UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
ACADEMIA DE CIENCIAS AERONÁUTICAS
SANTIAGO – CHILE

IMPLEMENTACIÓN DE UNA HERRAMIENTA DE SIMULACIÓN MATEMÁTICA, PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE CHECK-IN DE PASAJEROS

FERNANDA ECHEVERRÍA BLANCO

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO EN AVIACIÓN COMERCIAL

PROFESOR GUÍA: SRA. ANAMARIA ARPEA I.
PROFESOR CORREFERENTE: SR. PABLO PIÑEIRO C.

Diciembre 2019

Resumen.

El presente trabajo propone una metodología para optimizar el proceso de check-in de un aeropuerto, utilizando modelos de simulación estocástica, que estiman la capacidad de flujo máxima de pasajeros del proceso y analizan cómo varía ésta según el nivel de automatización presente. Para esto se define primeramente cómo funciona el proceso de check-in, las formas en que se puede realizar y las variables que lo caracterizan, como los tiempos estándares de fila y de atención definidos por la industria. Se describen las herramientas que se utilizan para realizar la simulación, las cuales se componen de un software de simulación y de modelos de distribución estocásticos, para con ellos representar el flujo de pasajeros y los procesos del check-in. Se definen las características y supuestos que definen los escenarios a simular y cómo se medirá la capacidad máxima de estos en la simulación. Este trabajo propone también un esquema de consolidación de los distintos escenarios simulados, a través de lo que se denomina "trayectoria óptima para incremento de capacidad", concepto que presenta la secuencia de crecimiento, en cantidades y variedades de módulos, que permite incrementar la capacidad de una determinada configuración, asegurando una utilización eficiente de los recursos involucrados. Se incluye también un modelo de ajuste para los resultados obtenidos mediante las simulaciones, el que se describe tanto a través de sus correspondientes expresiones matemáticas, como gráficamente. Estos modelos de ajuste permiten estimar, de forma muy simple y directa, el número de módulos necesarios para cubrir de forma eficiente una demanda dada, expresada en pasajeros por hora. Finalmente, se explican los resultados obtenidos y se aplica el modelo a un caso específico.

Abstract.

This paper proposes a methodology to optimize the airport check-in process, by using stochastic simulation models, which estimates the maximum passenger flow capacity of the process and analyzes variations of it according to the type of current automatization. In order to do so, it is primarily defined how the check-in process works, also the ways in which it can be performed and the variables that characterize it, such as the standard queue times and attention times defined by the industry. The skills used to perform the simulation are described, which are a simulation software and stochastic distribution models, to represent the flow of passengers and check-in processes. The characteristics and assumptions that define the scenarios to be simulated and how their maximum capacity in the simulation will be measured are also defined in this paper. It is propose a consolidation scheme of the different simulated scenarios, through what is called "optimal trajectory for capacity increase", a concept that presents the sequence of growth, in quantities and varieties of modules, which allows increasing capacity of a certain configuration, ensuring efficient use of the resources involved. An adjustment model is also included for the results obtained through the simulations, which is described both through their corresponding mathematical expressions, and graphically. These adjustment models allow estimating, in a very simple and direct way, the number of modules needed to efficiently cover a given demand, expressed in passengers per hour. Finally, the results obtained are explained and the model is applied to a specific case.

Índice.

Resumen. *2*
Abstract. *3*
Índice. *4*
Índice de Gráficos *7*
Índice de Tablas *8*
Índice de Figuras *9*
Introducción. *11*
CAPÍTULO I: Antecedentes Generales. *14*
1.1 Objetivos. *14*
1.1.1 Objetivo General. **14**
1.1.2 Objetivos Específicos. **14**
1.2 Justificación. *15*
1.3 Metodología. *17*
1.4 Alcance. *19*
CAPITULO II: Marco Teórico. *20*
2.1. Módulos proceso de check-in y facturación de equipaje. *20*
2.2 Teoría de colas de espera. *22*
2.3 Simulación y software de simulación SIMIO. *23*
2.3.1 Simulación. **23**
2.3.2 Software de simulación SIMIO. **23**
2.4 Modelos de simulación de los módulos de check-in y facturación de equipaje *25*
2.5 Recomendaciones usadas para definir tiempos aceptables en fila. *27*
2.5.1 IATA. **27**
2.5.2 Datos referenciales de la industria nacional. **28**
2.6 Estado del Arte. *30*
2.6.1 Tendencias de automatización **33**
CAPITULO III: Desarrollo. *36*
3.1 Escenarios. *36*
3.1.1 Escenario 1: Check in sin automatización. **36**
3.1.2 Escenario 2: Se agrega check in web o en app y bagdrop express. **37**

3.1.3 Escenario 3: Se agregan kioscos para check in y bag tag. **38**
3.1.4 Escenario 4: Se agregan módulos para self bagdrop **39**
3.2 Proceso de medición de capacidad ***40***
3.3 Trayectoria óptima para incremento de capacidad ***41***
3.4 Identificación del límite superior de demanda a simular. ***43***
3.5 Resultados ***44***
3.5.1 Resultados Escenario 1 ..... **45**
3.5.2 Resultados Escenario 2 ..... **46**
3.5.3 Resultados Escenario 3 ..... **47**
3.5.4 Resultados Escenario 4 ..... **48**
3.6 Modelo de ajuste para la trayectoria óptima de incremento de capacidad. ***50***
3.6.1 Modelo de ajuste matemático **50**
3.6.2 Representación gráfica del modelo de ajuste. **52**
3.7 Aplicación a Aeropuerto de Concepción ***53***
3.7.1 Estimación de la demanda máxima **53**
3.7.2 Configuraciones para satisfacer la demanda máxima **55**
CAPITULO IV: Conclusiones ***58***
Bibliografía y fuentes de información. ***63***
Anexos ***65***
Anexo A: Level of Service Guidelines **65**
Anexo B: Passenger Experience **65**
Anexo C: Inversión de aeropuertos en tecnologías de información **65**
Anexo D: Inversión de aerolíneas en tecnologías de información **66**
Anexo E.1: Diagrama de escenario 1 ..... **67**
Anexo E.2: Tabla con trayectoria óptima para incremento de capacidad (Escenario 1) **68**
Anexo E.3: Gráfico con trayectoria óptima para incremento de capacidad (Escenario 1) **69**
Anexo F.1: Diagrama de Escenario 2 ..... **70**
Anexo F.2: Tabla con trayectoria óptima para incremento de capacidad (Escenario 2) **71**
Anexo F.3: Gráfico con trayectoria óptima para incremento de capacidad (Escenario 2) **72**
Anexo G.1: Diagrama de Escenario 3 ..... **73**
Anexo G.2: Tabla con trayectoria óptima para incremento de capacidad (Escenario 3) **74**
Anexo G.3: Gráfico con trayectoria óptima para incremento de capacidad (Escenario 3) **75**
Anexo H.1: Diagrama de Escenario 4 ..... **76**
Anexo H.2: Tabla con trayectoria óptima para incremento de capacidad (Escenario 4) **77**

Anexo H.3: Gráfico con trayectoria óptima para incremento de capacidad (Escenario 4) ..78
Anexo I.1: Representación gráfica del modelo de ajuste matemático para escenario 1 79
Anexo I.2: Representación gráfica del modelo de ajuste matemático para escenario 2 80
Anexo I.3: Representación gráfica del modelo de ajuste matemático para escenario 3 81
Anexo I.4: Representación gráfica del modelo de ajuste matemático para escenario 4 82

Índice de Gráficos

Gráfico 1: Inversión de aeropuertos en tecnologías de información..... 31
Gráfico 2: Inversión de aerolíneas en tecnologías de información 31
Gráfico 3: Trayectoria óptima para incremento de capacidad 42
Gráfico 4: Demanda de pasajeros para 8 procesos de check in consecutivos con inicios separados cada 20 minutos..... 44
Gráfico 5: Capacidad de Counters Manuales en función del número de módulos 51
Gráfico 6: Estimación de demanda de pasajeros para aeropuerto de Concepción..... 54

Índice de Tablas

Tabla 1: Estándares de tiempo en fila para check-in establecidos por la IATA 28
Tabla 2: Estándares de tiempo en fila y tiempos de atención de la industria..... 29
Tabla 3: Supuestos para Escenario 1..... 37
Tabla 4: Supuestos para Escenario 2..... 38
Tabla 5: Supuestos para Escenario 3..... 39
Tabla 6: Supuestos para Escenario 4..... 40
Tabla 7: Tabla de fórmulas para calcular módulos según capacidad..... 52
Tabla 8: Itinerario Aeropuerto de Concepción 19 de Noviembre del 2019..... 53
Tabla 9: Opciones de escenarios para satisfacer demanda de aeropuerto de Concepción... 55
Tabla 10: Incremento en capacidad y productividad en función del nivel de automatización (ejemplo para Aeropuerto de Concepción) 62

Índice de Figuras

Figura 1: Secuencia metodológica a utilizar 18
Figura 2: Proceso del pasajero en terminal de salida 20

Introducción.

Uno de los procesos por los que tiene que pasar un pasajero para viajar en un avión comercial es el check-in. El check-in es un registro en el cual los pasajeros confirman a la aerolínea su presencia y por otro lado se les confirma el espacio en el vuelo a través de un boarding pass (tarjeta de embarque), documento necesario para abordar el avión. También durante este proceso los pasajeros deben dar a conocer a la aerolínea si llevan equipaje.

El proceso de check-in ha existido desde los comienzos de la aviación comercial, pues la compra del billete de avión solo muestra la intención de viajar y no la confirmación por parte del pasajero a la aerolínea. Existen diferentes maneras y tiempos para realizar este proceso, los cuales varían de una aerolínea a otra y de un aeropuerto a otro. En cuanto a las distintas maneras, la primera establecida por las aerolíneas es a través de un counter de forma manual realizada por un representante de la aerolínea. Ésta es la más transversal pues existe en todas las aerolíneas y la cantidad de counters depende de la demanda de esa aerolínea en el respectivo aeropuerto.

Con los avances tecnológicos se han incorporado nuevas formas de realizar el check-in, basadas en el concepto de auto atención, en donde el pasajero es quien realiza su propio registro. Existen dos maneras: la primera es a través internet, en donde cada aerolínea, por un tiempo limitado antes del vuelo permite a través de su página web o aplicación para teléfonos inteligentes completar un formulario y la segunda manera es a través de módulos físicos de atención proporcionados por la aerolínea en el aeropuerto en cuestión, llamados kioscos, ATM o self check-in.

Otra forma de caracterizar el proceso de check-in consiste en si el pasajero lleva o no pieza de equipaje a facturar. El equipaje puede tener un cobro separado del pasaje, aunque es comprado normalmente junto con éste. La maleta se entrega al momento de realizar el check in en el counter. El equipaje también se puede pagar en el counter si es que no se compró con anterioridad o pagar por peso extra, ya que cada equipaje tiene un límite de peso establecido por cada aerolínea.

Debiera quedar claro que si el pasajero realizó el proceso de check-in vía internet o a través de una aplicación, no puede realizar la entrega de equipaje por este medio. Por ende, en este caso, realizar el check-in vía internet sólo es la primera parte del registro, ya que el pasajero deberá acudir de igual forma a un counter para hacer entrega de su equipaje, proceso llamado bagdrop. Por esto es que las aerolíneas han creado maneras mixtas de recibir a los pasajeros, estableciendo counters únicos para la entrega de maleta o módulos de autoatención sólo para la entrega de maletas. Estas formas, al igual que todo lo anterior dependen de cada aerolínea y de cada aeropuerto.

Cada una de las diferentes maneras de realizar el check-in son explicadas en esta memoria y son simuladas con el fin de optimizar la capacidad de procesamiento de cada una. La simulación es realizada en el software SIMIO, evaluando el flujo de pasajeros que hace el check-in, ya sea solo en counters o de formas mixtas con módulos de autoatención y counters, y considerando pasajeros con y sin equipaje.

Para estimar la capacidad de un escenario dado, es decir de una combinación definida de módulos, éste se modela mediante su correspondiente proceso estocástico, y se calcula la máxima cantidad de pasajeros que es capaz de procesar respetando los tiempos máximos de espera en fila. Los modelos también incorporan información empírica respecto de cómo se distribuye el total de pasajeros en cada una de las modalidades de check-in explicadas. A modo de ejemplo, un posible escenario a simular consideraría el flujo de pasajeros con counters de atención preferente, counters normales y counters de entrega de equipaje express.

Este trabajo propone también una metodología para consolidar los distintos escenarios simulados en lo que se denomina “trayectoria óptima para incremento de capacidad”, concepto que presenta la secuencia de crecimiento, en cantidades y variedades de módulos, que permite incrementar la capacidad de una determinada configuración, asegurando una utilización eficiente de los recursos involucrados.

CAPÍTULO I: Antecedentes Generales.

1.1 Objetivos.

1.1.1 Objetivo General.

Desarrollar una metodología para optimizar el proceso de check-in mediante el uso de modelos de simulación estocástica estableciendo criterios y guías a través del análisis de la capacidad de flujo máxima de pasajeros de un aeropuerto, en función del nivel de automatización del proceso.

1.1.2 Objetivos Específicos.

- Definir variables del modelo, establecer escenarios, criterios y guías para optimizar el proceso de check-in.
- Diseñar un modelo estocástico que representa las interacciones de flujos dentro del proceso de check-in de un aeropuerto, orientado a la estimación de la capacidad de procesamiento de pasajeros de los escenarios de interés.
- Consolidar y presentar los escenarios simulados en trayectorias óptimas para incremento de capacidad.
- Aplicar los resultados al Aeropuerto de Concepción.

1.2 Justificación.

La aviación comercial, según los reportes de tráfico de pasajeros anual de la IATA, está al alza en los últimos años. El aumento de pasajeros a nivel mundial muchas veces no está acompañado de la expansión de los aeropuertos, lo que lleva a las aerolíneas a utilizar los recursos de un aeropuerto de la forma más eficiente posible.

En relación con el trabajo a desarrollar en esta memoria, el proceso de check in es el primer paso por el cual deben pasar los pasajeros antes del vuelo. Para ello es necesario que las aerolíneas determinen la cantidad de counters necesarios para satisfacer la demanda de pasajeros presentes en sus operaciones en cada aeropuerto.

Por otro lado, a veces, las aerolíneas están limitadas por la capacidad aeroportuaria de la cantidad de módulos de check-in o de los espacios para el check-in disponibles dentro de un aeropuerto. En Chile, el aeropuerto Arturo Merino Benítez fue ampliado el año 2014 para tener una capacidad de 16 millones de pasajeros transitados por año, la que fue superada ampliamente el 2018, con 23.2 millones[1] de viajeros y su ampliación en construcción, planificada para el 2020, está diseñada para tener una capacidad de 30 millones de pasajeros por año[2].

El modelo desarrollado en esta memoria permite identificar la configuración más eficiente de módulos de check-in a utilizar, para lograr una determinada capacidad de procesamiento de pasajeros.

Por otro lado, es sabido que a las personas no les agrada esperar para comprar o recibir un servicio. De hecho una larga espera puede terminar en el abandono del cliente o de una disminución del nivel de satisfacción del servicio, sólo por haber tenido una espera larga[3]. Para contrarrestar los tiempos de espera asociados al check-in, las aerolíneas han

[1] Según estadísticas de la Junta Aeronáutica Civil www.jac.gob.cl/estadisticas/estadisticas-historicas/
[2] Según proyecto en sitio web de Nuevo Pudahuel www.nuevopudahuel.cl/terminalinternacional/el-proyecto
[3] Comunicado N°56, 2017 IATA. "Los pasajeros a nivel mundial exigen mayor tecnología en los procesos de sus viajes."

implementado distintas tecnologías, desde el uso de internet con web check-in hasta kioscos de autoservicio ubicados en las terminales. Los pasajeros son alentados a utilizar estos sistemas para reducir los tiempos de espera, reducir la congestión en los terminales y evitar grandes filas para realizar el check-in. Para ello es necesario conocer la cantidad de módulos requeridos para una demanda determinada de pasajeros.

La automatización de los aeropuertos es la tendencia natural para poder optimizar los procesos de check-in, pero hoy en día no se dispone de criterios sistemáticos que permitan cuantificar el grado de optimización que se puede lograr mediante la automatización.

El trabajo entrega criterios sistemáticos para mejorar eficientemente el proceso de check-in de un aeropuerto, permitiendo conocer la configuración óptima de módulos para una determinada demanda y según el escenario de automatización en el que se encuentren.

1.3 Metodología.

La metodología a seguir para el desarrollo de este trabajo requiere, en primer lugar, una definición clara del problema, caracterizando el funcionamiento del proceso de check-in y las propiedades de cada una de sus partes, tales como los tiempos de atención de cada módulo. También deben contemplarse los tiempos de espera aceptables establecidos por la industria.

En segundo término, se describen las herramientas a utilizar en la simulación de escenarios y cálculo de los parámetros técnicos necesarios para el análisis de optimización. Estas herramientas se componen del software de simulación SIMIO y de la utilización de teoría de colas de espera y de modelos de distribución estocásticos para representar las etapas de cada uno de los escenarios de interés.

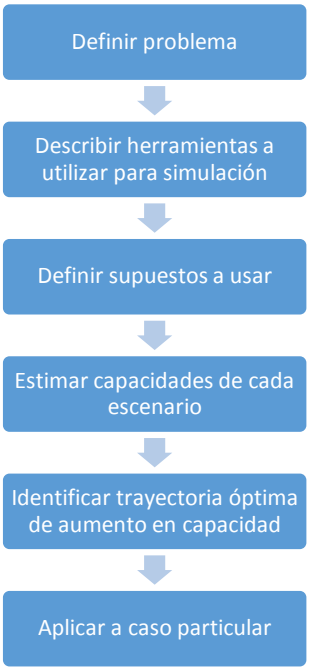
En tercer lugar, se definen los supuestos a utilizar para el conjunto de escenarios a simular.

En cuarto término, se explica cómo se estiman las capacidades de flujo de pasajeros de cada escenario.

En seguida se presenta una metodología para establecer una trayectoria óptima de incremento de módulos para aumento de capacidad.

Finalmente se aplica el modelo obtenido al caso concreto del aeropuerto de Concepción.

Figura 1: Secuencia metodológica a utilizar



**Fuente: Elaboración propia*

1.4 Alcance.

La memoria es de tipo correlacional y exploratorio. Exploratoria porque hoy no se dispone de herramientas que permitan estimar la capacidad de flujo de un aeropuerto para los procesos de check in de una manera sistemática.

Es también correlacional ya que para poder cumplir el objetivo de la memoria es necesario relacionar variables. Entre estas destacan: número de módulos de atención, flujos de llegada pasajeros y tiempos aceptables de espera en fila, etc. La relación entre estas variable permitirá modelar la capacidad de procesamiento de pasajeros para el check-in.

El trabajo aplica al procesamiento de check-in para aeropuertos de tamaño pequeño y mediano, en los cuales los procesos de check-in, embarque y salida de aviones, ocurren con niveles menores de traslape. En Chile esta condición se da en aeropuertos para vuelos domésticos.

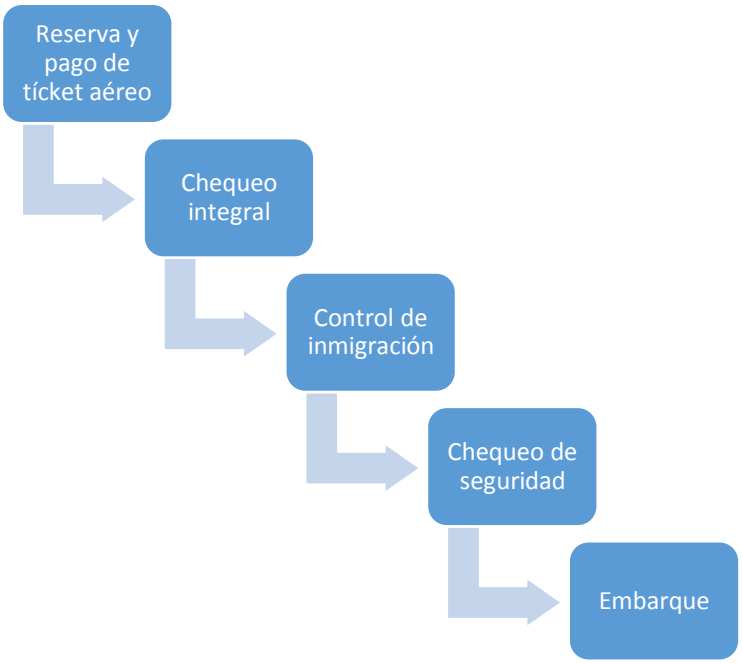
Sin embargo, el modelo considerará que es posible realizar procesos de check-in para más de un vuelo al mismo tiempo, siempre y cuando la hora de despegue de ambos difiera lo suficiente como para que los peaks de cada uno de los procesos de check-in no coincidan. En términos prácticos y por razones que se desarrollan en el capítulo 3, se considerará aeropuertos con capacidad para salida de vuelos separados entre sí con no menos de 20 minutos.

CAPITULO II: Marco Teórico.

2.1. Módulos proceso de check-in y facturación de equipaje.

El proceso completo que debe seguir un pasajero contempla una secuencia de etapas, tal como lo ilustra el diagrama que sigue.

Figura 2: Proceso del pasajero en terminal de salida



**Fuente: Elaboración propia a partir de Anexo B IATA*

La etapa de "chequeo integral", se compone de dos subprocesos, que constituyen el motivo de interés del presente trabajo. Estos son: check-in y facturación de equipaje.

El propósito del chequeo integral es confirmar a la aerolínea que el pasajero se presenta a un vuelo previamente reservado, proveerse de un boleto de embarque (boarding pass), destinar un asiento en el avión, revisar la documentación de viaje y la entrega del equipaje a la aerolínea.

En el subproceso de **check-in** el ticket de reserva es cambiado por un único boarding pass para cada pasajero, proporcionado por cada aerolínea. Cada boarding pass emitido está conectado con un CRS (Computer Reservation System) de la aerolínea, el cual contiene el itinerario de vuelo del pasajero. Adicionalmente, el subproceso de check-in puede incluir un rol importante en la revisión de los documentos necesarios para viajar, como por ejemplo visas y pasaportes.

El segundo subproceso del chequeo integral es la **facturación de equipaje**. En éste la aerolínea conecta cada pieza de equipaje al respectivo pasajero, asignándole una etiqueta, pesándola y enviándola a la bodega de carga del avión.

El proceso de check in se puede realizar de tres formas: en el sitio web o aplicación de la aerolínea, counters manuales y kioscos de autoatención ubicados en el aeropuerto.

Counter manual: Es la forma más tradicional en la que se realiza el check in. En él, el pasajero se debe dirigir con su equipaje a la fila para un counter atendido por personal de la aerolínea en el aeropuerto. En él se le pedirá la información requerida al pasajero, se le entregará el boleto de embarque. Además se pesará y facturará su equipaje de bodega, para después ser enviado al avión.

Check in web o en app: Se realiza a través de la página web o una aplicación para teléfonos inteligente desarrollada por la aerolínea y normalmente se ejecuta aproximadamente entre 48 horas y 75 minutos antes del vuelo. Si es que el pasajero lleva equipaje para ser transportado en la bodega del avión, igual se deberá acercar a un counter en el aeropuerto para su facturación.

Kioscos de autoservicio: Se puede realizar el check-in en módulos de autoatención ubicados en el aeropuerto. Estos entregan la tarjeta de embarque al pasajero y una etiqueta para adherirse a la maleta a ser facturada posteriormente.

El proceso de facturación de equipaje cuando no es manejado vía el counter manual utilizado para el check-in, se puede realizar de dos formas: a través de un counter manual exclusivo para entrega de equipaje (Bagdrop Express) o mediante un módulo de autoservicio (Self bagdrop).

Bagdrop express: El pasajero entrega su equipaje previamente etiquetado en un counter manual, donde personal de la aerolínea escanea la etiqueta, pesa la maleta y en caso de ser necesario cobra, para después enviarla al avión.

Self bagdrop: En un módulo de autoservicio destinado a la entrega de equipaje, el pasajero factura su propia maleta y la envía por las cintas asignadas a la bodega del avión.

2.2 Teoría de colas de espera.

La teoría de colas consiste en el estudio matemático del comportamiento de líneas de espera. Esta se presenta cuando clientes llegan a un lugar a utilizar un servicio en un servidor que posee cierta capacidad. Cuando el servidor se encuentra ocupado el cliente debe esperar y ahí se forma la línea de espera. Los tiempos de llegada entre un cliente y otro y los tiempos de procesamiento de los servidores son normalmente aleatorios, y representados por funciones de distribución.

También existen disciplinas de colas, que representan la forma en que los clientes o entidades se ordenan en una cola, la más utilizada es FIFO (First in First Out), es decir atender por orden de llegada y esta es la modalidad que se utilizará en las filas para la simulación de escenarios.

El manejo matemático de teoría de colas está incorporada en el software de simulación Simio que se utiliza en el desarrollo del trabajo.

2.3 Simulación y software de simulación SIMIO.

2.3.1 Simulación.

Usualmente los problemas reales son desarrollados usando un lenguaje de simulación para representar un sistema real y resolver el problema. La simulación es menos compleja que el sistema original ya que solo incluye los aspectos más relevantes y además los costos asociados a una simulación son, generalmente, inferiores al costo de hacer la experimentación en el mundo real. También, cuando se usa un programa de simulación, se dispone de un ambiente sin riesgo que permite probar distintos escenarios mediante la alteración de los parámetros que los caractericen, para finalmente tomar la mejor decisión.

Otra ventaja de las simulaciones es la capacidad de alterar el tiempo, permitiendo obtener en un tiempo mucho menor (minutos) el resultado de una simulación que representa un tiempo mucho mayor (horas, días e incluso años).

La simulación está basada en algoritmos y modelos matemáticos que representan una situación real. Para este trabajo se usa un programa computacional de simulación detallado en el siguiente punto.

2.3.2 Software de simulación SIMIO.

En el proceso de simulación estocástica considerado para el presente trabajo, se hará uso del software de simulación SIMIO. Éste es un software que funciona bajo Windows, para modelar, simular y generar animaciones de flujos de procesos de eventos discretos. Éste combina objetos y procedimientos para producir modelos de comportamientos de sistemas lógicos, industriales y de servicios.[4]

SIMIO se puede usar en cualquier sistema donde existan flujos de materiales, personas o información: fábricas donde se diseñe un nuevo layout, hospitales que deben gestionar las

[4] *https://www.simio-simulacion.es/*

prioridades de los recursos disponibles, aeropuertos con sus necesidades de optimizar una capacidad y un nivel de servicio, terminales portuarias, centros de almacenaje y logística.

El enfoque original de Simio consiste en disponer de una biblioteca de objetos básicos programables que incrementan su inteligencia mediante un juego de instrucciones estándares, compartidas y heredables.

Para poder realizar la programación de la simulación del trabajo se utilizan los siguientes objetos en Simio:

Entidades: Las entidades representan a los pasajeros que pasan a través de los distintos procesos del sistema diseñado.

Objeto de entrada (Source): Se utiliza para crear a las entidades. Mediante éste se puede programar qué tipo de entidad o entidades crear y cómo crearlas. Por ejemplo, se puede definir que se cree una entidad cada cierto intervalo de tiempo fijo (o siguiendo una función de distribución) o también si crearlas de a una o de a varias, etc.

Servidor: Permite simular los procesos que conforman el sistema. Por ejemplo, para simular un counter, se programa un tiempo de atención en el servidor, para que cuando la entidad llegue a ese servidor se quede ese tiempo detenida ahí y luego la libere para que la entidad avance al siguiente proceso en el sistema. También puede simular una fila de espera, si es que se programa para que el servidor mantenga ahí detenida a la entidad hasta que el siguiente servidor se libere y pueda recibir a la entidad.

Salida (Sink): Utilizado para eliminar a las entidades una vez que estas ya han recorrido todo el sistema.

Caminos: Existen varios tipos de caminos para conectar a los objetos y definir la trayectoria que siguen las entidades en el sistema. Los caminos pueden incluir un tiempo de desplazamiento, una distancia o solo conectar un objeto con otro para simular una trayectoria sin ninguna otra medida.

2.4 Modelos de simulación de los módulos de check-in y facturación de equipaje

Los fenómenos naturales se clasifican en dos tipos: determinísticos y aleatorios. Los determinísticos son los fenómenos predecibles en que el resultado se explica a partir de las condiciones iniciales y de un determinado modelo de evolución en el tiempo. En cambio, los fenómenos aleatorios no son predecibles con exactitud y para su modelación se utilizan modelos matemáticos de tipo estocásticos. Así, un ejemplo de un fenómeno aleatorio sería, en un aeropuerto, el tiempo entre la llegada de un pasajero y el siguiente.

Algunos ejemplos de funciones de distribución son:

Poisson: Se utiliza para determinar la probabilidad de que ocurra un número designado de eventos, cuando éstos suceden en un continuo de tiempo o espacio. A un proceso como éste se le denomina proceso de Poisson. Supone que los eventos son independientes y que el proceso es estacionario. La distribución Poisson se caracteriza por un único parámetro, correspondiente al número promedio a largo plazo de eventos para el tiempo o dimensión específico de interés. Por lo general esta media se representa mediante λ (lambda).[5]
La fórmula para determinar la probabilidad de un número determinado de éxitos N en una distribución Poisson es:

$$P(X,\lambda) = \frac{\lambda^X e^{-\lambda}}{X!}$$

Normal: Distribución continua de probabilidad, que es al mismo tiempo simétrica. Se describe a la curva que representa a esta distribución como una campana, en torno a un valor central que representa al valor medio de la distribución. La curva de probabilidad para una variable con distribución normal está dada por la siguiente función:

$$f(X) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-[\frac{(X-\mu)^2}{2\sigma^2}]}$$

[5] Leonard Kazmier, Alfredo Díaz Mata, Estadística, Aplicada a la Administración y a la Economía, Segunda Edición, 1993, Página 109.

Donde σ representa a la desviación estándar de la distribución y μ representa a la media.

Exponencial: Esta ley de distribución describe procesos en los que interesa saber el tiempo hasta que ocurre un determinado evento, o el tiempo entre dos eventos, o el tiempo que transcurre hasta que se presente el primer evento. Se utiliza por ejemplo para modelar tiempos de supervivencia, como lo que tarda una partícula radiactiva en desintegrarse, o para modelar el tiempo entre la llegada de un pasajero y el siguiente al aeropuerto.
La probabilidad exponencial de que ocurra el primer evento dentro del intervalo designado de tiempo o espacio es (en donde λ es el número promedio de ocurrencias para el intervalo de interés):[6]

$$P(T \leq t) = 1 - e^{-\lambda}$$

Uniforme: Se utiliza cuando hay una variable aleatoria que toma valores en un intervalo finito de manera equiprobable, es decir que toma con igual de probabilidad valores dentro de un intervalo (a,b) y se denota por U(a,b). La probabilidad de ocurrencia de un evento depende de la amplitud del intervalo considerado y no de su posición en el campo de variación de la variable.

Triangular: Este modelo de distribución se utiliza cuando se encuentra poca información disponible. Ya que solo se necesita conocer el valor mínimo, valor máximo y el valor más probable.

Los modelos estocásticos a utilizar en el presente trabajo consideran:

Proceso de Poisson: Permite modelar el proceso de llegada de pasajeros de forma aceptable, ya que las características de este proceso se acercan a las del fenómeno real, por ser representativa de eventos que tienen una distribución discreta, en que uno conoce la frecuencia media para un intervalo de tiempo determinado y en que los eventos son

[6] Leonard Kazmier, Alfredo Díaz Mata, Estadística, Aplicada a la Administración y a la Economía, Segunda Edición, 1993, Página 132.

independientes uno de otro. Este proceso supone también que los tiempos de interarribo de pasajeros responden a una distribución de tipo exponencial.

Distribución Triangular: La distribución de probabilidad de tipo triangular se utiliza para caracterizar el tiempo de procesamiento de un pasajero en un módulo dado, porque permite modelar de manera simple un proceso en torno a un valor medio y con una dispersión tal que garantice que los valores sean siempre positivos, lo que no ocurre por ejemplo con la distribución normal.

2.5 Recomendaciones usadas para definir tiempos aceptables en fila.

2.5.1 IATA.

IATA (International Air Transport Association) representa alrededor de 290 aerolíneas, traduciéndose en más del 80% de las existentes y vela por el correcto funcionamiento de la industria. Este organismo tiene como objetivo representar, liderar y servir a la industria aérea, haciendo que las empresas de tráfico aéreo sean seguras, confiables y eficientes. Esto lo hace ayudando a desarrollar estándares, prácticas y procedimientos para regular y garantizar niveles de servicio en la industria. En consecuencia resulta de interés conocer los estándares para tiempos de atención y tiempos de espera en fila recomendados por IATA.

Entre las recomendaciones que crea la Iata existe un manual llamado “Airport Development Reference Manual”. Este fue creado en conjunto con otra asociación llamada ACI (Airports Council International), organización mundial sin fines de lucro encargada de representar a los aeropuertos. Este manual tiene como objetivo ayudar, establecer guías y estándares para la planificación de nuevos aeropuertos o la expansión de la infraestructura de los ya existentes, promoviendo que sean aeropuertos con un desarrollo más sustentable y eficiente. Dentro de este manual existe una sección encargada de la capacidad de un terminal y niveles de servicio, llamada “Level of Service”, ver Anexo A. En este capítulo hay estándares de tiempos en fila de espera para el proceso de check-in, que se muestran en la tabla 2:

Tabla 1: Estándares de tiempo en fila para check-in establecidos por la IATA

Tipo de fila	Sobre diseño	Óptimo	Bajo Óptimo
Fila Self-service kiosk (boarding pass/bag tag)	<1 min	1-2 min	>2 min
Fila Bag drop desk	<1 min	1-5 min	>5 min
Fila Counter Check in manual	<10 min	10-20 min	>20 min

**Fuente: IATA de Anexo A*

2.5.2 Datos referenciales de la industria nacional.

Si bien la metodología que se presenta en este trabajo tiene un carácter general las tablas con resultados específicos que se muestran en el capítulo III (desarrollo) se obtienen utilizando los estándares de tiempo en fila y atención para módulos actualmente en uso en la industria nacional. Esta decisión se justifica en el hecho de los estándares de Iata son más exigentes que los que se utilizan en la industria nacional y por tanto su utilización estaría sobredimensionando la infraestructura requerida para el proceso de check in. Estos valores se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 2: Estándares de tiempo en fila y tiempos de atención de la industria.

Escenario	Estación	TEF [min]	TMA [s]
1	Counter Normal	20	150
2	Bagdrop Express	10	60
	Counter Normal	20	150
3	Kiosko	4	90
	Bagdrop Express	10	40
	Counter Normal	20	150
4	Kiosko	4	90
	Counter SBD	10	35
	Counter Normal	20	150

La tabla describe 4 escenarios:

Escenario 1: Sólo considera que hay counter normales manuales. Estos se caracterizan por tener un tiempo de espera en fila de 20 minutos como máximo y un tiempo medio de atención en counter de 150 segundos.

Escenario 2: Considera que existe el chequeo a través de un sitio web o aplicación, counters normales y counters de bagdrop express. Un counter normal se modela bajo los mismos parámetros descritos en el escenario anterior. Para módulos bagdrop express se considera un tiempo de espera en fila de máximo 10 minutos y un tiempo medio de atención de 60 segundos.

Escenario 3: Incluye, además de los mismos módulos descritos en el escenario, kioscos de autoservicio, los que tienen un tiempo de espera en fila de 4 minutos como máximo y 90 segundos de tiempo medio de atención. Al tener kioscos de autoservicio disminuye el

tiempo medio de atención en los módulos de counter express a 40 segundos y se mantiene el resto de los estándares del segundo escenario.

Escenario 4: Contiene los mismos módulos que el escenario 3, pero cambia los counters de bagdrop express por módulos de self bagdrop, los que tienen un tiempo medio de atención de 35 segundos y tiempo de espera en fila máximo de 10 minutos.

2.6 Estado del Arte.

En el check-in un pasajero confirma a la aerolínea que se presentará a un vuelo reservado. Los tipos de check-in que consideran autoservicio separan la cantidad total de pasajeros que llegan al terminal aeroportuario, optimizando los tiempos de realizar dicho proceso. En la actualidad, el check-in pueden realizarse a través de internet por medio del sitio web o aplicación de la aerolínea y/o a través de kioscos de autoservicio, los cuales, tienen distintas tecnologías, desde simples softwares en una pantalla táctil a kioscos biométricos que usan huellas dactilares, como lo hizo Delta Airlines en el aeropuerto Ronald Reagan Washington National Airport en mayo del 2019. El objetivo de éstos es disminuir los tiempos en que los pasajeros están en el terminal aeroportuario durante el proceso de check-in y puedan avanzar a los siguientes procesos hasta embarcarse. Así por ejemplo, los pasajeros que realizaron el check-in vía internet o vía app, si llevan equipaje sólo tienen que acercarse a la aerolínea o en caso de no llevar, dirigirse hacia las siguientes etapas hasta abordar el avión.

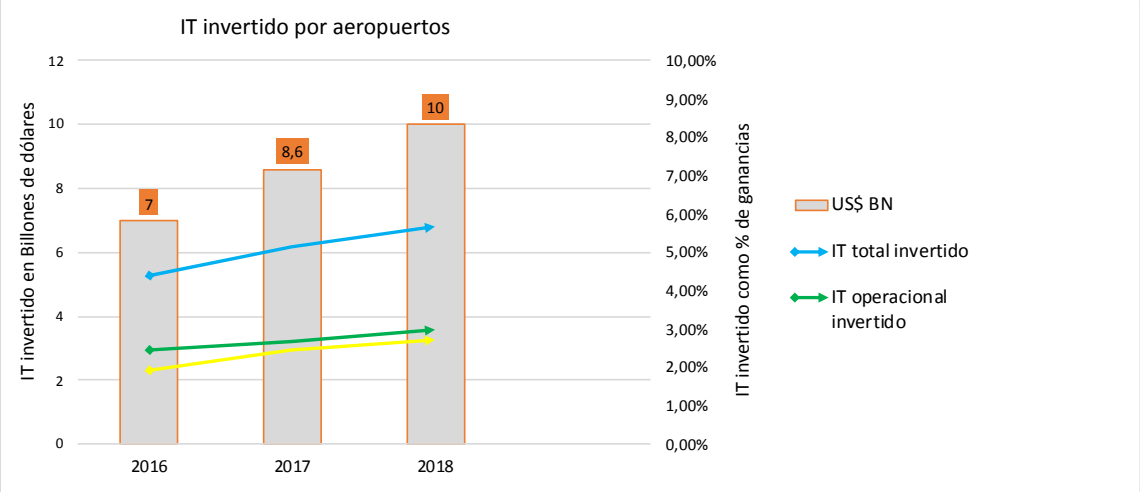
Los porcentajes y cifras entregados en los siguientes párrafos son los anunciados por SITA, la cual es una multinacional de tecnologia de informacion IT. Esta empresa provee sus servicios a 400 miembros (aerolíneas) y a 2800 clientes alrededor del mundo. La empresa posee el 90% del negocio de IT de las aerolíneas del mundo.[7]

La encuesta mundial de Air Transport IT insights SITA del año 2018 muestra que hay incremento en el desarrollo de nuevas tecnologías para el proceso de check-in y que las

[7] www.Sita.aero/about-us/who-we-are/facts-figures.

aerolíneas y aeropuertos están interesadas e invierten cada vez más en desarrollo e implementaciones.

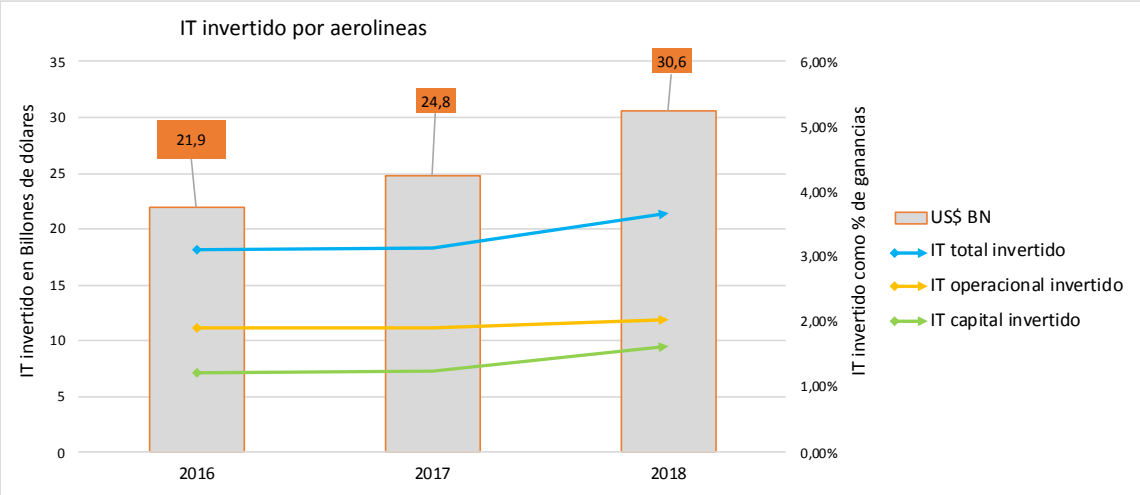
Gráfico 1: Inversión de aeropuertos en tecnologías de información



**Fuente: Elaboración propia a partir de Anexo C*

El gráfico 1 se construye a partir de los datos del anexo C y muestra cuántos billones de dólares invirtieron los aeropuertos en tecnologías de información entre los años 2016 y 2018 y además, qué porcentaje de sus ganancias invierten en esto mismo.

Gráfico 2: Inversión de aerolíneas en tecnologías de información



**Fuente: Elaboración propia a partir de Anexo D*

El gráfico 2 muestra por un lado cuántos billones de dólares invirtieron las aerolíneas entre los años 2016 y 2018 en tecnologías de información y además, qué porcentaje de sus ganancias invierten en esto mismo.

El incremento de inversión en estas tecnologías es explicado en el documento de SITA, donde describe cómo esto agrega valor a cada uno de los agentes involucrados. Por un lado, desde el punto de vista de los pasajeros disminuye el tiempo de espera, ya que algunos pasajeros van al counter manual, mientras otros al de autoservicio y los que realizaron el check-in online y no llevan equipaje sólo deberán pasar a la siguiente etapa del proceso de embarque. Todo esto entrega al pasajero mayor control sobre el proceso, lo cual es satisfactorio para ellos.

Por otro lado, desde el punto de vista del aeropuerto se traduce en un ahorro de espacio dentro del terminal, lo que permite que su capacidad máxima de pasajeros sea mayor, ya que se reducen los espacios para filas y el flujo de pasajeros es más veloz. El documento de SITA explica que el espacio ahorrado puede ser utilizado por el aeropuerto para incluso otras oportunidades de negocios.

Desde el punto de vista de las aerolíneas el beneficio está en reducir los costos operacionales y de personal, pues los kioscos de autoservicio no necesitan de un asistente comercial.

En cuanto a la capacidad aeroportuaria actual de Latino América, respecto a la cual el proceso de check-in es uno de sus componentes importantes, el vicepresidente regional de la Iata, Peter Cerdá, señaló que si no se toman medidas para aumentar la capacidad aeroportuaria, 113 millones de personas que deseen volar a América Latina no podrán hacerlo. Ésto debido a que IATA prevee un aumento significativo en los próximos 10 a 15 años y que la infraestructura actual y proyectada es ineficiente. Actualmente, hay varias capitales realizando importantes inversiones, entre ellos Bogotá, Lima, Ciudad de México,

Asunción y Santiago de Chile, pero el problema según Peter radica en que estas ampliaciones pronto serán sobrepasadas por la demanda. [8]

Por ejemplo, en el caso de Santiago, en que la capacidad de diseño del aeropuerto Arturo Merino Benítez es de 16 millones de pasajeros transitados por años, capacidad que fue superada con creces el 2018, con 23.2 millones[9] de viajeros y su ampliación en construcción planificada para el 2020 está diseñada para una capacidad de 30 millones de pasajeros por año[10].

2.6.1 Tendencias de automatización

Los kioscos de autoservicio son los que satisfacen mejor la demanda de pasajeros y aerolíneas. De hecho, desde su primera aparición en los 90' el aumento de estos ha sido de tipo exponencial en los aeropuertos a nivel mundial. Las estadísticas muestran que el 75% de los aeropuertos los poseen y se espera llegar al 90% este año, según el Airport IT trends survey.

Sin embargo, la plataforma que algunos años atrás simplemente recopilaba los datos del pasajero para realizar el check-in de forma automática, ha evolucionado agregando nuevas funciones y tecnologías. A continuación se describen tendencias en esta área.

All-in-one

Los nuevos kioscos lanzados por KLM en sus principales Hubs son un ejemplo de todo el potencial que puede llegar a tener un kiosco de autoservicio. Estos poseen múltiples funciones. Aparte de realizar el check-in, permiten al pasajero imprimir etiquetas de equipaje, comprar servicios adicionales de la aerolínea, como mejoras en comidas u otros servicios auxiliares y pagarlos en el mismo kiosco con tarjetas de crédito.

Bagdrop

[8]Según noticia de Aviación 21 https://a21.com.mx/aeronautica/2018/02/21/alerta-iata-por-limites-de-capacidad-aeroportuaria-en-latam

[9] Según estadísticas de la Junta Aeronáutica Civil www.jac.gob.cl/estadisticas/estadisticas-historicas/

[10] Según proyecto en sitio web de Nuevo Pudahuel www.nuevopudahuel.cl/terminalinternacional/el-proyecto

Si bien el check-in fue el primer proceso que se implementó en módulos de autoservicio, el proceso de etiquetado de maleta es una parte del check-in que sólo es utilizado por pasajeros con equipaje por facturar. Hoy en día el 42% de los aeropuertos tienen kioscos, en los que se puede imprimir la etiqueta de las maletas, para ayudar a los pasajeros a auto etiquetar su equipaje antes de dejarlos en los puntos de entrega, lo que es más rápido de realizar.

Los kioscos de bagtag son naturalmente una extensión a los kioscos de check-in, pues es un proceso complementario realizado en el terminal aeroportuario por aquellos pasajeros que llevan equipaje a facturar. La tendencia según el reporte de SITA es a incrementar en los próximos años.

Inmigración

El proceso de inmigración, si bien no es un proceso que forme parte del check-in, sino que más bien es el proceso que lo precede, ha experimentado transformaciones tecnológicas en algunos aeropuertos, especialmente en Norte America y Asia, en donde se provee de información biométrica para reconocer a un pasajero. Ésta puede ser dactilar, de retina, de iris o patrones faciales, entre otros. Los kioscos de inmigración de autoservicio aceleran los cruces fronterizos para los pasajeros que posean sus documentos de viajes con información biométrica. La ventaja de ellos, por un lado, es la rapidez de procesamiento y por otro libera recursos calificados para enfocarse en la minoría de pasajeros de mayor riesgo.

En específico, en EEUU, existe un programa de Control Automatizado de Pasaportes (APC) que permite el uso de kioscos de autoservicio biométricos el cual ha sido adoptado en varios aeropuertos del país, incluyendo JFK, LAX, MIA, PHL y SAN. Al otro extremo del mundo, Singapur, Seúl, China y Japón son los pioneros en la utilización de tecnología biométrica.

En cuanto a la región de Sudamérica, las aerolíneas GOL y LATAM Airlines son las pioneras en la implementación de sistemas de autoservicio. Recientemente el Grupo Latam ha implementado la auto entrega de equipaje en algunos de los aeropuertos donde opera. Esto lo ha realizado en aeropuertos sudamericanos en Chile, Ecuador y Brasil y en países europeos como Inglaterra.

CAPITULO III: Desarrollo.

3.1 Escenarios.

Los tipos de escenarios a ser simulados quedan definidos por el nivel de automatización a considerar. Se comienza con la configuración más básica, correspondiente al caso sin automatización, y gradualmente se exploran otros escenarios que agreguen sucesivos niveles de automatización. Los escenarios considerados contemplan la inclusión de tipos de módulos de automatización que ya están en uso en la industria nacional o bien que se encuentran con proceso de implementación en curso. Estos módulos son: counter manual, counter preferencial, counter de bagdrop express, kiosco y módulo de self bagdrop.

3.1.1 Escenario 1: Check in sin automatización.

El diagrama que representa al escenario 1, se encuentra en el Anexo E.1.

Supuestos:

- Se compone solo de counters manuales y preferenciales.
- Los counter preferenciales son similares a un counter manual, pero son utilizados por pasajeros preferentes o pasajeros con necesidades especiales (N.E). Por ello están asociados a un tiempo en fila menor. Además, si un pasajero preferente o con necesidades especiales está esperando para utilizar un counter preferencial y se desocupa antes uno normal manual, pueden pasar a utilizarlo.
- Se considera tiempo de desplazamiento de 5 segundos desde cabecera de filas a counters. No se considera tiempo de desplazamiento desde llegada a fila, ni desde counter a salida
- Un porcentaje de los pasajeros debe pagar exceso de equipaje o por pieza de equipaje extra, lo que agrega 100 segundos extras a este porcentaje en el módulo que le corresponde atenderse según el tipo de pasajero que sea.

Tabla 3: Supuestos para Escenario 1

Tipo de pasajero	% del total de pasajeros	Módulo de atención correspondiente	Tiempo de atención en módulo (segundos)	Tiempo máximo de espera en fila de módulo (minutos)	Módulo donde paga equipaje extra en caso de necesitarlo	% que paga equipaje extra
Preferente o con necesidades especiales (N.E)	12,5%	Counter preferencial (y normales en caso de ser necesario)	Min 90, med 150, max 210	10	Counter preferencial (y normales en caso de ser necesario)	8,00%
Normal	87,50%	Counter normal	Min 90, med 150, max 210	20	Counter normal	8,00%

**Fuente: Elaboración propia*

3.1.2 Escenario 2: Se agrega check in web o en app y bagdrop express.

El diagrama que representa al escenario 2, se encuentra en el Anexo F.1.

Supuestos:

- Se compone de: counters manuales, counters preferenciales, counters de bagdrop express y check in online.
- Los counters preferenciales son similares a un counter manual, pero son utilizados por pasajeros preferentes o por pasajeros con necesidades especiales (N.E). Por ello están asociados a un tiempo en fila menor. Además, si un pasajero preferente o con necesidades especiales está esperando para utilizar un counter preferencial y se desocupa antes uno manual normal, pueden pasar a utilizarlo.
- Se considera tiempo de desplazamiento de 5 segundos desde cabecera de filas a counters. No se considera tiempo de desplazamiento desde punto de llegada a filas, ni desde counters a salida.
- Un porcentaje de los pasajeros debe pagar exceso de equipaje o por pieza de equipaje extra, lo que agrega 100 segundos extras a este porcentaje en el módulo que le corresponde atenderse según el tipo de pasajero que sea.

Tabla 4: Supuestos para Escenario 2

Tipo de pasajero	% del total de pasajeros	Módulo de atención correspondiente	Tiempo de atención en módulo (segundos)	Tiempo máximo de espera en fila de módulo (minutos)	Módulo donde paga equipaje extra en caso de necesitarlo	% que paga equipaje extra
Preferente o N.E con check-in online previo	10%	Counter preferencial (y normales en caso de ser necesario)	Min 30, med 60, max 90	7	Counter preferencial (y normales en caso de ser necesario)	8,00%
Preferente o con N.E sin check-in online previo	2,5%	Counter preferencial (y manuales normales en caso de ser necesario)	Min 90, med 150, max 210	7	Counter preferencial (y manuales normales en caso de ser necesario)	8,00%
Pasajero normal con check-in online y equipaje	40%	Counter de bagdrop express	Min 30, med 60, max 90	10	Counter de bagdrop express	8,00%
Pasajero normal sin check-in online previo	17,5%	Counter normal	Min 90, med 150, max 210	20	Counter normal	8,00%
Pasajero normal con check-in online y sin equipaje	30%	Va directo a salida	0	0	No paga	0%

**Fuente: Elaboración propia*

3.1.3 Escenario 3: Se agregan kioscos para check in y bag tag.

El diagrama que representa al escenario 3, se encuentra en el Anexo G.1.

Supuestos:

- Se compone de: kioscos (atm), counters manuales normales, counter preferenciales, check in online y counters de bagdrop express
- Los counter preferenciales son similares a un counter manual, pero son utilizados por pasajeros preferentes o por pasajeros con necesidades especiales (N.E). Por ello están asociados a un tiempo en fila menor. Además, si un pasajero preferente o con necesidades especiales está esperando para utilizar un counter preferencial y se desocupa antes uno normal, pueden pasar a utilizarlo.
- Se considera tiempo de desplazamiento de 5 segundos desde cabecera de filas a módulos, menos para kioscos (atm), que es de 0 segundos, ya que cada kiosco tiene su propia fila. No se considera tiempo de desplazamiento desde punto de llegada a filas, ni desde counters a salida.
- Un porcentaje de los pasajeros debe pagar exceso de equipaje o por pieza de equipaje extra, lo que agrega 100 segundos extras a este porcentaje en el módulo que le corresponde atenderse según el tipo de pasajero que sea.
- Los pasajeros que van a los kioscos siempre seleccionan el que tenga menos fila.

Tabla 5: Supuestos para Escenario 3

Tipo de pasajero	% del total de pasajeros	Módulo de atención correspondiente	Tiempo de atención en módulo (segundos)	Tiempo máximo de espera en fila de módulo (minutos)	Módulo donde paga equipaje extra en caso de necesitarlo	% que paga equipaje extra
Preferente o N.E con check-in online previo	10%	Counter preferencial (y normales en caso de ser necesario)	Min 30, med 60, max 90	7	Counter preferencial (y normales en caso de ser necesario)	8,00%
Preferente o con N.E sin check-in online previo	2,5%	Counter preferencial (y manuales normales en caso de ser necesario)	Min 90, med 150, max 210	7	Counter preferencial (y manuales normales en caso de ser necesario)	8,00%
Pasajero normal con check-in online y equipaje	40%	ATM	Min 70, med 90, max 110	4	Counter de bagdrop express	8,00%
		Counter Bagdrop express	Min 30, med 40, max 50	10		
Pasajero normal sin check-in online previo	17,5%	Counter normal	Min 90, med 150, max 210	20	Counter normal	8,00%
Pasajero normal con check-in online y sin equipaje	30%	Va directo a salida	0	0	No paga	0%

**Fuente: Elaboración propia*

3.1.4 Escenario 4: Se agregan módulos para self bagdrop

El diagrama que representa al escenario 4, se encuentra en el Anexo H.1.

Supuestos:

- Se compone de: kioscos (atm), counters manuales, counters preferenciales, check in online y módulos de self bagdrop.
- Los counter preferenciales son similares a un counter manual, pero son utilizados por pasajeros preferentes o por pasajeros con necesidades especiales (N.E). Por ello están asociados a un tiempo en fila menor. Además, si un pasajero preferente o con necesidades especiales está esperando para utilizar un counter preferencial y se desocupa antes uno normal manual, pueden pasar a utilizarlo.
- Se considera tiempo de desplazamiento de 5 segundos desde cabecera de filas a módulos, menos para atm, que es de 0 segundos, ya que cada uno tiene su propia fila. No se considera tiempo de desplazamiento desde punto de llegada a filas, ni desde counters a salida.

- Un porcentaje de los pasajeros debe pagar exceso de equipaje o por pieza de equipaje extra, lo que agrega 100 seg extras a este porcentaje en el módulo que le corresponde atenderse según el tipo de pasajeros que son.
- Los pasajeros al ir a los kioscos siempre seleccionan el que tenga menos fila.

Tabla 6: Supuestos para Escenario 4

Tipo de pasajero	% del total de pasajeros	Módulo de atención correspondiente	Tiempo de atención en módulo (segundos)	Tiempo máximo de espera en fila de módulo (minutos)	Módulo donde paga equipaje extra en caso de necesitarlo	% que paga equipaje extra
Preferente o N.E con check-in online previo	10%	Counter preferencial (y normales en caso de ser necesario)	Min 30, med 60, max 90	7	Counter preferencial (y normales en caso de ser necesario)	8,00%
Preferente o con N.E sin check-in online previo	2,5%	Counter preferencial (y manuales normales en caso de ser necesario)	Min 90, med 150, max 210	7	Counter preferencial (y manuales normales en caso de ser necesario)	8,00%
Pasajero normal con check-in online y equipaje	40%	ATM	Min 70, med 90, max 110	4	Módulo de self bagdrop	8,00%
		Módulo de Self Bagdrop	Min 20, med 35, max 50	10		
Pasajero normal sin check-in online previo	17,5%	Counter normal	Min 90, med 150, max 210	20	Counter normal	8,00%
Pasajero normal con check-in online y sin equipaje	30%	Va directo a salida	0	0	No paga	0%

**Fuente: Elaboración propia*

3.2 Proceso de medición de capacidad

Para medir la capacidad máxima de pasajeros por hora de una combinación dada de módulos, usando el programa de simulación SIMIO, se procede mediante un enfoque de ensayo y error, ya que SIMIO no incorpora una función automática de optimización. Más específicamente el proceso considera la ejecución de sucesivas simulaciones en las cuales se va progresivamente incrementando el flujo de pasajeros que arriban, para identificar así el máximo flujo de pasajeros tal que los tiempos de espera en fila, para uno o más módulos, no excedan los tiempos de espera en fila definidos como aceptables. Éste máximo flujo aceptable corresponde precisamente a la capacidad de la configuración de módulos simulada.

Cada simulación representa un período de 12 horas, luego de lo cual calculan los promedios por hora. Este número de 12 horas se elige para eliminar los efectos de distorsión de borde

que se producen al simular un período igual a 1 hora, ya que en éste último caso un porcentaje no menor de pasajeros se quedarían en el sistema sin poder terminar el proceso de check in. Con un período de 12 horas, sin embargo, la fracción de pasajeros que no alcanza a finalizar el proceso de check-in se reduce significativamente.

Adicionalmente, cada combinación de escenarios se simula 40 veces, lo cual asegura estabilidad de los resultados obtenidos. Esto es, si la simulación es nuevamente ejecutada, los resultados obtenidos no cambian.

3.3 Trayectoria óptima para incremento de capacidad

La estimación de la capacidad de una configuración determinada de módulos, proceso descrito en la sección 3.2, constituye solo el primer paso en el objetivo final, ya que es igualmente importante poder identificar la secuencia de crecimiento de la configuración, para incrementar su capacidad. El incremento, sin embargo, debe hacerse asegurando un uso eficiente de cada uno de los módulos que se agreguen.

La metodología que se propone para lograr el objetivo anterior consta de los siguientes pasos:

1. Se elige uno de los 4 escenarios a simular y se define como configuración de partida aquella conformada por tan sólo un módulo de cada tipo.
2. Se calcula la capacidad de la configuración bajo análisis. Esta capacidad corresponderá al máximo flujo de pasajeros para el cual no se exceda el tiempo de espera en fila para alguno de los módulos de la configuración.
3. Se define la configuración con capacidad incrementada, a aquella tal que agrega 1 módulo del mismo tipo cuyo tiempo de espera en fila determinó la capacidad de la configuración anterior. Es decir, si por ejemplo en el paso 2, la capacidad se determinó porque el tiempo de espera en fila de un módulo del tipo kiosco estuvo a punto de ser excedido, entonces, la configuración con capacidad incrementada se

obtiene a partir de la configuración anterior, pero incorporando un módulo adicional tipo kiosco.

4. Se repiten los pasos 2 y 3 hasta que se identifique aquella configuración que alcance la máxima capacidad que interesa conocer.

El proceso recién descrito permite obtener la secuencia de crecimiento de la configuración que garantiza una utilización eficiente de cada módulo que se agregue. A esta secuencia de crecimiento se le llama **"Trayectoria óptima para incremento de capacidad".** Esta secuencia de crecimiento permite recorrer el espacio de configuraciones eligiendo siempre aquella trayectoria que maximiza el uso de los módulos que se agregan.

En el caso del escenario 1, en que existen solamente dos tipos de módulos la trayectoria óptima de crecimiento se puede representar gráficamente, como lo ilustra el gráfico 3, el cual muestra precisamente la secuencia de crecimiento e indica en cada celda la capacidad correspondiente, medida en pasajeros por hora. Estos valores constituyen un adelanto de los resultados que se presentan en la siguiente sección.

Gráfico 3: Trayectoria óptima para incremento de capacidad

Trayectoria óptima para incremento de capacidad (pasajeros por hora)

Escenario 1 (Counters manuales y counters preferenciales)

N° de Counters Preferenciales	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
10																						
9																						
8																						
7																						
6																						
5																						
4																	398	421	443	469	481	513
3											259	279	301	326	350	371	387					
2					117	141	163	186	209	233	245											
1	23	46	70	94	110																	

N° de Counters Manuales

**Fuente: Elaboración propia*

Para los escenarios 2, 3 y 4 también existe una trayectoria óptima de incremento de capacidad, tan solo que no se puede representar gráficamente como se hizo con el escenario 1, ya que estos escenarios consideran más de 2 tipos de módulos.

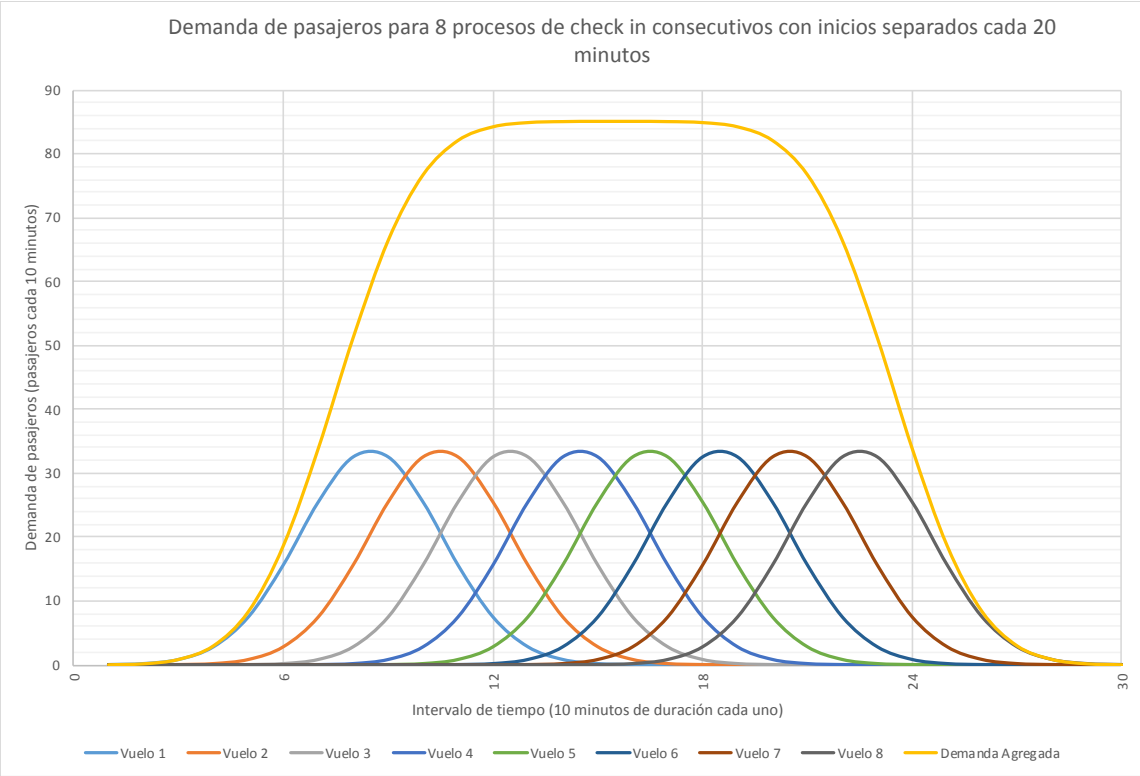
3.4 Identificación del límite superior de demanda a simular.

El límite superior de la demanda hasta la cual se desarrollan las simulaciones, se determina a partir de los siguientes supuestos, basados en información empírica:

1. La capacidad típica de un avión para vuelos de tipo domésticos es de 170 personas. Con el propósito de estimar capacidades bajo condiciones de máxima demanda, se supondrá también que los vuelos van a máxima capacidad.
2. Para un aeropuerto de tamaño mediano, normalmente orientado a vuelos domésticos, una aerolínea programa hasta 3 vuelos por hora, de manera que supondremos que los vuelos, y por tanto los procesos de check in asociados, se inician con una separación que en el caso de mayor demanda es de 20 minutos.
3. El proceso de check in presencial tiene normalmente una duración de 140 minutos que se extienden desde 180 minutos hasta 40 minutos antes del vuelo.
4. Se considera que el porcentaje de pasajeros que se presenta para hacer el check in, se distribuye dentro de la ventana de 140 minutos, durante la cual se extiende dicho proceso, siguiendo una distribución normal. Esta distribución normal queda definida por su valor medio, equivalente al punto central de la ventana del proceso de check in y por una desviación estándar σ tal que 7σ es igual al ancho de la ventana del proceso, es decir 7σ es igual a 140 minutos, y por tanto σ es igual a 20 minutos, coincidiendo con la separación entre los inicios de los procesos de check in para el caso de vuelos distanciados 20 minutos entre sí. Además, al definir que 140 minutos corresponden a 7σ se tiene la certeza de que el 99,95% de los pasajeros queda comprendido dentro de dicha ventana de tiempo.

Si se superponen los conjuntos de pasajeros presentados para cada uno de los procesos de check in, bajo los supuestos antes descritos, se concluye que la demanda agregada por el uso de los módulos, alcanza un valor de 510 pasajeros por hora. Lo anterior se ilustra en el gráfico 4, el cual muestra la demanda agregada medida en pasajeros por cada intervalo de 10 minutos. En consecuencia, el valor de 510 pasajeros por hora se obtiene al multiplicar por 6 el valor de 85 pasajeros por cada 10 minutos.

Gráfico 4: Demanda de pasajeros para 8 procesos de check in consecutivos con inicios separados cada 20 minutos.



**Fuente: Elaboración propia*

Si en lugar de considerar aviones con capacidad de 170 pasajeros, se hubiesen considerado aviones con capacidad de 200, la máxima demanda obtenida hubiese sido de **600 pasajeros por hora**. En consecuencia, y con la finalidad de que el límite superior para el proceso de simulación contemple también ese eventual escenario se definirá a este último valor como el límite superior a usar en el proceso de simulación.

3.5 Resultados

Las secciones que siguen explican las tablas que contienen los resultados de cada una de las simulaciones realizadas para los diferentes escenarios de interés. Además de la capacidad que permite cada configuración de módulos, medida en pasajeros por hora, los resultados de las simulación también permiten entregar valores respecto del **tiempo en sistema** por

tipo de pasajero, es decir, el tiempo total requerido por el pasajero para el proceso de check in, incluyendo todo el tiempo que estuvo en filas y en módulos.

3.5.1 Resultados Escenario 1

Los resultados del escenario 1 se presentan en la tabla del Anexo E.2. Ahí se muestra la capacidad, medida en pasajeros por hora, para cada una de las configuraciones analizadas, constituidas por combinaciones de módulos de counter manuales y preferenciales. Notar que las configuraciones de módulos se eligen siguiendo la trayectoria óptima para incremento de capacidad. También, la tabla de resultados indica valores de tiempos en sistema (mínimo, medio y máximo) que presenta cada tipo de pasajero que existe en este escenario, para cada una de las combinaciones de módulos analizadas. En este caso se identifican sólo dos tipos de pasajeros:

1. Pasajero normal, que utiliza los counters manuales.
2. Pasajero preferencial o con necesidades especiales, que usa los módulos preferenciales y en algunas circunstancias los módulos manuales normales (caso descrito en los supuestos de este escenario).

Los resultados de la tabla se pueden visualizar también de forma gráfica, como se observa en el Anexo E.3. En ésta, la trayectoria óptima para incremento de capacidad se aprecia en forma mucho más clara.

Las barras del gráfico representan la capacidad de pasajeros procesados por hora para la configuración de módulos respectiva.

Las líneas de color azul y naranjo indican el promedio de tiempo en sistema por tipo de pasajero, en minutos, para la configuración de módulos correspondiente.

3.5.2 Resultados Escenario 2

Los resultados del escenario 2 se presentan en el Anexo F.2. La tabla muestra la capacidad, en pasajeros por hora, para cada una de las configuraciones analizadas, constituidas por combinaciones de módulos de counter manuales, preferenciales y de bagdrop express. Es importante notar que hay dos tipos de capacidad: total y efectiva. La diferencia de estas dos es que la capacidad total incluye a todos los pasajeros procesados, mientras que la capacidad efectiva excluye a los pasajeros que hacen el check-in online y no llevan equipaje, ya que estos últimos permanecen 0 segundos en el sistema porque pueden pasar directo a la siguiente fase del embarque. La capacidad efectiva, en consecuencia, refleja directamente la capacidad de la configuración de módulos bajo análisis.

También, la tabla de resultados indica valores de tiempos en sistema (mínimo, medio y máximo) que presenta cada tipo de pasajero que existe en este escenario, para cada combinación de módulos medida. En este caso se identifican los siguientes tipos de pasajeros:

1. Normal sin check in online, que usa los counters manuales.
2. Pasajero preferencial o con necesidades especiales sin registro online, que usa los módulos preferenciales y en algunas circunstancias los módulos manuales normales (caso descrito en los supuestos de este escenario).
3. Pasajero preferencial o con necesidades especiales con registro online, que utilizan los módulos preferenciales y en algunas circunstancias los módulos manuales normales (caso descrito en los supuestos de este escenario). Notar que si el pasajero preferencial hizo el registro online, tiene un tiempo menor de atención en el módulo que le corresponde en relación a los que no hacen registro online.
4. Normal con check-in online y equipaje, que usa el módulo de bagdrop express
5. Pasajero con registro online y sin equipaje a facturar, que permanece 0 segundos en el sistema.

Los resultados de la tabla se pueden visualizar también de forma gráfica, como se observa en el Anexo F.3. En ésta, la trayectoria óptima para incremento de capacidad se visualiza más claramente.

En el gráfico de resultados del escenario 2 las barras representan la capacidad total y efectiva de pasajeros procesados por hora para la configuración de módulos correspondiente. Las barra azules representa la capacidad total y las naranjas la capacidad efectiva.

Las líneas muestran los promedios de tiempo en sistema por tipo de pasajero, en minutos, para la configuración de módulos respectiva.

3.5.3 Resultados Escenario 3

Los resultados del escenario 3 se presentan en la tabla del Anexo G.2. La tabla muestra la capacidad, en pasajeros por hora, para cada una de las configuraciones analizadas, constituidas por combinaciones de módulos de counter manuales, preferenciales, kioscos y módulos de bagdrop express. Es importante notar que hay dos tipos de capacidad: total y efectiva. La diferencia de estas dos es que la capacidad total incluye a todos los pasajeros procesados, mientras que la capacidad efectiva excluye a los pasajeros que hacen el check-in online y no llevan equipaje, ya que estos últimos permanecen 0 segundos en el sistema porque pueden pasar directo a la siguiente fase del embarque. La capacidad efectiva, en consecuencia, refleja directamente la capacidad de la configuración de módulos bajo análisis.

También, la tabla de resultados indica valores de tiempos en sistema (mínimo, medio y máximo) que presenta cada tipo de pasajero que existe en este escenario, para cada combinación de módulos medida. En este caso se identifican los siguientes tipos de pasajeros:

1. Normal sin check in online, que usa los counters manuales.

2. Pasajero preferencial o con necesidades especiales sin registro online, que usa los módulos preferenciales y en algunas circunstancias los módulos manuales normales (caso descrito en los supuestos de este escenario).
3. Pasajero preferencial o con necesidades especiales con registro online, que utilizan los módulos preferenciales y en algunas circunstancias los módulos manuales normales (caso descrito en los supuestos de este escenario). Notar que si el pasajero preferencial hizo el registro online, tiene un tiempo menor de atención en el módulo que le corresponde en relación a los que no hacen registro online.
4. Normal con check-in online y equipaje, que utiliza primero un kiosco y luego usa un módulo de bagdrop express.
5. Pasajero con registro online y sin equipaje a facturar, que permanece 0 segundos en el sistema.

Los resultados de la tabla se pueden visualizar también de forma gráfica, como se observa en el anexo G.3. En ésta, la trayectoria óptima para incremento de capacidad se aprecia claramente.

En el gráfico, las barras representan la capacidad total y efectiva de pasajeros procesados por hora para la configuración de módulos correspondiente. Las barras azules representan la capacidad total y las naranjas la capacidad efectiva.

El de líneas muestra en cambio los promedios de tiempo en sistema por tipo de pasajero en minutos, según la configuración de módulos presente.

3.5.4 Resultados Escenario 4

Los resultados del escenario 4 se presentan en la tabla del Anexo H.2. La tabla muestra la capacidad, en pasajeros por hora, para cada una de las configuraciones analizadas, constituidas por combinaciones de módulos de counter manuales, preferenciales, kioscos y módulos de self bagdrop. Es importante notar que hay dos tipos de capacidad: total y efectiva. La diferencia de estas dos es que la capacidad total incluye a todos los pasajeros

procesados, mientras que la capacidad efectiva excluye a los pasajeros que hacen el check-in online y no llevan equipaje, ya que estos últimos permanecen 0 segundos en el sistema porque pueden pasar directo a la siguiente fase del embarque. La capacidad efectiva, en consecuencia, refleja directamente la capacidad de la configuración de módulos bajo análisis.

También, la tabla de resultados indica valores de tiempos en sistema (mínimo, medio y máximo) que presenta cada tipo de pasajero que existe en este escenario, para cada combinación de módulos medida. En este caso se identifican los siguientes tipos de pasajeros:

1. Normal sin check in online, que usa los counters manuales.
2. Pasajero preferencial o con necesidades especiales sin registro online, que usa los módulos preferenciales y en algunas circunstancias los módulos manuales normales (caso descrito en los supuestos de este escenario).
3. Pasajero preferencial o con necesidades especiales con registro online, que utilizan los módulos preferenciales y en algunas circunstancias los módulos manuales normales (caso descrito en los supuestos de este escenario). Notar que si el pasajero preferencial hizo el registro online, tiene un tiempo menor de atención en el módulo que le corresponde en relación a los que no hacen registro online.
4. Normal con check-in online y equipaje, que utiliza primero un kiosco y luego usa un módulo de self bagdrop.
5. Pasajero con registro online y sin equipaje a facturar, que permanece 0 segundos en el sistema.

Los resultados de la tabla se pueden visualizar también de forma gráfica, como se observa en el Anexo H.3. En ésta, la trayectoria óptima para incremento de capacidad se aprecia de forma clara.

En el gráfico de resultados las barras representan la capacidad total y capacidad efectiva de pasajeros procesados por hora para la configuración de módulos respectiva. Las azules representan la capacidad total y las naranjas la capacidad efectiva.

El gráfico de líneas muestra en cambio los promedios de tiempo en sistema por tipo de pasajero en minutos, para la configuración correspondiente.

3.6 Modelo de ajuste para la trayectoria óptima de incremento de capacidad.

El propósito de esta sección es la identificación de un modelo de ajuste matemático que relacione, para cada escenario, el número de módulos requeridos en función de la capacidad deseada, medida en pasajeros por hora. Es claro que los resultados presentados en las tablas con las trayectorias óptimas para incremento de capacidad otorgan una mayor exactitud, y proporcionan además información complementaria de valor, como por ejemplo los tiempos en sistema por tipo de pasajero. El modelo de ajuste que se presenta en esta sección constituye, en ese sentido, una aproximación a la información contenida en las tablas.

3.6.1 Modelo de ajuste matemático

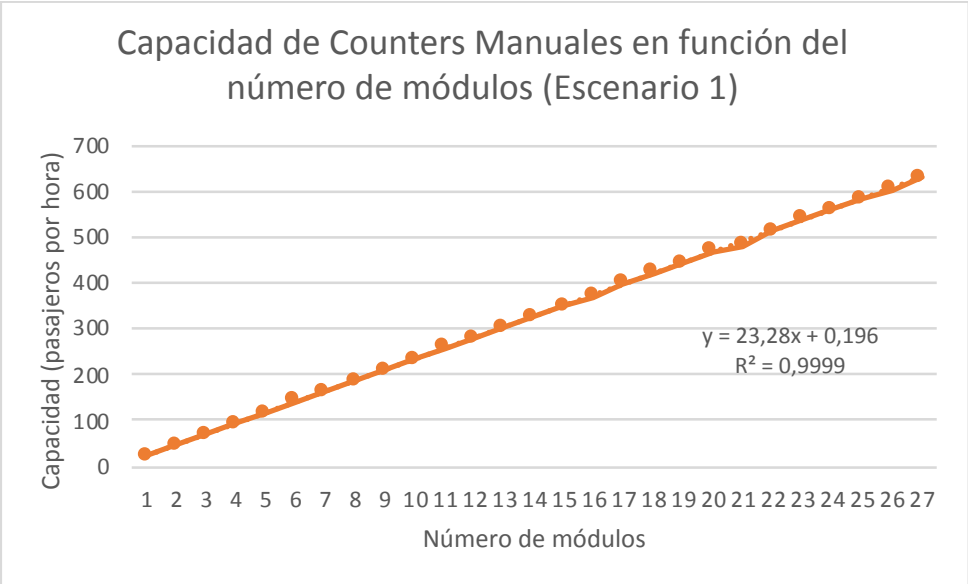
Para encontrar el modelo de ajuste matemático, se procede como sigue:

- Por cada escenario y para cada tipo de módulo se construye un gráfico que relacione el número de módulos requerido para satisfacer una determinada capacidad, medida en pasajeros por hora. Al realizar esta construcción se trabaja bajo el supuesto que se dispone de todos los módulos de tipos diferentes requeridos por la configuración para realizar el proceso de pasajeros, y que por lo tanto la limitación en capacidad de proceso está dada única y exclusivamente por el tipo de módulo bajo análisis.
- Se determina la expresión matemática de la línea de ajuste correspondiente, que relaciona capacidad en función del número de módulos.

- Dado que finalmente es de interés identificar la relación de número de módulos como una función de la capacidad se requiere invertir la expresión matemática obtenida en el punto anterior.

Para ilustrar este proceso se considera el caso de los counters manuales en el escenario 1. El gráfico 5 muestra siguiendo la descripción antes indicada, la relación entre capacidad y número de módulos.

Gráfico 5: Capacidad de Counters Manuales en función del número de módulos



Se observa del gráfico que existe una correlación altísima entre las dos variables, lo cual queda en evidencia no sólo a partir de la observación visual sino que especialmente en el valor del coeficiente R^2 , que en este caso alcanza a 0,9999. Para esta situación la relación entre las dos variables queda dada por la expresión:

$$C = 23{,}28\ N + 0{,}196$$

en que C representa la capacidad, medida en pasajeros por hora y N representa el número de módulos.

Para hallar la expresión que relacione N como una función de C, se requiere invertir la expresión anterior, obteniéndose:

$$N = [\ 0{,}042955326\ C - 0{,}008419244\ ] + 1$$

Notar que en este caso es necesario incorporar la función “parte entera de”, ya que la variable N solo puede tomar valores enteros y además se suma 1 al resultado para acercar el valor de N al entero superior.

Procediendo de la misma manera para cada tipo de escenario y para cada tipo de módulo se obtienen las expresiones que se indican en la tabla 7. Es importante señalar que en todos los casos el ajuste lineal resulta ser muy representativo ya que en la mayoría de los casos el coeficiente R^2 toma valores comprendidos entre 0,99 y 1. El caso con menor valor para este parámetro se da para los módulos de self bagdrop en el escenario 4, en que R^2 toma el valor de 0,974, que es igualmente aceptable.

Tabla 7: Tabla de fórmulas para calcular módulos según capacidad

Tipo de escenario	Tipo de Módulo	Número de módulos N en Funcion de la capacidad C (pasajeros por hora)
Escenario 1	Counters Manuales Normales	N = [0,042955326 C - 0,008419244] + 1
	Counters preferenciales	N = [0,007572316 C + 0,125420264] + 1
Escenario 2	Bagdrop Express	N = [0,010440811 C + 0,098799307] + 1
	Counters Normales Manuales	N = [0,009020386 C + 0,120873173] + 1
	Counters Preferenciales	N = [0,00442615 C + 0,145093613] + 1
Escenario 3	Kioscos	N = [0,01820532 C + 0,28715206] + 1
	Counters Normales Manuales	N = [0,008987956 C + 0,147860866] + 1
	Bagdrop Express	N = [0,007570023 C + 0,006789553] + 1
	Counters preferenciales	N = [0,004427325 C + 0,161486696] + 1
Escenario 4	Kioscos	N = [0,018001476 C + 0,308365286] + 1
	Counters Normales Manuales	N = [0,0088644 C + 0,157423987] + 1
	Self Bagdrop	N = [0,007526153 C - 0,200120418] + 1
	Counters Preferenciales	N = [0,00431146 C + 0,201319307] + 1

Nota: [x] representa la función parte entera de x

La tabla 7 permite, usando los modelos que ahí se describen, estimar de manera rápida y simple la cantidad de módulos requeridos para cada uno de los escenarios.

3.6.2 Representación gráfica del modelo de ajuste.

La representación gráfica de los modelos de ajuste matemático presentados en la sección 3.6.1 es una herramienta aún más simple para identificar la configuración necesaria para

satisfacer una determinada demanda de pasajeros, para cada uno de los escenarios considerados.

Los gráficos que se incluyen en los Anexos I.1, I.2, I.3 e I.4 son el resultado de este ejercicio.

3.7 Aplicación a Aeropuerto de Concepción

3.7.1 Estimación de la demanda máxima

Para estimar la demanda máxima se analizó el itinerario del aeropuerto de Concepción, entre los días 14 de noviembre y 21 de noviembre del año 2019, notando que el día martes 19 de noviembre presenta la mayor concentración. Este itinerario, para el día martes 19 de noviembre, se muestra en la tabla 8, en la cual destacan los vuelos de Latam en el rango de mayor concentración.

Suponiendo que éste itinerario se repite cada semana, que además cada avión va lleno, se puede usar la demanda máxima estimada para el día 19 de noviembre como un indicador de la máxima demanda en dicho aeropuerto para la aerolínea con mayor flujo en el proceso de check in.

Tabla 8: Itinerario Aeropuerto de Concepción 19 de Noviembre del 2019

Destino	Aerolínea	Vuelo	nov-19
Santiago	Sky Airline	H2162	08:15
Santiago	LATAM Chile	LA218	09:21
Santiago	LATAM Chile	LA200	10:01
Santiago	LATAM Chile	LA202	10:53
Santiago	LATAM Chile	LA10	11:33
Santiago	LATAM Chile	LA210	13:53
Santiago	Sky Airline	H2164	15:45
Santiago	LATAM Chile	LA6	17:12
Punta Arenas	LATAM Chile	LA9	18:08
Antofagasta	JetSMART	JA236	18:42
Iquique	LATAM Chile	LA1264	19:19
Santiago	Sky Airline	H2166	20:15
Santiago	LATAM Chile	LA208	20:38
Antofagasta	LATAM Chile	LA4	20:52
Santiago	LATAM Chile	LA12	21:48
Santiago	JetSMART	JA106	22:15
Santiago	LATAM Chile	LA212	22:28
Santiago	Sky Airline	H2168	22:55
Santiago	JetSMART	JA104	23:15
Santiago	LATAM Chile	LA204	23:30

Fuente: www.flightradar24.com/data/airports/

Usando la información de la tabla 8 se aproxima la agregación de los distintos procesos de check in en el rango de mayor concentración como sigue:

t = 0 minutos : Inicio proceso de check-in para vuelo 1

t = 20 minutos: Inicio proceso de check-in para vuelo 2

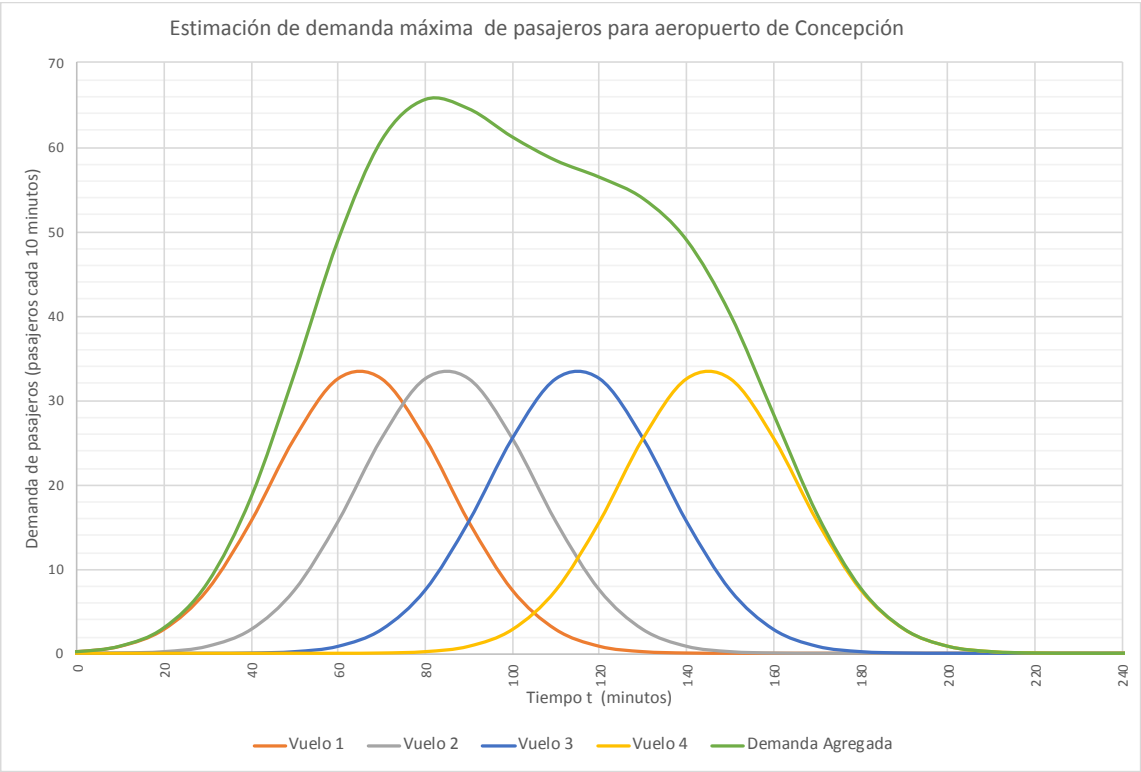
t = 50 minutos: Inicio de proceso de check-in para vuelo 3

t = 80 minutos: Inicio de proceso de check-in para vuelo 4

Notar que la variable t no representa el horario real, sólo representa un tiempo relativo que se usa para estimar la demanda agregada para el proceso de check in.

Siguiendo un proceso similar al descrito en la sección 3.4, en que se identificó el límite superior de la demanda a simular, se procede en el caso del aeropuerto de Concepción, obteniendo el resultado que se muestra en el gráfico 6.

Gráfico 6: Estimación de demanda de pasajeros para aeropuerto de Concepción



A partir de este resultado se calcula que la máxima demanda agregada durante un período de 60 minutos consecutivos es de 367 pasajeros por hora.

3.7.2 Configuraciones para satisfacer la demanda máxima

Para satisfacer la máxima demanda del aeropuerto de Concepción según los distintos escenarios se presentan las opciones de la tabla 9.

Tabla 9: Opciones de escenarios para satisfacer demanda de aeropuerto de Concepción

Tipo de Escenario	Configuración de módulos requerida	Capacidad Total (pasajeros por hora)	Tiempo en sistema (minutos)		
			Tipo de pasajero	Prom.	Max.
Escenario 1	16 Counters Manuales Normales 3 Counters preferenciales	371	Pasajero Normal: Pasajero Preferencial:	8.5 3.9	23.1 12.1
Escenario 2	4 Bagdrop Express 4 Counters Normales Manuales 2 Counters Preferenciales	377	Pasajero Normal sin Online: Pasajero Preferencial con Online: Pasajero Preferencial sin Online: Pasajeron Online con Equipaje: Pasajero Online sin Equipaje:	5.3 1.7 3.2 2.9 0.0	18.6 7.4 7.8 11.8 0.0
Escenario 3	7 Kioscos 4 Counters Normales Manuales 3 Bagdrop Express 2 Counter preferenciales	367	Pasajero Normal sin Online: Pasajero Preferencial con Online: Pasajero Preferencial sin Online: Pasajeron Online con Equipaje: Pasajero Online sin Equipaje:	4.7 1.7 3.2 3.7 0.0	15.1 7.0 7.5 11.7 0.0
Escenario 4	7 Kioscos 4 Counters Normales Manuales 3 Self Bagdrop 2 Counters Preferenciales	376	Pasajero Normal sin Online: Pasajero Preferencial con Online: Pasajero Preferencial sin Online: Pasajeron Online con Equipaje: Pasajero Online sin Equipaje:	5.0 1.7 3.2 3.4 0.0	15.2 7.1 7.9 11.0 0.0

La tabla 9 se construye usando la demanda de 367 pasajeros por hora, establecida en la sección 3.7.1. Con esa demanda y las tablas con los resultados de las trayectorias óptimas para incremento de capacidad se obtiene, para cada escenario, la configuración requerida para satisfacer esa demanda máxima. Así, por ejemplo, para el escenario 1 (ver Anexo E.2) la configuración que permite satisfacer la demanda del aeropuerto de Concepción sería la que entrega una capacidad de hasta 371 pasajeros por hora, conformada por 16 Counters Manuales Normales y 3 Counters Preferenciales. De la misma forma se procede para el escenario 2 (ver Anexo F.2), para el escenario 3 (ver Anexo G.2) y para el escenario 4 (ver Anexo H.2).

Se puede notar que si en lugar de usar las tablas con los resultados de trayectoria óptima para incremento de capacidad, se usa la información contenida en la representación gráfica de las trayectorias óptimas para incremento de capacidad, descritas en los anexos I.1, I.2, I.3 e I.4, para los escenarios 1, 2, 3 y 4, respectivamente, se obtienen los mismos resultados. La única diferencia es que a través de las tablas es posible conocer, además los tiempos de permanencia en sistema.

Si bien los 4 escenarios presentados en la tabla permiten satisfacer la demanda requerida, sin exceder los tiempos de espera en fila, se destaca que en casi todos ellos los tiempos

promedio en sistema por tipo de pasajero son muy similares, excepto en el escenario 1, en que el pasajero de tipo normal, que se asemeja al pasajero de tipo normal sin registro online de los escenarios 2, 3 y 4, presenta un tiempo en sistema promedio notoriamente mayor, de casi un 70% más.

Sin embargo, el proceso de toma de decisión para elegir el escenario más adecuado debe considerar, además de los tiempos de permanencia en sistema, otros criterios, entre los cuales destacan:

- Cantidad de módulos. El escenario 2 es el que requiere menos módulos: 10 módulos versus el resto que requieren 16 o más.
- Costos de inversión y operación.
- Espacio disponible.

Entonces, el escenario a seleccionar debiera resultar de un análisis que considere una evaluación ponderada de cada escenario, incorporando los criterios anteriores.

CAPITULO IV: Conclusiones

El aporte principal de este trabajo es una metodología general para, dada una capacidad, medida en pasajeros por hora, identificar la configuración de módulos para atención en el proceso de check in, necesaria para lograr dicha capacidad de una forma eficiente en el uso de la infraestructura involucrada. Si bien se trata de una metodología general el cálculo de los resultados presentados exigió el realizar supuestos respecto de algunos parámetros, como por ejemplo los estándares de tiempo de espera en fila aceptables, tiempo de atención en módulos y tipos de escenarios. Si fuese de interés conocer los resultados asociados a un conjunto diferente de valores de éstos parámetros o a un conjunto diferente de escenarios, sería necesario aplicar la metodología general aquí desarrollada a ese nuevo conjunto de condiciones. En particular, los resultados que se presentan en este trabajo están asociados a los siguientes supuestos básicos:

- Tiempos de espera en fila: Definidos por los estándares en uso dentro de la industria nacional.
- Escenarios: Se consideran 4 escenarios caracterizados como sigue:

  Escenario 1: Incluye módulos del tipo counters manuales normales y counters preferenciales.

  Escenario 2: Contiene check in online a través de sitio web o aplicación, módulos del tipo counters manuales normales, counters preferenciales y counters de bagdrop express.

  Escenario 3: Considera check in online, módulos del tipo kioscos, counters manuales normales, counters preferenciales y counters de bagdrop express.

  Escenario 4: Incluye check in online, módulos del tipo kioscos, counters manuales, counters preferenciales y módulos de self bagdrop.

Otro posible conjunto de estándares de tiempos de espera en fila es el definido por Iata, descrito en el marco teórico en la sección 2.5.1. Los estándares ahí definidos son más exigentes que los que utiliza la industria doméstica, de manera que de los resultados que se

obtendrían usando los estándares Iata en lugar de la industria nacional se caracterizarían por necesitar un número mayor de módulos.

Tanto el objetivo general como los objetivos específicos definidos para este trabajo se cumplen en su totalidad. En particular, mediante técnicas de simulación estocástica de procesos, se ha establecido una relación entre la capacidad deseada, medida en pasajeros por hora, y la cantidad de módulos necesaria para lograr dicha capacidad en cada uno de los escenarios. Estos resultados están contenidos en los anexos, E.2, F.2, G.2 y H.2, para los escenarios 1, 2, 3 y 4, respectivamente.

Adicionalmente, ha sido posible ajustar a modelos matemáticos que simplifican los resultados antes mencionados. Estos modelos representan una buena aproximación a las tablas de datos con los resultados de las simulaciones y si bien no contienen la totalidad de la información, pues excluyen los tiempos de permanencia en sistema por tipo de pasajero, permiten estimar el número de módulos requeridos, en cada uno de sus tipos y para cada escenario con un nivel de exactitud muy cercano al de las tablas.

Específicamente, en la sección 3.6.1 se describen los modelos de ajuste matemático que representan la relación entre el número de módulos de cada tipo requerido para una capacidad dada, en cada uno de los escenarios. Dichos modelos de ajustes se caracterizan por un muy buen nivel de representatividad, como los respectivos valores del parámetro de ajuste R^2 lo acreditan, todos ellos de valores muy cercanos a 1.

Adicionalmente, en la sección 3.6.2 se hace una representación gráfica de la sección 3.6.1, cuyo detalle está contenido en los anexos I.1, I.2, I.3 e I.4, para los escenarios 1, 2, 3 y 4, respectivamente. El uso de éstos gráficos permite estimar la configuración requerida para una capacidad dada, muy simple y rápidamente.

Es importante también señalar que el presente trabajo se enfoca en la definición de las configuraciones de módulos necesarias para satisfacer, en forma eficiente, con un criterio de capacidad, sujeto a la condición de que se respeten ciertos estándares de tiempos de

espera en fila. Sin embargo, un proceso de decisión que busque, dada una capacidad objetivo, definir una configuración para el manejo del proceso de check in debiera considerar, además de los tiempos de espera en fila y tiempos de permanencia en sistema, también otros criterios relevantes. Entre estos se tiene:

- Cantidad de módulos.
- Costos de inversión y operación.
- Espacio disponible.

El escenario a preferir debiera ser el resultado de una evaluación que pondere, según su importancia relativa, todos los criterios anteriores.

Los resultados obtenidos confirman las ventajas de automatizar el proceso de check in. Un mayor nivel de automatización no sólo reduce la cantidad de módulos a utilizar sino que también disminuir el soporte humano necesario, los requerimientos de espacio y posiblemente también los costos operacionales. Para ilustrar esta afirmación, se puede mencionar los resultados desarrollados en la sección 3.7.2, para el caso del aeropuerto de Concepción, en el cual es posible concluir que los escenarios con automatización reducen la cantidad de módulos, la dependencia de personal asistente y los requerimientos de espacio:

- Escenario 1 (sin automatización): requiere 19 módulos, cada cual con sus respectivos asistentes comerciales.
- Escenario 2 (con check in online y bagdrop express): 10 módulos, cada uno con su respectivo asistente comercial
- Escenario 3 (con check in online, bagdrop express y kioscos): 16 módulos, de los cuales 9 requieren asistente comercial permanente. Adicionalmente, de los 16 módulos, 7 de estos corresponden a módulos de tipo kiosco, cuyos requerimientos de espacio son menores.
- Escenario 4 (con check in online, self bagdrop y kioscos): También requiere 16 módulos, pero solo 6 de ellos requieren asistente comercial permanente.

Por último, de los resultados del trabajo se puede concluir también que en medida que se agrega automatización a los escenarios se logra un significativo aumento, no sólo de la

capacidad del proceso, sino que también de la productividad de los agentes comerciales. Esto se ve reflejado cuantitativamente en el siguiente ejercicio, basado en el ejemplo de aplicación para el aeropuerto de Concepción:

Se toma como punto de partida el escenario 1, que requiere 19 módulos, cada uno de ellos con asistencia comercial, necesarios para lograr una capacidad de 371 pasajeros por hora. El objetivo del ejercicio es determinar cuánto se incrementa la capacidad del proceso y la productividad de los agentes comerciales, al mantener 19 módulos que ocupen el mismo espacio que los utilizados en el escenario 1, pero introduciendo automatización. Se considera también que no hay restricción en cuanto a la cantidad de kioscos a instalar, dado que estos ocupan menos espacio y tienen mas libertad para ser ubicados en un aeropuerto. Se utiliza el modelo de ajuste matemático para la trayectoria óptima de incremento de capacidad para los escenarios 2, 3 y 4, obteniéndose los siguientes resultados:

- Escenario 1: capacidad de 371, dada por 16 counters manuales normales y 3 counters preferenciales. Requiere de 19 agentes agentes comerciales por hora, con una productividad promedio por agente de 19,52 pasajeros procesados por hora.
- Escenario 2: capacidad de 756 pasajeros por hora y considera 7 counters manuales normales, 8 counters de bagdrop express y 4 counters preferenciales. Requiere de 19 agentes comerciales por hora, cada uno con una productividad promedio de 39,78 pasajeros procesados por hora.
- Escenario 3: capacidad entre 808 y 867 pasajeros por hora y considera 8 counters manuales normales, 7 counters de bagdrop express y 4 counters preferenciales. La capacidad es de 808 pasajeros con 15 kioscos y de 867 con 17 kioscos. Requiere de 19 agentes comerciales por hora, cada uno con una productividad promedio de entre 42,52 y 45,63 pasajeros procesados por hora, variando ésta según la cantidad de kioscos.
- Escenario 4: capacidad entre 872 y 882 pasajeros por hora, e incluye 8 counters manuales normales, 7 módulos de self bagdrop y 4 counters preferenciales. La capacidad es 872 pasajeros con 16 kioscos y 882 con 18 kioscos. Requiere de 12 agentes comerciales por hora, cada uno con una productividad promedio de entre 72,66 y 73,5 pasajeros procesados por hora, variando ésta según la cantidad de kioscos.

Los resultados antes descritos se resumen en la tabla 10.

Tabla 10: Incremento en capacidad y productividad en función del nivel de automatización (ejemplo para Aeropuerto de Concepción)

Tipo de Escenario	Configuración de módulos requerida	Capacidad Total (pasajeros por hora)	Productividad por Agente (pasajeros por hora)
Escenario 1	16 Counters Manuales Normales 3 Counters preferenciales	371	19,52
Escenario 2	8 Bagdrop Express 7 Counters Normales Manuales 4 Counters Preferenciales	756	39,78
Escenario 3	15-17 Kioscos 8 Counters Normales Manuales 7 Bagdrop Express 4 Counter preferenciales	808-867	42,52-45,63
Escenario 4	16-18 Kioscos 8 Counters Normales Manuales 7 Self Bagdrop 4 Counters Preferenciales	872-882	72,66-73,5

Bibliografía y fuentes de información.

- IATA, Airport Development Reference Manual, Level of Service Concept and Planning Guidelines, Ed. 11, 2019 https://www.iata.org/services/consulting/airport-pax-security/Pages/level-of-service.aspx
- IATA, Passenger Experience , Página 2 https://www.iata.org/about/sp/Documents/passenger-experience.pdf
- José Pedro García Sabater, Aplicando Colas en Dirección de Operaciones, Curso 2015/2016 http://personales.upv.es/jpgarcia/linkeddocuments/teoriadecolasdoc.pdf
- Antonio Rustom J., Estadística descriptiva, probabilidad e inferencia, Una visión conceptual y aplicada, 2012 http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/120284/Rustom_Antonio_Estadistica_descriptiva.pdf?sequence=1
- Indira Arroyo , Luis C. Bravo M., Doctor Humberto Llinás, Msc. Fabián L. Muñoz, Distribuciones Poisson y Gamma: Una Discreta y Continua Relación, 2014 http://www.scielo.org.co/pdf/prosp/v12n1/v12n1a12.pdf
- Leonard Kazmier, Alfredo Díaz Mata, Estadística, Aplicada a la administración y a la Economía, Segunda Edición, 1993
- Epidat 4: Ayuda de Distribuciones de probabilidad. Octubre 2014 https://www.sergas.es/Saude-publica/Documents/1899/Ayuda_Epidat_4_Distribuciones_de_probabilidad_Octubre2014.pdf

Webgrafía

- SITA, Air transport insight 2018, Fecha de acceso: 13 de Noviembre de 2019 https://www.sita.aero/resources/type/surveys-reports/air-transport-it-insights-2018
- Nuevo Pudahuel, El proyecto, Introducción, Fecha de acceso: 19 de Noviembre de 2019 https://www.nuevopudahuel.cl/TerminalInternacional/el-proyecto

- Junta Aeronáutica Civil, Estadísticas Históricas, Consolidado año 2018, Total por pares de ciudades http://www.jac.gob.cl/estadisticas/estadisticas-historicas/

- Noticia de Aerolatinnews, LATAM y autoentrega de equipaje, Fecha de acceso: 12 de Noviembre de 2019 https://aerolatinnews.com/destacado/latam-airlines-implementara-sistema-de-auto-entrega-de-equipaje-en-aeropuerto-de-puerto-montt-y-espera-que-en-2020-ya-este-en-pudahuel/
- Noticia de Aerolatinnnews, Latam implementa el despacho automático de equipaje en Quito, Fecha de acceso: 12 de Noviembre de 2019 https://aerolatinnews.com/aerolineas/latam-implementa-el-despacho-automatico-de-equipaje-en-aeropuerto-de-quito/
- Noticia de Aerolatinnews, Fecha de acceso: 11 de Noviembre 2019 https://aerolatinnews.com/aviation-industry/your-fingerprints-could-replace-your-airline-boarding-pass/
- NewAtlas, Delta airlines implementa embarque con huella dactilar, Fecha de acceso: 12 de Noviembre 2019 https://newatlas.com/delta-airport-boarding-fingerprint/50588/
- Itinerario de vuelos de aeropuertos, Fecha de acceso: 13 de Noviembre de 2019 https://www.flightradar24.com/data/airports/

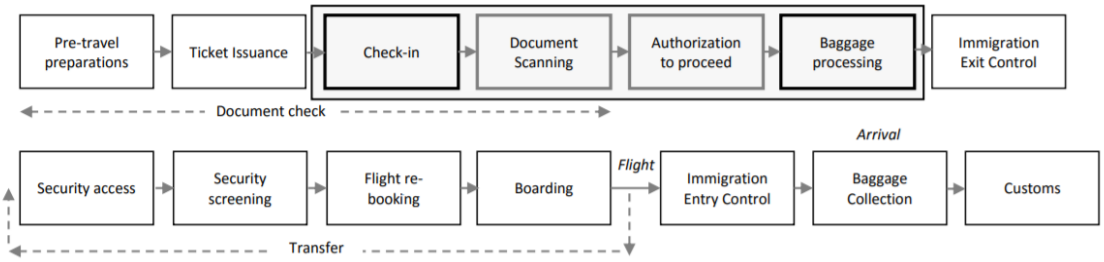
Anexos

Anexo A: Level of Service Guidelines

LoS Guidelines		SPACE GUIDELINES [sqm/PAX]			MAXIMUM WAITING TIME GUIDELINES Economy Class [minutes]		
LoS Parameter:		Over-Design	Optimum	Sub-Optimum	Over-Design	Optimum	Sub-Optimum
Public Departure Hall		> 2.3	2.0 - 2.3	< 2.0	n/a		
Check-In	Self-Service Kiosk (Boarding Pass / Bag Tagging)	> 1.8	1.3 - 1.8	< 1.3	< 1	1 - 2	> 2
	Bag Drop Desk (queue width 1.4 - 1.6m)	> 1.8	1.3 - 1.8	< 1.3	< 1	1 - 5	> 5
	Check-in Desk (queue width: 1.4 - 1.6m)	> 1.8	1.3 - 1.8	< 1.3	< 10	10 - 20	> 20
Security Control (queue width: 1.2m)		> 1.2	1.0 - 1.2	< 1.0	< 5	5 - 10	> 10

Fuente: Iata

Anexo B: Passenger Experience



Fuente: Iata

Anexo C: Inversión de aeropuertos en tecnologías de información

	US$ BN	IT total invertido	IT operacional invertido	IT capital invertido
2016	7	4,39%	2,45%	1,94%
2017	8,6	5,14%	2,70%	2,44%
2018	10	5,69%	2,98%	2,71%

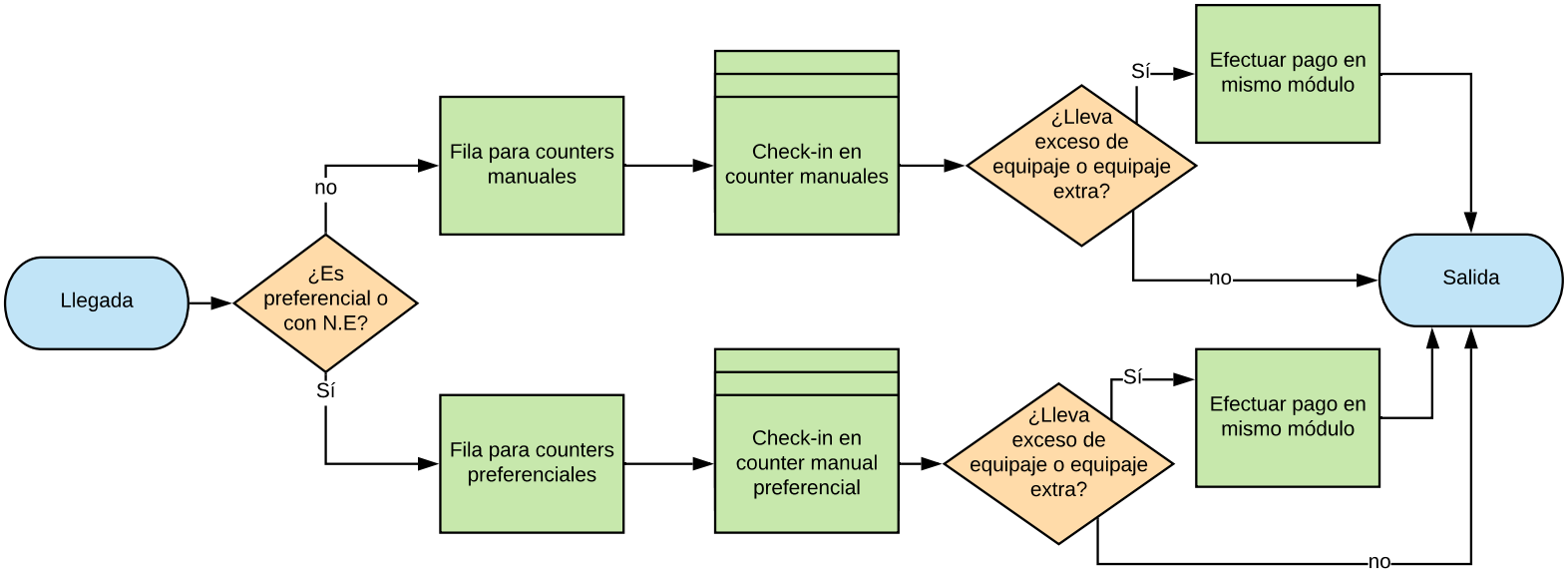
Fuente: SITA

Anexo D: Inversión de aerolíneas en tecnologías de información

	US$ BN	IT total invertido	IT operacional invertido	IT capital invertido
2016	21,9	3,12%	1,91%	1,21%
2017	24,8	3,14%	1,90%	1,24%
2018	30,6	3,67%	2,04%	1,63%

Fuente: SITA

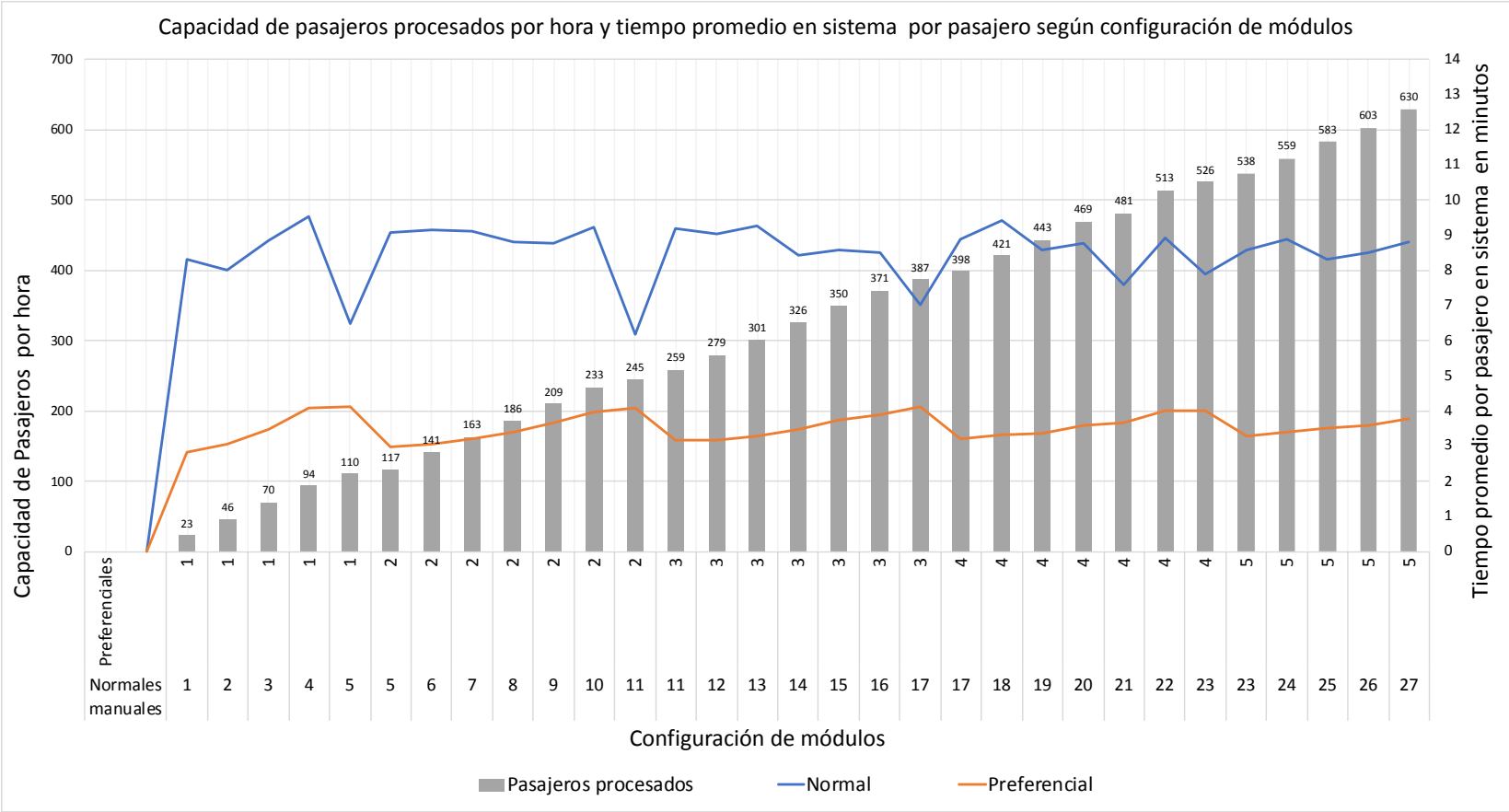
Anexo E.1: Diagrama de escenario 1



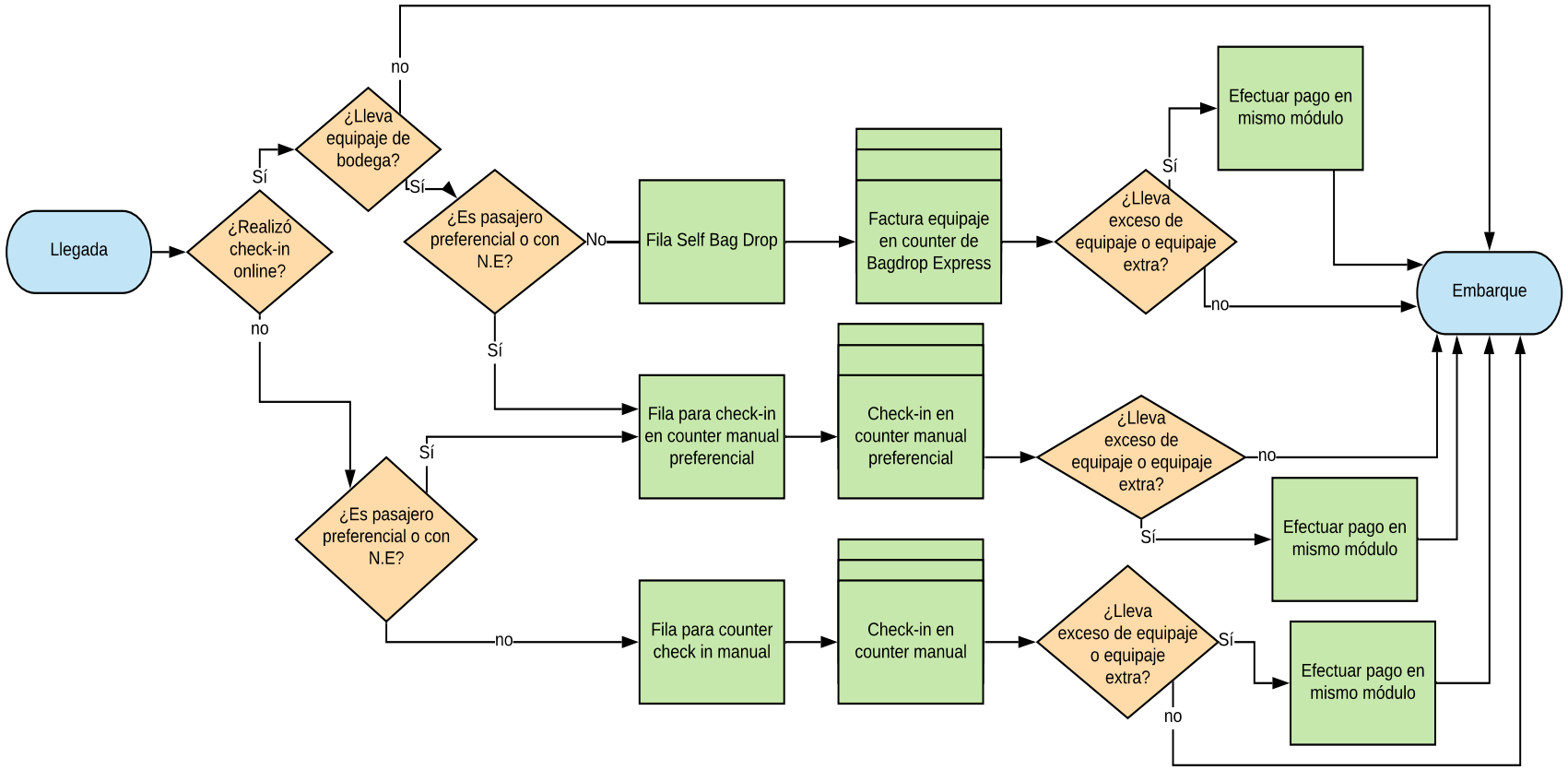
Anexo E.2: Tabla con trayectoria óptima para incremento de capacidad (Escenario 1)

Número de Módulos		Capacidad de pasajeros por hora	Tiempo en sistema por tipo de pasajero (minutos)					
			Normal			Preferencial		
Normales manuales	Preferenciales		Min.	Prom.	Max.	Min.	Prom.	Max.
1	1	23	1,8	8,3	21,8	1,8	2,8	5,2
2	1	46	1,8	8,0	21,5	1,8	3,1	6,9
3	1	70	1,7	8,9	23,5	1,7	3,5	9,7
4	1	94	1,7	9,5	23,8	1,7	4,1	12,9
5	1	110	1,7	6,5	18,9	1,7	4,1	12,8
5	2	117	1,7	9,1	24,0	1,7	3,0	7,0
6	2	141	1,7	9,1	23,4	1,7	3,1	7,6
7	2	163	1,7	9,1	24,2	1,7	3,2	8,8
8	2	186	1,7	8,8	23,5	1,7	3,4	10,0
9	2	209	1,7	8,8	23,8	1,7	3,7	11,1
10	2	233	1,7	9,2	23,9	1,7	4,0	12,1
11	2	245	1,7	6,2	18,2	1,7	4,1	13,6
11	3	259	1,7	9,2	23,8	1,7	3,2	8,5
12	3	279	1,7	9,0	23,7	1,7	3,2	8,5
13	3	301	1,7	9,3	24,5	1,7	3,3	8,9
14	3	326	1,6	8,4	23,6	1,7	3,5	9,9
15	3	350	1,6	8,6	23,6	1,7	3,7	11,2
16	3	371	1,6	8,5	23,1	1,7	3,9	12,1
17	3	387	1,6	7,0	20,9	1,7	4,1	13,3
17	4	398	1,7	8,9	24,5	1,6	3,2	8,7
18	4	421	1,6	9,4	24,6	1,6	3,3	9,3
19	4	443	1,6	8,6	22,9	1,6	3,4	9,4
20	4	469	1,6	8,8	23,9	1,6	3,6	10,7
21	4	481	1,6	7,6	22,8	1,6	3,7	11,2
22	4	513	1,6	8,9	24,7	1,6	4,0	12,8
23	4	526	1,6	7,9	22,4	1,6	4,0	12,4
23	5	538	1,6	8,6	24,2	1,6	3,3	9,2
24	5	559	1,6	8,9	24,2	1,6	3,4	10,1
25	5	583	1,6	8,3	23,5	1,6	3,5	10,4
26	5	603	1,6	8,5	24,6	1,6	3,6	10,9
27	5	630	1,6	8,8	23,9	1,6	3,8	11,6

Anexo E.3: Gráfico con trayectoria óptima para incremento de capacidad (Escenario 1)



Anexo F.1: Diagrama de Escenario 2

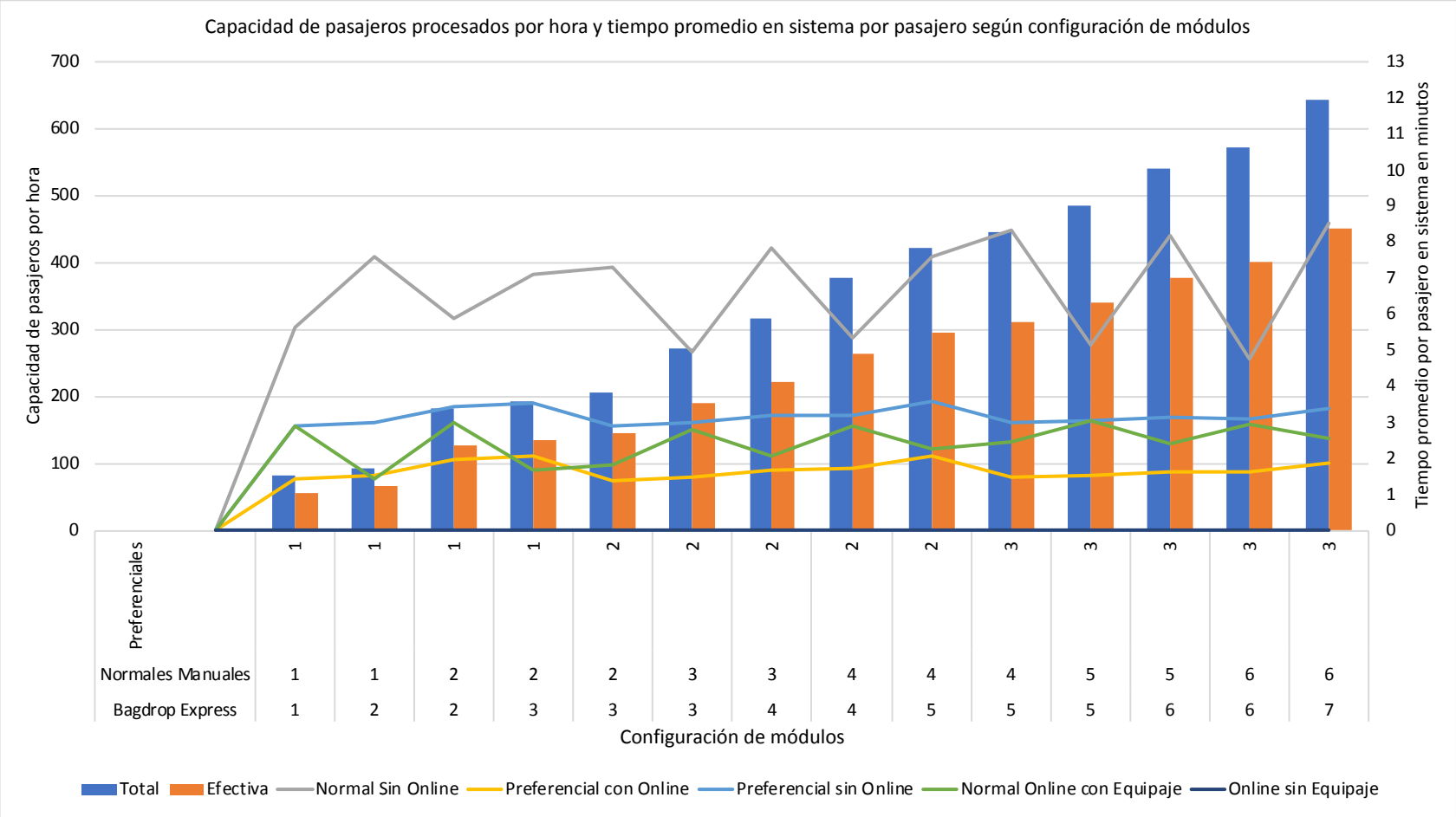


Anexo F.2: Tabla con trayectoria óptima para incremento de capacidad (Escenario 2)

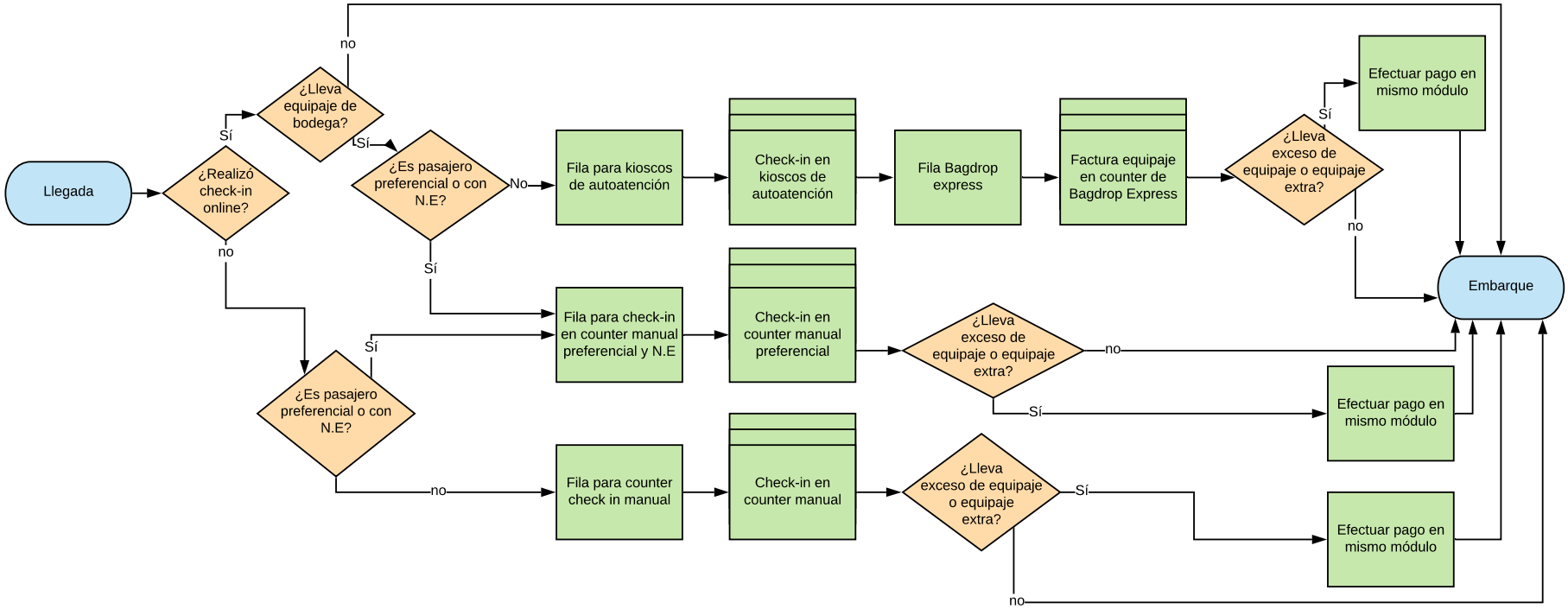
Número de módulos			Capacidad de pasajeros por hora		Tiempo en sistema por tipo de pasajero (minutos)														
Bagdrop Express	Normales Manuales	Preferenciales	Total	Efectiva	Normal Sin Online			Preferencial con Online			Preferencial sin Online			Normal Online con Equipaje			Online sin Equipaje		
					Min.	Prom.	Max.	Min.	Prom.	Max.	Min.	Prom.	Max.	Min.	Prom.	Max.	Min.	Prom.	Max.
1	1	1	81	57	1,8	5,6	17,4	0,7	1,4	4,6	1,9	2,9	5,3	0,6	2,9	11,7	0,0	0,0	0,0
2	1	1	94	66	1,8	7,6	22,5	0,7	1,5	5,3	1,8	3,0	5,8	0,6	1,4	5,1	0,0	0,0	0,0
2	2	1	182	127	1,7	5,9	18,2	0,6	2,0	8,0	1,8	3,4	8,2	0,6	3,0	12,0	0,0	0,0	0,0
3	2	1	192	135	1,7	7,1	21,7	0,6	2,1	8,5	1,8	3,5	8,6	0,6	1,7	6,8	0,0	0,0	0,0
3	2	2	207	145	1,7	7,3	22,8	0,6	1,4	4,5	1,7	2,9	5,5	0,6	1,8	7,2	0,0	0,0	0,0
3	3	2	273	191	1,7	5,0	15,9	0,6	1,5	5,4	1,7	3,0	6,3	0,6	2,8	12,1	0,0	0,0	0,0
4	3	2	317	222	1,7	7,8	23,3	0,6	1,7	6,7	1,7	3,2	7,3	0,6	2,1	9,0	0,0	0,0	0,0
4	4	2	377	264	1,7	5,3	16,8	0,6	1,7	7,4	1,8	3,2	7,8	0,6	2,9	11,8	0,0	0,0	0,0
5	4	2	421	295	1,7	7,6	22,3	0,6	2,0	8,8	1,8	3,6	9,4	0,6	2,2	9,6	0,0	0,0	0,0
5	4	3	446	312	1,7	8,3	22,9	0,6	1,5	5,4	1,7	3,0	6,4	0,6	2,5	10,1	0,0	0,0	0,0
5	5	3	486	340	1,7	5,1	16,2	0,6	1,5	5,7	1,7	3,0	6,5	0,6	3,0	12,4	0,0	0,0	0,0
6	5	3	540	378	1,7	8,2	23,2	0,6	1,6	6,3	1,7	3,1	7,4	0,6	2,4	10,1	0,0	0,0	0,0
6	6	3	572	400	1,7	4,8	14,6	0,6	1,6	6,3	1,7	3,1	7,5	0,6	2,9	12,2	0,0	0,0	0,0
7	6	3	644	451	1,7	8,5	23,7	0,6	1,9	7,5	1,7	3,4	8,5	0,6	2,6	10,6	0,0	0,0	0,0

Capacidad de pasajeros por hora total: Total de pasajeros que completaron su proceso de check in.
Capacidad de pasajeros por hora efectiva: Total de pasajeros que completaron su proceso de check in, excluyendo aquellos que realizaron su check in online y no llevan equipaje.

Anexo F.3: Gráfico con trayectoria óptima para incremento de capacidad (Escenario 2)



Anexo G.1: Diagrama de Escenario 3

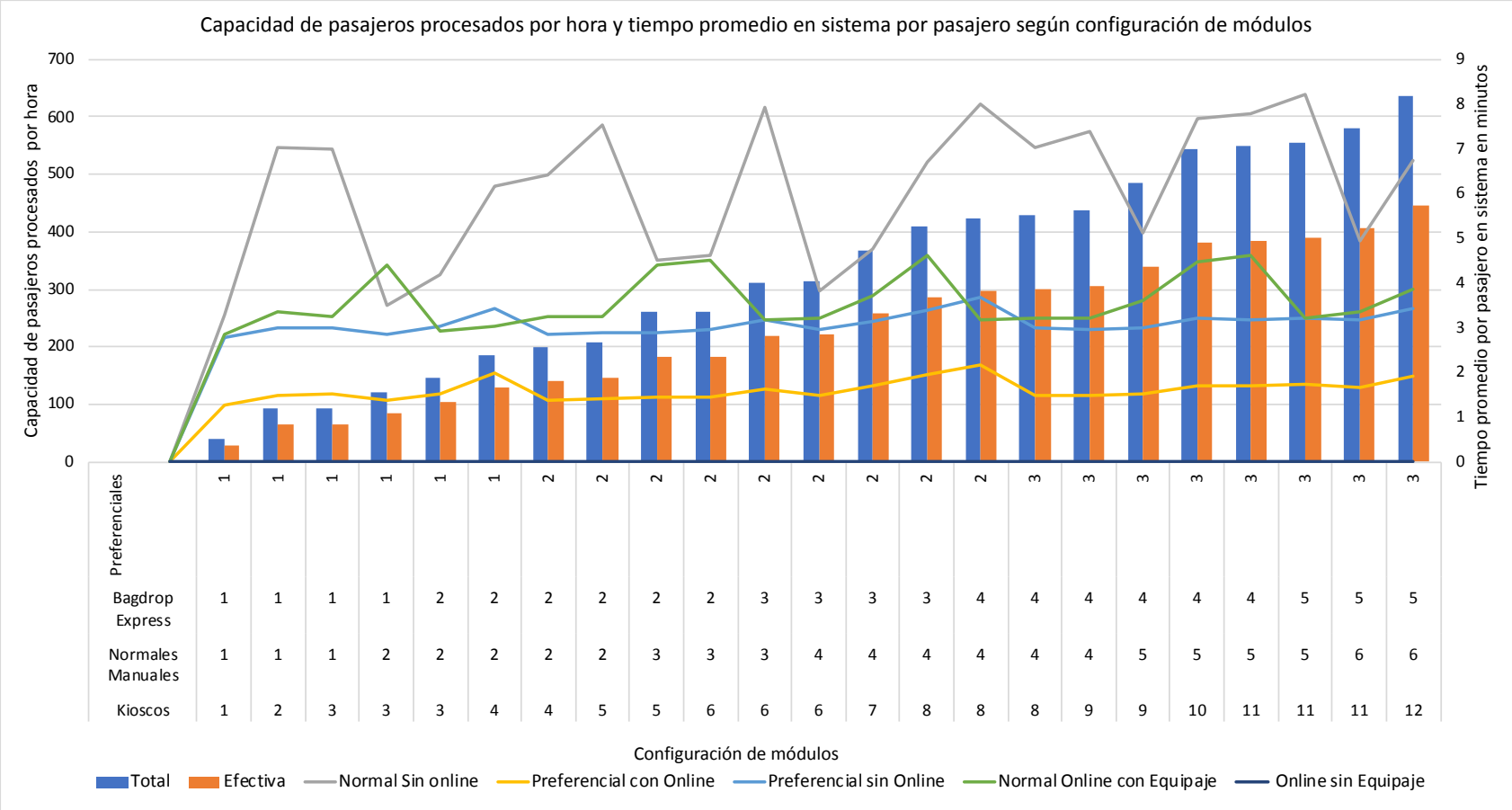


Anexo G.2: Tabla con trayectoria óptima para incremento de capacidad (Escenario 3)

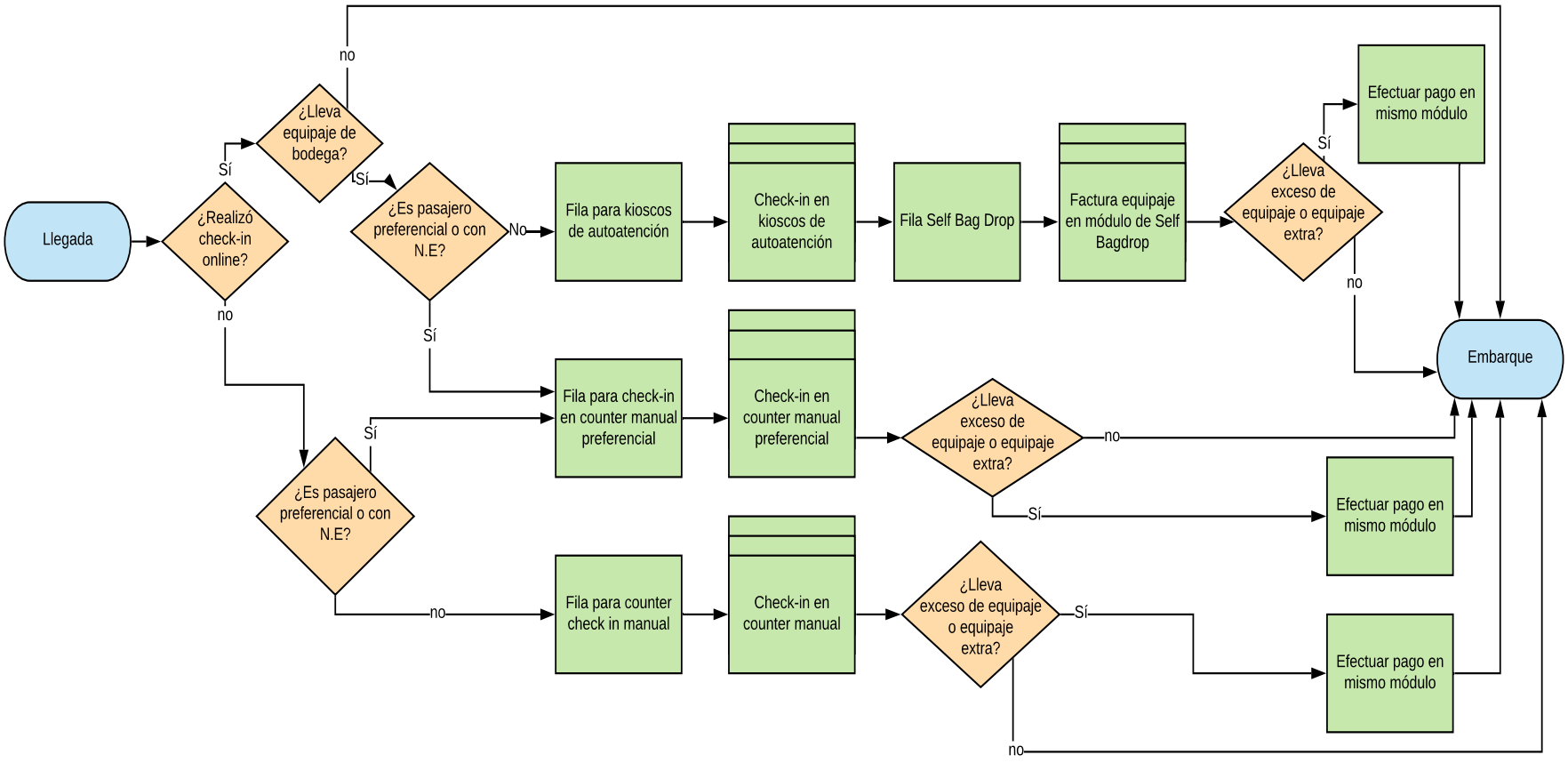
Numero de módulos				Capacidad de pasajeros por hora		Tiempo en sistema por tipo de pasajero (minutos)														
Kioscos	Normales Manuales	Bagdrop Express	Preferenciales	Total	Efectiva	Normal Sin online			Preferencial con Online			Preferencial sin Online			Normal Online con Equipaje			Online sin Equipaje		
						Min.	Prom.	Max	Min.	Prom.	Max	Min.	Prom.	Max	Min.	Prom.	Max	Min.	Prom.	Max
1	1	1	1	40	28	1,8	3,3	8,3	0,7	1,3	3,1	2,0	2,8	4,0	1,9	2,9	7,1	0,0	0,0	0,0
2	1	1	1	92	64	1,8	7,0	21,3	0,7	1,5	5,2	1,9	3,0	5,6	1,9	3,4	10,0	0,0	0,0	0,0
3	1	1	1	91	64	1,7	7,0	22,2	0,7	1,5	4,9	1,8	3,0	5,7	1,9	3,2	9,4	0,0	0,0	0,0
3	2	1	1	120	84	1,7	3,5	10,1	0,6	1,4	4,4	1,8	2,9	5,3	1,9	4,4	14,1	0,0	0,0	0,0
3	2	2	1	147	103	1,7	4,2	13,3	0,6	1,5	5,6	1,8	3,0	6,4	1,9	2,9	7,9	0,0	0,0	0,0
4	2	2	1	185	129	1,7	6,2	18,8	0,6	2,0	8,3	1,8	3,4	8,2	1,9	3,0	9,0	0,0	0,0	0,0
4	2	2	2	200	140	1,7	6,4	20,1	0,6	1,4	4,8	1,8	2,9	5,4	1,9	3,2	9,9	0,0	0,0	0,0
5	2	2	2	207	145	1,7	7,5	23,5	0,6	1,4	4,6	1,7	2,9	5,5	1,9	3,2	10,2	0,0	0,0	0,0
5	3	2	2	261	183	1,7	4,5	14,9	0,6	1,4	5,1	1,7	2,9	5,7	1,9	4,4	14,6	0,0	0,0	0,0
6	3	2	2	262	183	1,7	4,6	14,8	0,6	1,5	5,3	1,7	2,9	6,1	1,9	4,5	15,0	0,0	0,0	0,0
6	3	3	2	312	218	1,7	7,9	23,7	0,6	1,6	6,3	1,7	3,2	7,3	1,8	3,2	9,7	0,0	0,0	0,0
6	4	3	2	315	220	1,7	3,8	11,2	0,6	1,5	5,6	1,7	2,9	6,3	1,8	3,2	10,0	0,0	0,0	0,0
7	4	3	2	367	257	1,7	4,7	15,1	0,6	1,7	7,0	1,7	3,2	7,5	1,8	3,7	11,7	0,0	0,0	0,0
8	4	3	2	408	286	1,7	6,7	19,8	0,6	1,9	8,0	1,7	3,4	8,4	1,8	4,6	15,2	0,0	0,0	0,0
8	4	4	2	425	297	1,7	8,0	22,5	0,6	2,2	8,7	1,7	3,7	9,4	1,8	3,2	9,8	0,0	0,0	0,0
8	4	4	3	429	300	1,7	7,0	21,2	0,6	1,5	5,5	1,7	3,0	6,5	1,8	3,2	10,1	0,0	0,0	0,0
9	4	4	3	436	305	1,7	7,4	21,3	0,6	1,5	5,4	1,7	3,0	6,4	1,8	3,2	10,2	0,0	0,0	0,0
9	5	4	3	485	340	1,7	5,1	15,8	0,6	1,5	5,7	1,7	3,0	6,7	1,8	3,6	11,7	0,0	0,0	0,0
10	5	4	3	543	380	1,7	7,7	21,0	0,6	1,7	7,0	1,7	3,2	7,7	1,8	4,5	14,6	0,0	0,0	0,0
11	5	4	3	550	385	1,7	7,8	23,3	0,6	1,7	6,7	1,7	3,2	7,6	1,8	4,6	15,2	0,0	0,0	0,0
11	5	5	3	555	388	1,7	8,2	23,0	0,6	1,7	6,8	1,7	3,2	7,6	1,8	3,2	10,1	0,0	0,0	0,0
11	6	5	3	581	406	1,6	4,9	15,5	0,6	1,7	6,8	1,7	3,2	7,5	1,8	3,4	11,3	0,0	0,0	0,0
12	6	5	3	636	446	1,7	6,8	20,1	0,6	1,9	7,9	1,7	3,4	8,7	1,8	3,8	12,6	0,0	0,0	0,0

Capacidad de pasajeros por hora total: Total de pasajeros que completaron su proceso de check in.
Capacidad de pasajeros por hora efectiva: Total de pasajeros que completaron su proceso de check in, excluyendo aquellos que realizaron su check in online y no llevan equipaje.

Anexo G.3: Gráfico con trayectoria óptima para incremento de capacidad (Escenario 3)



Anexo H.1: Diagrama de Escenario 4

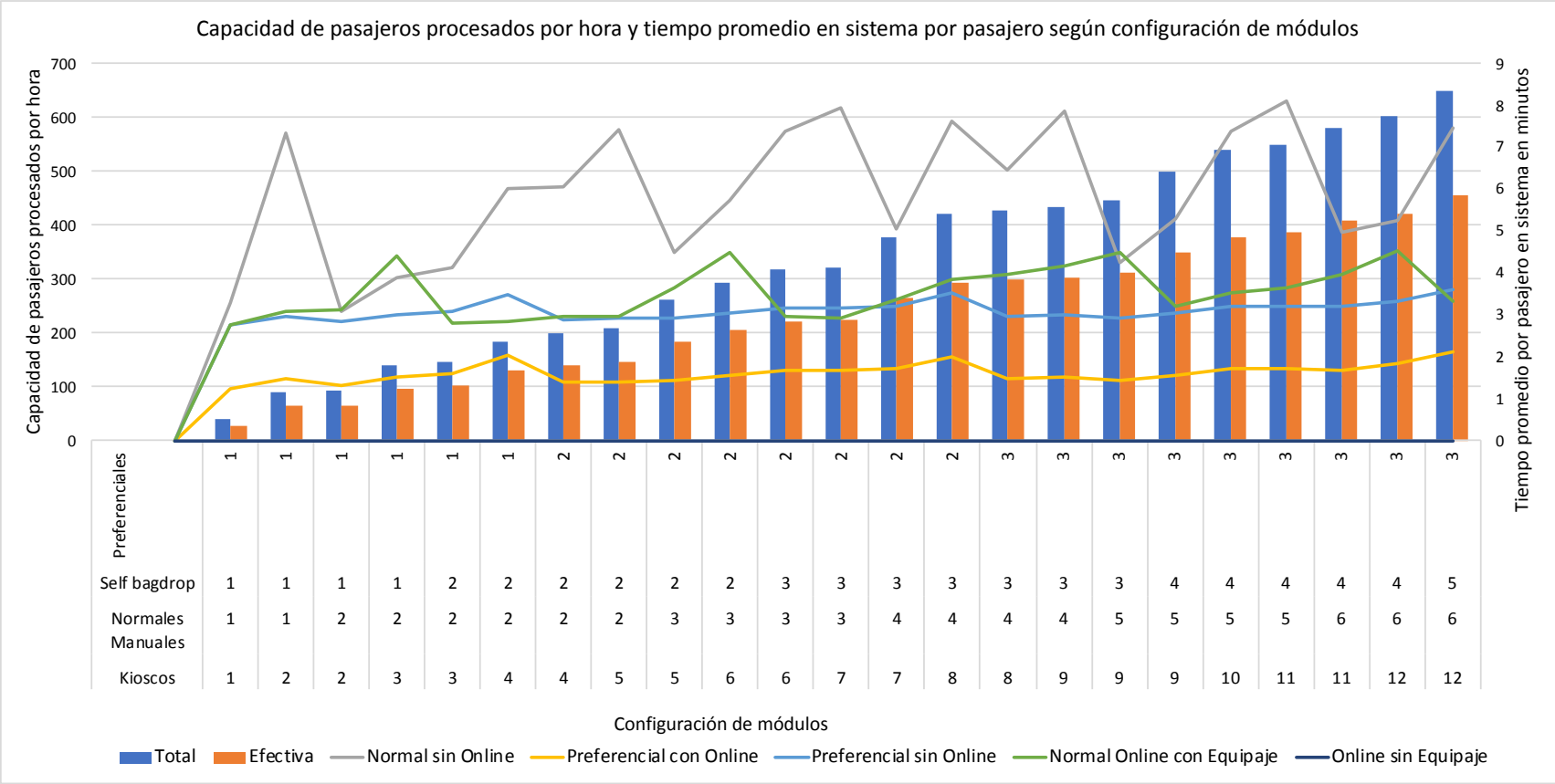


Anexo H.2: Tabla con trayectoria óptima para incremento de capacidad (Escenario 4)

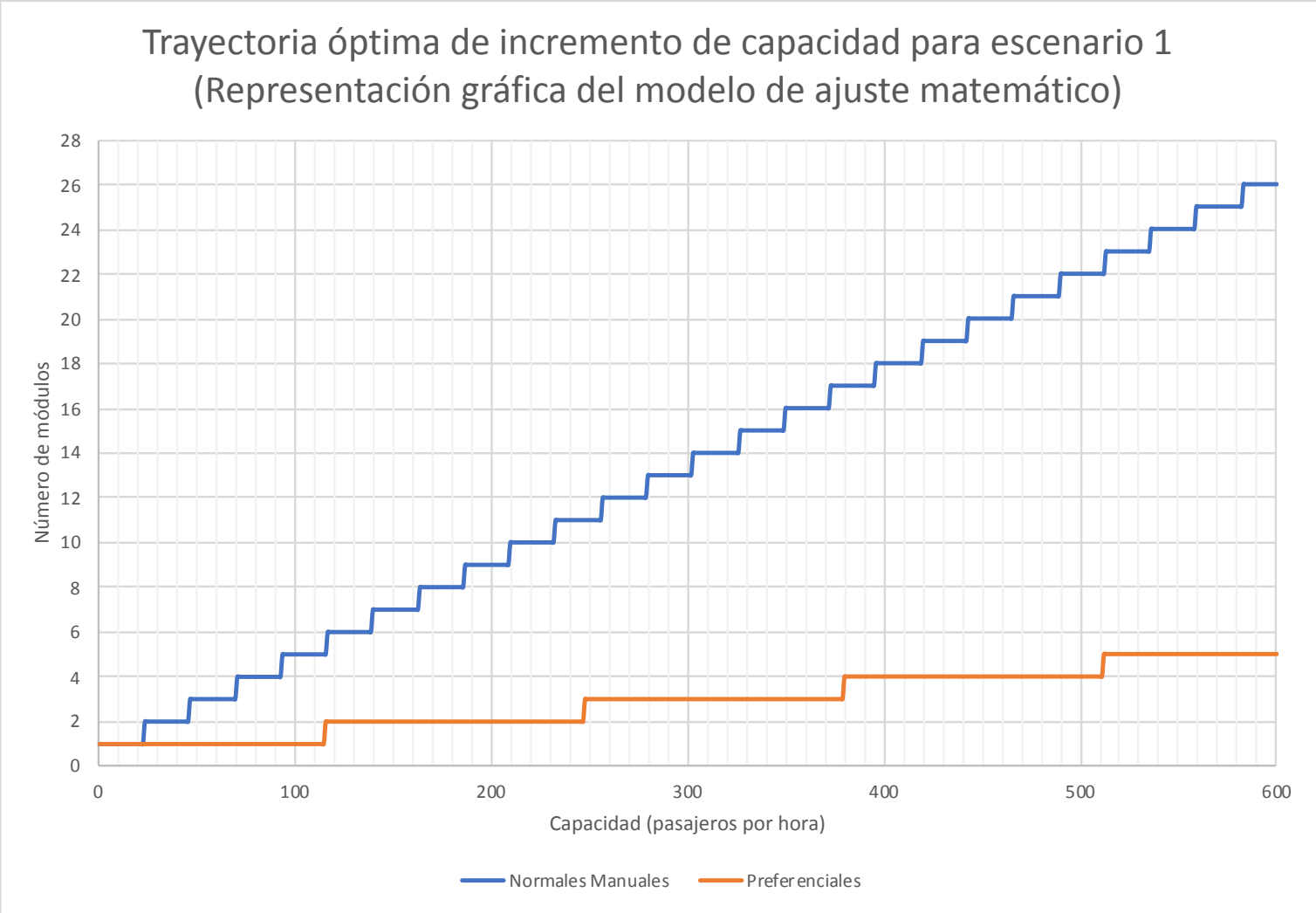
Número de módulos				Capacidad de pasajeros por hora		Tiempo en sistema por tipo de pasajero (minutos)														
Kioscos	Normales Manuales	Self bagdrop	Preferenciales	Total	Efectiva	Normal sin Online			Preferencial con Online			Preferencial sin Online			Normal Online con Equipaje			Online sin Equipaje		
						Min.	Prom.	Max.	Min.	Prom.	Max.	Min.	Prom.	Max.	Min.	Prom.	Max.	Min.	Prom.	Max.
1	1	1	1	40	28	1,8	3,3	8,7	0,7	1,2	3,1	2,0	2,8	4,0	1,8	2,8	6,8	0,0	0,0	0,0
2	1	1	1	91	64	1,8	7,3	22,7	0,7	1,5	4,9	1,9	2,9	5,4	1,7	3,1	9,2	0,0	0,0	0,0
2	2	1	1	94	66	1,7	3,1	7,8	0,7	1,3	3,7	1,8	2,8	4,8	1,7	3,1	8,8	0,0	0,0	0,0
3	2	1	1	139	97	1,7	3,9	11,6	0,6	1,5	5,4	1,8	3,0	6,1	1,7	4,4	14,3	0,0	0,0	0,0
3	2	2	1	146	102	1,7	4,1	12,3	0,6	1,6	6,3	1,8	3,1	6,7	1,7	2,8	7,6	0,0	0,0	0,0
4	2	2	1	184	129	1,7	6,0	18,8	0,6	2,0	8,4	1,8	3,5	8,7	1,7	2,8	7,9	0,0	0,0	0,0
4	2	2	2	199	139	1,7	6,1	18,9	0,6	1,4	4,4	1,7	2,9	5,4	1,7	3,0	8,6	0,0	0,0	0,0
5	2	2	2	207	145	1,7	7,4	22,4	0,6	1,4	4,8	1,8	2,9	6,0	1,7	3,0	8,7	0,0	0,0	0,0
5	3	2	2	261	183	1,7	4,5	14,0	0,6	1,4	5,1	1,7	2,9	5,9	1,7	3,6	12,3	0,0	0,0	0,0
6	3	2	2	291	204	1,7	5,7	17,7	0,6	1,6	5,6	1,7	3,0	6,5	1,7	4,5	15,1	0,0	0,0	0,0
6	3	3	2	317	222	1,7	7,4	21,0	0,6	1,7	6,6	1,7	3,2	7,4	1,7	3,0	9,2	0,0	0,0	0,0
7	3	3	2	321	224	1,7	7,9	23,0	0,6	1,7	6,6	1,7	3,2	7,0	1,7	2,9	9,2	0,0	0,0	0,0
7	4	3	2	376	263	1,7	5,0	15,2	0,6	1,7	7,1	1,7	3,2	7,9	1,7	3,4	11,0	0,0	0,0	0,0
8	4	3	2	420	294	1,7	7,6	21,8	0,6	2,0	8,2	1,7	3,5	8,7	1,7	3,9	12,6	0,0	0,0	0,0
8	4	3	3	428	299	1,7	6,5	19,4	0,6	1,5	5,4	1,7	3,0	6,2	1,7	4,0	13,1	0,0	0,0	0,0
9	4	3	3	433	303	1,7	7,9	23,6	0,6	1,5	5,6	1,7	3,0	6,5	1,7	4,1	14,1	0,0	0,0	0,0
9	5	3	3	446	312	1,7	4,2	13,0	0,6	1,4	5,2	1,7	2,9	6,1	1,7	4,5	15,3	0,0	0,0	0,0
9	5	4	3	499	349	1,7	5,3	15,8	0,6	1,5	5,8	1,7	3,0	6,8	1,7	3,2	10,2	0,0	0,0	0,0
10	5	4	3	540	378	1,7	7,4	21,8	0,6	1,7	6,8	1,7	3,2	7,5	1,7	3,5	11,9	0,0	0,0	0,0
11	5	4	3	550	385	1,7	8,1	23,2	0,6	1,7	6,9	1,7	3,2	7,8	1,7	3,6	11,8	0,0	0,0	0,0
11	6	4	3	581	407	1,6	5,0	15,3	0,6	1,7	7,2	1,7	3,2	7,9	1,7	4,0	13,6	0,0	0,0	0,0
12	6	4	3	602	421	1,6	5,3	16,3	0,6	1,8	7,6	1,7	3,3	8,4	1,7	4,5	15,5	0,0	0,0	0,0
12	6	5	3	648	453	1,7	7,5	21,6	0,6	2,1	8,8	1,7	3,6	9,4	1,7	3,3	10,9	0,0	0,0	0,0

Capacidad de pasajeros por hora total: Total de pasajeros que completaron su proceso de check in.
Capacidad de pasajeros por hora efectiva: Total de pasajeros que completaron su proceso de check in, excluyendo aquellos que realizaron su check in online y no llevan equipaje.

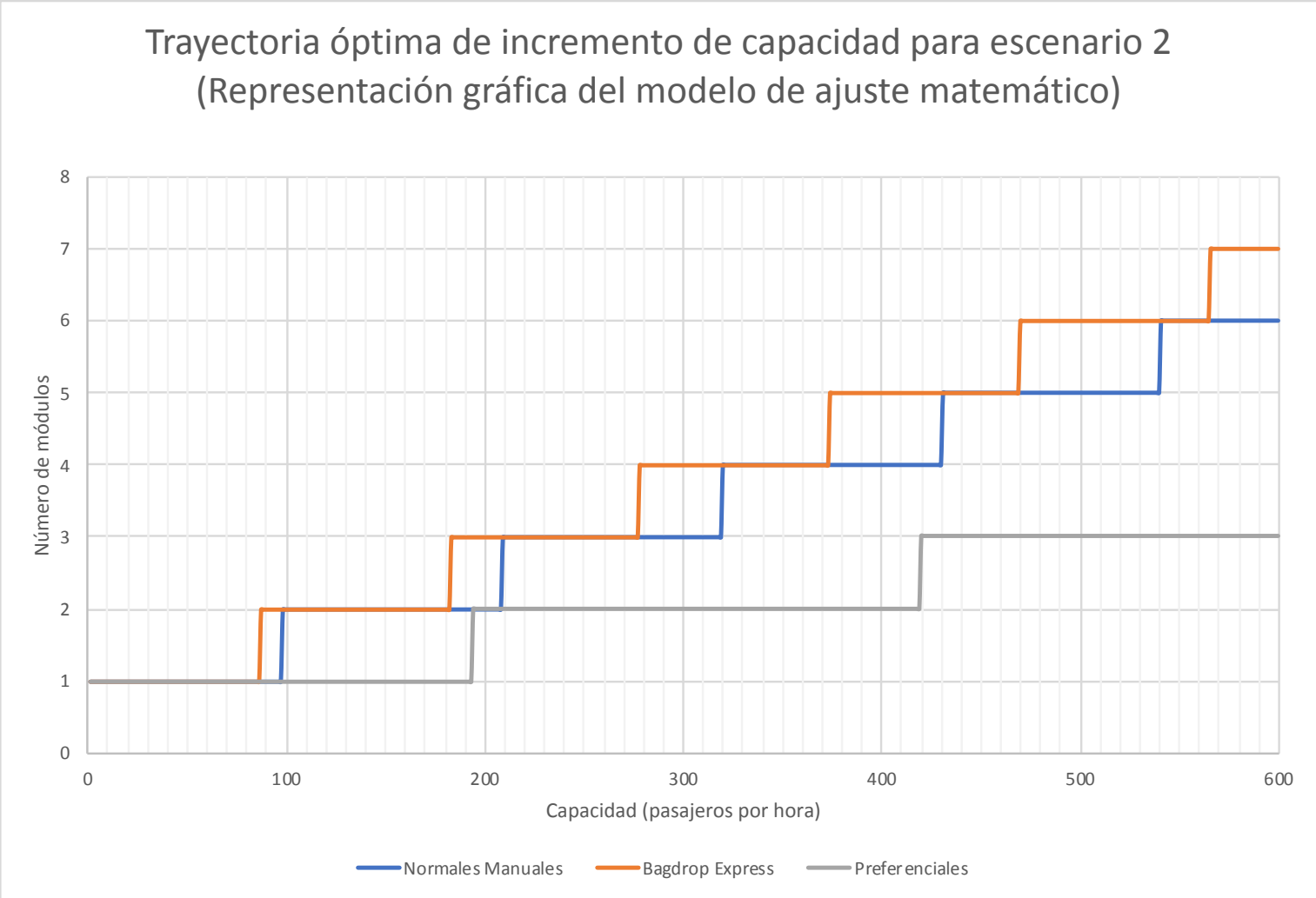
Anexo H.3: Gráfico con trayectoria óptima para incremento de capacidad (Escenario 4)



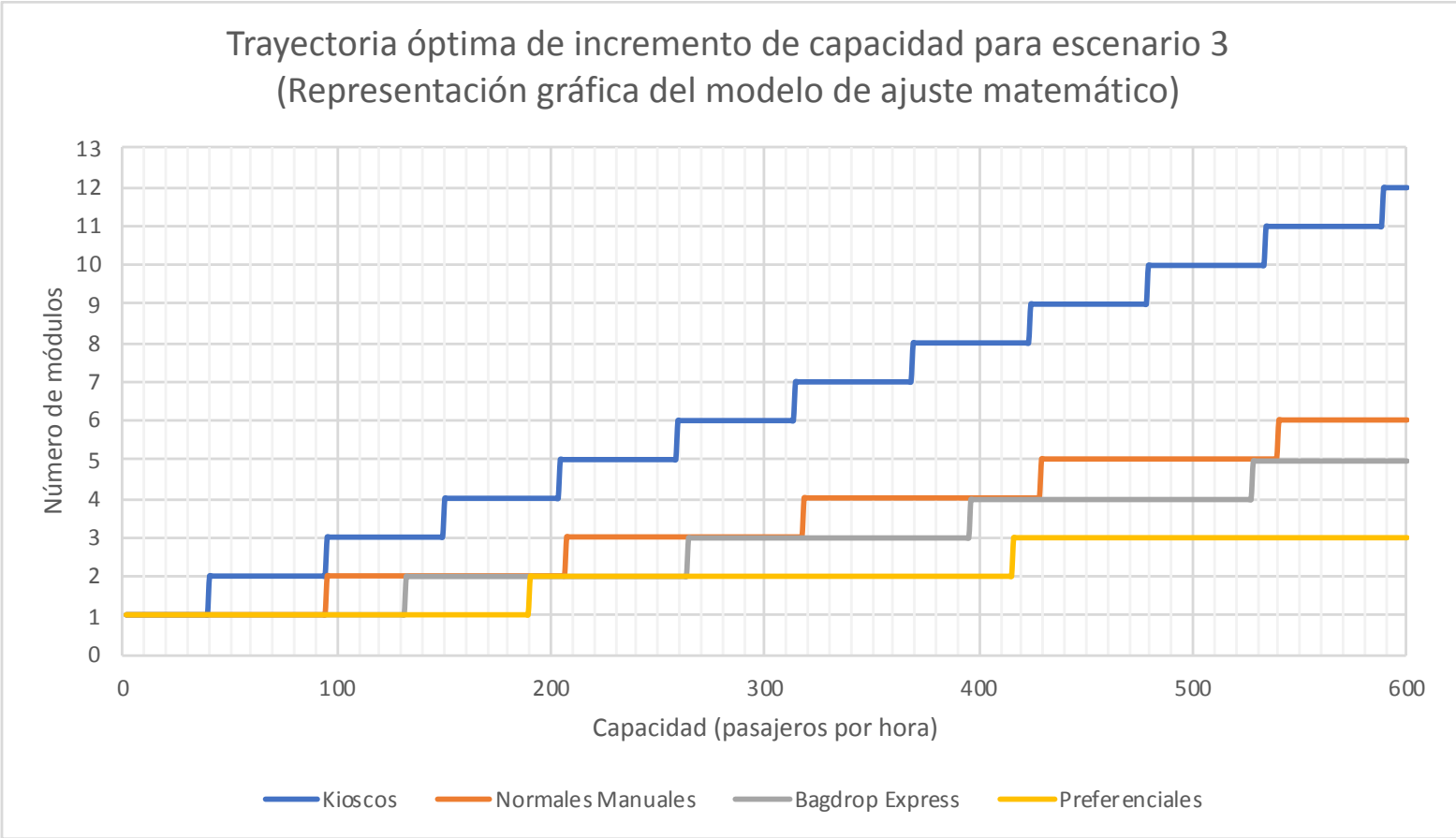
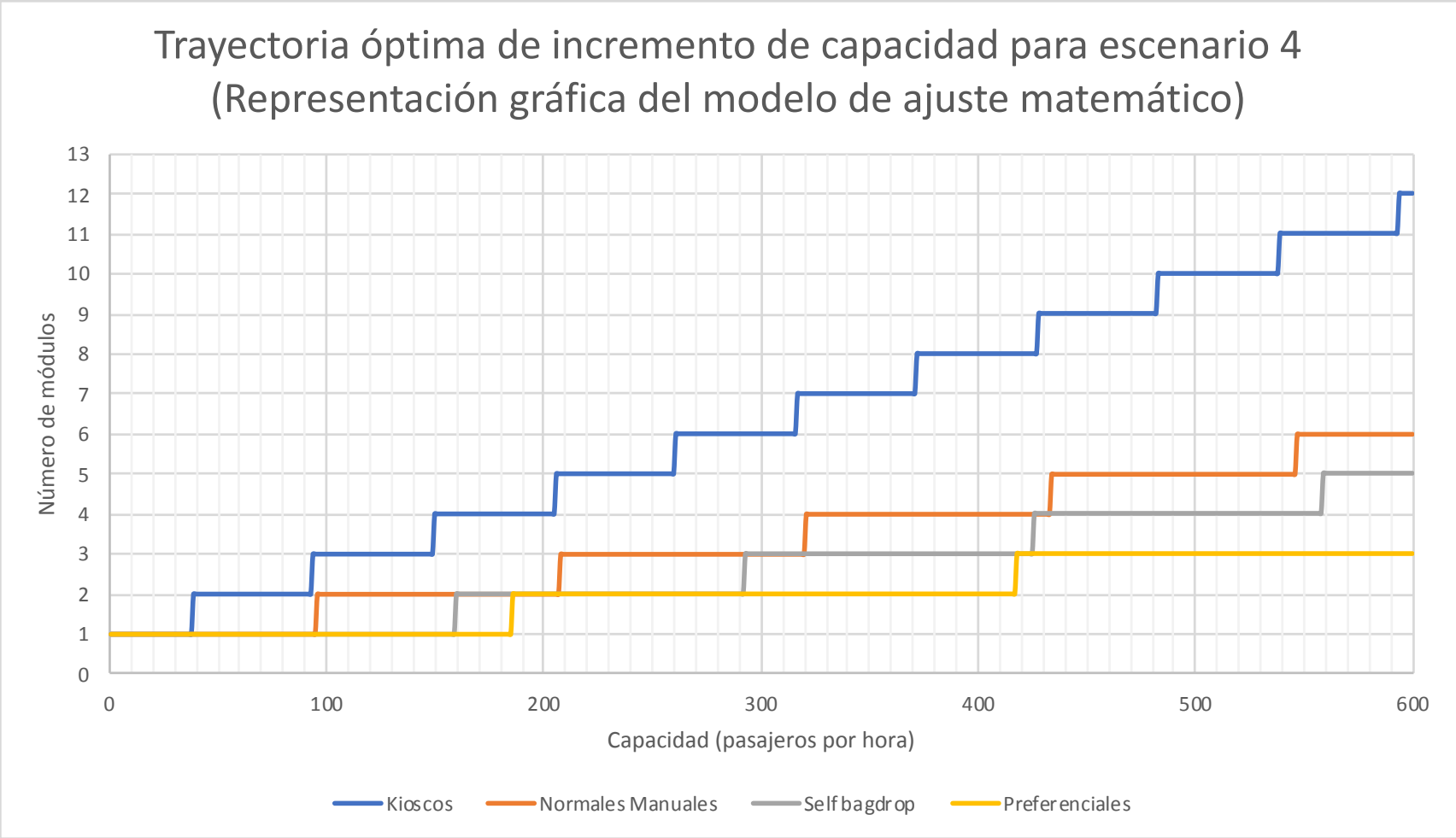
Anexo I.1: Representación gráfica del modelo de ajuste matemático para escenario 1



Anexo I.2: Representación gráfica del modelo de ajuste matemático para escenario 2



Anexo I.3: Representación gráfica del modelo de ajuste matemático para escenario 3



Anexo I.4: Representación gráfica del modelo de ajuste matemático para escenario 4