con una fila principal que después desemboca en filas secundarias), que requieren de parte del medidor una adecuada comprensión del fenómeno de cola y las variables que debe registrar, así como algunas estrategias básicas para la resolución de contingencias. Según esta indicación, el plan de capacitación a definir debe considerar, al menos, los siguientes aspectos:

- Inducción a la operación de los procesos y controles de interés, en el contexto del aeropuerto AMB.
- Información general acerca del alcance y los objetivos del plan de medición de tiempos de espera, y de cada medición en específico.
- Conceptos básicos de teoría de colas.
- Descripción y análisis de la metodología *ad hoc* para la medición de colas y tiempos de espera.
- Descripción y análisis de los formularios y las variables a medir.
- Uso del instrumento para el levantamiento de información (formulario digital o papel, según corresponda).
- Definición de estrategias para la solución de problemas e imprevistos durante la medición.

- Características del proceso de coordinación, supervisión y verificación de las mediciones.
- Ejercicios de simulación.

Esta capacitación deberá ser realizada por parte de la dirección del estudio, a todo el equipo de medidores que realice la campaña de mediciones piloto, incluyendo los supervisores, quienes deben ser capaces de aclarar dudas que surjan en el proceso (ver subsección 8.2.4.6, donde se sugiere una aplicación piloto que sería útil en el entrenamiento del personal).

Dado el volumen de contenidos, se prevé una duración mínima de 2,0 horas para la capacitación. Los resultados de la campaña de medición piloto permitirán definir si es necesario realizar reforzamientos o resolver consultas sobre la metodología, de forma de corregir aspectos particulares antes del inicio de la campaña formal de medición.

Asimismo, la integración de nuevos medidores al equipo dará lugar a un proceso de capacitación similar al realizado al inicio con el equipo en pleno, no debiendo permitirse que un medidor se incorpore al trabajo de campo sin recibir la capacitación correspondiente, dada la eventual complejidad del proceso de medición que enfrentará.

Como medida complementaria se construirá un “Manual del Medidor”, que contendrá la información que se entregará al equipo de trabajo en la capacitación, así como detalles de la metodología diseñada y estrategias de resolución de posibles problemas que pudieran encontrar en terreno. Este Manual será entregado a todos los componentes del equipo, como material de consulta permanente.

### **8.2.5.3 Requerimientos técnicos**

#### **Medio de recopilación de datos**

En principio, considerando la complejidad de la información a recopilar, y la necesidad de que los medidores se mantengan concentrados en la observación del sistema en estudio y sus componentes, se recomienda que los formularios de recopilación de

información se incorporen a aplicaciones computacionales programadas en dispositivos comunes (como *smartphones* o *tablets*), que sean utilizables en el contexto del aeropuerto AMB. Estas aplicaciones debieran contar con una interfaz gráfica que facilite el trabajo de los medidores, así como con indicaciones claras de las variables a recopilar y el lugar en que serán almacenadas. En teoría, la aplicación debería ser capaz de almacenar con sencillez los datos básicos de la medición (proceso, control, periodo, día, horario, nombre del medidor, tipo de cola, o lo que corresponda), inicializar y finalizar cada observación independiente (10 minutos), asociar las mediciones al intervalo de tiempo respectivo, y contar con botones que permitan contabilizar pasajeros a través de pulsos, reduciendo al mínimo la cantidad de información que deba ser registrada a través del teclado por parte del medidor. Adicionalmente, una aplicación de este tipo debiera permitir integrar en una misma base de datos, la información de los distintos medidores que realizan el trabajo de conteo en un mismo proceso-control-periodo, así como su almacenamiento y transmisión remota.

En caso que se defina realizar el levantamiento de la información a través del método propuesto, se debe considerar en el presupuesto del programa de mediciones tanto la compra de los dispositivos como la programación de la aplicación de recopilación y transmisión de datos.

Si, por razones presupuestarias, no es factible adoptar esta tecnología, los datos solicitados igualmente son factibles de recopilar vía papel, pero se recomienda contar con un diseño profesional de los formularios de recopilación de información. En este escenario, el diseño de los colores y tipografías del formulario debe garantizar una presentación visual adecuada y un formato amigable y de llenado sencillo, a través de la utilización de escalas de grises, disposición de caracteres en cuadros individuales y efectos gráficos que faciliten tanto su comprensión por parte del medidor, como su posterior procesamiento.

### **Medio de almacenamiento de datos**

Independiente si los datos son recopilados en papel o electrónicamente, los resultados de las mediciones deben ser centralizados en un servidor que almacene los datos para su posterior análisis. Si los datos son recolectados en papel, se debe considerar recursos para la digitación de los mismos. En el caso de utilizar dispositivos electrónicos, la información puede ser transmitida inalámbricamente al servidor de datos.

### **Medio de procesamiento de datos**

El procesamiento de datos puede realizarse en el mismo servidor de almacenamiento o en el equipo computacional del analista de datos. Se debe considerar que para el procesamiento de los datos se requiere la programación de un *software* sencillo que calcule los tiempos de espera de los pasajeros.

### **Medios de comunicación entre los medidores.**

En cada instancia de medición, el equipo de medidores debe estar en permanente comunicación para coordinar el proceso, particularmente en los sistemas en que sea necesario dividir una misma tarea entre varios medidores, o comunicar una característica especial de la cola (por ejemplo, identificación del *último pasajero*) a otro de los componentes del equipo. Esto puede requerir algún sistema de comunicación entre los medidores (por ejemplo, comunicación por radio), cuyo costo igualmente debe considerarse en el presupuesto de la medición.

#### **8.2.5.4 Validación de información**

En caso que la información sea recopilada a través de una aplicación programable, los datos deberán ser consolidados en un servidor que los almacene, para su posterior análisis. En el momento de la construcción de la base de datos de mediciones de un determinado subperiodo (semana, quincena o mes, según corresponda), se deberá realizar una revisión de la información contenida en la base de datos, tanto en términos de su completitud como de su consistencia interna. Para este último propósito, se deberá definir un conjunto de criterios, y procedimientos o consultas

computacionales que permitan detectar datos faltantes, datos ingresados erróneamente o datos fuera de rango (*outliers*). Esta información deberá ser cuidadosamente analizada para definir, caso a caso, si procede la repetición de la medición, la eliminación de los registros dudosos, o una eventual corrección.

Si los datos se recopilan a partir de formularios en papel, la información deberá ser digitada manualmente, para su posterior incorporación a una base de datos que pueda centralizar la información de una unidad de análisis. Dado que la digitación puede ser un proceso que introduzca errores en los datos recopilados, se recomienda diseñar algún tipo de aplicación computacional (*software* de digitación), que permita la detección inmediata de eventuales errores, y que genere advertencias ante valores faltantes o fuera de rango, los que deberán programarse apropiadamente. Construida la base de datos con estas validaciones preliminares, se ingresará a un proceso de validación análogo al definido para los datos recopilados a partir de la aplicación.

#### **8.2.5.5 Requerimientos de espacio físico**

Como ya se ha mencionado, la metodología propuesta requiere que los medidores puedan contar pasajeros y seguirlos a lo largo de la fila. Para ello, toda la fila debe ser visible a los medidores a lo largo de toda la medición. Se debe tener pasillos que permita a los medidores movilizarse y observar distintas posiciones en la fila. En caso de no contar con este espacio, se puede definir un punto en altura desde donde se pueda observar la totalidad de la fila.

#### **8.2.5.6 Requerimientos presupuestarios**

Tal como se explica en el plan de implementación de la sección 8.2.4, el costo de implementación dependerá de la cantidad de mediciones que se realice. Si se realiza dos mediciones mensuales, en:

- Los dos periodos punta de los pasajeros salientes (que incluye la medición de los controles de Policía Internacional emigración y AVSEC emigración).
- El periodo punta de pasajeros entrantes (que incluye la medición de Policía Internacional inmigración y control SAG/Aduana después de una

reestructuración). Cabe recordar que, dado lo extenso del periodo, se debe realizar dos mediciones en el mismo.

- Los dos periodos punta de vuelos provenientes de Australia y México (que incluye la medición en el pago de reciprocidad).
- En un periodo punta (desconocido hasta el minuto) para los pasajeros en tránsito (que incluye la medición en el control AVSEC tránsito).

Se estima que el costo mensual de medición para un contrato anual sería de 210 UF mensuales. Este costo incluye, además de la medición propiamente tal, los costos de capacitación y traslado de los medidores, el diseño de los formularios de medición, la digitación de los resultados, los costos de utilización de un *software* para el cálculo de índices de tiempos de espera, el post-procesamiento de datos, y los equipos de comunicación de los medidores, entre otros.

## 9 Conclusiones

En el presente estudio se ha revisado y analizado la operación en los siguientes controles fronterizos del aeropuerto AMB: Policía Internacional (inmigración y emigración), AVSEC (en la emigración y para los pasajeros en tránsito), pago de impuesto de reciprocidad (en la inmigración) y control conjunto SAG/Aduana (en la inmigración). Luego de una revisión de la metodología de medición de tiempos de espera que actualmente se aplica en cada control, se concluyó que algunos de los supuestos empleados en su diseño son erróneos y/o no se adaptan a las condiciones de operación reales de los sistemas de cola de estos controles. Este hecho hace necesaria la modificación de esta metodología por una nueva que, en base a mejores prácticas internacionales y considerando las características de operación de cada control, permita obtener indicadores comparables con los obtenidos por otras metodologías o con estándares internacionales de tiempos de espera. Con este propósito, se ha definido una metodología para la medición y cálculo de los tiempos de espera en cada caso, y se ha identificado las necesidades para la implementación de la metodología propuesta.

Se ha estudiado la problemática de los distintos controles del aeropuerto, describiendo sus características relevantes para la medición de tiempos de espera. Se concluye que, en general, los controles se comportan como un sistema de colas regular, siguiendo solamente dos tipos de sistemas de cola, lo que simplifica la definición de la metodología de medición. No obstante, las colas son largas, en algunos casos pueden ser bastante rápidas y en otros poseen una estructura de filas compleja, lo que acota el tipo de metodología que se puede aplicar y aporta ciertas complejidades a la medición propiamente tal.

Se ha analizado un conjunto de metodologías de medición de tiempos de espera, algunas automáticas y otras manuales. Entre estas últimas, se estudió la metodología actualmente utilizada por SCL para medir tiempos de espera promedio en el aeropuerto AMB y la metodología recomendada por la ACI en su *Guía de Medición Manual de Tiempos de Servicio de Proceso de Pasajeros y KPI*. Después de analizar en

conjunto la problemática de los controles fronterizos del caso y las metodologías estudiadas, se concluye que la mejor opción es una tecnología automática de medición de tiempos de espera, que utiliza sensores WiFi/Bluetooth, por ser apta para la situación del aeropuerto AMB y por ser una tecnología ya probada y utilizada en otros aeropuertos internacionales. Alternativamente, para el caso donde se decida no optar por utilizar tecnologías de medición automática, se ha definido una metodología de medición manual *ad hoc* para la situación del aeropuerto AMB, basada en las mejores prácticas internacionales que, habiendo sido adaptada a las condiciones del caso, permite generar varios tipos de índices y es utilizable en todos los controles fronterizos en estudio, incluyendo el control SAG/Aduana. Este último requiere una reestructuración previa, independiente del método que eventualmente se quisiera implementar.

Profundizando en esto último, el control SAG/Aduana tiene estructura y espacio poco claros y muy dinámicos, lo que dificulta cualquier tipo de medición. Para poder aplicar la metodología *ad hoc* es necesario reestructurar el sistema de cola. Por otro lado, para aplicar metodologías automáticas es necesario que el espacio de espera de los pasajeros sea fijo, exclusivo y bien definido. Sin embargo, dadas características del espacio físico y del comportamiento de los usuarios, se reconoce la dificultad de obtener alguna de estas condiciones, por lo que se ha propuesto algunos esquemas de reestructuración que permitirían la aplicación de la metodología de medición *ad hoc*.

Se ha revisado distintas fuentes de referencia para la comparación de índices de tiempos de espera y la metodología propuesta permite elaborar índices comparables con los tiempos máximos para cada control entregados por el Manual de Desarrollo Aeroportuario de la DAP y tiempos promedio utilizados por el programa *ASQ performance*. En caso de ser factible, se recomienda contratar dicho programa, el cual entrega valores de tiempos promedio de espera de ciertos controles de los aeropuertos que participan en el programa y que podrían ser comparados con los del aeropuerto AMB.

Por otro lado, con la información histórica de pasajeros del año 2014, se ha estudiado la demanda de pasajeros entrantes y salientes del país. Se ha concluido que existen dos periodos de temporada alta durante el año, coincidentes con las vacaciones de invierno y verano. En cuanto a la demanda durante el día, se ha concluido que el cambio de hora se relaciona directamente con la hora de despegue o aterrizaje de los vuelos, y además, que no se puede establecer un patrón de pasajeros salientes o entrantes en que se observen días de la semana con mayor demanda. Se ha determinado que, para los pasajeros salientes, existen dos periodos punta: uno entre 7:00 y 11:00 y otro entre 20:00 y 00:00. Por otro lado, para los pasajeros entrantes, existe un periodo punta entre 6:00 y 12:00. Para los pasajeros de vuelos entrantes de Australia y México existen dos periodos punta: uno en la mañana de 6:00 a 7:00 y otro a mediodía entre 10:00 y 13:00. Estos periodos punta permiten estimar los momentos donde se debe realizar las mediciones de tiempos de espera. Con la información disponible no se ha podido establecer periodos punta para la llegada/salida de pasajeros en tránsito. Además, se ha estudiado el patrón de llegada y salida de vuelos en sus periodos punta, en temporada alta y baja. Se concluye que en todos los casos analizados gran parte de las aerolíneas tiene una estructura de vuelos que se repite diariamente, lo que permite anticipar los periodos punta identificando esta estructura en los itinerarios de vuelos.

Finalmente, se ha entregado un plan de implementación de la metodología de medición manual propuesta y los requerimientos necesarios para llevar a cabo las mediciones. El plan de implementación indica que el plazo mínimo de ejecución de las mediciones es de un año, coincidente con el período de medición recomendado debido a las estacionalidades observadas, y se recomiendan subperiodos máximos mensuales y mediciones con duración mínima de una hora. Estas mediciones deben ser realizadas durante los periodos punta definidos previamente con la información de itinerarios y la información en línea que se posea justo antes de las mediciones. Por otro lado, los requerimientos para la implementación de la metodología se establecen en términos de: la configuración y cantidad de medidores necesarios para realizar cada medición del plan de implementación, la capacitación y equipamiento de los medidores, los



requerimientos del sistema de recopilación, almacenamiento y procesamiento de datos, y una aproximación del presupuesto necesario para llevar a cabo las mediciones, bajo cierto plan muestral.

## 10 Bibliografía

- ACI (2013). *Manual Measurement of Passenger Service Process Times and KPI's*. ACI World Facilitation and Services Standing Committee (2013). Disponible en <http://www.aci.aero/>
- ACI (2014a). *Best Practice on Automated Passenger Flow Measurement Solutions*. ACI World Information Technology Standing Committee & ACI World Facilitation and Services Standing Committee. Disponible en <http://www.aci.aero/>
- ACI (2014b). *Best Practice Guidelines: Airport Service Level Agreement Framework*. ACI World Facilitation and Services Standing Committee. Disponible en <http://www.aci.aero/>
- Ashford, N. y Wright, P. (2011) *Airport Engineering*, 4ta edición, John Wiley, New York
- DAP-MOP (2011). *Manual de Desarrollo Aeroportuario, Terminal de Pasajeros*.
- FAA (1988). *Planning and Design Guidelines for Airport Terminal Facilities*. Advisory Circular 150/5360-13. U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration.
- Gazmuri, P. (1995) *Modelos estocásticos para la gestión de sistemas*. Ediciones Universidad Católica de Chile.
- IATA (2004). *Airport Development Reference Manual (ADRM) 9° Ed.* <https://www.iata.org/publications/Pages/airport-development.aspx>
- IATA (2014). *Airport Development Reference Manual (ADRM) 10° Ed.* <https://www.iata.org/publications/Pages/airport-development.aspx>
- ICAO (1944). *Convention on International Civil Aviation*. Disponible en <http://www.icao.int/>
- Kim S-H, Whitt W. (2013) *Statistical Analysis with Little's Law*. Oper. Res. 61(4) 1030–1045
- Little, J. D. C. (1961). *A proof for the queuing formula:  $L = \lambda \cdot W$* . Oper. Res. 9(3) 383–387.
- Little, J.D.C. (2011) *Little's Law as viewed on its 50th anniversary*. Oper. Res. 59:536–539.
- SITA (2014). *Passenger Counting and Tracking Technology - Comparison Fact Sheet*. Disponible en <http://www.sita.aero/>.

## Anexos

## Anexo A Ley de Little

Uno de los principales resultados de la Teoría de Colas es la Ley de Little (Little, 1961). Esta ley dicta que la cantidad promedio de entes en un sistema (largo promedio de la cola) está dado por la tasa promedio de entrada de entes al sistema multiplicada por el tiempo promedio que permanecen los entes en el sistema (tiempo promedio de espera en cola).

Matemáticamente:

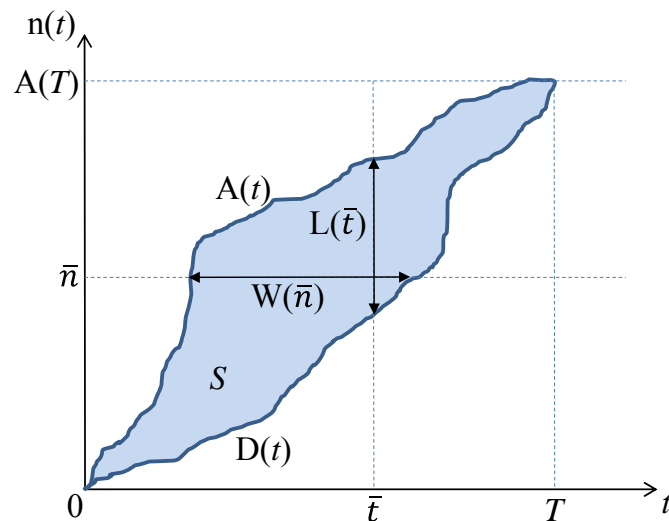
$$\bar{L} = \bar{\lambda} \cdot \bar{W} \quad (11)$$

Donde, para nuestro interés:

- $\bar{L}$  es el largo promedio de la cola durante el periodo de medición.
- $\bar{\lambda}$  es la tasa promedio de llegada de usuarios a la cola, dada por la cantidad de usuarios que llegaron en el periodo de medición, dividido sobre el tiempo de medición.
- $\bar{W}$  es el tiempo promedio que esperaron los individuos que estuvieron en el sistema durante el periodo de medición.

En el gráfico de la figura 25 se muestra funciones de cantidad de pasajeros en función del tiempo  $t$ . La función  $A(t)$  representa las llegadas de pasajeros en el tiempo, mientras que  $D(t)$  representa las atenciones de pasajeros. La diferencia entre ambas curvas  $A(t) - D(t)$  representa el largo de la cola  $L(t)$ . El área entre las curvas de llegada y atención de pasajeros,  $S$ , representa la espera total de todos los individuos en la cola. Si suponemos que la disciplina de la cola es FIFO, entonces la distancia horizontal entre ambas curvas representa el tiempo de espera de cada individuo  $n$  que llega al sistema. Por ejemplo, en el gráfico, el tiempo de espera del individuo  $\bar{n}$  es  $W(\bar{n})$ .

**Figura 25.** Curvas de llegada y salida de pasajeros con largo inicial y final nulo.  
**Fuente:** Elaboración propia



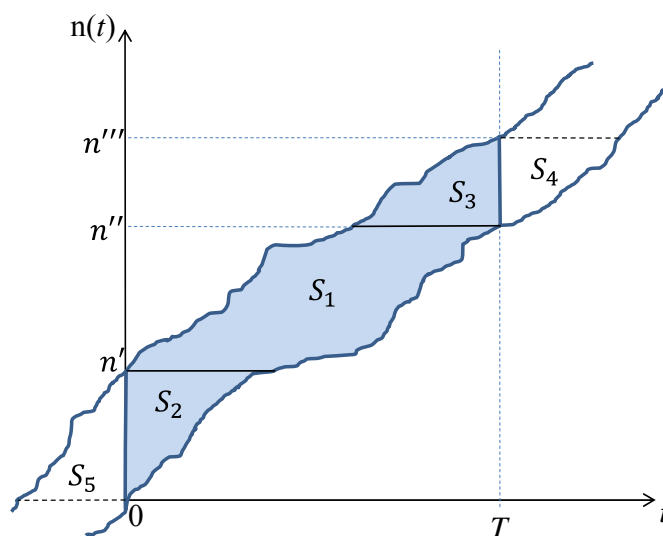
La Ley de Little se puede deducir directamente de la figura 25. Para un periodo de medición entre 0 y  $T$ , el largo promedio de la fila corresponde al área  $S$  entre ambas curvas, dividida por el intervalo de medición  $T$ . La tasa promedio de llegada es la cantidad total de llegadas en el intervalo de medición,  $A(T)$ , dividida por el intervalo de medición  $T$ . El tiempo promedio de espera es el área entre ambas curvas  $S$  dividida por la cantidad de usuarios atendidos en el sistema  $A(T)$ . Luego,  $\bar{L} = \frac{S}{T} = \frac{A(t)}{T} \cdot \frac{S}{A(t)} = \bar{\lambda} \cdot \bar{W}$ , de donde se demuestra la Ley de Little.

La Ley de Little es válida para cualquier intervalo de medición, sin importar lo que ocurra en la cola antes y después del mismo. Sin embargo, se ha supuesto que la cola comienza y termina vacía al inicio y fin del periodo de medición, respectivamente. Esta suposición es necesaria, ya que no es posible saber cuánto estuvieron esperando los usuarios que ya estaban en la fila antes del comienzo de la medición, ni cuánto esperarán los que continúen en fila después del fin de la medición (Kim y Whitt, 2013).

En la figura 26 se puede ver las curvas de llegada y salida de pasajeros para una fila cuyos largos final e inicial son no-nulos. Con la información recopilada en el intervalo de medición  $[0, T]$  no es posible determinar (a) cuánto esperaron antes del periodo de

medición los pasajeros que ya estaban en la cola al inicio del mismo, ni (b) lo que esperarán después del periodo de medición los pasajeros que quedan en espera después del mismo. Si la disciplina de la cola es FIFO, estos serían: (a) el tiempo total  $S_5$  que esperaron los pasajeros entre 0 y  $n'$ ; y (b) el tiempo total  $S_4$  que esperarán los pasajeros entre  $n''$  y  $n'''$ . Independiente de la metodología de medición, sólo se puede saber el tiempo total que esperaron los pasajeros que llegaron y fueron atendidos dentro del periodo de medición  $[0, T]$ .

**Figura 26.** Curvas de llegada y salida de pasajeros con largo inicial y final no nulo.  
**Fuente:** Elaboración propia



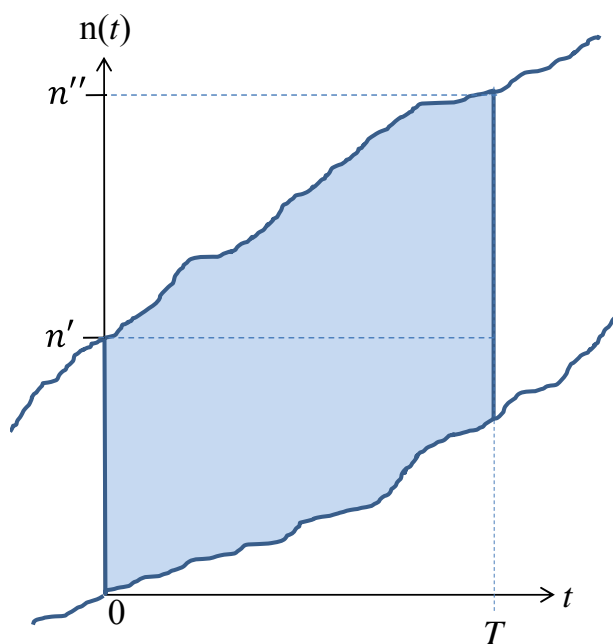
Aun cuando la Ley de Little clásica suponga que la cola debe estar vacía al inicio y final de la medición, es posible adaptar el resultado al caso no se cumpla este supuesto. En Little (2011) se redefine el tiempo de espera promedio como el tiempo promedio que los pasajeros que estaban al inicio de la medición y los que llegaron durante la medición, esperaron durante la medición. Por otro lado, bajo el supuesto que, para los usuarios en cola al inicio del periodo de medición, el tiempo total esperado por estos individuos durante la medición es similar al tiempo que los individuos que llegaron durante el periodo de medición y que quedan esperando en cola al final de este periodo esperarán después del mismo periodo (esto es equivalente a decir que, en la

figura 26, el área  $S_2$  es similar a  $S_4$ ) entonces el tiempo promedio de espera se podría aproximar como  $(S_1 + S_2 + S_3)/(n''' - n')$ . Análogamente, si suponemos que, para los usuarios que llegan durante el periodo de medición y quedan esperando al final del mismo periodo, el tiempo total que esperan durante la medición es similar al tiempo total que los individuos en cola al inicio del periodo de medición esperaron antes del inicio de la medición (esto es equivalente a decir que  $S_3$  es similar a  $S_5$ ), entonces el tiempo promedio de espera se podría aproximar como  $(S_1 + S_2 + S_3)/n''$ . Supuestos de este tipo permiten utilizar la fórmula (11) en situaciones más generales.

Cabe resaltar la situación límite de la figura 27, donde no hay ningún pasajero que entra y sale de la cola dentro del intervalo de medición. En este caso, si bien se podría calcular un índice de tiempo de espera promedio con la Ley de Little, la falta de información podría causar distorsiones importantes con respecto a los tiempos reales de espera promedio. En esta situación, se recomienda alargar el periodo de medición hasta que haya suficientes individuos que entran y salen de la cola dentro del mismo.

**Figura 27.** Curvas de llegada y salida de pasajeros sin pasajeros entrando y saliendo dentro del periodo de medición.

**Fuente:** Elaboración propia



## **Anexo B Consideraciones de aplicabilidad de metodologías automáticas**

Para analizar la aplicabilidad de las metodologías automáticas a cierta cola es necesario considerar los factores que influyen en el cálculo de los tiempos de espera. Un indicador (por ejemplo, tiempo promedio de espera) es generado por la combinación de los datos brutos recolectados por los sensores y el algoritmo que, a partir de los datos brutos, calcula los valores del indicador.

La combinación de “datos brutos/algoritmo” depende directamente del tipo de tecnología a utilizar. Por ejemplo, para el cálculo de tiempos promedio de espera, en el caso de utilizar sensores WiFi/Bluetooth, los datos brutos son instantes de tiempos de pasadas de direcciones MAC por la entrada y la salida de la cola. Un algoritmo podría ser calcular el tiempo de espera de un dispositivo WiFi/Bluetooth como la diferencia entre los tiempos de pasada de una misma dirección MAC por la salida y entrada de la cola, para luego calcular el tiempo promedio de espera como el promedio simple de los tiempos muestreados.

Los datos brutos entregados por los sensores se ven influidos por el diseño del aeropuerto y por el comportamiento de los pasajeros o las características del flujo de los mismos. Por ejemplo, la calidad de las mediciones de sensores WiFi/Bluetooth depende de qué tan abiertos o cerrados sean los espacios de espera, de modo que no se capten señales de individuos que no sean usuarios de la cola. La calidad de los datos también depende de la posibilidad que tengan los usuarios de reingresar a una fila en un periodo corto de tiempo.

Los principales factores relacionados con el diseño del aeropuerto son:

- Geometría del espacio de cola. Se debe considerar:
  - La distancia necesaria entre sensores y pasajeros, para tener mediciones con intensidad suficiente. En el caso de espacios demasiado amplios y altos se puede requerir una mayor cantidad de sensores o instalar

pilares para el montaje de sensores. En algunos casos, la instalación de los sensores podría ser infactible.

- Los límites para el espacio de cola. Los sensores operan en sectores fijos dentro del aeropuerto. Si la cola se puede salir estos sectores, o individuos que no son usuarios de la fila pueden entrar a estos sectores, las mediciones se pueden ver alteradas.
- Variabilidad en el diseño del espacio. Idealmente, la disposición del espacio para la fila debe ser fijo. Ante una variación en esta disposición, los sensores deben ser reubicados y/o calibrados nuevamente.
- Espacios de cola en espacios interiores o al aire libre. No todas las tecnologías son adecuadas para espacios al aire libre.
- Iluminación. Ciertas tecnologías, como las de reconocimiento de imágenes, se ven afectadas ante cambios en la iluminación, tales como los cambios de luz natural durante el día.

Los principales factores relacionados con el comportamiento de los pasajeros o las características de su flujo son:

- La regularidad de la cola.
- El grado de participación de los pasajeros requerido en el proceso de medición. En casos como la lectura de tarjetas de embarque se requiere que el pasajero interactúe en la medición.
- Repetición de señales. Esto puede ocurrir cuando un pasajero puede reingresar a la fila.
- Mezcla entre distintos tipos de usuario. En ciertos tipos de cola, los usuarios se clasifican en segmentos (Por ejemplo, filas distintas para pasajeros de clase económica o ejecutiva) que se requieren medir por separado. La mezcla o cercanía de distintos tipos de usuario en los espacios de fila puede dificultar su medición segregada.

## Anexo C Cuadros comparativos

### C.1. Cuadro de análisis de aplicabilidad de metodologías manuales

Aspecto	Metodología de medición directa sobre intervalos fijos de pasajeros	Metodología de construcción de curvas de entrada y salida de pasajeros.	Metodología ACI
Especialización de los medidores	Baja. La metodología es muy simple.	Baja.	Media. Los medidores deben enfrentarse a varias situaciones que pueden ocurrir durante la medición.
Cantidad de medidores	Al menos un medidor en los casos donde la metodología es aplicable. Se puede requerir más en casos de colas con múltiples filas.	Al menos dos. Se puede requerir más en casos de colas largas y/o con altas tasas de llegada/atención de pasajeros; o en colas con múltiples filas.	Al menos uno. Se podría requerir más en caso de colas largas y/o con alta tasa de atención o en colas con múltiples filas.
Concentración de los medidores	Media. Deben estar atentos simultáneamente a lo que ocurre al principio y final de la cola.	Alta. Los medidores deben registrar todas las entradas y salidas de pasajeros de la cola.	Media. Los medidores deben estar atentos al instante de llegada y salida del último pasajero y, simultáneamente, contar el largo de la fila.
Espacio de circulación	No requiere. El medidor está fijo en su posición	Sólo requiere para el conteo inicial.	Requiere espacio para los conteos y seguimiento de pasajeros.

<b>Aspecto</b>	<b>Metodología de medición directa sobre intervalos fijos de pasajeros</b>	<b>Metodología de construcción de curvas de entrada y salida de pasajeros.</b>	<b>Metodología ACI</b>
Visibilidad de la fila	Requiere visibilidad simultánea del inicio y fin de cola.	No requiere visibilidad, salvo para el conteo inicial.	Requiere buena visibilidad, dado que se realiza conteo de pasajeros en las filas.
Largo de la fila	La metodología es difícil de aplicar en filas largas, por la gran cantidad de registros que el medidor tendría que manejar simultáneamente.	No tiene problemas con filas largas.	No tiene mayores problemas con filas largas.
Aplicabilidad a colas multicanal con una fila por canal	No tiene problemas de aplicabilidad. Se puede aplicar directamente.	No tiene problemas de aplicabilidad. Se puede aplicar al sistema de colas como un todo.	Posee una variante especializada para este tipo de colas.
Aplicabilidad a tiempos de espera largos	En tiempos excesivamente largos, puede que se obtenga pocos o ningún dato.	No tiene problemas. Las observaciones son continuas y no se realiza seguimiento de pasajeros.	No tiene problema puesto que limita los largos de las observaciones.
Impacto de irregularidades de cola	Bajo.	Alto. Las irregularidades tienen un impacto directo sobre la estimación de las curvas de llegada y atención de pasajeros, distorsionando los resultados.	Se desconoce. Dependerá de la metodología de cálculo que se aplique.

## C.2. Cuadro de comparación de tecnologías de conteo y seguimiento de pasajeros

Fuente: SITA(2014)

Technology (and attributes)	Pros	Cons	Typical Application
<b>BCBP</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>BCBP events are captured when they are printed and/or scanned, e.g., at security, boarding, etc.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Proven, stable solution</li> <li>Ability to capture up to 100% of passengers</li> <li>Anonymous, flight based tracking available</li> <li>Anonymous passenger flow classification, such as by ticket class</li> <li>Potential to uniquely identify the passenger to determine approximate location of missing passengers at boarding, e.g. have they cleared security</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Limited scan points ... one of the less granular methods of tracking</li> <li>Requires involvement from passengers</li> <li>Off airport check-in passengers are only "seen" when first scanned at the airport, which could be at boarding</li> <li>Only scans IATA Type M BCBPs; there are still some carriers with 1D and nonstandard 2D bar codes</li> </ul>	<p>Can provide:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Validation of near 100% of passengers through a checkpoint, typically going airside from landside</li> <li>Approximate passenger counts (manually boarded passengers cannot be tracked)</li> <li>Coarse dwell time analysis, e.g., time from airport check-in to security to boarding</li> <li>Time last passenger checked in at the airport</li> </ul>

Technology (and attributes)	Pros	Cons	Typical Application
<b>Dual Bluetooth and Wi-Fi sensors</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Bluetooth sensors now typically complemented with Wi-Fi</li> <li>Tracks on the basis of Bluetooth and/or Wi-Fi device addresses, which are typically translated to a unique, anonymous identifier</li> <li>Sensors are adjustable typically within a range of 1 to 10 meters (3 to 30m with directional antennas)</li> <li>Over the last couple of years, the Bluetooth penetration rate has dropped from as high as 15% of passengers, to as low as 2%</li> <li>Wi-Fi penetration rates range from 40-80%</li> <li>Uses the same ISM 2.4 GHz frequency as Wi-Fi (802.11a, b, n), without material interference (given low power output)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bluetooth proven within the industry, as airport deployments date back to 2006</li> <li>Tracking data is by default anonymous</li> <li>Potential to track and communicate with passengers uniquely, e.g., proximity marketing (though IP based communication is a better choice for interacting with passengers, e.g., via mobile apps)</li> <li>Requires virtually no maintenance, e.g., no calibration</li> <li>Sample size is expected to continue to increase as more passengers adopt smartphones</li> <li>Ability to predict queue wait times, when complemented by a method of counting passengers as they enter the queue, e.g. BCBP scanning or thermal counters</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Maximum height from ceiling of 3-4 meters (where ceiling mounting is not possible, sensors are typically affixed to available infrastructure, e.g., pillars) or mounted on end of pipes extending down from the ceiling. Ceiling height can be up to 30 meters using directional antennas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Well suited to queue management due to the high sample rate. Also well suited for tracking passenger movements and dwell time analysis throughout the airport (including measurement from the public highway infrastructure exits, through to parking structures, check-in, immigration, security, retail to the final destination gate)</li> <li>Data source for historic, near real-time and forecast analysis of airport operational performance measurement and reporting</li> <li>Automatic monitoring and reporting of regulatory, contractual or internal goal SLA compliance</li> <li>When coupled with some method of people counting, queue wait times can be predicted as passengers approach the queue, e.g. in Security</li> </ul>

Technology (and attributes)	Pros	Cons	Typical Application
<b>Beacon (iBeacon)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Uses standard Bluetooth Low Energy (Bluetooth 4.0 standard) devices. The devices emit a data packet at set intervals.</li> <li>• iBeacon is an Apple profile specifying the data packet format. iBeacon was added to iOS 7, and can also be used on Android Smartphones.</li> <li>• Battery or USB powered</li> <li>• When a Smartphone moves within range it can trigger an action on a mobile application</li> <li>• Once a beacon is detected, the Smartphone application queries a beacon registry to determine the attributes of the beacon, such as location and current status, e.g. "Gate B12, boarding Flight 123, scheduled for an on-time departure at 3:15PM"</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Low cost, manufacturers are currently offering beacons for as low as 10USD when ordered in bulk</li> <li>• Can send a signal from one to 50 meters.</li> <li>• Bluetooth Low Energy devices used in beacons require only a miniscule amount of energy to work, batteries last for months and years (depending upon power (transmission distance)) and advertising interval)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requires that an application be installed on Smartphones, or existing airline/airport app is updated to make them iBeacon aware</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pinpointing a customer's location. The really useful attribute of beacon technology though, is that when a Smartphone detects a beacon, it can determine the distance to the beacon down to a few meters.</li> <li>• Beacons can also be used as an effective way to offer directions and guidance to passengers en route to their gates</li> <li>• Provides a low-cost way to send notifications and guide passengers around airports.</li> </ul>

Technology (and attributes)	Pros	Cons	Typical Application
<p><b>Wi-Fi using RSSI (signal strength) for geolocation of passengers</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Tracks on the basis of Wi-Fi device's "mac" address, which is translated to a unique, anonymous identifier, using existing Wi-Fi infrastructure</li> <li>Sensor (access point) range up to 100 meters. Accuracy of detection depends upon density of access points, type of access points, type of passenger's mobile device, and usage of the mobile device</li> <li>Access point placement must be designed for proper triangulation</li> <li>Best practices recommends that access points should be placed within 25 meters apart, within line of sight of 3 other access points for accurate tracking</li> <li>Sample size currently ranges from 40 to 80%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ability to uniquely track and communicate with passengers (opt-in only)</li> <li>Multi-purpose application support, e.g. Wi-Fi access by portable devices, and geolocalisation of people and assets</li> <li>Sample size is expected to continue to increase as more passengers adopt Smartphones and airports move to provide free Wi-Fi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>The frequency and accuracy of detection points is limited when the phone is not in active use (e.g. in sleep mode). The rate drops off to once every two minutes (depending upon the phone)</li> <li>Not suitable for granular lane based queue time measurements (e.g. measuring queue wait times at individual check-in, security or immigration lanes)</li> <li>Requires roughly 2.5 times more access points than is required for Wi-Fi access, to support granular triangulation</li> <li>Requires radio survey to determine radiation in order to trim the triangulation. This survey has to be repeated if building facilities changes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Well suited for zone based tracking and analysis of passenger movements, and dwell time throughout the airport (including from the public highway infrastructure exits, through to parking structures, check-in, immigration, security, retail to the final destination gate)</li> <li>Preferred technology for marketing communication via concierge type applications on smart phones.</li> </ul>

Technology (and attributes)	Pros	Cons	Typical Application
<p><b>Video Analytics (option 1: visual light spectrum)</b></p> <p>Video Analytics is a broad category with many variations (see other options below):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tagging and tracking heads within a contained area</li> <li>• Also used for people counting (with movement in dual directions)</li> <li>• May be used to augment Bluetooth and Wi-Fi tracking with video streaming of tracked individuals</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Able to both track (within camera viewing area) and count passengers with a single technology</li> <li>• Ability to tag and track ~100% of passengers (within multi-camera viewing area, within a contained area, e.g., security)</li> <li>• With some solution providers there is the potential to use existing CCTV camera outputs, although new cameras or camera based sensors are typically required</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Can only track passengers within a contained area, e.g., security, and not throughout the airport, as the entire airport cannot be covered by cameras, e.g., WC</li> <li>• No potential to identify or communicate with the passenger uniquely</li> <li>• Requires regular maintenance in form of cleaning and calibration check to guarantee accuracy</li> <li>• Light sources or sunlight reflections can impair the technology without being able to centrally detect such occurrences</li> <li>• Requires expensive computing and storage servers compared with alternative technologies</li> <li>• Typically requires more cameras than sensors of competing solutions; very dependent on ceiling height</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Localized queue monitoring/management</li> <li>• Most references for Video Analytics are in the area of retail and surveillance, and intrusion detection</li> </ul>

Technology (and attributes)	Pros	Cons	Typical Application
<b>Video Analytics (option 2: Biometrics)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Tracking via facial recognition</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Can uniquely ID and track the passenger without having total coverage of airport with cameras</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Trialing facial tracking, one airport reports a 3% sample rate across the airport</li> </ul>	
<b>Video Analytics (option 3: thermal/visual fingerprint)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Evolving (future)</li> <li>Passenger tracking on the basis of a "thermal/visual fingerprint" using size/shape/thermal and/or color metrics</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Can uniquely ID the passenger, and then in theory, track the passenger without having total coverage of airport with cameras</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>The passenger could change his "thermal/visual fingerprint" by putting a jacket on or off</li> </ul>	

Technology (and attributes)	Pros	Cons	Typical Application
<b>GSM</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Sensors can be located as far as 100 meters apart</li> <li>Can triangulate down to 2-5 meters</li> <li>Sample rate in the range of 25-45%, which varies by geography</li> <li>Sensors use the "tinsley" signal which is a temporary address, which varies by location</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Potential for high penetration rate</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Probe time is inconsistent, as 40% of phones probed within 2 minutes, and can range between 12-20 minutes (using GSM, one can't force transmission ... conversely, Bluetooth and Wi-Fi devices can be proactively probed)</li> <li>As tracked "address" is temporary, return visits cannot be tracked</li> <li>Not suitable for short process measurements such as security queue time reporting, due to low probe rate</li> <li>Requires recalibration if facility changes significantly such as a result of store redesign</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ideal for tracking within shopping malls where typical movements are casual and shoppers tend to linger</li> </ul>
<b>Thermal Imaging</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Mature, robust people counting technology</li> <li>Counts passenger movements in two directions</li> <li>Able to count multiple passengers at the same time</li> <li>Counting accuracy ranges from 95-98%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Proven</li> <li>No maintenance required</li> <li>Sensors are small in size compared to alternatives</li> <li>Long lifetime</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Indoor use only</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Frequently implemented as an extension of WiFi and Bluetooth for wait time systems (&gt;60% of Bluetooth and/or Wi-Fi systems also include people counting)</li> </ul>

Technology (and attributes)	Pros	Cons	Typical Application
<b>Laser Counting</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mature, robust people counting technology</li> <li>• Ability to count over wide areas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proven</li> <li>• Preferred technology for outdoor counting applications due to resistance to interference from sun reflections and other light sources</li> <li>• Measures wide areas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Typically more expensive than alternative sensors</li> <li>• Limited life time as devices have continuously rotating parts</li> <li>• Requires regular maintenance such as filter changes and lenses cleaning</li> <li>• Uses more power than alternatives</li> <li>• Large physical size</li> <li>• Physically heavy, thus requires secure mounting</li> <li>• Expensive to install and calibrate compared to alternatives</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Like thermal imaging, typically implemented as an extension to queue wait time systems</li> </ul>
<b>RFID</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Used for asset tracking (over Wi-Fi)</li> <li>• RFID chips now being placed within passports</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Has not emerged as a viable alternative for passenger tracking, as it requires a relatively costly token (RFID chip)</li> <li>• Has very short communication range (in relation to passport usage)</li> <li>• Domestic passengers typically do not carry passports</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Could be used in relation to temporary measurements initiatives where passive RFID has been applied to each boarding pass</li> </ul>

Technology (and attributes)	Pros	Cons	Typical Application
<b>NFC (Near Field Communication)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Emerging</li> <li>SITA Lab involved in a pilot involving NFC to store boarding card on a device (phone) and use it at security gates, boarding gates and airline lounges for automatic entry</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>This technology is similar to the BCBP and Passport RFID as the passengers' NFC device (typically a phone) has to be presented very close to the reader</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Has not emerged as a viable alternative for passenger tracking, as communication range is limited</li> <li>Technology penetration will be low for the next 1-3 years</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Used for personal identification, like driver license, payment, access control etc.</li> </ul>
<b>Wi-Fi TOA (Time of Arrival); Time stamped based versus current RSSI methodology</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Access points are time synchronized</li> <li>3-5 meter triangulation</li> <li>In trial phase</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Requires less access points than Wi-Fi access points using RSSI</li> <li>Consistent accuracy versus RSSI based tracking (to be confirmed, via a trial)</li> <li>Less impact by barriers, e.g., walls than RSSI</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Relatively new, and untested</li> <li>Requires proprietary access points</li> <li>Need to run a parallel network to Wi-Fi access points</li> </ul>	

Technology (and attributes)	Pros	Cons	Typical Application
<b>UWB (Ultra Wide Band)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Emerging</li> <li>Wi-Fi specification (802.15)</li> <li>Allows for high precision short term sensing, e.g., down to cm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Low power, doesn't interfere</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Few market solutions available</li> <li>Wi-Fi chip set in access points needs to support needed protocol</li> </ul>	
<b>iGPS (indoor GPS)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Emerging</li> <li>Uses Wi-Fi spectrum</li> <li>Piggy back upon GPS protocol (enables outdoor indoor seamless tracking)</li> <li>Need fewer sensors than TOA</li> <li>Trial phase</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lower number of sensors than RSSI (less infrastructure)</li> <li>Less than one meter precision</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Needs a chip set upgrade to Wi-Fi access points</li> </ul>	

## Anexo D Cuadro resumen de análisis y sistematización de problemática

En la siguiente tabla se resume los principales aspectos del análisis y sistematización de la problemática observada en los distintos controles fronterizos del aeropuerto AMB:

**Tabla 6** Resumen de análisis y sistematización  
**Fuente: Elaboración propia**

Atributo	Policía Internacional Emigración	AVSEC Emigración	Reciprocidad Inmigración	Policía Internacional Inmigración	Control SAG/Aduana Inmigración	AVSEC Tránsito
Tipo de cola	Multicanal con fila única.	Multicanal con fila principal y secundarias para cada canal.	Multicanal con fila única.	Multicanal con fila única.	Dinámica y variable dependiendo de la demanda.	Multicanal con fila principal y secundarias para cada canal.
Disciplina de cola	FIFO.	FIFO en fila principal y secundarias	FIFO.	FIFO.	FIFO en las filas principales y las secundarias.	FIFO en fila principal y secundarias.
Cantidad de módulos	36.	Cinco.	Diez módulos. Cinco en cada recinto.	35 módulos. 19 en sector nacionales y 16 en sector extranjeros.	Siete. Próximamente tres módulos en un recinto separado.	Dos.
Disposición de la fila	Cuncuna en corral.	Cuncuna en corral.	Cuncuna en corral.	Cuncuna en corral.	Variable dependiendo de la demanda.	Recta y sin corral.
Características del recinto	Cerrado, amplio y con pocos obstáculos visuales.	Cerrado, poco amplio y con obstáculos visuales.	Abierto, muy amplio y con pocos obstáculos visuales, salvo cuando fila sale del recinto.	Cerrado, amplio y con pocos obstáculos visuales.	Cerrado, muy estrecho y visibilidad media.	Cerrado, poco amplio y con pocos obstáculos visuales, salvo cuando fila sale del recinto.

Atributo	Policía Internacional Emigración	AVSEC Emigración	Pago de Reciprocidad Inmigración	Policía Internacional Inmigración	Control SAG/Aduana Inmigración	AVSEC Tránsito
Tipo de usuario en fila	Solamente usuarios.	Solamente usuarios.	Usuarios y, potencialmente, acompañantes. Pagando por sí mismo o por otros usuarios.	Solamente usuarios.	Solamente usuarios.	Solamente usuarios.
Aglomeración	Muy variable y alta en ocasiones.	Muy variable y alta en ocasiones.	Variable. En general es baja, pero existen <i>peaks</i> importantes.	Muy variable y muy alta en ocasiones.	Muy variable y muy alta en ocasiones.	Muy variable y muy alta en ocasiones.
Regularidad	Muy alta.	Muy alta.	Media.	Muy alta.	Media.	Muy alta.
Situaciones particulares	Ninguna.	Existen módulos de pre-chequeo al principio de la fila única.	Existen dos recintos para el pago del impuesto.	Módulos divididos en tres sectores. Ciertos pasajeros podrían hacer la fila dos veces.	Habrán tres nuevos módulos de atención, los cuales estarán en otro recinto independiente.	Ninguna.

## **Anexo E Definición de variaciones de la demanda en temporadas alta/baja y horario punta/fuera de punta**

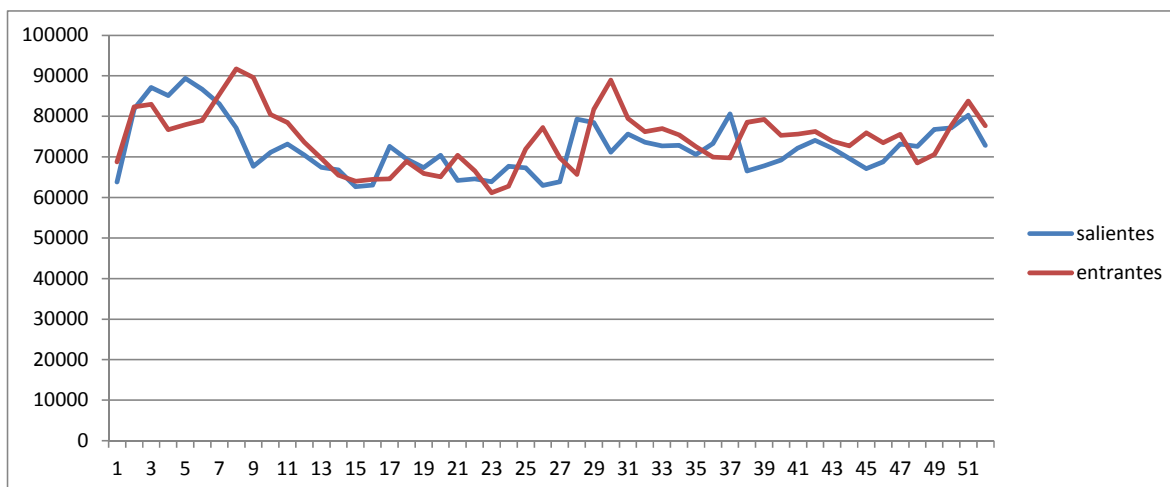
En el presente anexo se realiza un estudio de la demanda por uso de los controles fronterizos del aeropuerto AMB. Para ello, se utiliza la información histórica de los vuelos entrantes y salientes del país durante el año 2014. Esta información incluye: el día y hora de cada vuelo, origen y destino del vuelo, empresa dueña del vuelo, tipo de aeronave utilizada, pasajeros que suben o bajan de la aeronave y asientos disponibles en la misma, entre otros. Para efectos de este análisis, solamente se utilizará la fecha, hora y cantidad de pasajeros y asientos en cada vuelo.

El análisis del presente capítulo busca describir el comportamiento de la demanda en base a un análisis *ex post* de la información histórica de vuelos entrantes y salientes del aeropuerto. En la sección 8.2.4 del informe, correspondiente al plan de implementación de la metodología, se presentó un método de análisis *ex ante* de la información de itinerarios e información en línea de los vuelos en tiempo real, que permitirá predecir la demanda con el fin de diseñar los periodos de medición de tiempos de espera.

### **E.1. Análisis temporada alta y baja**

En el gráfico de la figura 28 se presentan los despegues y aterrizajes semanales en el aeropuerto AMB durante el año 2014. Se observa que existen dos periodos con mayor demanda de lo habitual: uno, entre la semana 1 y 10, y otro alrededor de la semana 30. En general, los periodos con mayor demanda están desfasados entre despegues y aterrizajes, registrándose alzas en los despegues de manera previa a las alzas en los aterrizajes.

**Figura 28.** Pasajeros entrantes y salientes semanales.  
**Fuente:** Elaboración propia



En la figura 29 se muestran las diferencias porcentuales de pasajeros salientes y entrantes semanales, con respecto a sus valores medios anuales (72.296 y 74.353 para pasajeros salientes y entrantes, respectivamente). Si se considera como momento de sobredemanda<sup>44</sup> a los instantes donde este porcentaje supera el 4%<sup>45</sup>, se tiene los siguientes periodos sobredemandados:

- Sobredemanda de verano:
  - Despegues: semanas 2 a 8 (entre el 08/01 y el 25/02)
  - Aterrizajes: semanas 2 a 11 (entre el 08/01 y el 18/03)
- Sobredemanda de invierno:
  - Despegues: semanas 28 a 31 (entre el 09/07 y el 05/08)
  - Aterrizajes: semanas 29 a 31 (entre el 16/07 y el 05/08)
- Sobredemanda en septiembre:
  - Despegues: semana 37 (entre el 10/09 y el 16/09)

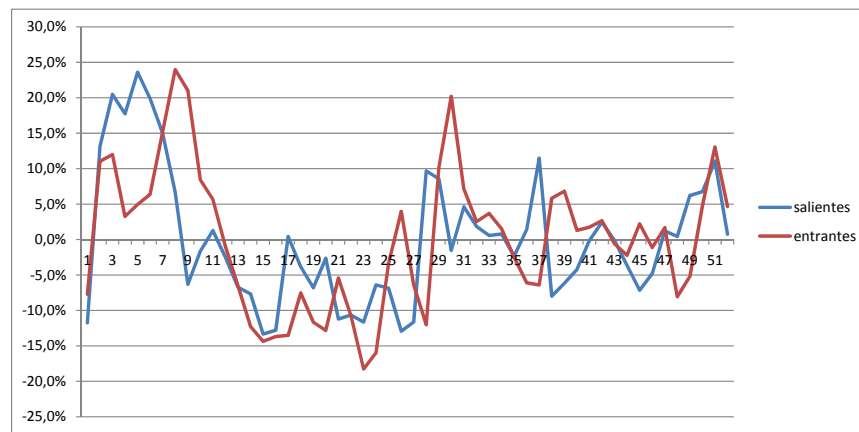
<sup>44</sup> Sobredemanda se refiere a periodos con marcada demanda sobre el promedio. Si son periodos largos se habla de temporada alta y si son cortos se refiere a peaks puntuales de demanda.

<sup>45</sup> Si bien los largos de los periodos de demanda alta encontrados dependen del porcentaje seleccionado, los periodos encontrados se mantienen incluso superando el porcentaje a un 10%. 4% es un porcentaje seleccionado por el consultor y representa cerca de 0,5 desviaciones estándar sobre los promedios de pasajeros entrantes y salientes, respectivamente.

- Aterrizajes: semanas 38 y 39 (entre el 17/09 y el 30/09)
- Sobredemanda en diciembre:
  - Despegues: semana 49 a 51 (entre el 03/12 y el 23/12)
  - Aterrizajes: semanas 50 a 52 (entre el 10/12 y el 31/12)

**Figura 29.** Diferencias porcentuales sobre la media anual de pasajeros entrantes y salientes en cada semana del año 2014.

**Fuente:** Elaboración propia



De forma agregada para pasajeros entrantes y salientes, de la información de la figura 29, se puede establecer los siguientes periodos sobredemandados:

- Sobredemanda de verano: semanas 2 a 9 (del 08/01 al 04/03)
- Sobredemanda de invierno: semanas 28 a 31 (del 09/07 al 05/08)
- Sobredemanda en septiembre: semanas 37 a 39 (del 10/09 al 30/09)
- Sobredemanda en diciembre: semana 50 a 52 (entre el 10/12 y el 31/12).

De esta información se puede ver claramente que se tiene dos periodos de temporada alta:

- El primero coincidente con las vacaciones de verano desde la segunda semana de enero hasta la primera semana de marzo.
- El segundo coincidente con las vacaciones de invierno, desde la segunda semana de julio hasta la primera semana de agosto.

Además, se tiene dos *peaks* cortos de demanda:

- En las fiestas patrias, en la segunda mitad de septiembre
- En navidad, en la segunda mitad de diciembre.

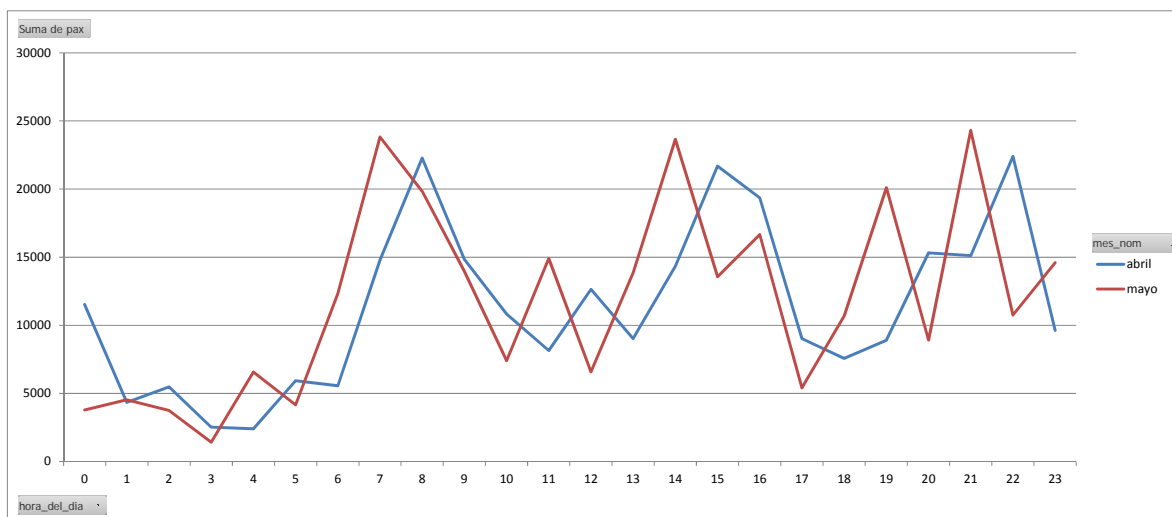
Este último *peak* se podría considerar como perteneciente a la temporada alta de verano. Sin embargo, entre este *peak* y la temporada alta de verano, durante la primera semana de enero, existe un importante descenso en la demanda (11,7% y 7,7% bajo el promedio anual en pasajeros salientes y entrantes, respectivamente).

## **E.2. Análisis global de *peaks* de demanda**

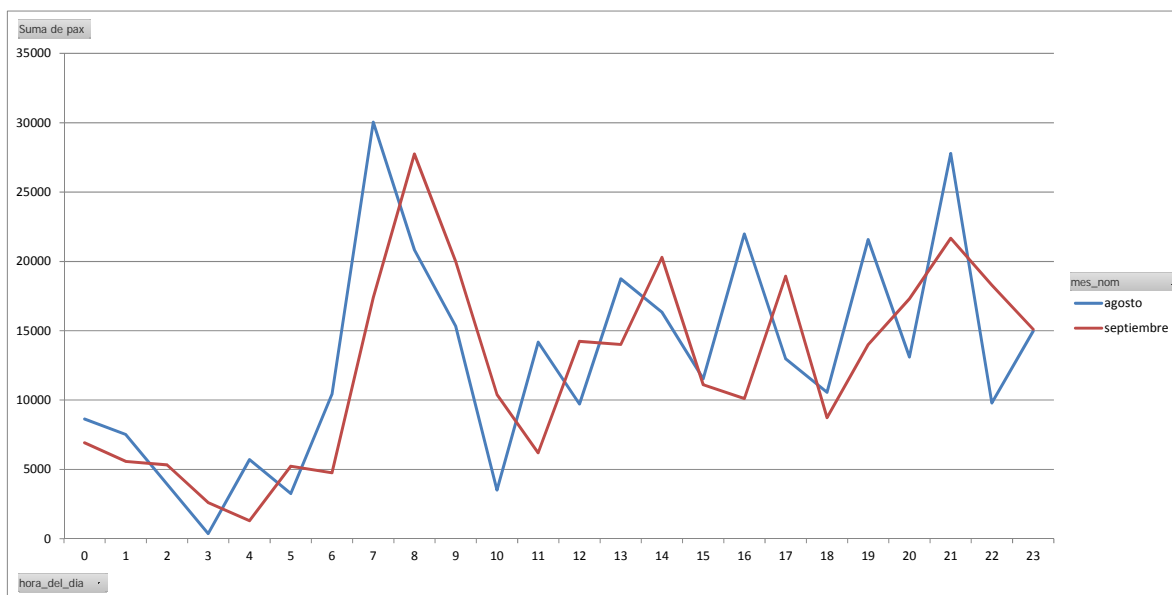
### **E.2.1. Cambio de hora**

En la figura 30 y la Figura 31 se puede observar los pasajeros salientes totales para cada una de las 24 horas del día, para los meses de abril y mayo; y para agosto y septiembre, respectivamente. Se observa que existe un desfase de alrededor de una hora. En el primer caso los despegues se adelantan una hora, y en el segundo caso se retrasan una hora. La misma situación se observa para los aterrizajes en la figura 32 y la Figura 33. Esto ocurre por los cambios de hora del 26 de abril y el 6 de septiembre de 2014. En lo que sigue, se considerará la hora de verano para todos los vuelos, adelantando en una hora todos los que entran o salen entre el 26 de abril y el 6 de septiembre. Todas las horas mencionadas en adelante corresponden al horario de verano.

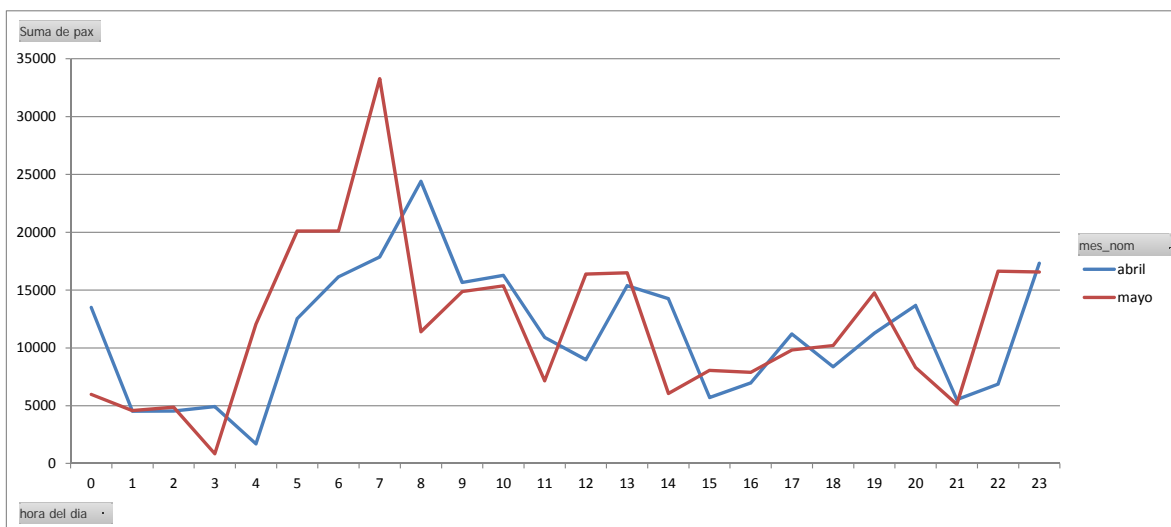
**Figura 30. Pasajeros salientes por hora en abril y mayo**  
**Fuente: Elaboración propia**



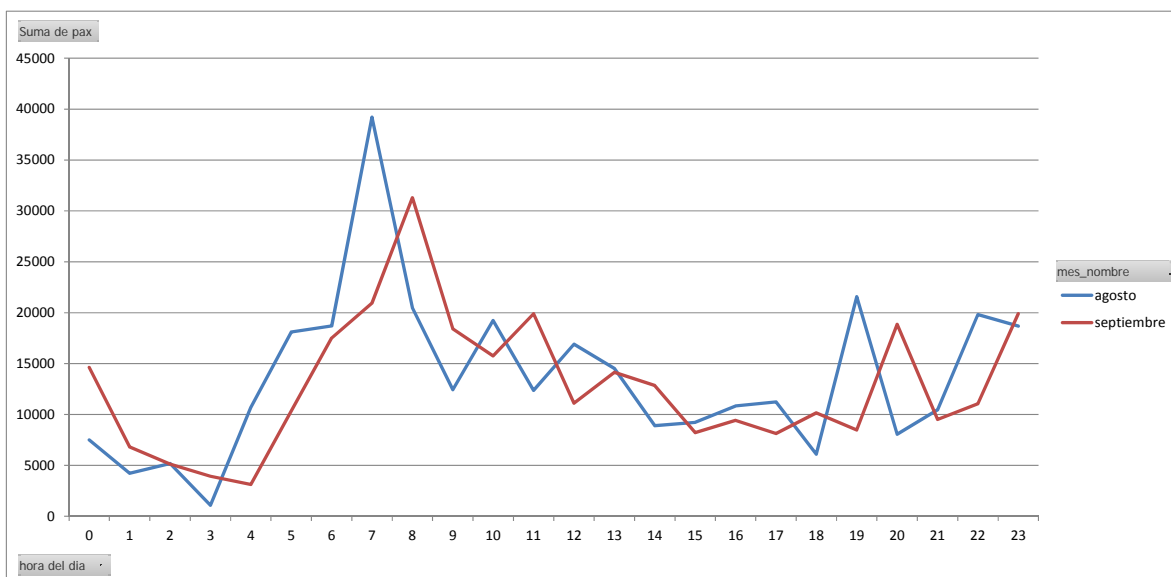
**Figura 31. Pasajeros salientes por hora en agosto y septiembre**  
**Fuente: Elaboración propia**



**Figura 32.** Pasajeros entrantes por hora en abril y mayo  
**Fuente: Elaboración propia**



**Figura 33.** Pasajeros entrantes por hora en agosto y septiembre  
**Fuente: Elaboración propia**



### E.2.2. Análisis por hora de pasajeros salientes

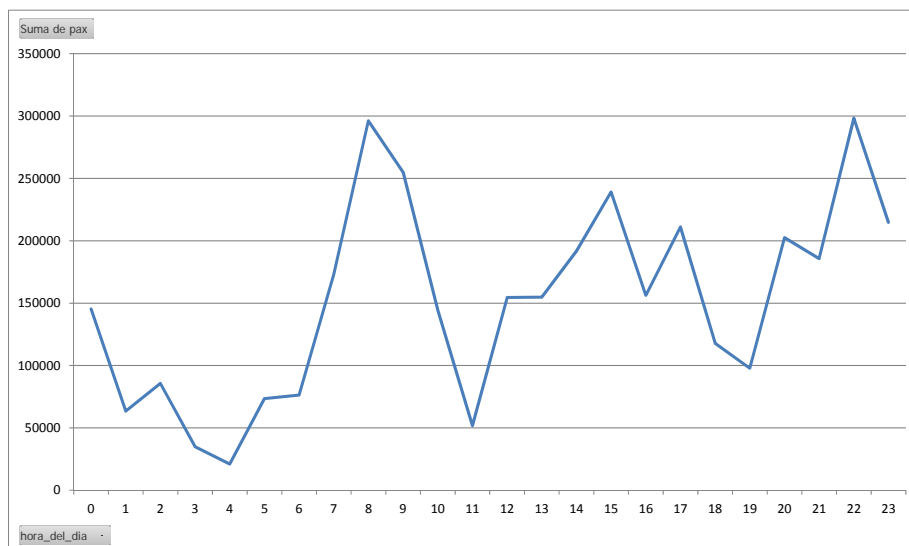
En la figura 34 se puede ver las cantidades totales de pasajeros salientes, agregados para cada una de las horas del día, para todo el año 2014. Se puede notar claramente dos *peaks* de demanda:

- **Punta mañana:** entre 7:00 y las 11:00, centrado entre 8:00 y las 9:00.
- **Punta noche:** entre 20:00 y las 00:00, centrado entre 22:00 y las 23:00.

Además, se puede notar que existe demanda sobre el promedio entre 12:00 y 18:00, pero que no llega a valores máximos tan pronunciados como en las puntas mañana y noche.

En la sección E.1 se da cuenta de que el comportamiento de la demanda varía mucho entre los meses de temporada alta y los de temporada baja, por lo que en la sección E.3 se muestra un análisis mensual de la demanda.

**Figura 34.** Pasajeros salientes por hora durante el año 2014  
**Fuente:** Elaboración propia



### E.2.3. Análisis por hora de pasajeros entrantes

En la figura 35 se puede ver las cantidades totales de pasajeros entrantes, agregados para cada una de las horas del día, para todo el año 2014. Se puede notar claramente un *peak* de demanda:

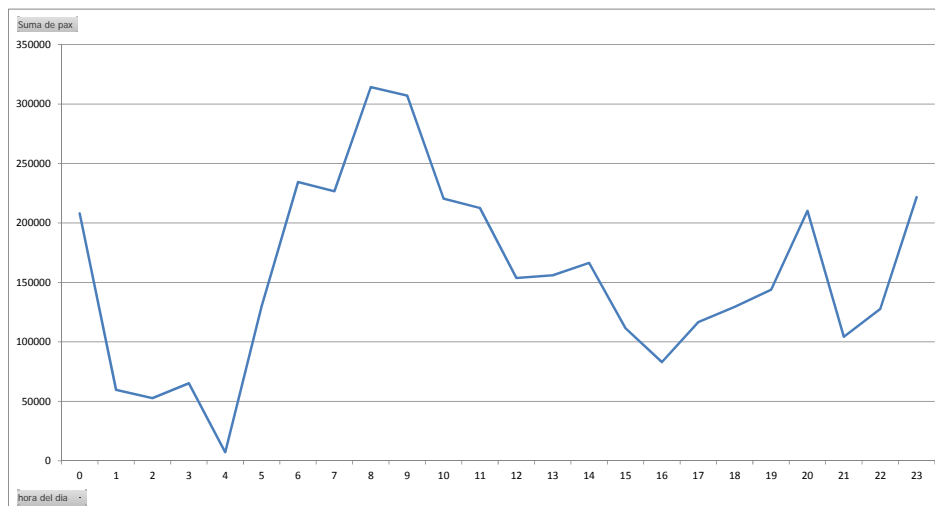
- **Punta mañana:** entre 6:00 y 12:00, centrado entre 8:00 y 9:00 (aunque con prácticamente la misma demanda que entre 9:00 y 10:00).

Además, se puede ver demanda sobre el promedio:

- A las 20:00, concentrado a la misma hora.
- Entre 23:00 y 1:00, con demanda casi constante entre ambas horas.

En ambos casos la demanda en estos periodos son muy inferiores al *peak* de punta mañana. La demanda entre 23:00 y 00:00 es un 30,1% menor que entre 8:00 y 9:00.

**Figura 35.** Pasajeros entrantes por hora durante el año 2014  
**Fuente:** Elaboración propia



Dada la diferencia en la demanda entre temporadas alta y baja, en la sección E.3 se muestra un análisis mensual de la demanda de pasajeros.

### E.3. Análisis mensual de *peaks* de demanda

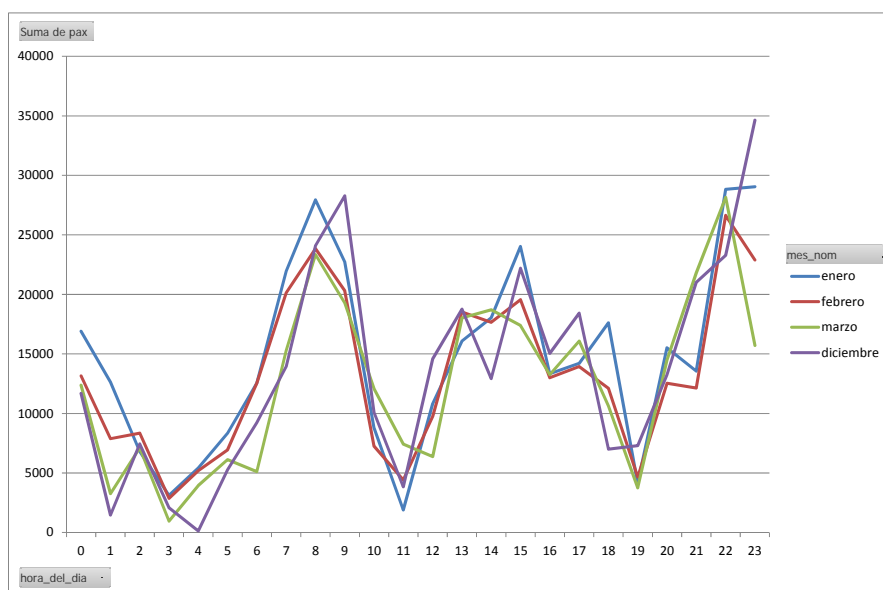
En la siguiente sección se realiza sendos análisis de la demanda de pasajeros entrantes y salientes, respectivamente, para cada mes del año.

#### E.3.1. Análisis por hora de pasajeros salientes

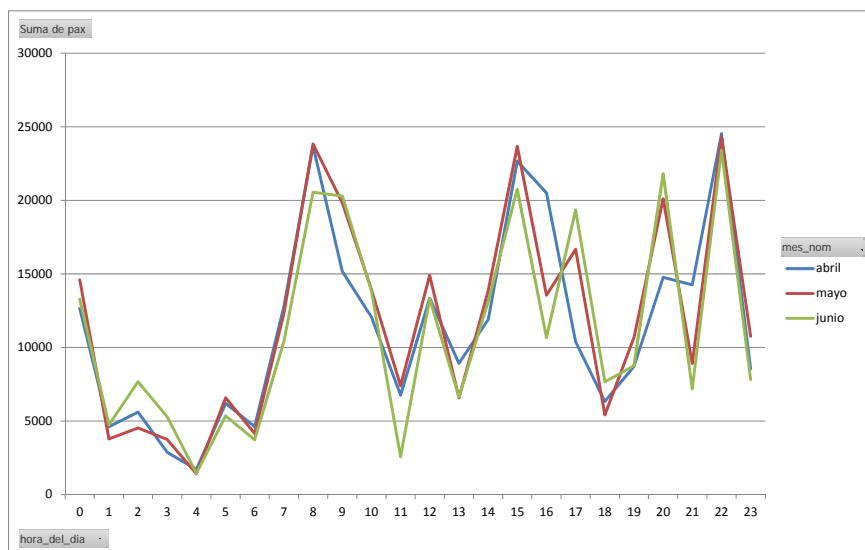
En las siguientes cuatro figuras se muestra los pasajeros salientes, juntando los meses que tienen un comportamiento similar. En la figura 36 y la figura 38 se puede notar que en enero, febrero, marzo, julio, agosto y diciembre existe una marcada diferencia entre los periodos punta mañana y noche, con respecto al periodo con demanda sobre el promedio entre 12:00 y 18:00.

En cambio, en los meses de abril, mayo, junio, septiembre, octubre y noviembre (meses de temporada baja), la diferencia es menor, y el descenso en la intensidad de la demanda en los periodos punta, hace que aparezca un tercer periodo de alta demanda, que ocurre entre 15:00 y 18:00, con una menor intensidad, pero sobre un intervalo de tiempo más extendido.

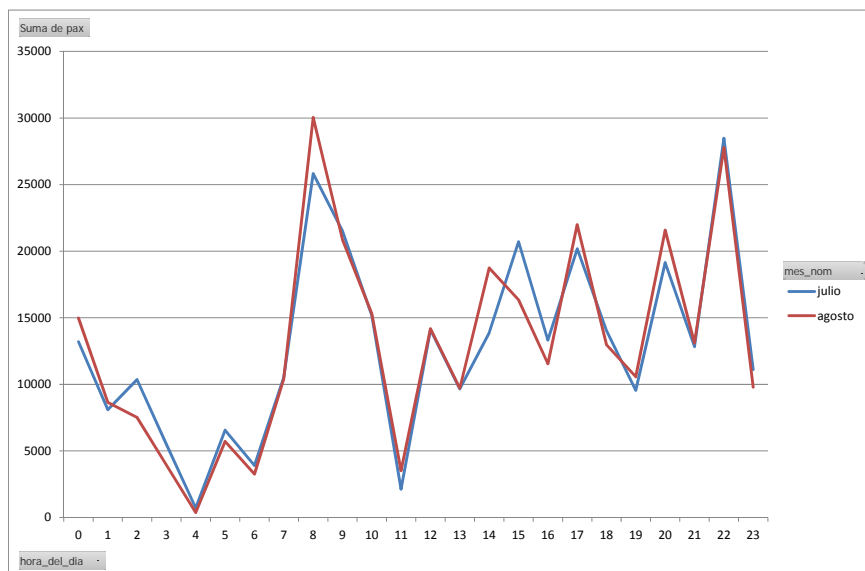
**Figura 36.** Pasajeros salientes por hora durante enero, febrero, marzo y diciembre  
**Fuente:** Elaboración propia



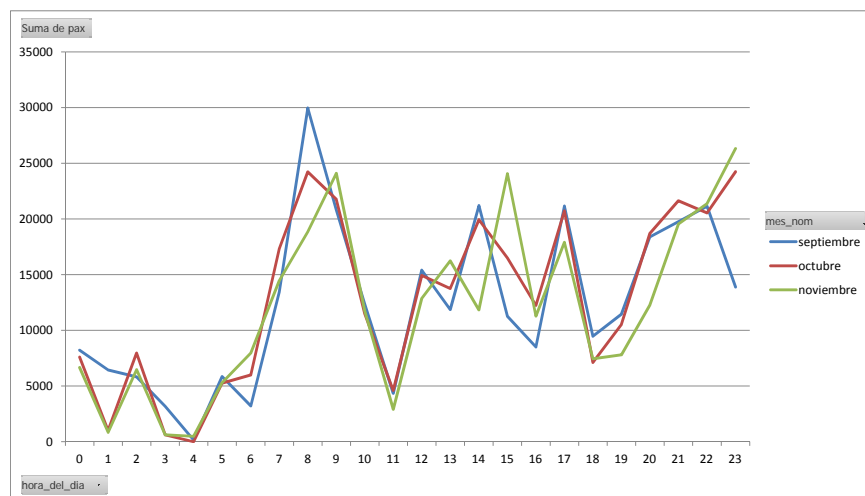
**Figura 37.** Pasajeros salientes por hora durante abril, mayo y junio  
**Fuente: Elaboración propia**



**Figura 38.** Pasajeros salientes por hora durante julio y agosto  
**Fuente: Elaboración propia**



**Figura 39.** Pasajeros salientes por hora durante septiembre, octubre y noviembre  
**Fuente:** Elaboración propia

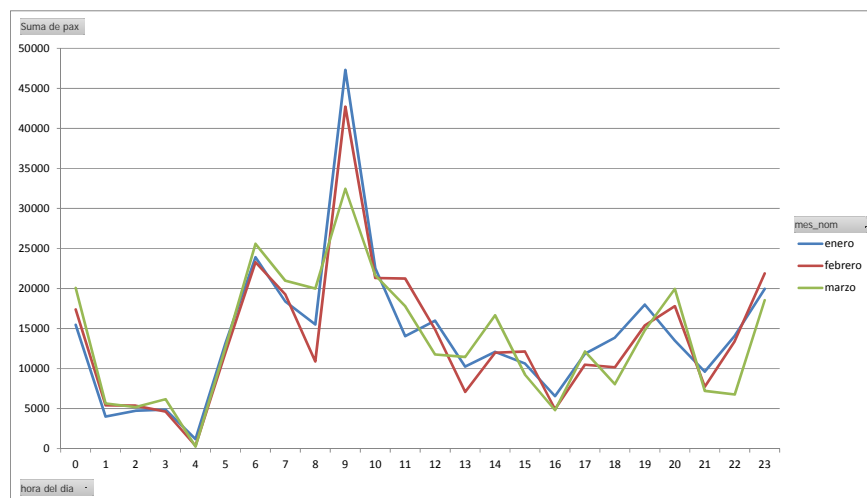


### E.3.2. Análisis por hora de pasajeros entrantes

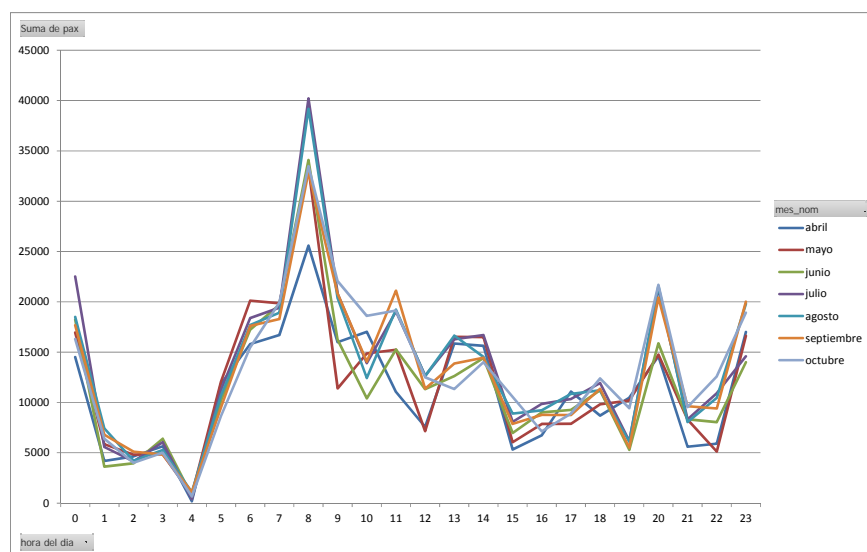
En las siguientes 3 figuras se muestra los pasajeros entrantes, agrupando los meses que tienen un comportamiento similar. Comparando la figura 40 con la figura 41 y la figura 42 se puede notar una marcada diferencia entre los meses enero, febrero y marzo, con respecto al resto de los meses del año. En los primeros, la diferencia entre la punta mañana y los periodos de con demanda mayor que el promedio del periodo entre las 20:00 y 21:00 y el periodo entre las 00:00 y 1:00 es mucho más marcada que en el resto. Aun así, en todos los meses del año, el *peak* de punta mañana es mucho más pronunciado que el resto de los periodos con demanda mayor que el promedio durante el día.

Se concluye que, durante todo el año sólo existe un periodo punta: en la mañana, centrado entre 8:00 y 9:00.

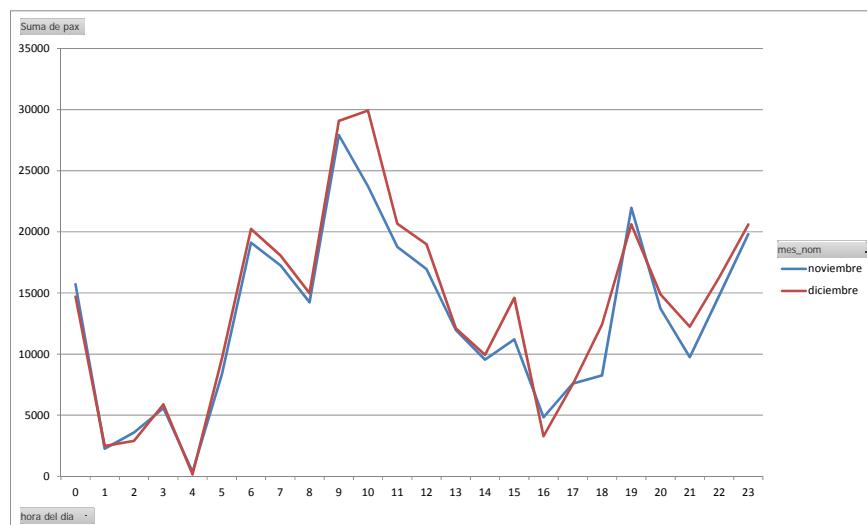
**Figura 40.** Pasajeros entrantes por hora durante enero, febrero y marzo  
**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 41.** Pasajeros entrantes por hora durante abril, mayo, junio, julio, agosto, septiembre y octubre  
**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 42.** Pasajeros entrantes por hora durante septiembre, octubre y noviembre  
**Fuente:** Elaboración propia

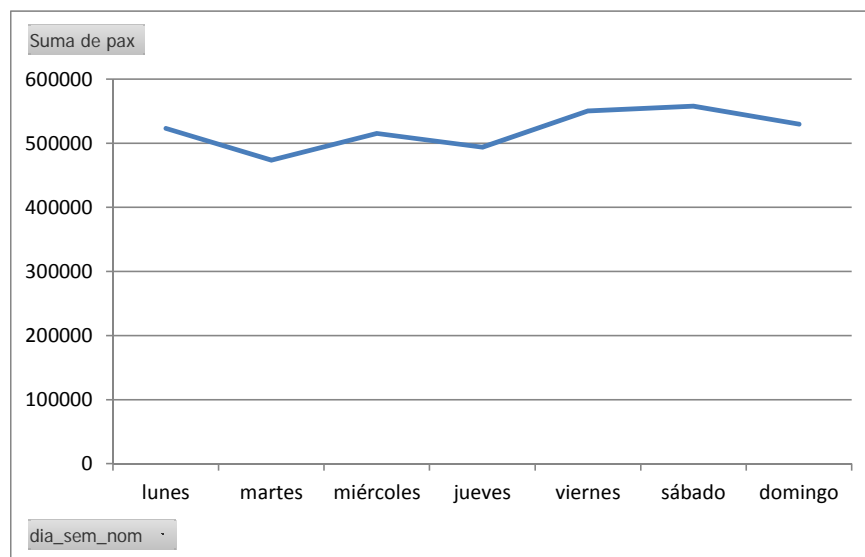


## E.4. Análisis semanal de peaks de demanda

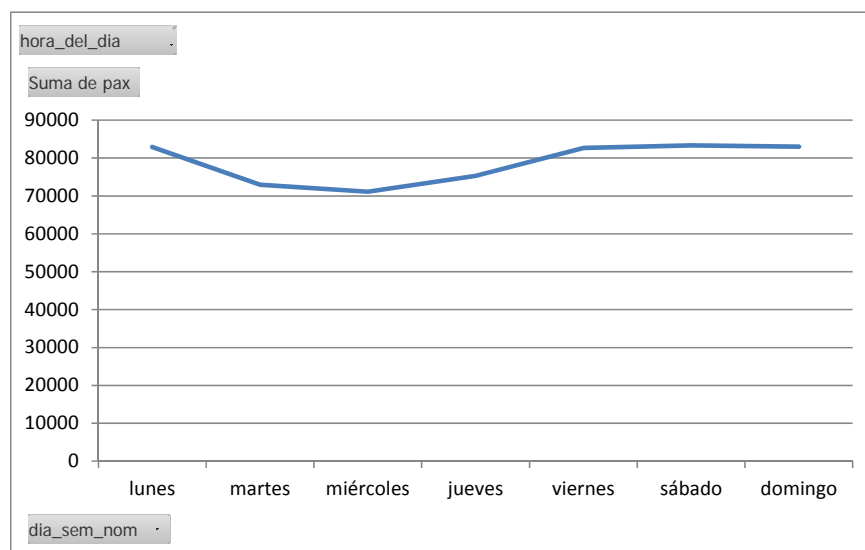
### E.4.1. Análisis por día de pasajeros salientes

En la figura 43 se puede ver un gráfico con las cantidades totales de pasajeros salientes, agregados para cada uno de los días de la semana, para todo el año 2014. No se observan *peaks* importantes de demanda, salvo una leve alza los viernes y sábados. Este gráfico muestra en forma agregada ambos periodos punta. En la figura 44 y la figura 45 se puede ver los mismos gráficos, pero considerando solamente las demandas de los periodos punta mañana (entre 8:00 y 10:00) y punta noche (entre 22:00 y 23:00), respectivamente. En ambos gráficos no se observan *peaks* importantes de demanda durante la semana.

**Figura 43.** Pasajeros salientes por día de la semana, para el año 2014  
**Fuente: Elaboración propia**

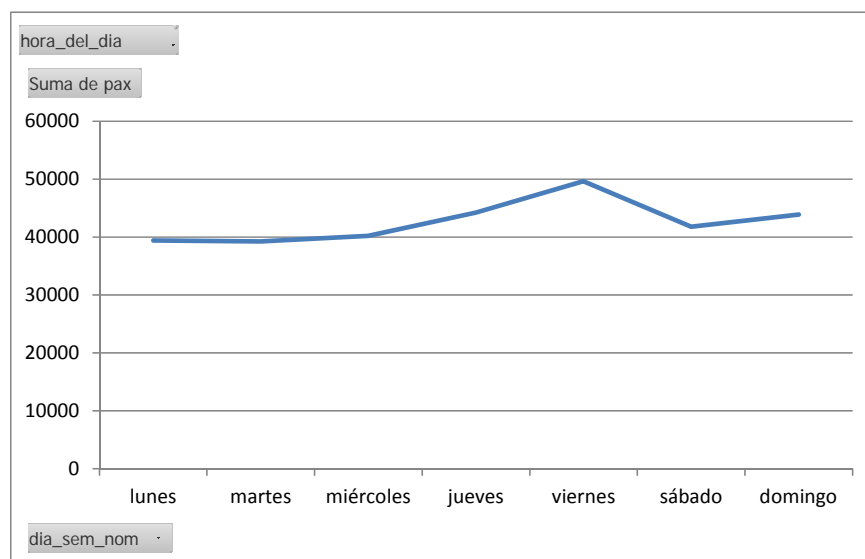


**Figura 44.** Pasajeros salientes por día de la semana, para el año 2014, durante el periodo punta mañana (entre 8:00 y 10:00)  
**Fuente: Elaboración propia**



**Figura 45.** Pasajeros salientes por día de la semana, para el año 2014, durante el periodo punta noche (entre 22:00 y 23:00)

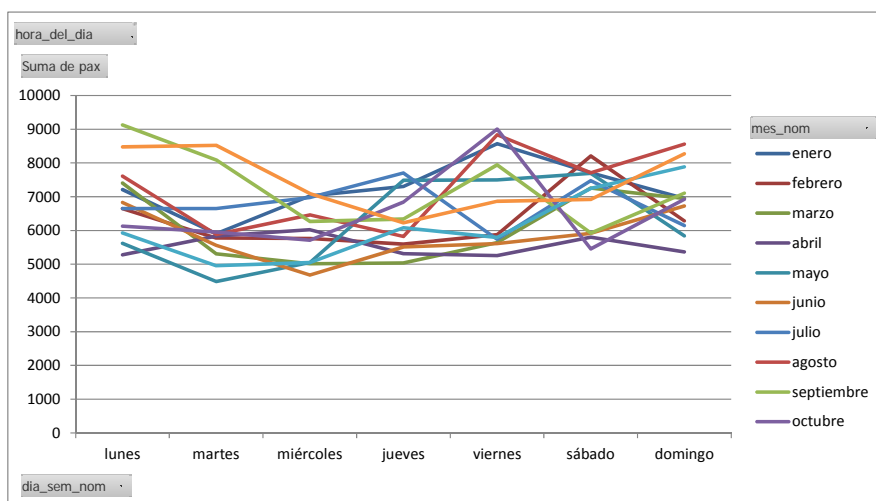
**Fuente:** Elaboración propia



Considerando que las diferencias de demanda en temporada alta y baja, es apropiado evaluar las diferencias en la demanda para cada mes. En la figura 46 y la figura 47 se presentan los pasajeros salientes en cada uno de los días de la semana, para cada mes del año 2014, durante los periodos punta mañana (entre 8:00 y 10:00) y punta noche (entre 22:00 y 23:00), respectivamente. Como se puede notar en ambos gráficos, las tendencias son distintas para cada mes del año, por lo que no puede identificarse un día de la semana de máxima demanda para todos los meses.

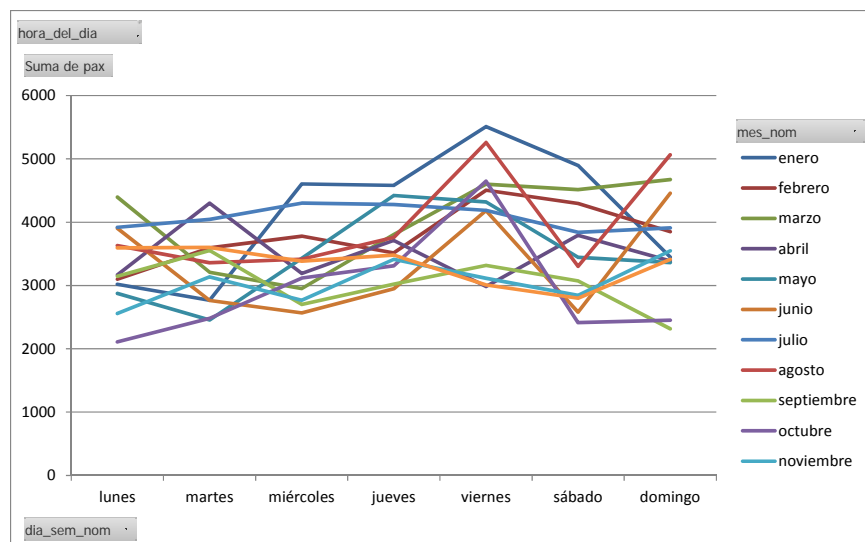
**Figura 46.** Pasajeros salientes por día de la semana, para el año 2014, durante el periodo punta mañana (entre 8:00 y 10:00), para cada mes del año

**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 47.** Pasajeros salientes por día de la semana, para el año 2014, durante el periodo punta noche (entre 22:00 y 23:00), para cada mes del año

**Fuente:** Elaboración propia



Cada día de la semana acapara entre el 13,0% y el 15,3% de la demanda total anual, por lo que, globalmente, las cantidades demandadas entre los distintos días no son

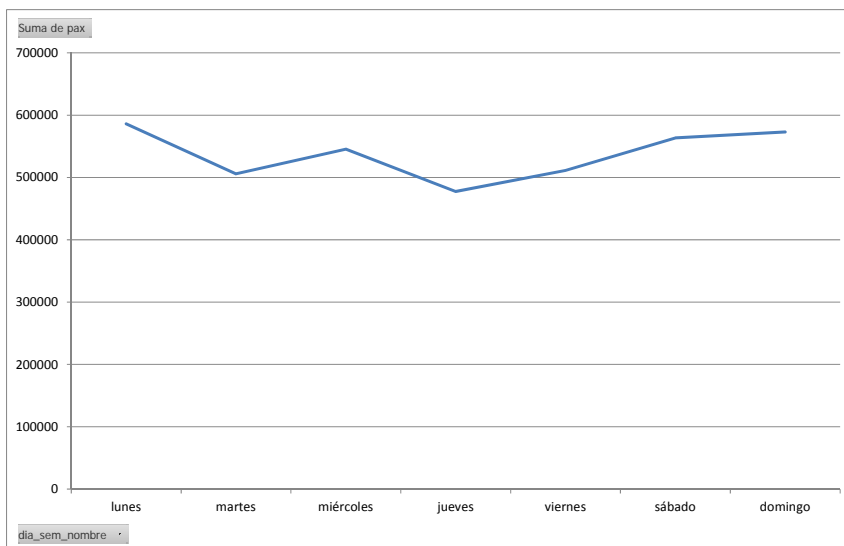
significativas. Según esto, no es posible establecer un patrón de demanda con días “punta” dentro de cada semana.

#### E.4.2. Análisis por día de pasajeros entrantes

En la figura 48 se puede ver las cantidades totales de pasajeros entrantes, agregados para cada uno de los días de la semana, para todo el año 2014. No se observan *peaks* importantes de demanda, salvo que martes y jueves pareciera existir una demanda menor que en el resto de la semana. En la figura 49 se muestra el mismo gráfico, pero solamente considerando la demanda durante el periodo punta mañana (entre 8:00 y 10:00). En él se puede ver una diferencia similar, sin que se aprecie estacionalidad en la demanda del periodo punta.

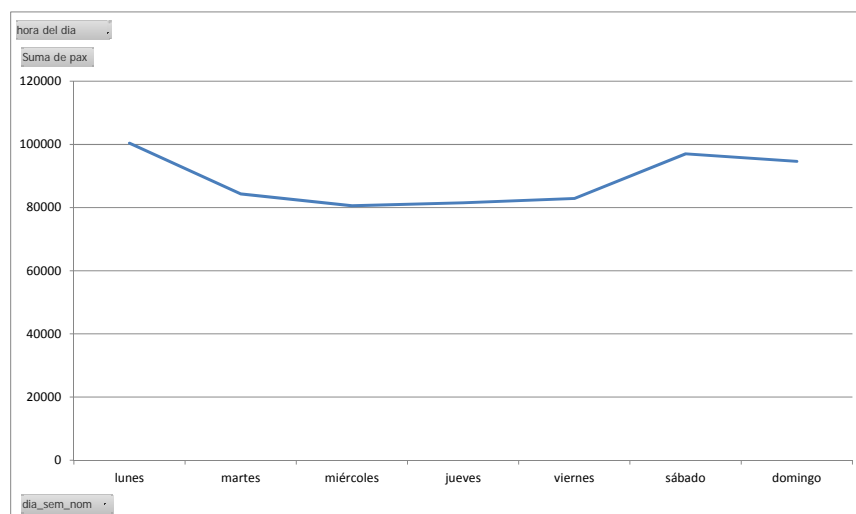
**Figura 48.** Pasajeros entrantes por día de la semana, para el año 2014

**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 49.** Pasajeros entrantes por día de la semana, para el año 2014, durante el periodo punta mañana (entre 8:00 y 10:00)

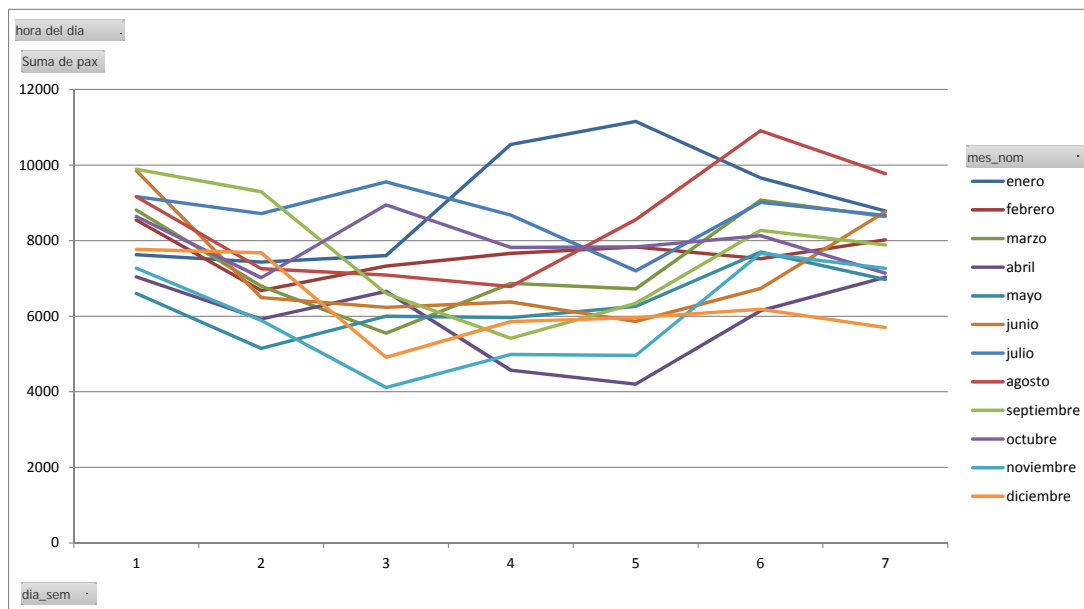
**Fuente:** Elaboración propia



Considerando que las diferencias de demanda en temporada alta y baja, es apropiado evaluar las diferencias en la demanda para cada mes. En la figura 50 se presentan los pasajeros entrantes en cada uno de los días de la semana, para cada mes del año 2014. Como se puede notar en el gráfico, las tendencias son distintas para cada mes del año, por lo que no es posible identificar un día de la semana que presente consistentemente una mayor demanda común en todos los meses.

**Figura 50.** Pasajeros entrantes por día de la semana, para el año 2014, durante el periodo punta mañana (entre 8:00 y 10:00), para cada mes del año.

**Fuente: Elaboración propia**



Cada día de la semana acapara entre el 12,7% y el 15,7% de la demanda total anual, por lo que, globalmente, las cantidades demandadas entre los distintos días no son significativas. Según esto, no es posible establecer un patrón de demanda con días “punta” dentro de cada semana.

## E.5. Análisis de vuelos

A continuación se analiza la estructura de las salidas y entradas de vuelos, en sus respectivos periodos punta, para las temporadas alta y baja. Para simplificar el análisis se considerará una semana representativa de cada temporada.

### E.5.1. Temporada alta

Para el presente análisis se consideró como semana representativa, la tercera semana de julio, durante la cual los despegues y aterrizajes están un 8,6% y 10,1% sobre el promedio anual, respectivamente.

### ***Vuelos salientes en periodo punta mañana***

Durante el periodo punta mañana (entre 7:00 y 11:00) hay entre 30 y 32 vuelos salientes cada día, promediando 31,3 vuelos en el periodo punta, entre todos los días de la semana representativa, lo que equivale a 5.291 asientos promedio.

La estructura de los vuelos es similar entre días. En general, se repite la estructura de vuelos de la siguiente tabla:

**Tabla 7** Estructura general de vuelos salientes en el periodo punta mañana en temporada alta  
**Fuente: Elaboración propia**

<b>Empresa</b>	<b>N° Vuelos</b>
LAN Airlines S. A.	11
LACSA	8
Avianca	5
Sky Airlines S.A.	2
TAM-Línea Aérea S.A.	1
Austral Líneas Aéreas	1
GOL Transportes Aéreos S.A.	1
Aerolíneas Argentinas	1

Esta lista comprende 30 vuelos, que representa un 95% de los 31,28 vuelos promedio de todos los días de esta semana.

La composición de los vuelos durante las cuatro horas del periodo punta mañana se entrega en la siguiente tabla:

**Tabla 8** Composición horaria de vuelos salientes en el periodo punta mañana en temporada alta  
**Fuente: Elaboración propia**

<b>Hora</b>	<b>% del total</b>
7:00	26%
8:00	37%
9:00	21%
10:00	17%

Como día representativo de esta semana se tomó el jueves 17 de julio, que tiene una estructura de vuelos similar a la de la tabla 7. Durante el periodo punta mañana de este día hubo 32 vuelos. La composición de los destinos de los vuelos es muy variada, aunque regular entre días de la semana. Los 32 vuelos se dirigen a 21 destinos, de los cuales se repiten: Sao Paulo/Guarulhos (4 vuelos), Lima, Buenos Aires/Aeroparque y Buenos Aires/Ezeiza (3 vuelos cada uno), y New York y Mendoza (2 vuelos cada uno). Los destinos están muy repartidos entre las aerolíneas. La única empresa que repite destinos es LAN Airlines S.A. con 2 vuelos a Sao Paulo/Guarulhos, 2 vuelos a Buenos Aires/Ezeiza y 2 vuelos a Mendoza.

A partir de esto, se puede establecer que los vuelos salientes tienen una estructura y cantidad muy similar todos los días de la semana. El 61,2 % de los vuelos realizados esta semana pertenecen a dos de las 15 empresas que operaron esta semana (LAN Airlines S.A. y LACSA), lo que muestra una alta concentración de los vuelos en aerolíneas. Los vuelos llegan bastante repartidos entre horas y entre destinos, con un claro *peak* entre 8:00 y 9:00.

### ***Vuelos salientes en periodo punta noche***

Durante el periodo punta noche (entre 20:00 y 00:00) hay entre 16 y 19 vuelos salientes cada día, con una media de 17,7 vuelos en el periodo punta, entre todos los días de la semana representativa, lo que corresponde a 3.234 asientos promedio. Estas cantidades son muy inferiores a los 31,3 aviones y 5.291 asientos en punta mañana, aunque no existe tal diferencia en el volumen de pasajeros transportados en ambos periodos (2.619 y 2.541 pasajeros en punta mañana y noche, respectivamente). Esto se explica porque la tasa de ocupación de los aviones es mayor en la noche que en la mañana.

La estructura de los vuelos es similar entre días. En general, se repite la estructura de vuelos de la siguiente tabla:

**Tabla 9** Estructura general de vuelos salientes en el periodo punta noche en temporada alta  
**Fuente: Elaboración propia**

Empresa	vuelos
LAN Airlines S. A.	8
American Airlines	2
SKY Airlines S.A.	1
LAN Perú S.A.	1
TAM-Línea Aérea S.A.	1
Delta Airlines	1
Austral Líneas Aéreas	1
Aeroméxico	1

Esta lista comprende 16 vuelos, que representa un 90,3% de los 17,7 vuelos promedio de todos los días de esta semana.

La composición de los vuelos durante las cuatro horas del periodo se presenta en la siguiente tabla:

**Tabla 10** Composición horaria de vuelos salientes en el periodo punta noche en temporada alta  
**Fuente: Elaboración propia**

Hora	% del total
20:00	28%
21:00	18%
22:00	37%
23:00	17%

Como día representativo de esta semana se escogió el martes 15 de julio, que tiene una estructura de vuelos similar a la de la tabla 9. Durante el periodo punta noche de este día se registraron 16 vuelos. La composición de los destinos de los vuelos es muy variada al igual que en punta mañana, aunque regular entre días de la semana. Los 16 vuelos se dirigen a 10 destinos, entre los que destacan: Lima (3 vuelos), Buenos Aires/Aeroparque, Buenos Aires/Ezeiza, Sao Paulo/Guarulhos y Miami (2 vuelos cada

uno). Los destinos están muy repartidos entre las aerolíneas. La única empresa que repite destinos es LAN Airlines S.A. con dos vuelos a Lima.

A partir de esta información, es posible concluir que los vuelos salientes durante el periodo punta noche en temporada alta tienen una estructura muy similar todos los días de la semana. Aunque en punta noche llega una cantidad similar a la que se registra en la punta mañana, la cantidad de vuelos y destinos es bastante menor. El 49,2% de los vuelos realizados esta semana en punta noche pertenece a una de las 13 aerolíneas que operaron en el mismo periodo (LAN AIRLINES S.A.), lo que muestra una alta concentración de los vuelos en aerolíneas. Los vuelos llegan bastante repartidos entre horas y entre destinos, con un *peak* entre 22:00 y 23:00.

### ***Vuelos entrantes en periodo punta mañana***

Durante el periodo punta mañana (entre 6:00 y 12:00) hay entre 23 y 28 vuelos salientes cada día, promediando 26,0 vuelos en el periodo punta, entre todos los días de la semana representativa. Esto corresponde a 5269,6 asientos promedio.

La estructura de los vuelos es similar entre días. En general, se repite la estructura de vuelos de la siguiente tabla:

**Tabla 11** Estructura general de vuelos entrantes en el periodo punta mañana en temporada alta  
**Fuente: Elaboración propia**

<b>Empresa</b>	<b>N° Vuelos</b>
LAN Airlines S.A.	10
SKY Airlines S.A.	2
American Airlines	2
TAM-Línea Aérea S.A.	1
Aerolíneas Argentinas	1
AIR France	1
Iberia	1
Austral Líneas Aéreas	1
Delta Airlines	1

Al analizar los datos, a diferencia de los vuelos salientes, es más difícil distinguir una estructura, sobre todo en las aerolíneas con una mayor cantidad de vuelos semanales. También existe una buena parte de los vuelos que se dispersa entre aerolíneas con pocos vuelos semanales. Esta lista comprende 19 vuelos, lo que representa un 73% de los 26,0 vuelos promedio de todos los días de esta semana (bastante menor que el 95% y 90,3% en las horas *peak* de los vuelos salientes en sus periodos punta).

La composición de los vuelos durante las seis horas del periodo se da en la siguiente tabla:

**Tabla 12** Composición horaria de vuelos entrantes en el periodo punta mañana en temporada alta

**Fuente: Elaboración propia**

Hora	% del Total
6:00	18%
7:00	16%
8:00	23%
9:00	18%
10:00	14%
11:00	11%

Como día representativo de esta semana se escogió el martes 15 de julio, que tiene una estructura de vuelos similar a la de la tabla 11. Durante el periodo punta mañana de este día se registró un total de 27 vuelos. La composición de los orígenes de los vuelos es variada, aunque regular entre días de la semana. Los 27 vuelos provienen de 16 orígenes, entre los que destacan: Miami, Lima y Madrid (3 vuelos cada uno) y Sao Paulo/Guarulhos, Buenos Aires/Aeroparque, Buenos Aires/Ezeiza, Bogotá y Ciudad de México (2 vuelos cada uno). Los orígenes están repartidos entre las aerolíneas. La única empresa que repite orígenes es LAN AIRLINES S.A. con dos vuelos desde Miami, dos vuelos desde Lima y dos vuelos desde Madrid.

A partir de esta información, es posible concluir que los vuelos entrantes durante el periodo punta mañana tienen una estructura y cantidad similar todos los días de la semana, aunque una buena parte de ellos no está estructurada. Esto sucede, en parte,

por lo extenso del periodo punta (seis horas, en comparación con las cuatro horas para los vuelos salientes). El 53,8 % de los vuelos realizados esta semana pertenecen a 3 de las 21 empresas que operaron esta misma semana (LAN Airlines S.A., SKY Airlines S.A. y American Airlines). La concentración de los vuelos en aerolíneas es alta, pero menor que en el caso de los vuelos salientes. Los vuelos llegan bastante repartidos entre horas y entre orígenes.

#### **E.5.2. Temporada baja**

Para el presente análisis se consideró como semana representativa, la última semana de marzo, donde los despegues y aterrizajes están un 6,7% y 6,5% bajo el promedio anual.

##### ***Vuelos salientes en periodo punta mañana***

Durante el periodo punta mañana (entre 7:00 y 11:00) se registran entre 29 y 34 vuelos salientes cada día, promediando 30,7 vuelos en el periodo punta, entre todos los días de la semana representativa. Esto corresponde a 4.920 asientos promedio. Estas cantidades son similares a los 31,3 vuelos y 5.292 asientos promedio de la temporada alta. Sin embargo, para esta semana en punta mañana se transportó en promedio 2.253 pasajeros, un 14,0% menos que los 2.619 pasajeros transportados en temporada alta. Esto muestra que, en temporada baja y durante el periodo punta mañana transita una cantidad similar de vuelos, pero con menor ocupación que en temporada alta.

La estructura de los vuelos es similar entre días. En general, se repite la estructura de vuelos de la siguiente tabla:

**Tabla 13** Estructura general de vuelos salientes en el periodo punta mañana en temporada baja  
**Fuente: Elaboración propia**

Empresa	N° Vuelos
LAN Airlines S.A.	9
LACSA	8
Avianca	5
TAM-Línea Aérea S.A.	1
SKY Airlines S.A.	1
LAN Perú S.A.	1
BQB Líneas Aéreas	1

Esta lista totaliza 26 vuelos, lo que representa un 84,7% de los 30,7 vuelos promedio de todos los días de esta semana. Esta fracción es bastante menor que el 95% en temporada alta.

La composición de los vuelos durante las cuatro horas del periodo se entrega en la siguiente tabla:

**Tabla 14** Composición horaria de vuelos salientes en el periodo punta mañana en temporada baja  
**Fuente: Elaboración propia**

Hora	% del total
7:00	36%
8:00	34%
9:00	16%
10:00	13%

Como día representativo de esta semana se tomó el jueves 27 de marzo, que tiene una estructura de vuelos similar a la de la tabla 13. Durante el periodo punta mañana de este día se registró un total de 29 vuelos. La composición de los destinos de los vuelos es muy variada, aunque regular entre días de la semana. Los 29 vuelos se dirigen a 19 destinos, entre los que destacan: Buenos Aires/Ezeiza (4 vuelos), Lima y

Buenos Aires/Aeroparque (3 vuelos cada uno) y Sao Paulo/Guarulhos, Nueva York y Montevideo (2 vuelos cada uno). Los destinos están muy repartidos entre las aerolíneas. La única empresa que repite destinos es LAN Airlines S.A. con dos vuelos a Buenos Aires/Ezeiza.

A partir de esta información, es posible establecer que los vuelos salientes durante el periodo punta mañana tienen una estructura y cantidad muy similar todos los días de la semana, aunque la estructura no es tan marcada como en la semana representativa de la temporada alta. Un 74,0% de los vuelos realizados esta semana pertenecen a tres de las 17 empresas que operaron esta semana (LAN AIRLINES S.A., LACSA y AVIANCA), lo que muestra una alta concentración de los vuelos en aerolíneas. Los vuelos llegan concentrados en las dos primeras horas del periodo punta mañana.

### ***Vuelos salientes en periodo punta noche***

Durante el periodo punta noche (entre 20:00 y 00:00) hay entre 13 y 21 vuelos salientes cada día, promediando 17,1 vuelos en la el periodo punta, entre todos los días de la semana representativa, lo que corresponde a 3.396 asientos promedio. Las cantidades de vuelos y asientos son muy inferiores a los 30,7 vuelos y 5.292 asientos en punta mañana. Es interesante notar que no existe tal diferencia en la cantidad de pasajeros transportada ambos periodos (2.253 y 2.392 pasajeros en punta mañana y noche respectivamente), lo que indica que, al igual que en temporada alta, la tasa de ocupación de los aviones es mucho mayor en la noche que en la mañana. La diferencia entre la cantidad de vuelos es marcada en dos periodos de la semana: entre sábado y lunes se promedian 14,3 vuelos, y entre martes y viernes se promedia 19,3 vuelos.

La estructura de los vuelos es similar entre días. En general, se repite la estructura de vuelos de la siguiente tabla:

**Tabla 15** Estructura general de vuelos salientes en el periodo punta noche en temporada baja  
**Fuente: Elaboración propia**

Empresa	N° vuelos
LAN Airlines S.A.	8
American Airlines	3
LAN Perú S.A.	1
TAM-Línea Aérea S.A.	1
Delta Airlines	1

Esta lista comprende 14 vuelos, lo que representa un 81,7% de los 17,1 vuelos promedio de todos los días de esta semana. Esta fracción es bastante menor que el 90,3% en temporada alta.

La composición de los vuelos durante las cuatro horas del periodo se da en la siguiente tabla:

**Tabla 16** Composición horaria de vuelos salientes en el periodo punta noche en temporada baja  
**Fuente: Elaboración propia**

Hora	% del total
20:00	18%
21:00	26%
22:00	38%
23:00	19%

Como día representativo de esta semana se eligió el jueves 27 de marzo, que tiene una estructura de vuelos similar a la de la tabla 15. Durante el periodo punta noche de este día se registró un total de 18 vuelos. La composición de los destinos de los vuelos es variada aunque más concentrada que en punta mañana, y es regular entre días de la semana. Los 18 vuelos se dirigen a 10 destinos, entre los que destacan: Lima (5 vuelos), Miami (4 vuelos) y Auckland/Nueva Zelanda (2 vuelos cada uno). Los destinos están muy repartidos entre las aerolíneas. Dos empresas repiten destino: American Airlines con dos vuelos a Miami y LAN Airlines S.A. con 3 vuelos a Lima y dos a Miami.

Se concluye que los vuelos salientes durante el periodo punta noche en temporada baja tienen una estructura muy similar todos los días de la semana, aunque no tan marcada como en la semana representativa de la temporada alta. Aunque se lleve una cantidad similar de pasajeros con respecto a la punta mañana, la cantidad de vuelos y destinos es bastante menor. El 62,2% de los vuelos salientes esta semana en punta noche pertenece a dos de las 12 aerolíneas que operaron en el mismo periodo (LAN Airlines S.A. y American Airlines), lo que muestra una alta concentración de los vuelos en aerolíneas. Los vuelos llegan bastante repartidos entre horas y entre destinos, con un *peak* entre 22:00 y 23:00.

### ***Vuelos entrantes en periodo punta mañana***

Finalmente, durante el periodo punta mañana (entre 6:00 y 12:00) hay entre 21 y 29 vuelos salientes cada día, promediando 25,1 vuelos en el periodo punta, entre todos los días de la semana representativa. Esto corresponde a 5.337,3 asientos promedio.

La estructura de los vuelos es similar entre días. En general, se repite la estructura de vuelos de la siguiente tabla:

**Tabla 17** Estructura general de vuelos entrantes en el periodo punta mañana en temporada baja

**Fuente: Elaboración propia**

<b>Empresa</b>	<b>Nº Vuelos</b>
LAN Airlines S.A.	10
American Airlines	3
Sky Airlines S.A.	2
QANTAS Airways Ltda.	2
Iberia	1
Air France	1
TAM-Línea Aérea S.A.	1
LAN Colombia	1
Delta Airlines	1

Al analizar los datos es más difícil distinguir una estructura, con respecto a los vuelos salientes. Hay una buena parte de los vuelos que están repartidos entre aerolíneas con

poco movimiento y en forma distinta cada día de la semana. La lista de la tabla anterior comprende 21 vuelos, lo que representa un 83% de los 25,1 vuelos promedio de todos los días de esta semana, superior que el 73% en temporada alta. Esto muestra que los vuelos entrantes en el periodo punta son más estructurados en temporada baja que en alta.

La composición de los vuelos durante las seis horas del periodo se da en la siguiente tabla:

**Tabla 18** Composición horaria de vuelos entrantes en el periodo punta mañana en temporada baja

**Fuente: Elaboración propia**

hora	% del total
6:00	20%
7:00	16%
8:00	18%
9:00	19%
10:00	12%
11:00	15%

Como día representativo de esta semana se escogió el martes 25 de marzo, que tiene una estructura de vuelos similar a la de la tabla 17. Durante el periodo punta de este día se registró un total de 28 vuelos. La composición de los orígenes de los vuelos es variada, aunque regular entre días de la semana. Los 28 vuelos provienen de 15 orígenes, entre los que destacan: Miami (3 vuelos) y Buenos Aires/Ezeiza, Bogotá, Lima, Madrid y Auckland/Nueva Zelanda (2 vuelos cada uno). Los orígenes están muy repartidos entre las aerolíneas. Las empresas que repiten orígenes son LAN Airlines S.A. con dos vuelos desde Lima y American Airlines, con dos vuelos desde Miami.

A partir de esta información, es posible concluir que los vuelos entrantes durante el periodo punta mañana tienen una estructura y cantidad similar todos los días de la semana, aunque una buena parte de los vuelos no está estructurada. Esto sucede, en parte, por lo extenso del periodo punta. El 59,7 % de los vuelos realizados esta semana pertenecen a cuatro de las 20 empresas que operaron esta semana (LAN

Airlines S.A., American Airlines, SKY Airlines S.A. y Qantas Airways Ltda.). La concentración de los vuelos es alta, aunque menor que en los vuelos salientes. Los vuelos llegan bastante repartidos entre horas y entre orígenes.

## E.6. Casos particulares

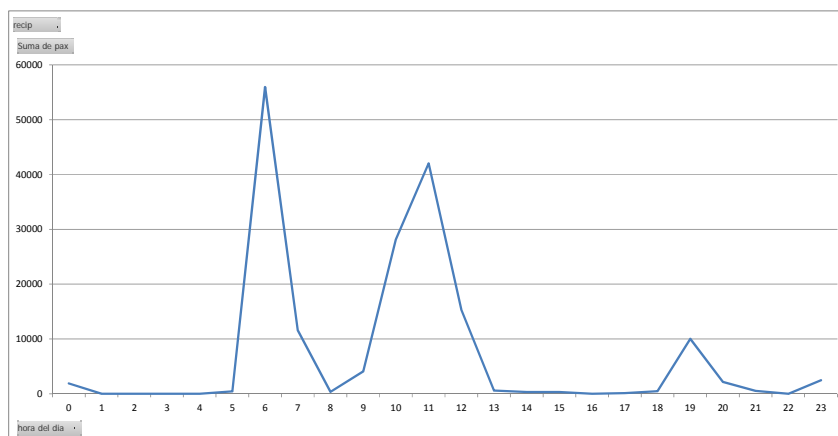
### E.6.1. Cobro de Impuesto de Reciprocidad

El caso del control donde se cobra el Impuesto de Reciprocidad es distinto al resto de los controles, puesto que sólo pagan impuesto los pasajeros mexicanos y australianos procedentes de cualquier vuelo. Aun así, lo más probable es que estos pasajeros provengan de vuelos procedentes de México o Australia.

En la figura 51 se puede ver las cantidades totales de pasajeros entrantes de vuelos procedentes de Australia y México, agregados para cada una de las horas del día, para todo el año 2014. Se puede ver claramente dos *peaks*: uno en la mañana entre 6:00 y 7:00 y otro a mediodía entre 10:00 y 13:00. El *peak* de la mañana es un poco más bajo que el de mediodía, pero más extendido en el tiempo.

**Figura 51.** Pasajeros entrantes por hora, procedentes de vuelos de Australia y México durante el año 2014.

**Fuente:** Elaboración propia

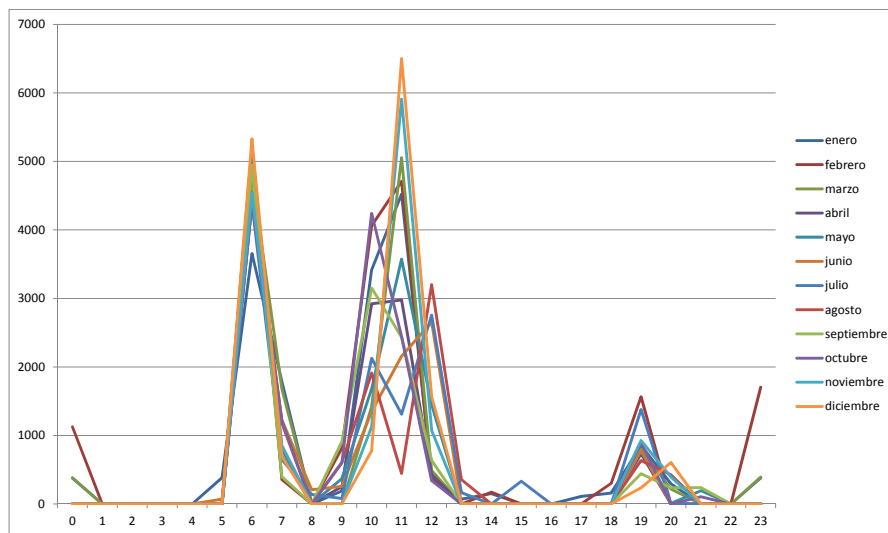


En la figura 52 se puede ver un gráfico similar, pero desagregado mes a mes, en el que es posible notar que ambos *peaks* de demanda se dan en todos los meses, independiente de la temporada en curso. Sin embargo, el *peak* de la mañana es

prácticamente constante y a la misma hora entre todos los meses; en contraste, el de mediodía varía mes a mes en hora e intensidad. La demanda del *peak* de mediodía es mayor que la de la mañana en los meses de enero, marzo, noviembre y diciembre.

**Figura 52.** Pasajeros entrantes por hora, procedentes de vuelos de Australia y México, para cada mes, durante el año 2014.

**Fuente:** Elaboración propia



A partir de esta información, es posible concluir que el control del Cobro de Impuesto de Reciprocidad tiene dos *peaks* de demanda, uno entre 6:00 y 7:00 y otro entre 11:00 y 12:00.

#### E.6.2. Control AVSEC Tránsito

El caso del control AVSEC Tránsito, los pasajeros que ocupan el control son solamente los procedentes de vuelos que hacen conexión en el aeropuerto AMB. No se posee información para analizar la demanda de este control, por lo que no se realiza el respectivo análisis.

## **Anexo F Ajustes necesarios para aplicar metodología ad hoc en control conjunto SAG/Aduana**

En este Anexo se entregan algunas consideraciones acerca de los ajustes a realizar para aplicar la metodología de medición manual propuesta en el control conjunto SAG/Aduana.

De los problemas que no permiten aplicar métodos de medición manual en este control, el más sencillo de solucionar es la mala estructura de la cola. A partir de una reestructuración de la misma, es posible aplicar la metodología *ad hoc* para la medición de tiempos de espera.

El objetivo de la reestructuración es separar el sistema de colas en varios subsistemas de cola, donde cada uno tenga sólo una bifurcación, de modo que cada subsistema pueda ser tratado como un sistema de cola multicanal con una fila principal que desemboca en filas secundarias.

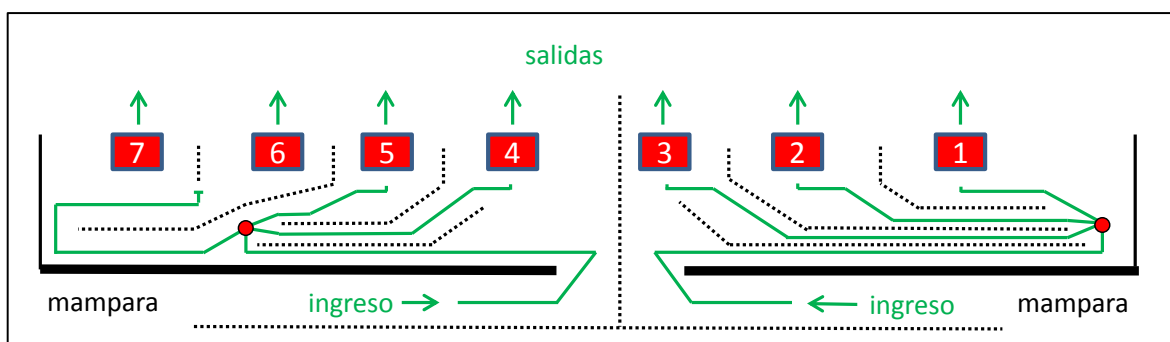
Ante una reestructuración de este tipo pueden ocurrir dos problemas:

- Que una fila esté mucho más vacía que otra. Esto puede incentivar al traspaso de pasajeros de una fila a otra, lo que invalida la medición mediante la metodología *ad hoc*.
- Que aun de no existir traspaso de usuarios de una fila a otra, un servidor funcionando quede vacío mientras otro esté procesando pasajeros. Esto disminuye la tasa global de atención de pasajeros, aumentando los tiempos de espera.

Para evitar estos inconvenientes, la reestructuración debe ser tal que exista una oferta y demanda equilibrada entre los subsistemas de colas. El equilibrio en oferta se traduce en que exista una cantidad similar de módulos de atención abiertos en cada subsistema y el equilibrio en demanda, en que la tasa de entrada de pasajeros a cada subsistema sea similar.

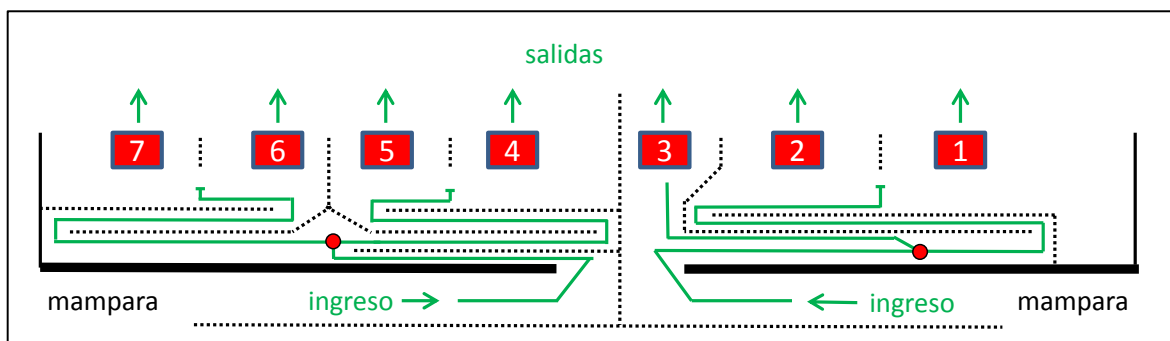
Un ejemplo de reestructuración sería la estructura de la figura 53. En esta estructura se separan físicamente las colas en dos mitades con corrales, de modo que los usuarios de una mitad no puedan pasar a la otra. Cada mitad se mide por separado. Cada una de las filas secundarias corresponde a un módulo de atención, a excepción de la última a la izquierda, que desemboca en los módulos 6 y 7. Los pasajeros que lleguen al inicio de la fila deben atenderse en cualquiera de estos dos módulos, el primero que se desocupe. Los servidores al inicio de esta fila se deben considerar como si fueran uno solo, disponible para todos los usuarios de esta fila. Dado que el “servidor” de esta fila es más rápido que el del resto, la fila está diseñada para ser más larga que las demás.

**Figura 53.** Estructura sugerida para control SAG/Aduana.  
**Fuente:** Elaboración propia



Utilizando la misma idea de tener una fila por cada par de módulos, se puede diseñar una estructura más limpia, como la que se muestra en la figura 54. En ella, se tiene una fila para cada par de módulos, a excepción del módulo 3 que tiene su propia fila. Para favorecer la igualdad en el tiempo de espera, independiente de la línea de espera que se elija, se ha conservado el mismo largo para cada una de ellas, a excepción de la línea de espera del módulo tres, que es más corta por tener una menor tasa de atención. El hecho de que las líneas de espera sean equitativas, favorece el cumplimiento de los supuestos de la metodología *ad hoc* de cálculo de tiempos de espera. Cabe notar que en esta última configuración no se ha aprovechado completamente el espacio disponible para la espera de pasajeros.

**Figura 54.** Estructura sugerida para control SAG/Aduana.  
**Fuente:** Elaboración propia



Cabe notar que, en este momento, hay un sector independiente con tres módulos de atención adicionales. Una vez que se abra este nuevo sector, los tiempos de espera en ambos sectores se deberán medir por separado.

## **Anexo G Requerimientos de muestra e intervalos de medición**

En este Anexo se discuten brevemente los requerimientos de muestra e intervalos mínimos de medición requeridos para garantizar que los índices de tiempo de espera que se obtengan a partir de la metodología propuesta sean válidos. Resulta relevante aclarar que la duración de los intervalos de medición debe definirse de forma tal que se cuente con un periodo suficientemente extenso como para captar pasajeros que alcancen a entrar y salir de la cola, pues estos registros son los relevantes para la estimación de los tiempos de espera. Desde este punto de vista, no resulta necesario definir una cantidad mínima de pasajeros “que crucen” la cola durante una medición específica, sino un mínimo de pasajeros totales a obtener después de varias mediciones, para obtener índices representativos a nivel mensual, anual o según temporada, de acuerdo a lo que se requiera.

De acuerdo con lo señalado, en este Anexo se discute tanto el problema de establecer un largo mínimo para cada intervalo de medición (Anexo G.1), en cada medición individual, como la definición de un número mínimo de observaciones para la estimación de los indicadores requeridos (Anexo G.2). Para todos los cálculos realizados se utilizan supuestos y escenarios que se deberán calibrar con datos provenientes de la medición piloto, en caso de optarse por la medición manual.

En cualquier caso, dependiendo de los resultados específicos que se observen en cada servicio particular, más que restringir la cantidad de observaciones por medición, ellos pudieran sugerir modificaciones de la cantidad de días de medición a utilizar para representar un período (mes, año, temporada), a fin de obtener las cantidades de muestra totales que aseguren un nivel de error específico.

### **G.1. Definición de la extensión del intervalo de medición**

La duración propuesta para el intervalo de medición (una hora) se definió en función de la cantidad de pasajeros que se espera atravesarían las colas en las situaciones más restrictivas.

En función del método escogido para realizar las mediciones, el intervalo de medición se define de manera tal que se cuente con un periodo que permita captar pasajeros que alcancen a entrar y salir de la cola, ya que estos registros serán los que se usarán para la estimación. Como mínimo estricto, la estimación puede realizarse bastando un pasajero atraviese la cola durante el periodo de medición, aunque lo esperable es que se logre bastante más de una observación, considerando un periodo de una hora.

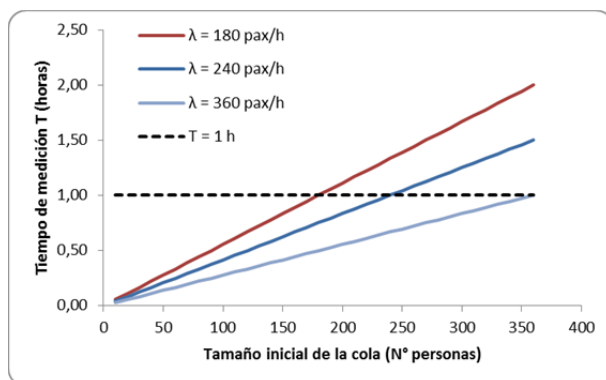
En efecto, se puede realizar un análisis “simplificado” de la situación de un control determinado si se supone que, al inicio de una medición, la cola tiene un largo inicial  $L_0$  y una tasa media de atención (en pasajeros por unidad de tiempo) de  $\lambda$ , entonces el intervalo mínimo de medición, requerido para que el *último pasajero* alcance a abandonar la cola durante el mismo, estará dado por:

$$T \geq \frac{L_0}{\lambda}$$

Para justificar la elección del intervalo de una hora, se puede suponer alguna tasa de atención “realista”: por ejemplo, el control de AVSEC demora aproximadamente 30 segundos de atención por cada pasajero, con 3 módulos abiertos simultáneamente, lo que entrega una tasa media de atención de  $\lambda = 360$  pasajeros por hora. Para contrastar esta situación, se puede evaluar otros casos de tasas más desfavorables; en este ejercicio se supuso tasas de 180 y 240 pasajeros por hora. Graficando los intervalos mínimos de medición para diferentes largos de cola inicial, y considerando estos tres niveles de tasa de atención, se obtiene el gráfico de la Figura 55:

**Figura 55.** Intervalo mínimo de medición  $T$  en función de tasa de atención del servidor y longitud inicial de la cola

**Fuente:** Elaboración propia



En esta figura se observa que, para una tasa de atención “realista” en un control (360 pasajeros por hora), el intervalo mínimo de medición de una hora permite captar adecuadamente al *último pasajero* abandonando la cola durante el intervalo, incluso si el largo de la cola al inicio de la medición es de 360 pasajeros. Por su parte, para menores tasas de atención (hasta de 180 pasajeros por hora), este intervalo permitirá recuperar al menos un registro en todos los casos en que la cola inicial sea inferior a las 120 personas.

Según este análisis, es posible observar que, para la mayor parte de las situaciones, el intervalo de medición de una hora será suficiente para captar observaciones útiles en el transcurso de una medición.

La longitud de intervalo de una hora tiene la ventaja adicional de constituir un rango manejable desde la perspectiva de la planificación y la ejecución de la campaña de terreno.

En el caso poco probable de que los resultados de la medición piloto entreguen tiempos medios de espera mayores a los supuestos o un número muy reducido de registros válidos en algún control en específico, corresponderá replantear la definición del intervalo de medición y revisar el criterio de definición del momento de medición, para confirmar que la hora de mayor demanda esté adecuadamente definida y obtener

así el número de observaciones requeridas, en términos de usuarios que ingresen y abandonen la cola durante los intervalos de medición, en su conjunto, según se detalla más adelante.

## **G.2. Definición de tamaños muestrales**

En esta sección se presenta una metodología para determinar el número mínimo de observaciones requerido para la estimación de los indicadores de tiempo de espera relevantes en una unidad temporal predefinida (por ejemplo, un año, una temporada, o en el caso más restrictivo, un mes). Para todos estos cálculos, es necesario enfatizar que no se utilizaron valores observados de tasas de atención, llegada o tiempos de espera en el aeropuerto AMB. Alternativamente, se evaluó distintos escenarios de rangos de variación, umbrales y niveles de error y de confiabilidad. Se enfatiza la necesidad de realizar mediciones en una instancia piloto, que permita validar los supuestos acá utilizados, o eventualmente realizar modificarlos, si los resultados así lo sugieren.

En cualquier caso, dependiendo de los resultados específicos que se observen en cada servicio particular, más que restringir la cantidad de observaciones por medición, ellos pudieran sugerir modificaciones de la cantidad de días de medición a utilizar para representar un período (mes, año, semana), a fin de obtener cantidades de muestra totales (individuos que atraviesen la cola) que aseguren un nivel de error específico.

Considerando que existen tres indicadores de interés (tiempo promedio de espera, proporción de usuarios que espera más de cierto umbral y tiempo máximo de espera), existirán tres posibles requerimientos mínimos de muestra, los que se presentan en las siguientes secciones.

### **G.2.1. Estimación del tiempo promedio de espera**

Si se desea estimar el tiempo promedio de espera (en minutos) de los pasajeros durante una temporada en un determinado control, con un error  $\delta$  (también en minutos) y un nivel de confianza de  $(1-\alpha)\%$ , el número mínimo de observaciones a considerar corresponde a:

$$n^* = \left( \frac{z_\alpha \sigma}{\delta} \right)^2$$

En esta expresión,  $z_\alpha$  corresponde a la probabilidad de la distribución normal estándar asociada al nivel de confianza escogido (suele utilizarse  $\alpha=0.05$ , que tiene asociado un  $z_\alpha=1.96$ ) y  $\sigma$  es la desviación estándar de la distribución. Suponiendo que, de acuerdo al teorema central del límite, la variable de interés se distribuye normal para un  $n$  grande ( $\geq 30$ ), esta desviación puede aproximarse mediante:

$$\sigma \approx \frac{\max\{t_i\} - \min\{t_i\}}{6}$$

Donde los  $t_i$  corresponden a tiempos de espera observados previamente. Se recomienda realizar una experiencia “piloto” de medición de tiempos de espera (por ejemplo, una hora en cada control), para estimar el rango de variación de los tiempos de espera y, con ello, la desviación estándar a partir de este valor.

El total recomendado de observaciones debe corregirse considerando que la población (número de pasajeros que pasa por el control durante el mes, o unidad temporal escogida, en periodos de hora punta) es finita e igual a  $N$ . De esta forma, el tamaño muestral definitivo corresponde a:

$$n = \frac{n^*}{1 + \frac{n^*}{N}}$$

A modo de ejemplo, la Tabla 19 entrega los tamaños de muestra requeridos para la estimación del tiempo medio de espera en un mes determinado, considerando que el flujo mensual promedio (en el control analizado) es de 287.027 pasajeros<sup>46</sup>, y que el tiempo mínimo de espera de un usuario cualquiera en un control, es de 1 minuto. En esta tabla se supone que los valores máximos de tiempo de espera fluctúan entre los 10 y los 25 minutos por control. Este supuesto se basa en los valores de tiempos de espera de diseño contenidos en el Manual de Desarrollo Aeroportuario (DAP-MOP,

---

<sup>46</sup> Este valor corresponde al promedio mensual de llegadas al aeropuerto AMB, de acuerdo a base de datos de aterrizajes y despegues enviada por la contraparte.

2011), reseñado en la sección H.2, que señala como tiempos máximos de espera en fila en un control, valores que van entre los 5 y los 10 minutos para el caso de inmigración, y entre los 7 y los 15 minutos para el caso del control de emigración. Estos valores (de diseño) han sido incrementados de forma de que los máximos simulados reflejen mejor una situación de operación de las colas con alta demanda.

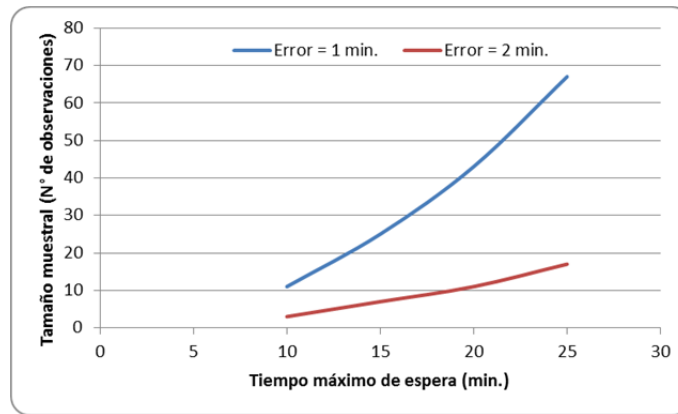
**Tabla 19.** Tamaños muestrales para estimación de tiempos medios de espera, según nivel de error y rangos de variación del tiempo de espera  
**Fuente: Elaboración propia**

Margen de error (minutos)	Tiempo máximo de espera (minutos)	Tamaño muestral (N° de observaciones)
1	10	11
	15	25
	20	43
	25	67
2	10	3
	15	7
	20	11
	25	17

La tabla anterior implica que, para la estimación del tiempo promedio de espera en una unidad temporal dada (por ejemplo, un año, una temporada o un mes) con un error de 1 minuto, para un grupo de usuarios cuyo tiempo de espera varíe entre 1 y 25 minutos, se requiere un total de 67 observaciones en dicha unidad temporal.

Lo anterior se representa en el siguiente gráfico, el que permite observar que, de acuerdo a lo esperado, el tamaño muestral requerido aumenta a medida que disminuye el error deseado para la estimación, y a medida que aumenta el rango de variación esperado del tiempo de espera.

**Figura 56.** Tamaños muestrales para la estimación de tiempos medios de espera  
**Fuente:** Elaboración propia



Si la medición piloto entregara rangos de variación de tiempos de espera superiores a los aquí supuestos, se deberá reevaluar el tamaño muestral requerido a partir de las expresiones anteriores.

### G.2.2. Estimación de la proporción de usuarios que esperan un cierto umbral de tiempos de espera

El tamaño muestral requerido para la estimación de una proporción  $p$  puede evaluarse mediante la siguiente expresión:

$$n^* = \left( \frac{z_{\alpha} \sqrt{p(1-p)}}{\delta} \right)^2$$

La corrección por tamaño de la población es similar a la que se definió previamente, y  $\delta$  es el error, definido en unidades porcentuales.

En este caso, interesa determinar la proporción de usuarios que espera un tiempo mayor que un umbral predefinido,  $T_M$ . Si nuevamente se supone que los tiempos de espera individuales se distribuyen normal con los parámetros supuestos para el escenario anterior, la media de esta distribución puede aproximarse mediante:

$$\mu \approx \frac{\max\{t_i\} - \min\{t_i\}}{2}$$

Y la desviación estándar será igual al  $\sigma$  visto previamente. Según esto, para un nivel de confianza fijo (por ejemplo, en 95%), la recomendación de tamaño muestral variará de acuerdo al rango de variación esperado de los tiempos de espera, el umbral escogido para la evaluación  $T_M$  y el nivel de error escogido.

La siguiente tabla muestra los tamaños de muestra recomendados para distintos niveles porcentuales de error, umbrales de tiempo y tiempos máximos de espera, suponiendo tiempos mínimos de 1 minuto, y que los tiempos máximos tienen el mismo rango de variación supuesto en el punto previo (entre 10 y 25 minutos). Se muestran en la Tabla los tamaños muestrales requeridos para evaluar umbrales de tiempo iguales de entre 7 y 15 minutos, destacándose el umbral de 7 minutos, que, según el Manual de Desarrollo Aeroportuario (DAP-MOP, 2011), reseñado en el Anexo F.2, es el punto que define el paso de un intervalo “aceptable” a “largo” para el caso más restrictivo (control de pasaportes inmigración).

**Tabla 20.** Tamaños muestrales para estimación de proporción de usuarios que esperan más de un umbral  $T_M$  según nivel de error y rango de variación del tiempo de espera

**Fuente: Elaboración propia**

Máximo TE (minutos)	Umbral $T_M$ (minutos)	Tamaño muestral según nivel de error deseado	
		Error = 2.5%	Error = 3%
10	7	559	388
	8	119	83
	9	17	12
	10	2	1
	11	0	0
	12	0	0
	13	0	0
	14	0	0
	15	0	0
15	7	3.057	2.126
	8	2.722	1.893
	9	1.928	1.341
	10	1.097	762
	11	508	353
	12	194	135
	13	62	43
	14	17	12
	15	4	3
20	7	2.067	1.437
	8	2.653	1.845
	9	3.009	2.093
	10	3.009	2.093
	11	2.653	1.845
	12	2.067	1.437
	13	1.428	992
	14	879	611
	15	485	337
25	7	1.159	806
	8	1.636	1.137
	9	2.147	1.492
	10	2.611	1.816
	11	2.938	2.044
	12	3.057	2.126
	13	2.938	2.044
	14	2.611	1.816
	15	2.147	1.492

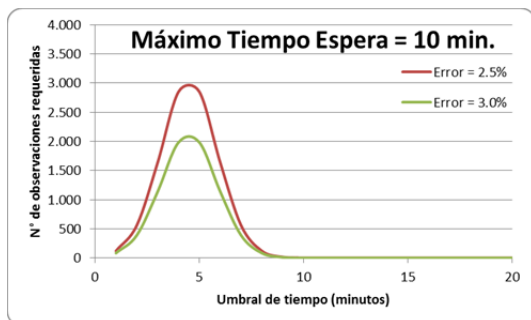
A partir de esta tabla, se establece que, si el tiempo máximo de espera observado es igual a 10 minutos, y se requiere estimar la proporción de usuarios que espera más de

7 minutos con un 3% de error al 95% de confianza, se deberá medir un total de 388 observaciones en la unidad temporal considerada (mes, temporada o año).

Los gráficos siguientes muestran cómo varía el tamaño muestral requerido de acuerdo al umbral, para los cuatro escenarios de tiempo máximo de espera (15, 20, 25 y 30 minutos). Se observa que existen distintos requerimientos muestrales de acuerdo al rango de variación esperado de los tiempos de espera, por lo que se reitera la necesidad de realizar mediciones preliminares que permitan estimar este rango, y ajustar, de esta forma, los requerimientos mensuales de muestra.

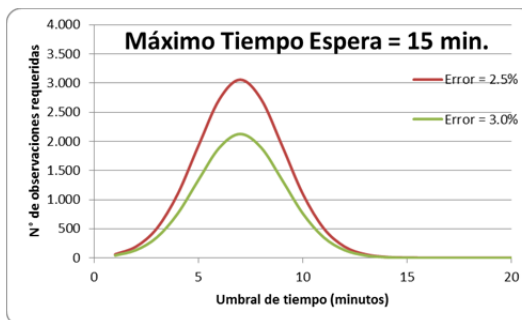
**Figura 57.** Tamaño muestral para la estimación de la proporción de usuarios que espera más que un umbral, cuando el máximo TE vale 10 minutos

Fuente: Elaboración propia



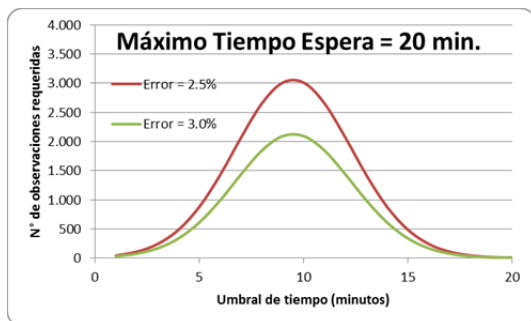
**Figura 58.** Tamaño muestral para la estimación de la proporción de usuarios que espera más que un umbral, cuando el máximo TE vale 15 minutos

Fuente: Elaboración propia



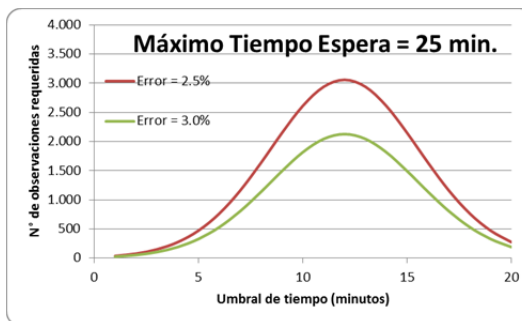
**Figura 59.** Tamaño muestral para la estimación de la proporción de usuarios que espera más que un umbral, cuando el máximo TE vale 20 minutos

Fuente: Elaboración propia



**Figura 60.** Tamaño muestral para la estimación de la proporción de usuarios que espera más que un umbral, cuando el máximo TE vale 25 minutos

Fuente: Elaboración propia



Se hace notar que en general, los tamaños de muestra requeridos para la estimación de la proporción de usuarios que espera más de un cierto umbral, es superior al requerido para estimar los tiempos medios de espera. Según esto, el cumplimiento del requisito muestral para la proporción debiera garantizar un nivel adecuado de precisión y confiabilidad para el indicador de tiempo medio estimado.

### **G.2.3. Estimación del tiempo máximo esperado por un usuario**

El tamaño muestral requerido para la determinación del tiempo máximo de espera que puede experimentar un pasajero, puede estimarse a partir de las expresiones entregadas para el tiempo promedio, asumiendo que ambos valores provienen de la misma distribución. No obstante, en este caso, la desviación estándar debe definirse de forma distinta a lo visto previamente, puesto que ésta dependería de la variabilidad del valor máximo entre distintas muestras, información que no está disponible actualmente y que no es trivial determinar. No obstante, dado el procedimiento de cálculo, se espera que los tamaños muestrales requeridos para estimar estos máximos, sean similares a los que se supusieron para calcular el tiempo medio, y que el tamaño muestral más restrictivo corresponda, en cualquier caso, al requerido para estimar la proporción de usuarios que esperan más de cierto umbral, por tratarse de una proporción (caso en que la situación que requiere mayor tamaño de muestra se observa cuando la proporción corresponde al 50%).

## **Anexo H Fuentes de referencia para estándares de tiempos de espera**

En este Anexo se presenta el análisis detallado de las distintas fuentes de referencia de valores estándar relacionados con los tiempos de espera en controles aeroportuarios, que se reportaron de manera resumida en la sección 8.2.3. Estos valores son comparables con los índices de tiempos de espera entregados por la metodología propuesta en el presente estudio, dentro de los intervalos de medición.

### **H.1. Convenio de Chicago**

En el capítulo 3 del Anexo 9 del Convenio de Chicago se recomienda ciertos niveles de servicio con respecto a los tiempos en los procesos en la inmigración y emigración de pasajeros. Concretamente:

- En el método recomendado del apartado 3.36 para emigración de pasajeros, se establece una meta de 60 minutos en completar todas las formalidades para un pasajero que requiera un proceso normal (sin procesos adicionales). Esto desde que el pasajero se presenta en el primer punto de proceso en el aeropuerto (*check-in*).
- En el apartado 3.39 para inmigración de pasajeros establece una meta de 45 minutos en completar todas las formalidades para un pasajero que no requiera más que una inspección normal, independiente del tamaño de la aeronave o el momento de arribo de la misma.

Aunque el Convenio de Chicago no lo mencione explícitamente, se puede deducir que las metas se refieren al máximo tiempo que cualquier pasajero podría experimentar al realizar su viaje.

Los tiempos del Convenio de Chicago incluyen tres tipos de tiempos que no son parte de lo que se requiere medir en el presente estudio:

- Tiempos de espera en cola de procesos que no son parte de los controles fronterizos que son parte del estudio (por ejemplo, el *check-in* o la entrega de equipaje).
- Tiempos de servicio (procesamiento o atención) en la realización de los trámites asociados a la emigración o inmigración.
- Tiempos de traslado entre estaciones para realizar trámites.

Por otro lado, el presente estudio involucra el pago de reciprocidad, el cual no es un procesamiento normal en inmigración.

Dado que los tiempos del Convenio de Chicago suman varios tiempos a medir en el presente estudio e incluyen tiempos que no son parte del mismo, se considera que estas metas no son adecuadas de utilizar como estándar de medición o valor de referencia, sino sólo como cotas máximas. Los tiempos medidos en los procedimientos normales de emigración [resp. inmigración] no debe superar 60 minutos [resp. 45 minutos]. Luego, la suma de todos los tiempos máximos medidos en los procedimientos normales de emigración [resp. inmigración] no debe superar esta cota. En la emigración se excluye el pago de reciprocidad por no formar parte de un proceso “normal”.

## H.2. Manual de Desarrollo Aeroportuario DAP

El Manual de Desarrollo Aeroportuario para terminales de pasajeros (DAP-MOP, 2011) (en adelante, Manual de Desarrollo Aeroportuario DAP) tiene por objetivo generar una pauta de estándares de seguridad y eficiencia que se apliquen a los proyectos de infraestructura aeroportuaria.

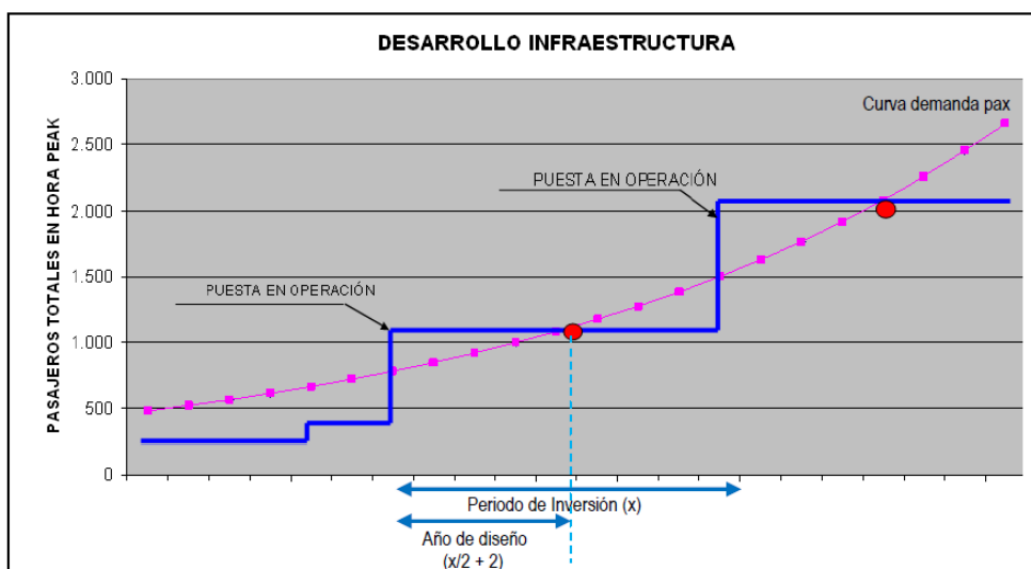
En el Manual de Desarrollo Aeroportuario DAP se definen los niveles de servicio como un rango de valores con que se evalúa la capacidad de suministro para satisfacer la demanda. Estos niveles se definen con las letras de la A a la F, tal como se muestra en la Tabla 21. El Manual de Desarrollo Aeroportuario DAP indica que el nivel de servicio del aeropuerto AMB debe ser C (“bueno”). En el nivel C los flujos en el aeropuerto son estables, las demoras son aceptables y el confort es bueno.

**Tabla 21.** Tiempo máximo de espera en fila  
**Fuente: Manual de Desarrollo Aeroportuario DAP-MOP (2011)**

Nivel de servicios		Flujos	Demoras	Confort
<b>A</b>	Excelente	Libres	No hay	Excelente
<b>B</b>	Alto	Estables	Muy pocas	Alto
<b>C</b>	Bueno	Estables	Aceptables	Bueno
<b>D</b>	Adecuado	Inestables	Aceptables	Adecuado
<b>E</b>	Inadecuado	Inestables	Inaceptables	Inadecuado
<b>F</b>	Inaceptable	Colapso de Sistema	Colapso de Sistema	Inaceptable

Debe notarse que, para cierta infraestructura fija de un aeropuerto, el nivel de servicio varía en el tiempo. Al principio de un periodo durante el cual se cuenta con un nivel de infraestructura fijo y constante (periodo de inversión), el nivel de servicio puede ser mayor que el definido para un aeropuerto (por ejemplo, para el aeropuerto AMB, niveles A o B). En cambio, al final del periodo de inversión el nivel de servicio puede ser inferior al definido (para el mismo aeropuerto, niveles D o inferior). El nivel de servicio se debe establecer para el año de diseño, el cual está entre la mitad del periodo de inversión o dos años después del mismo, tal como se muestra en la Figura 61 donde la línea azul representa la cantidad de pasajeros que el aeropuerto puede atender en hora *peak* (cantidad que aumenta discretamente después de cada inversión en infraestructura) y la línea rosada corresponde a la cantidad de pasajeros que llegan en hora *peak* (cantidad que aumenta continuamente en el tiempo).

**Figura 61.** Curvas de flujo de pasajeros y diseño de infraestructura, en el tiempo  
**Fuente: Manual de Desarrollo Aeroportuario DAP-MOP (2011)**



El Manual de Desarrollo Aeroportuario establece tiempos máximos de espera en las colas de los distintos trámites del aeropuerto según la Tabla 22. La meta de tiempos máximos aceptables es el límite entre ambas columnas con valores en la tabla.

**Tabla 22.** Tiempo máximo de espera en fila  
**Fuente: Manual de Desarrollo Aeroportuario DAP-MOP (2011)**

	Corto a Aceptable (min.)	Aceptable a Largo (min.)
Check-in Clase Turista	0 - 12	12 - 30
Check-in Clase Business	0 - 3	3 - 5
Módulo de Chequeo Automático	0 - 3	3 - 5
Control Pasaportes Inmigración	0 - 7	7 - 15
Pago de Reciprocidad	0 - 3	3 - 7
Control Pasaportes Emigración	0 - 5	5 - 10
Retiro de Equipaje	0 - 12	12 - 18
Control de Seguridad AVSEC	0 - 3	3 - 7
Control de SAG - Aduanas	0 - 3	3 - 7

Debe notarse que los tiempos establecidos en el Manual de Desarrollo Aeroportuario están definidos con el objetivo de diseñar las facilidades de un aeropuerto para una hora punta representativa de la demanda total durante el año. Para el aeropuerto AMB, se utiliza la hora 30 (PHP-H30) que es la proyección de pasajeros durante la 30° hora de mayor congestión de pasajeros durante el año. Esto quiere decir que estos estándares no buscan que jamás se sobrepasen estos tiempos, sino que la infraestructura del aeropuerto sea diseñada de tal manera de no permitir que se sobrepasen estos tiempos máximos para una demanda como la de la hora PHP-H30. Aun así, estos valores sirven como referencia para los tiempos máximos de espera para cada uno de los controles fronterizos del aeropuerto AMB.

### H.3. Estándares según Guía de Medición Manual ACI

En la Guía de Medición Manual ACI (ACI, 2013) se establece una metodología para la medición de tiempos de espera promedio. Aun cuando las metas de largo plazo de la guía son proveer estándares internacionales reales de facilitación de pasajeros, no se indica valores con los cuales contrastar los tiempos promedio calculados. Sin embargo, la metodología de la guía es la misma utilizada en el programa *ASQ Performance* de la ASQ (*Airport Service Quality*)<sup>47</sup>. El programa *ASQ Performance* se enfoca en la medición de 16 KPI relacionados con la experiencia del pasajero a través del aeropuerto, hechos especialmente para que sean comparables con otros aeropuertos (La lista de KPI está en la Guía de Medición Manual ACI). Gran parte de estos KPI son los tiempos promedio de espera en los distintos controles del aeropuerto, entre los que se incluye el control de identidad, control de seguridad, y control de aduana. Para contar con estas estadísticas y poder así realizar comparaciones del desempeño del aeropuerto AMB con respecto a otros aeropuertos, es necesario contratar los servicios de ASQ. Cabe notar que, actualmente, el programa sólo se ha aplicado a cinco aeropuertos<sup>48</sup>, por lo que se posee pocos valores de referencia para los seis KPI de tiempos de espera promedio del programa. Además, se debe considerar que sólo

---

<sup>47</sup> <http://www.airportservicequality.com/content/performance.html>

<sup>48</sup> Ver <http://www.airportservicequality.com/content/performance/participating.html>

cuatro de los seis KPI de tiempos promedio de espera coinciden con los controles del presente estudio.

#### **H.4. Guía de mejores prácticas para elaborar un SLA**

ACI (2014b) da guías de mejores prácticas en la elaboración de un Acuerdo de Nivel de Servicio (SLA) de un aeropuerto. En la sección de metas de tiempos de espera, indica que aunque establecer una meta para el máximo tiempo de espera de los pasajeros es ideal, esto no es realista en procesos sujetos a largas fluctuaciones en la demanda, dado que se estaría evaluando la infraestructura para eventos muy puntuales que pueden ocurrir pocas veces al año. Alternativamente, sugiere una meta del máximo porcentaje de pasajeros procesados que supere cierto umbral de tiempo de espera. Aun cuando en esta guía se entrega esta sugerencia, no se entrega valores estándares para establecer como metas.