

**ANÁLISIS DE CAPACIDAD DE LA PLATAFORMA DE
ESTACIONAMIENTOS DEL AEROPUERTO ARTURO
MERINO BENÍTEZ**

Memòria del Treball Fi de Grau
Gestió Aeronàutica
realitzat per
LAURA CHÁVEZ GARCIA
i dirigit per
DANIEL RIERA TERRÉN

Sabadell, 6 de juliol de 2016

El sotasignat, .Daniel Riera i Terrén

Professor/a de l'Escola d'Enginyeria de la UAB,

CERTIFICA:

Que el treball a què correspon aquesta memòria ha estat realitzat sota la seva direcció per en/na Laura Chávez Garcia

I per tal que consti firma la present.



Signat: ..Daniel Riera i Terrén.....

Sabadell, ...5....de....Juliol.....de 2016....

El sotasignat, José Antonio Céspedes Dee
de *Sociedad Concesionaria Nuevo Pudahuel*

CERTIFICA:

Que el treball a què correspon aquesta memòria ha estat realitzat sota la
seva supervisió per en/na Laura Chávez Garcia

I per tal que consti firma la present.

Signat: 

Sabadell, 04 de Julio de 2016

FULL DE RESUM – TREBALL FI DE GRAU DE L'ESCOLA D'ENGINYERIA

Títol del Treball Fi de Grau “Anàlisi de capacitat de la plataforma d'estacionaments de l'aeroport Arturo Merino Benítez” “Análisis de capacidad de la plataforma de estacionamientos del aeropuerto Arturo Merino Benítez” “Apron Capacity analysis of Arturo Merino Benítez airport”	
Autor[a]: Laura Chávez Garcia	Data: Julio 2016
Tutor[a]/s[es]: Daniel Riera Terrén	
Titulació: Gestión Aeronáutica	
Paraules clau (mínim 3) <ul style="list-style-type: none">• Català: Capacitat, plataforma, estacionaments• Castellà: Capacidad, plataforma, estacionamiento• Anglès: Capacity, apron, stands	
Resum del Treball Fi de Grau <ul style="list-style-type: none">• Català: Aquest treball tracte sobre la realització d'un estudi de capacitat de plataforma mitjançant el model de càlcul analític definit per R. Horonjeff, aplicat al aeroport Arturo Merino Benítez de Santiago de Xile. A través d'aquest anàlisi i del treball de camp realitzat al aeroport, s'han identificat les deficiències de la infraestructura i s'han plantejat una sèrie de propostes de millora per l'ús i la gestió de la plataforma• Castellà: Este Trabajo trata sobre la realización de un estudio de capacidad de plataforma mediante el modelo de cálculo analítico definido por R. Horonjeff, aplicado al aeropuerto Arturo Merino Benítez de Santiago de Chile. A través de este análisis y del trabajo de campo realizado en el aeropuerto, se han identificado las deficiencias de la infraestructura y se han planteado una serie de propuestas de mejora para el uso y gestión de la plataforma.• Anglès: This Project is dedicated to the analysis of apron capacity through the analytic estimated model proposed by R. Horonjeff, executed at the Arturo Merino Benítez airport in Santiago de Chile. With the analysis of this data and fieldwork performed at this airport, there had been detected the deficiencies of the facilities and there had been raised a few number of proposals for improving the use and management of the platform.	

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN	9
1.1. JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO	9
1.2. AEROPUERTO INTERNACIONAL ARTURO MERINO BENÍTEZ	10
1.3. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	11
1.4. OBJETIVOS	11
1.5. METODOLOGÍA DE TRABAJO	12
1.6. PLANIFICACIÓN TEMPORAL	12
1.7. RIESGOS DEL PROYECTO	15
2. MARCO TEÓRICO	17
2.1. AEROPUERTOS	17
2.1.1. <i>Terminal</i>	17
2.1.2. <i>Plataforma de estacionamientos</i>	19
2.2. CAPACIDAD DE PLATAFORMA	23
2.3. MODELO PARA EL CÁLCULO DE CAPACIDAD TEÓRICO DE ESTACIONAMIENTOS.....	24
3. CASO DE ESTUDIO: AEROPUERTO INTERNACIONAL ARTURO MERINO BENÍTEZ	27
3.1. DESCRIPCIÓN DEL AEROPUERTO	27
3.1.1. <i>Plataforma de aeronaves</i>	28
3.2. CÁLCULOS.....	31
3.2.1. <i>Limitación de los cálculos</i>	31
3.2.2. <i>Diseño semana y día tipo</i>	34
3.2.3. <i>Aplicación del modelo</i>	36
3.2.3.1. Escenario I – Plataforma AMB	36
3.2.3.2. Escenario II – División de plataforma	39
3.3. ANÁLISIS.....	45
3.3.1. <i>Escenarios</i>	45
3.3.2. <i>Propuestas de mejora</i>	48
4. CONCLUSIÓN	52

4.1. VALORACIÓN DE LOS OBJETIVOS.....	52
4.2. AMPLIACIONES Y MEJORAS DEL TRABAJO	53
5. BIBLIOGRAFÍA.....	54

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: PLANIFICACIÓN TEMPORAL. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	14
TABLA 2: CALIFINACIÓN DE RIESGOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	16
TABLA 3: CÓDIGOS ENVERGADURA AERONAVES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	19
TABLA 4: CLASIFICACIÓN DE LOS ESTACIONAMIENTOS DE LA PLATAFORMA AMB. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	30
TABLA 6: DISEÑO SEMANA TIPO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	35
TABLA 7: DÍA TIPO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	36
TABLA 8: PARÁMETROS EMPLEADOS PARA EL CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE PLATAFORMA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	38
TABLA 9: RESUMEN RESULTADO DEL MODELO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	39
TABLA 10: PUENTES MIXTOS DE LA PLATAFORMA AMB. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	41
TABLA 11: PARÁMETROS EMPLEADOS PARA EL CÁLCULO DEL ESCENARIO 2. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	43
TABLA 12: TIPO DE TRÁFICO OPERACIONES 2015 DEL AEROPUERTO AMB. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	44
TABLA 13: PARÁMETROS PARA EL CÁLCULO CON DIFERENTES TIEMPOS DE OCUPACIÓN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	46
TABLA 14: COMPARACIÓN DE CAPACIDAD CON TIEMPOS ACTUALES Y TIEMPOS MENORES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	47
TABLA 15: TARIAS ESTACIONAMIENTO DE AERONAVES EN AEROPUERTO AMB. FUENTE: SOCIEDAD CONCESIONARIA NUEVO PUDAHUEL	48

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1: TIPOS DE ESTACIONAMIENTOS. FUENTE: R HORONJEFF;	22
ILUSTRACIÓN 2: AEROPUERTO AMB. FUENTE: MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS DE CHILE.	27
ILUSTRACIÓN 3: PLATAFORMA DE AERONAVES AMB. FUENTE: DEPARTAMENTO DE OPERACIONES AEROPUERTO AMB	29
ILUSTRACIÓN 4: ESQUEMA ASIGNACIÓN DE ESTACIONAMIENTOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	32

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Justificación del trabajo

Se entiende como capacidad Aeroportuaria el número máximo de operaciones de aeronaves, en periodos de tiempo específicos, que es capaz de ser atendido por la infraestructura aeroportuaria.

Existen diferentes factores que determinan la capacidad de un aeropuerto, tales como: Pista de aterrizaje, espacio de plataforma de estacionamientos, procedimientos ATC, diseño de las calles de rodaje, tamaño y localización de la terminal, hangares, etc. Estos factores, a su vez, están influidos por la **demand**a del aeropuerto, la cual está determinada por: Los FBO del aeropuerto¹, instalaciones aeroportuarias, servicios ATC, atracciones locales, el estado actual de la economía, legislación, etc.

A través de un análisis de la demanda y la capacidad se pueden identificar las fortalezas y las deficiencias de la infraestructura aeroportuaria actual, y por ende, ayudar a entender y determinar las necesidades que este requiere.

Hay que mencionar que todos los factores están relacionados entre si, y por lo tanto, todos son importantes, pero para realizar un estudio completo de capacidad y demanda es necesario hacer un análisis distinto para cada factor.

Este trabajo se centra en el estudio de la **capacidad de plataforma** aplicado en un caso real, el aeropuerto internacional de Santiago de Chile, para poder identificar los aspectos más relevantes que determinan dicha capacidad y los distintos métodos que existen para calcularla.

¹ El FBO (fixed-base operator) es un es un proveedor principal de servicios de apoyo a los operadores de aviación general en un aeropuerto de uso público.

1.2. Aeropuerto Internacional Arturo Merino Benítez

El aeropuerto Internacional Comodoro Arturo Merino Benítez (en adelante, aeropuerto AMB), ubicado al noreste del centro de Santiago de Chile, se sitúa como el principal aeropuerto del país, transportando más de 18 millones de pasajeros por año y con un crecimiento anual aproximadamente del 6%.

El aeropuerto es de carácter público y opera bajo el régimen de concesiones. En abril del 2015, el aeropuerto cambió de concesión, y paso a ser gestionado por la Sociedad Concesionaria Nuevo Pudahuel S.A., un grupo formado por Aéroport de Paris (45%), VINCI Airports (40%) y Astaldi Concessioni (15%).

Aéroport de Paris es un líder global en la industria aeroportuaria con más de 70 años de experiencia que invierte, opera, desarrolla y diseña aeropuertos en cuatro continentes. En el pasado 2015 operó directa o indirectamente 34 aeropuertos, incluyendo París-Charles de Gaulle y Estambul Atatürk, recibiendo un total de más de 252 millones de pasajeros el año pasado.

VINCI Airports, es un actor internacional del sector aeroportuario, que se encarga del desarrollo y explotación de 25 aeropuertos, de los cuales 11 en Francia, 10 en Portugal (incluido el hub de Lisbonne), 3 en Camboya, y el aeropuerto de Santiago de Chile. El conjunto de las plataformas de VINCI Airports totalizó, en 2015, un tráfico anual de aproximadamente 52 millones de pasajeros.

Astaldi Concessioni no sólo es el líder de la construcción en Italia, sino también uno de los 25 principales en Europa y ocupa el séptimo en todo el mundo cuando se trata de construcción de aeropuertos.

Este aeropuerto se ubica entre los más modernos y eficientes de América Latina, convirtiéndose en un importante centro de conexiones de vuelos entre América del Norte y Europa, América del Sur y Oceanía. Es el *hub* o centro de conexión principal de LAN Airlines y Sky Airline.

1.3. Descripción del problema

El gobierno actual de Chile ha realizado un plan de obras de ampliación del aeropuerto AMB para aumentar la capacidad de éste, y pasar de atender 18 millones de pasajeros anuales a 30 millones en 2020, con un potencial de 45 millones por año. En esta ampliación también está contemplado un proceso de modernización de los sistemas de información y los procesos, ya que, en la actualidad, los sistemas de procesamiento de información y toma de decisiones han quedado anticuados e ineficientes.

Dadas las circunstancias, un estudio de la demanda y capacidad actual puede ayudar a identificar necesidades no consideradas en la planificación de las obras de la infraestructura futura, pero en la actualidad, no existe ningún análisis de la plataforma de estacionamientos del aeropuerto AMB. A raíz de esta necesidad, se ha realizado un estudio de la capacidad de plataforma de aeronaves.

1.4. Objetivos

Objetivo General

El objetivo general de este trabajo es conocer la capacidad teórica actual de la plataforma de estacionamientos del aeropuerto AMB con el modelo analítico propuesto por R. Horonjeff en *“Planning and Design of Airports”* (2010).

Objetivos Específicos

- Analizar los estacionamientos de la plataforma AMB para conocer el estado actual, características y, si fuera el caso, las deficiencias o limitaciones.
- Analizar los datos disponibles de las operaciones del aeropuerto Arturo Merino Benítez desde el año 2015 hasta marzo del 2016.
- Realizar Propuestas de mejora en base a los resultados obtenidos.

1.5. Metodología de trabajo

Para lograr los objetivos de este trabajo se ha seleccionado el modelo de cálculo analítico propuesto por R Horonjeff en *“Planning and Design of Airports”* (2010). Para poder ejecutarlo se va a realizar un estudio de las características de la plataforma, a través de la observación en terreno², y, posteriormente, un análisis de los datos históricos de las operaciones realizadas en el aeropuerto AMB.

En este análisis se van a desglosar y analizar todas las partes del proceso que conforman una operación, es decir, desde que el avión toca la pista de aterrizaje hasta que despegue. Una vez descompuesto, con los datos históricos de las operaciones del aeropuerto, se podrán conocer y promediar las variables del modelo, para, posteriormente, proceder con los cálculos y cuantificar el número de aeronaves por hora que, en base a las características del tráfico actual en el aeropuerto AMB, puede atender la plataforma de estacionamientos.

Una vez realizado los cálculos, se va proponer un plan de mejoras del uso de la plataforma a partir de los resultados y la información recopilada.

1.6. Planificación temporal

- **Sección 1 - Recopilación de información**

- a) Búsqueda de información sobre capacidad aeroportuaria
- b) Recopilación de información sobre diseño y características de estacionamientos de aeronaves
- c) Búsqueda de modelos analíticos para calcular capacidad de plataforma
- d) Análisis de la plataforma de estacionamientos del aeropuerto AMB
- e) Selección del modelo

- **Sección 2 – Definición del modelo a realizar**

- a) Definición de los objetivos a alcanzar
- b) Definición de los recursos requerimientos necesarios

² La observación en terreno ha sido posible gracias al convenio de cooperación educativa para la realización del Trabajo Final de Grado establecido con la Sociedad Concesionaria Nuevo Pudahuel S.A.

c) Selección de la información necesaria para realizar los cálculos del modelo

- **Sección 3 – Realización del modelo**

a) Definir diferentes escenarios con diferentes restricciones para realizar un estudio más completo

b) Filtrar y tratar los datos seleccionados para cada escenario

c) Calcular las variables para cada escenario

d) Calcular la capacidad de plataforma actual con el modelo propuesto en cada escenario

- **Sección 4 – Interpretación de los resultados**

a) Comparar resultados con datos actuales de la plataforma

b) Analizar los aspectos que pueden influir en los resultados de los modelos

c) Comparar resultados con otros aeropuertos de características similares al aeropuerto AMB

d) Proponer mejoras para el rendimiento de la plataforma

- **Sección 5 – Redacción del documento final**

a) Redacción del documento final

b) Preparación para la presentación del trabajo

Planificación temporal

Nombre de la tarea	Fecha inicio	Fecha final	Duración
Sección 1 - Recopilación de información	25/02/16	29/04/16	47d
a) Búsqueda de información sobre capacidad aeroportuaria	25/02/16	10/03/16	11d
b) Recopilación de información sobre diseño y características de estacionamientos de aeronaves	10/03/16	15/03/16	4d
c) Búsqueda de modelos analíticos para calcular capacidad de plataforma.	15/03/16	28/03/16	10d
d) Análisis de la plataforma de estacionamientos del aeropuerto AMB.	01/03/16	29/04/16	44d
e) Selección del modelo.	28/03/16	29/03/16	2d
Sección 2 - Definición del modelo a realizar	01/04/16	29/04/16	21d
a) Definición de los objetivos que alcanzar	01/04/16	04/04/16	2d
b) Definición de los recursos requerimientos necesarios.	06/04/16	08/04/16	3d
c) Selección de la información necesaria para realizar los cálculos del modelo.	16/04/16	29/04/16	11d
Sección 3 - Realización del modelo	05/05/16	31/05/16	19d
a) Definir diferentes escenarios con diferentes restricciones para realizar un estudio más completo	05/05/16	10/05/16	4d
b) Filtrar y tratar los datos seleccionados para el modelo.	10/05/16	17/05/16	6d
d) Calcular variables para cada escenario	17/05/16	27/05/16	9d
e) Calcular capacidad actual con el modelo propuesto en cada escenarios	24/05/16	31/05/16	6d
Sección 4 - Interpretación de resultados	01/06/16	23/06/16	17d
a) Comparar resultados con datos actuales de la plataforma.	01/06/16	03/06/16	3d
b) Analizar los aspectos que pueden influir en los resultados de los modelos.	06/06/16	10/06/16	5d
c) Comparar resultados con otros aeropuertos de características similares al aeropuerto AMB.	12/06/16	17/06/16	6d
d) Proponer mejoras para el rendimiento de la plataforma.	17/06/16	23/06/16	5d
Sección 5 - Redacción del documento final	01/04/16	15/07/16	76d
a) Redacción del documento final	01/04/16	01/07/16	66d
b) Preparación para la presentación del trabajo.	03/07/16	15/07/16	11d

Tabla 1: Planificación temporal. Fuente: Elaboración propia

1.7.Riesgos del proyecto

Como en todo proyecto existe cierto nivel de riesgo, lo que significa que hay alguna posibilidad de que el estudio fracase o no salga como se había planeado. Para poder hacer frente a dicha incertidumbre se van a identificar y catalogar los posibles riesgos que conlleva realizar este estudio. Una vez identificados se va a definir un plan de contingencia.

Identificación de riesgos

- **R1:** Falta de datos: La falta de información por inexistencia puede conllevar a una pérdida de calidad en los resultados del proyecto. Así mismo, también puede provocar retrasos en la duración de según que tareas.
- **R2:** Información confidencial: hacer públicos los resultados del trabajo más allá del ámbito académico.
- **R3:** Información falsa: La no veracidad de los datos requeridos para realizar los cálculos de capacidad puede invalidar todo el trabajo.
- **R4:** Planificación temporal deficiente: Programar las tareas de manera demasiado optimista puede provocar que no se cumplan a tiempo algunas tareas y llegar a retrasar todo el proyecto.
- **R5:** Modelo analítico inadecuado: Elegir un modelo erróneo, anticuado o que no se ajuste las características del aeropuerto AMB para el cálculo de capacidad.
- **R6:** Realización incorrecta del modelo analítico: Disminución de la calidad del proyecto e incumplimiento de los objetivos establecidos.
- **R7:** No finalización del proyecto: Abandono del proyecto por no poder o no saber realizar el análisis de datos y el modelo para los cálculos.

Catalogación de los riesgos

A continuación se va a clasificar los riesgos según la probabilidad de ocurrencia y el nivel de impacto que estos supondrían al proyecto.

Riesgo	Probabilidad	Impacto
R1	Media	Alto
R2	Media	Alto
R3	Media	Alto
R4	Media	Alto
R5	Baja	Alto
R6	Media	Alto
R7	Baja	Muy alto

Tabla 2: Calificación de riesgos. Fuente: Elaboración propia

Plan de contingencia

- **R1:** Adaptarse a la información disponible y si fuera posible crear los datos inexistentes a partir de los datos disponibles y comparando información con aeropuertos de características similares. Se tendrá que especificar que los datos son aproximados y no los reales.
- **R2:** Hacer anónimos los datos o usar información falsa.
- **R3:** Comparar información con aeropuertos de características similares y adaptar los datos para conseguir la mayor calidad posible.
- **R4:** Incrementar el número de horas dedicadas al proyecto o reducir el número de objetivos.
- **R5:** Pedir asesoramiento sobre el modelo seleccionado.
- **R6:** Hacer y pedir revisiones exhaustivas de los cálculos.
- **R7:** No existe solución.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Aeropuertos

Los aeropuertos son infraestructuras aeronáuticas diseñadas para atender las operaciones de las aeronaves tales como el aterrizaje, despegue, estacionamiento, mantención, embarque y desembarque de pasajeros y o carga. Estas infraestructuras están divididas en dos sectores:

- El lado aire → Zona donde operan las aeronaves
- El lado tierra → Zona de actividades generales y asistencia a los pasajeros

El lado aire es la zona que atiende las operaciones y funciones que corresponden directamente a la aeronave y a todo lo que esta necesita. Se compone principalmente del área de maniobras (pista y calles de rodaje) y de la plataforma de estacionamientos³.

En el lado tierra la atención se centra en los pasajeros y sus necesidades. Esta zona está compuesta por el edificio terminal, que enlaza con el lado aire, la urbanización (parking de coches y vías de acceso al aeropuerto) y la zona industrial. La terminal de pasajeros incluye zonas de comercio, aduanas, manejo de equipajes, estacionamientos de coches y servicios, entre otros.

El diseño y planificación de las infraestructuras de un aeropuerto está determinado por el volumen de pasajeros y el tipo de tráfico que éste tendrá que atender.

A continuación se van a describir diferentes diseños de construcción de los principales componentes que afectan a la capacidad de plataforma.

2.1.1. Terminal

La función de la terminal o terminales de un aeropuerto es atender a los pasajeros, tripulaciones y carga para facilitarles los servicios necesarios para el desplazamiento hasta o desde el lado aire. La terminal debe lograr un equilibrio entre las necesidades de los pasajeros, la eficiencia operativa, la inversión en infraestructura e instalaciones y la estética. Para lograrlo existen diferentes diseños de infraestructuras, que han ido

³ Depende de la bibliografía que se consulte, la plataforma de estacionamientos puede aparecer dentro del lado aire o del lado tierra.

evolucionando en tamaño y complejidad con el paso del tiempo a causa del aumento del tráfico y de las nuevas necesidades que este incremento implica (Wells & Young, 2004) :

- ***Simple Unit Terminal***: Las primeras terminales, que aparecieron en 1920, se construyeron con la idea de centralizar todos los servicios y necesidades del proceso que efectúan los pasajeros en un mismo edificio, incluyendo oficinas e instalaciones de control y seguridad. Este diseño estaba pensado para atender a una sola aerolínea.
- ***Combined unit Terminals***: En los años 1940 y 1950 aumentó la demanda del tráfico aéreo, lo que conllevó aumento del número de aerolíneas. Es entonces cuando aparece el diseño de “*Combined Unit Terminals*”, en el cual, dos o más aerolíneas comparten el mismo edificio terminal, pero con pasajeros e instalaciones de procesamiento de equipaje separados.
- ***Multiple Unit Terminal***: Al mismo tiempo que surge el diseño anterior, aparece el *Multimple Unit Terminal*, característico en las grandes áreas metropolitanas, donde cada aerolínea tiene su propia terminal con todas las instalaciones necesarias para atender sus necesidades.
- ***Linear Terminals***: Con el aumento de público en el transporte aeronáutico, el *Linear Terminal* sigue el mismo concepto de diseño que el *Simple Unit terminal*, pero se expande de manera horizontal con el objetivo de aumentar el número de estacionamientos de aeronaves manteniendo distancias cortas entre el edificio y los stands. A medida que aumenta la longitud, aumenta las distancias a pie, lo que conduce a los *Pier Finger terminals*.
- ***Curvilinear Terminal***: En algunos casos, los aeropuertos se extendieron de forma curvilínea, lo que permite aún más aviones para estacionarse en la terminal mientras se mantiene cortas distancias des de la entrada del aeropuerto a la puerta de la aeronave.
- ***Pier Finger Terminals***: A partir de los años 50 aparece este diseño de terminales descentralizadas⁴, donde de la terminal se extienden muelles o *fingers* y las aeronaves se estacionan en los dos lados de estos muelles. De esta manera se

⁴ Son terminales descentralizadas en tanto que, algunos procesos se realizan en la terminal principal y otros en los muelles o *fingers*.

maximiza el número de estacionamientos de aeronaves con menos infraestructura.

- ***Pier Satellite Terminals***: Son terminales descentralizadas similares a los *Pier Finger Terminals*, pero en estas las aeronaves se estacionan alrededor de un satélite situado al final de muelle.

- ***Remote Satellite Terminals***: Los satélites no están conectados físicamente a la terminal, sino que el enlace se realiza mediante algún tipo de transporte terrestre (autobuses por ejemplo)

En la actualidad, los aeropuertos mezclan varios de los diseños mencionados anteriormente, ya que no existe una configuración única que sea la mejor para todos los aeropuertos.

2.1.2. Plataforma de estacionamientos

La plataforma de estacionamientos es el área destinada a las maniobras y estacionamiento de las aeronaves. Esta zona conecta la terminal con el lado aire e incluye los parkings o estacionamientos y las calles de rodaje para acceder a estos.

En este apartado se van a presentar los distintos factores que influyen en el diseño de las plataformas:

1. TAMAÑO DE LAS AERONAVES (CAPACIDAD Y ENVERGADURA)

Los estacionamientos están diseñados en función de la envergadura y la longitud de las aeronaves, por lo que un factor clave para realizar la planificación y el diseño de la plataforma de estacionamientos es la previsión de la demanda del tipo de aeronave que solicite el servicio del aeropuerto. Existen 6 tipos de aeronaves según la envergadura:

Código	Envergadura (metros)
A	< 15
B	15 - 24
C	24 - 36
D	36 - 52
E	52 - 65
F	65 - 80

Tabla 3: Códigos envergadura aeronaves. Fuente: Elaboración propia

No todas las aeronaves pueden estacionarse en todos los puestos, pero en la actualidad, un requisito importante en el diseño la plataforma de un aeropuerto es la **flexibilidad**, en tanto que, con las características de la demanda del tráfico aéreo y las limitaciones de terreno, es necesario optimizar recursos y no derrochar espacio. Es por eso que, normalmente, un estacionamiento diseñado para cierto tamaño de aeronaves puede atender a estas y a aeronaves de menor tamaño.

2. TIPO DE MANIOBRAS UTILIZADAS POR LA AERONAVE PARA LA ENTRADA Y SALIDA DEL PUESTO DE ESTACIONAMIENTO

El tipo de maniobras que usan las aerolíneas en el aeropuerto condiciona, en gran medida, las dimensiones y los espacios requeridos en los estacionamientos. Existen tres tipos básicos de maniobras en la plataforma de estacionamientos:

- **Power-In, Power-Out:** Las maniobras de entrada y salida al estacionamiento se realizan de forma manual por el piloto. Para poder ejecutarlas de esta forma es necesario que exista espacio y visibilidad suficiente para poder ejecutarlas sin poner en peligro la infraestructura y el personal aeroportuario.
- **Power-In, Push-Back:** La maniobra de entrada al estacionamiento es realizada de forma manual por el piloto. Cuando la aeronave esta lista para salir se solicita el servicio de un tractor, que se une a las ruedas de la nariz del avión, para empujar la aeronave hasta la calle de rodaje, donde el avión tiene suficiente espacio para maniobrar y ser puesto en marcha de forma segura. Llegado este punto el tractor se separa del avión para que este continúe a través de sus propios medios.
- **Tug-In, Push-Back:** En terminales con limitación de espacio y visibilidad reducida, las maniobras de entrada y salida se realizan mediante la ayuda de un tractor.

3. CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO DE LOS ESTACIONAMIENTOS

La función de un estacionamiento ("*Stand*" en inglés) es dar cabida a las aeronaves durante la carga y descarga de pasajeros y/o de carga.

Existen diferentes tipos de estacionamientos que se han ido desarrollando en los aeropuertos:

a) Estacionamientos de la terminal

Este tipo de estacionamientos se sitúan de manera adyacente a la terminal. Generalmente hay dos categorías dentro de este tipo de estacionamientos: Puestos de contacto ("*Contact gates*") y de no contacto ("*noncontact gates*"). Los primeros están suficientemente cerca como para conectarse a la terminal mediante puentes de embarque/desembarque. Los puestos de no contacto utilizan escaleras de aire, rampas, o escaleras móviles para el embarque y desembarque de pasajeros.

Existen 4 formas de estacionar la aeronave en relación con la posición hacia la terminal:

- **Nose-in**: La aeronave se posiciona con el morro encarado hacia la terminal y se conecta con el edificio mediante un puente. Esta forma de estacionamiento es la que requiere menor cantidad de espacio. Las aeronaves pueden entrar en esta parking de manera autónoma, pero necesitan ayuda para realizar la maniobra de salida (VER APARTADO X). Esta forma de estacionar la aeronave solo permite el desembarque de pasajeros por las puertas delanteras, ya que, las traseras se encuentran demasiado lejos para poder ser conectadas a través del puente.
- **Angled nose-in**: La aeronave se estaciona de manera angular hacia la terminal, de manera que permite a las aeronaves realizar de forma autónoma las maniobras de entrada y salida al estacionamiento. Este tipo de parking requiere mayor espacio que el *nose-in* y escaleras de aire para embarcar y desembarcar pasajeros. Suele ser usado por aeronaves de tamaño pequeño.
- **Angled nose-out**: El avión se estaciona un poco más lejos de la terminal que el *nose-in* y el *angled nose-in*, ya que los reactores o las hélices pueden causar daños al edificio de la terminal. Este tipo de estacionamiento es mayormente usado por aeronaves de tamaño grande en aeropuertos con niveles relativamente bajos de actividad.
- **Parallel parking**: El estacionamiento paralelo es el más fácil de maniobrar para las aeronaves, aunque es el que mayor espacio requiere. En esta configuración se pueden usar las puertas delanteras y traseras para el embarque y desembarque de

pasajeros. Este tipo de estacionamiento se emplea solo para aeronaves de tamaño pequeño y también en aviones cargueros, en tanto que, facilita la carga y descarga del avión.

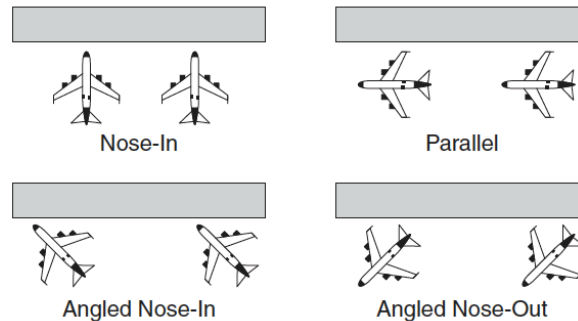


Ilustración 1: Tipos de estacionamientos. Fuente: R Horonjeff;

F. McKelvey; W. J. Sproule; S. Young "Planning and Design of Airports, 2010"

b) Estacionamientos remotos

Cuando hay estacionamientos de la terminal limitados disponibles la aeronave puede estacionarse durante largos períodos de tiempo en áreas de estacionamiento remotos lejanos a la terminal compuestos por una serie de filas de plazas con dimensiones adecuadas para alojar a diferentes tipos de aviones. Los pasajeros son transportados a la terminal (o de la terminal) vía jardineras o autobús.

c) Estacionamientos de carga

Los estacionamientos de carga están dedicados exclusivamente a aeronaves cargueras. Disponen de los recursos necesarios para este tipo de operaciones. Como los estacionamientos de terminal, estos están, normalmente, cerca de la terminal de carga.

4. REQUISITOS REFERIDOS A SEÑALES Y DISTANCIAS LIBRES ENTRE AERONAVES Y/U OBJETOS

Existen una serie de señales, medidas y distancias estándares de separación entre los diferentes elementos que conforman la plataforma y las calles de rodaje. Estos requisitos están dictados en el Anexo 14 la *International Civil Aviation Organization*.

5. DISEÑO DE LA TERMINAL

El diseño de la terminal influye directamente a la plataforma y al diseño de los estacionamientos (Ver apartado 2.1.1 Terminal).

6. TIPOS DE SERVICIOS U ACTIVIDADES QUE REQUIEREN LAS AERONAVES EN LA PLATAFORMA

Las aeronaves que solicitan acomodarse en el aeropuerto durante un lapso de tiempo requieren de varios servicios, tales como:

- Asistencia de combustible y lubricante
- Asistencia a equipajes
- Asistencia de carga y correo
- Asistencia de aseo y mantenimiento
- Sistema de agua potable
- Sistema de aire acondicionado
- Asistencia a pasajeros (puente, escaleras de aire, etc.)
- Catering
- Sistema de electricidad (*ground power*)

7. CALLES DE RODAJE DE ENTRADA Y SALIDA A LA PLATAFORMA Y VÍAS DE SERVICIO

Los estacionamientos están conectados a la pista de aterrizaje mediante calles de rodaje ("*Taxiways*" en inglés). La plataforma tiene que tener un diseño que permita construir calles de rodaje adecuadas para movimientos fluidos, seguros, eficientes y flexibles desde la pista de aterrizaje hasta los puestos de estacionamientos.

2.2. Capacidad de plataforma

La capacidad de la plataforma es el máximo número de aeronaves que un aeropuerto puede atender con un número fijo de estacionamientos en un intervalo determinado y con una demanda continuada. Esta capacidad viene determinada por varios factores, tales como:

- **Capacidad estática de plataforma:** Se refiere al número y tipo de estacionamientos disponibles. El tipo de parking viene definido por el tamaño y diseño de este. El tamaño varía según los diferentes tipos de aeronaves que el parking puede atender a en base a la longitud y envergadura del avión (ver tabla 3). El diseño del estacionamiento se refiere a la manera en que el avión se posiciona respecto a la terminal (ver ilustración 1).
- **Tipo de aeronaves que piden el servicio:** Dependiendo del tamaño de la aeronave que solicite el servicio (código A, B, C, D, E, o F) podrá estacionarse en un

estacionamiento u otro. El tamaño de la aeronave también influirá en el tiempo de ocupación del estacionamiento.

- **Tiempos de ocupación de estacionamiento:** El tiempo de ocupación es el tiempo comprendido entre la entrada y salida de la aeronave en una posición. Dicho tiempo depende de varios factores, tales como el tipo de avión (tamaño), tipo de tráfico (de pasajeros o de carga), tiempo de *turnaround* , etc. Otro factor influyente, es si se trata de ocupación por aerolíneas basadas o no basadas, en tanto que, las primeras, al tener su base en el aeropuerto, suelen ocupar menores tiempos la plataforma, ya que se trasladan a sus correspondientes hangares.
- **Otras restricciones:** En aeropuertos de gran tamaño suele darse una restricción extra en base al tipo de tráfico y el diseño de la terminal, dividiendo así la plataforma en tres sectores según la naturaleza del tráfico: Internacional (INT), Nacional (NAC), y carga (CRG).

Para calcular la capacidad teórica de la plataforma existen diferentes métodos de cálculo analítico y modelos de simulación.

2.3. Modelo para el cálculo de capacidad teórico de estacionamientos

En este trabajo se va a utilizar un modelo analítico para calcular la capacidad teórica de la plataforma de estacionamientos definido por R. Horonjeff *“Planning and Design of Airports”* (2010) basado en el número de estacionamientos disponibles y el promedio de tiempo de ocupación de puesto según el mix de aeronaves que solicitan el servicio, teniendo en cuenta las restricciones de uso de cada estacionamiento.

Se pueden encontrar dos variantes del modelo. El primero asume que todas las aeronaves pueden estacionarse en todos los stands disponibles. El segundo restringe el uso de stands en base a la envergadura máxima que éste puede soportar, por lo que, no todos las aeronaves pueden estacionarse en todos los puestos disponibles.

1. MODELO SIN RESTRICCIONES DE USO

Cuando no hay restricciones todos los aviones pueden estacionarse en todos los stands. La capacidad de plataforma se expresa como:

$$C = \frac{N}{T}$$

N = Número total de puestos disponibles

T = Media ponderada del tiempo de ocupación del conjunto de las distintas clases de aeronaves que operan en el aeropuerto:

$$T = \sum Ti \times Pi$$

i = Código envergadura de la aeronave (A, B, C, D, E o F)

P_i = Proporción de aviones de clase i en el conjunto de los que solicitan el servicio

T_i = Tiempo de ocupación de estacionamiento de un avión de clase i

2. MODELO CON RESTRICCIONES DE USO

El segundo modelo asume restricciones en el uso de los stands en base al tamaño de estos. Este modelo supone que los estacionamientos diseñados para aeronaves de una clase pueden atender a aeronaves de menor tamaño que el de la clase diseñada. Para la restricción del uso de plataforma es necesario definir el número de puestos que pueden acomodar a cada grupo de aeronaves (clasificación según tabla 3) y calcular, por separado, la capacidad de cada tipo de estacionamiento.

La capacidad de plataforma vendrá dada por la mínima de las capacidades calculadas:

$$C = \min(C_i)$$

Donde:

i = Código de envergadura la aeronave (A, B, C, D, E o F)

C_i = Capacidad de plataforma limitada por el grupo de stands disponibles para aeronaves de clase i:

$$C_i = \frac{N_i'}{T_i'}$$

N_i' = Número de posiciones diseñadas para acomodar aeronaves de clase i (puestos diseñados para aeronaves de tamaño i y mayores que i):

$$N_i' = N_i + N_{i+1} + \dots + N_n$$

T_i' = Tiempo de ocupación esperado del conjunto de aeronaves que pueden utilizar stands del grupo i :

$$T_i' = \sum_{j \geq i} P_j T_j$$

M_j = Proporción de aeronaves de clase j en el conjunto de aeronaves que demandan el servicio

T_j = Tiempo medio de ocupación de aeronaves de tipo j

Para realizar una estimación más realista se añade a la fórmula de capacidad el factor de utilización de estacionamiento, ya que las posiciones de estacionamiento no se ocupan inmediatamente después de ser abandonadas por la aeronave estacionada previamente. Entonces:

$$C_i = \frac{N_i'}{T_i'} \cdot U_i'$$

U_i' = Factor de utilización del grupo de estacionamientos que pueden acomodar a aeronaves de categoría i

3. CASO DE ESTUDIO: AEROPUERTO INTERNACIONAL ARTURO MERINO BENÍTEZ

El estudio de capacidad de plataforma se va a realizar en un caso real, en la plataforma de aeronaves del aeropuerto internacional Arturo Merino Benítez (AMB), situado en Santiago de Chile.

En los siguientes apartados se describe el diseño y situación actual del aeropuerto, para, posteriormente, aplicar el modelo de cálculo con datos reales de las operaciones de este.

3.1.Descripción del aeropuerto

El Aeropuerto Internacional Arturo Merino Benítez de Santiago (código IATA: SCL, código OACI: SCEL), está ubicado a 14 km al noroeste del centro de la ciudad de Santiago de Chile, en la comuna de Pudahuel. Consta de la siguiente infraestructura:

- Edificio terminal (internacional, nacional)
- Dos pistas de aterrizaje
- Plataforma de estacionamientos
- Instalaciones de carga
- Áreas de estacionamientos públicos
- Área de mantenimiento de aeronaves y bases de aerolíneas
- FACH⁵

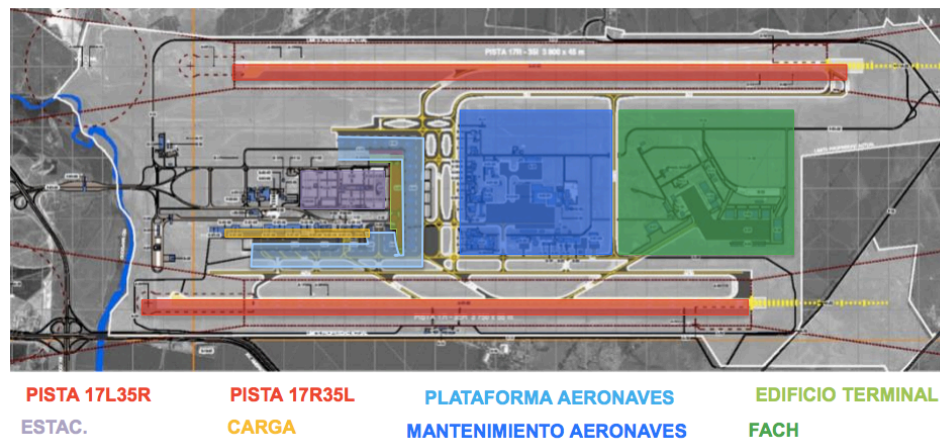


Ilustración 2: Aeropuerto AMB. Fuente: Ministerio de obras públicas de Chile.

⁵ Fuerza Aérea de Chile

Actualmente el aeropuerto AMB cuenta con una terminal de tipo Linear con un *Pier Finger* en el lado oriente de la terminal. Consta con una superficie total de 110 mil m² distribuidos en cuatro niveles, dentro de los cuales se encuentran diversos servicios que son entregados por distintas instituciones tanto privadas como públicas.

3.1.1. Pista y plataforma de aeronaves

Las instalaciones asociadas a las Pistas, Plataforma y Calles de Rodaje donde operan las aeronaves en el aeropuerto AMB, se encuentran bajo la jurisdicción DGAC⁶ y en términos generales comprende la siguiente infraestructura:

- Dos Pistas de Aterrizaje de 3,75 km y 3,8 km de longitud y que poseen 55 m y 45 m de ancho respectivamente.
- Plataforma de operación con una superficie total de 18,4 ha.
- Dispone de 22 Calles de Rodaje con un ancho promedio de 23 metros.

La plataforma actual del aeropuerto dispone de un total de 42 posiciones, distribuidas del siguiente modo (ver ilustración 4):

- 18 estacionamientos de terminal servidos por puentes.
- 5 estacionamientos cargueros.
- 24 posiciones en remoto.

Las posiciones de remoto cuentan con 11 buses para el traslado de pasajeros de la terminal al remoto y viceversa.

⁶ Dirección General de Aeronáutica Civil

Se puede considerar una zona diferenciada por aviación internacional (INT), nacional (NAC) y carga (CRG):

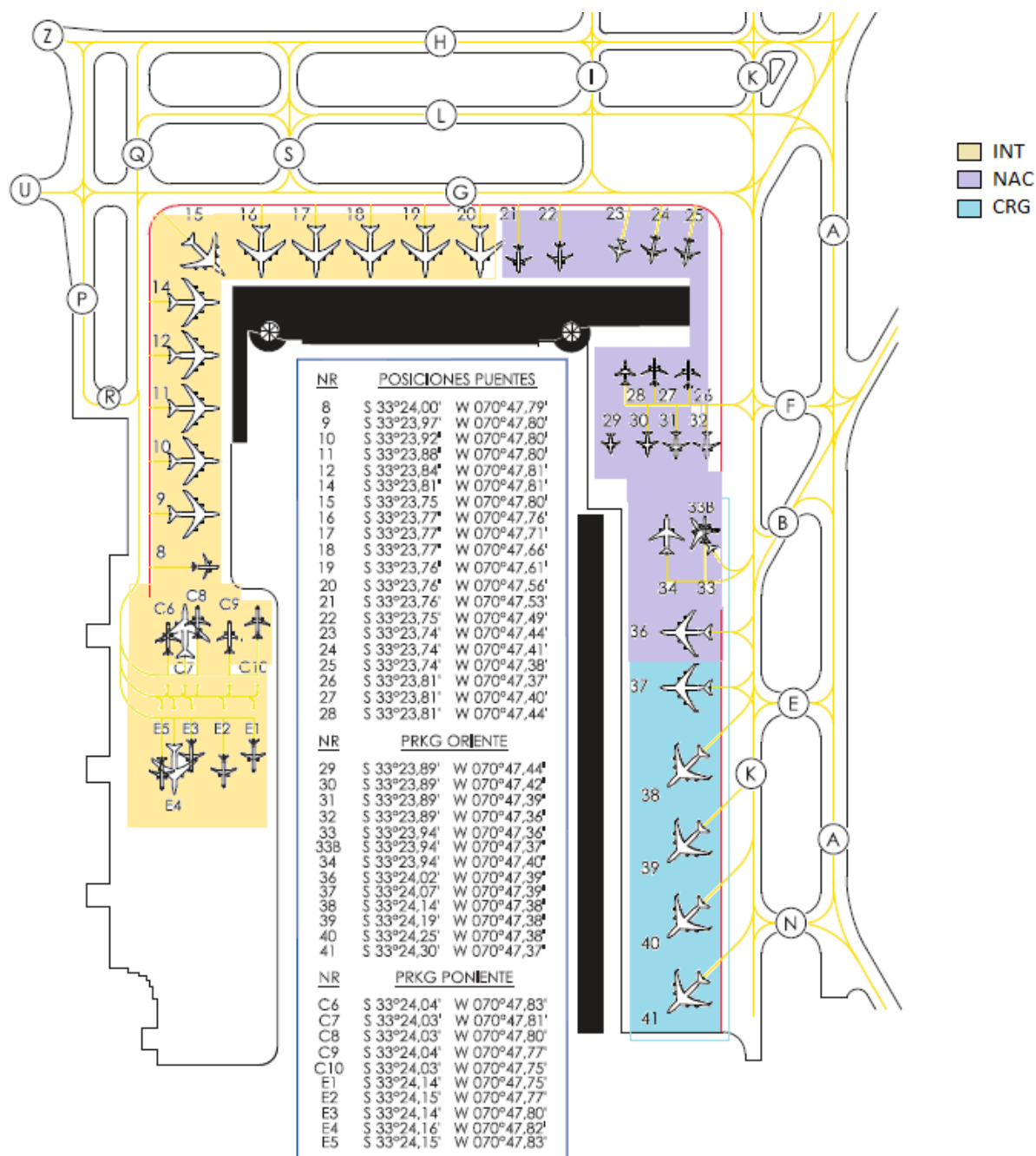


Ilustración 3: Plataforma de aeronaves AMB. Fuente: Departamento de operaciones aeropuerto AMB

Según la envergadura de las aeronaves, la plataforma de estacionamientos del aeropuerto dispone los siguientes stands:

Número de stands	Plataforma	Código de la envergadura
7	INT	C
0	INT	D
13	INT	E
9	NAC	C
4	NAC	D
2	NAC	E
0	CRG	C
0	CRG	D
1	CRG	E
4	CRG	F

Tabla 4: Clasificación de los estacionamientos de la plataforma AMB. Fuente: Elaboración propia

Aunque existe una división restricción de estacionamientos según la naturaleza de la operación, la plataforma del aeropuerto AMB tiene puentes mixtos⁷ (“swing gates” en inglés):

- **Llegadas:** Desde puente 17 hasta 23
- **Salidas:** Desde puente 20 hasta 23

Las características generales de la plataforma son las siguientes:

- Los estacionamientos/puentes de tráfico de pasajeros están diseñados para la modalidad de ingreso de nariz (*nose in*).
- Los estacionamientos de la terminal de carga están diseñados para la modalidad de ingreso *angled nose-in*.
- El abandono de los estacionamientos/puentes es bajo maniobra *push back*.

⁷ Los puentes mixtos pueden atender tanto a aeronaves de tráfico nacional como internacional, gracias a un diseño de puertas que permite una configuración flexible dentro de la terminal, con posibilidad de conectar el estacionamiento al sector nacional o internacional.

- La Plataforma Nacional, Internacional y de Carga, cuenta con líneas guías de color amarillo para el acceso a los estacionamientos. Se requiere señalero .
- Las aeronaves ligeras autopropulsadas rodarán entre la plataforma Papa y la intersección de las calles de rodaje Mike y Kilo o India y Hotel, guiadas por un vehículo *Follow me*.
- En todos los puentes y estacionamientos, las aeronaves podrán efectuar prueba de motores sólo en ralentí.

La plataforma cuenta con los siguientes servicios.

- Instalaciones de manipulación de carga.
- Instalaciones/capacidad de reabastecimiento con combustibles Jet A1/eto 2380/TO 15.
- Espacio hangar para aeronaves visitantes.
- Instalaciones para reparaciones de aeronaves visitantes.
- Unidades de 400 Hz (*Ground Power*) en todos los puentes de embarque (estacionamientos de la terminal).
- Unidades de aire acondicionado en todos los puentes de embarque.
- Servicio de Catering para las líneas aéreas en los que participan 4 proveedores.
- Servicio de *Handling* en los que participan 4 proveedores.

3.2.Cálculos

3.2.1.Limitación de los cálculos

Un aspecto muy importante en la gestión de un aeropuerto es el manejo de la información, ya sea para la toma de decisiones, la planificación, estadísticas de tráfico, etc.

La antigua concesión del aeropuerto AMB ha dejado tras su paso un legado de tecnología obsoleta, una cultura empresarial anticuada basada en tratos de favoritismos y un caos en el manejo de la información. Como consecuencia, este estudio se ha visto afectado por uno de los riesgos identificados al inicio del trabajo: **La falta de datos** (R1).

En la actualidad no existe una planificación a largo o medio plazo del uso de la plataforma de estacionamientos, sino que la organización se ejecuta a nivel operativo, es decir, se realiza día a día. La asignación de puestos de estacionamiento se efectúa en base al tiempo que la aerolínea solicita estar en el aeropuerto siguiendo el esquema de la ilustración 5.

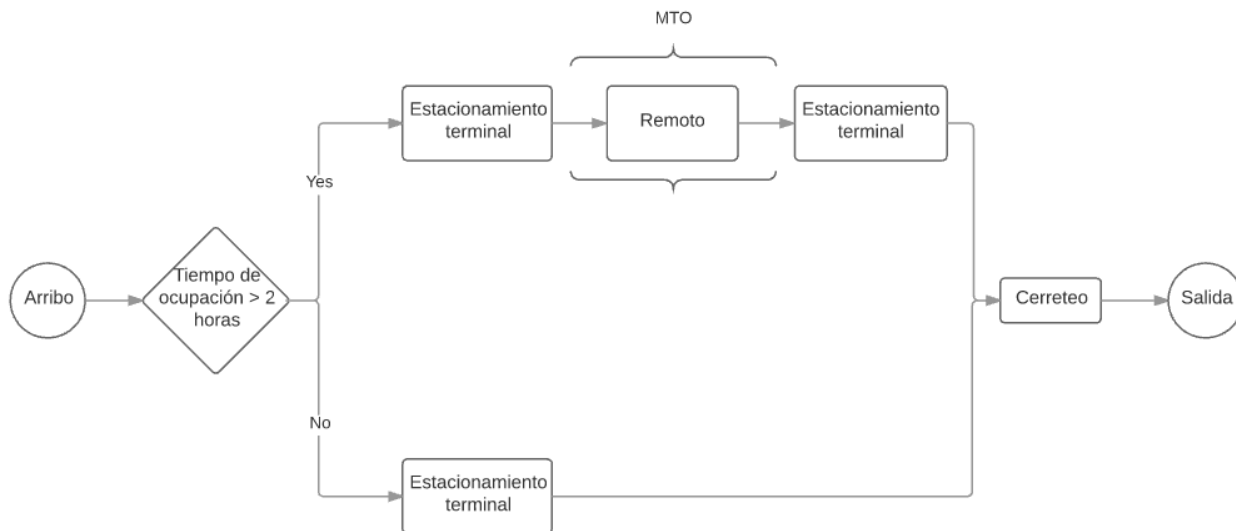


Ilustración 4. Esquema asignación de estacionamientos. Fuente: Elaboración propia

Las operaciones mayores de dos horas que estacionan en puente y en remoto quedan registrada como dos operaciones distintas dentro del concepto MTO:

Información Arribo						Información Salida			
COMPAÑIA	FECHA	N° VUELO	HORA P. LLEGADA	SECTOR	ESTAC. LLEGADA	N° VUELO	HORA P. SALIDA	SECTOR	ESTAC. SALIDA
LAN	8/2/16	241	15:10	INT	P10	MTO	16:00	INT	P10
LAN	8/2/16	MTO	18:20	INT	P10	241	19:00	INT	P10

Tabla 5: Ejemplo registro información. Fuente: Elaboaración propia

El concepto MTO puede referirse a más situaciones a parte de la descrita anteriormente:

- Cuando una aeronave solicita servicio de pernocte
- Cuando una aeronave necesita una operación de mantenimiento de la misma aeronave
- Cuando una aeronave ha iniciado o completado la maniobra de estacionamiento en un puente o remoto que no le correspondía.

Esto causa varios problemas para el trato de la información:

- No hay un registro de la planificación del tiempo total que la aeronave ha estado en el aeropuerto.
- No hay registro del tipo de MTO realizado.
- Hay lapsos de tiempo donde la información de la posición de la aeronave se desconoce (como en el ejemplo de arriba).

- Las compañías LAN y Sky Airlines, que abarcan alrededor del 90% de las operaciones del aeropuerto⁸, tienen su propio hangar, lo que supone que muchos de sus vuelos siguen la siguiente pauta:
 - Llegan a puente, desembarque de pasajeros, mantención, etc.
 - Se trasladan a su correspondiente hangar.
 - Pasado un cierto tiempo realizan el traslado del hangar hacia puente para embarcar pasajeros y realizar su salida.

Esta información no queda registrada, por lo que no se puede saber las aeronaves que realizan el traslado a los hangares y las que permanecen la totalidad del tiempo de rotación en la plataforma del aeropuerto.

La falta de información sobre los tiempos de ocupación de los vuelos es la principal limitación de este análisis, ya que aproximadamente un 40% de las operaciones anuales están registradas dentro del concepto MTO.

Para hacer frente a este problema se ha actuado siguiendo el plan de contingencia: adaptar la información disponible y crear datos inexistentes a partir de los datos disponibles, por lo que se han implementado una serie de filtros al registro de operaciones realizadas en el aeropuerto:

- Se ha filtrado las operaciones con MTO inferiores a 30 minutos⁹
- Las operaciones de las aerolíneas Sky airlines y LAN anotadas dentro del concepto MTO se han eliminado.
- Para hallar los tiempos reales de ocupación de las operaciones restantes a los dos primeros filtros se ha cruzado la información de la programación de los vuelos que solicitaron el servicio con el registro de los tiempos reales.

Esta limitación supone una disminución en la calidad del estudio, ya que la falta de información repercute en la veracidad de resultados.

⁸ El 75% de las operaciones del aeropuerto son realizadas por LAN, y el 15% restante por Sky Airlines

⁹ 30 minutos es el tiempo mínimo de rotación de una aeronave registrado en las operaciones de 2015 del aeropuerto AMB.

3.2.2.Diseño semana y día tipo

Para dar un valor a las variables de tiempo de ocupación y factor de ocupación es necesario cuantificar la demanda actual del aeropuerto. Para eso, es necesario determinar el “peak” de operaciones que soporta el aeropuerto en la actualidad.

En este estudio se ha utilizado la medida de intensificación de la demanda para efectos de dimensionamiento utilizada por la *International Air Transport Association* (IATA): La denominada “*Busy Day*” en Inglés, en que “*busy*” alude a intensa actividad.

El *Busy Day* representa al segundo día más activo de la semana promedio para el mes punta. Se selecciona el mes punta, luego se identifica una semana promedio y se selecciona el día de mayor flujo de la semana tipo.

Cálculo del día tipo:

A continuación se va a proceder a explicar paso a paso el cálculo realizado para hallar el “*Busy Day*”:

Tras analizar las operaciones comprendidas entre los meses de enero del 2015 y marzo del 2016 se ha hallado que el mes con mayor número de operaciones es **Enero del 2016**, con un total de **16070** operaciones registradas.

Para calcular la semana media, se han utilizado factores de conversión:

$$16.070 \frac{\text{operaciones}}{\text{mes}} \cdot \frac{1 \text{ mes (Enero)}}{31 \text{ días}} \cdot \frac{7 \text{ días}}{1 \text{ semana}} = 3628,7 \simeq 3629 \frac{\text{operaciones}}{\text{semana}}$$

La semana media del mes máximo tiene un volumen de **3629 operaciones**.

A continuación se ha buscado la semana de Enero más próxima en número de operaciones de la semana media calculada anteriormente. Para hallarla se han calculado todas las posibles semanas de mes, empezando por el día 1 en grupos de 7 días hasta fin de mes (la primera fila del día 1 a 7, la segunda 2 al 8, así sucesivamente hasta la última, del 25 al 31).

Semana	Semana Media	Diferencia	Valor Absoluto
3432	3629	-197	197
3542	3629	-87	87
3566	3629	-63	63
3584	3629	-45	45
3600	3629	-29	29
3630	3629	1	1
3650	3629	21	21
3656	3629	27	27
3652	3629	23	23
3660	3629	31	31
3638	3629	9	9
3650	3629	21	21
3646	3629	17	17
3631	3629	2	2
3640	3629	11	11
3668	3629	39	39
3698	3629	69	69
3726	3629	97	97
3728	3629	99	99
3738	3629	109	109
3756	3629	127	127
3754	3629	125	125
3756	3629	127	127
3736	3629	107	107
3748	3629	119	119

Tabla 6: Diseño semana tipo. Fuente: Elaboración propia

La diferencia mínima se produce en (ver tabla 6):

- Semana del 6 al 12 (S1)

Siguiendo el método de la IATA, se ha buscado el segundo día máximo en volumen de operaciones de la semana media.

Semana tipo	
Día	Operaciones
6	518
7	510
8	522
9	488
10	516
11	554
12	521

Tabla 7: Día tipo. Fuente: Elaboración propia

El 08/01/2016 es el segundo día máximo, con **522** operaciones registradas. La hora *peak* se produce entre las 21:00h. y las 21:59h. con un total de **37** operaciones.

3.2.3.Aplicación del modelo

3.2.3.1.Escenario I – Plataforma AMB

En el primer escenario se va a calcular la capacidad total de la plataforma con las dos variantes modelo mencionadas en el apartado 2.3 de este estudio.

Definición de variables

i = Código de la envergadura de la aeronave:

$$\begin{cases} i = 1 \rightarrow \text{Aeronaves código C} \\ i = 2 \rightarrow \text{Aeronaves código D} \\ i = 3 \rightarrow \text{Aeronaves código E} \\ i = 4 \rightarrow \text{Aeronaves código F} \end{cases}$$

N_i → Actualmente la plataforma de estacionamientos del aeropuerto AMB está compuesta por 42 posiciones. Según el tipo de aeronave *i* que pueden atender existen las siguientes posiciones:

- 18 posiciones diseñadas para aeronaves de clase C → N₁
- 4 posiciones diseñadas para aeronaves de clase D → N₂
- 16 posiciones diseñadas para aeronaves de clase E → N₃

- 4 posiciones diseñadas para aeronaves de clase F $\rightarrow N_4$
- Número de stands totales = 42

Esta capacidad estática está sujeta a variaciones, ya que, los estacionamientos C8 y C9, que son de tipo D, pueden fusionarse y convertirse en la posición C7 que da cabida a aeronaves de tipo E. Pasa lo mismo con los estacionamientos E5 y E3 de tipo D, que se convierten en E4 de tipo E. Para realizar los cálculos de capacidad se van a considerar las posiciones C8, C9, E5 y E6, ya que, teniendo en cuenta que, al ser puestos remotos, es necesario el uso de jardineras para el transporte de pasajeros, es más óptimo enviar aeronaves de clase C que aeronaves de mayor tamaño, en tanto que se precisan menos servicios de transporte de pasajeros. Así pues, el número de estacionamientos disponibles se reduce en 2, quedando un total de **40** puestos disponibles.

M_i \rightarrow La mezcla de aeronaves que operan en AMB son básicamente aviones del tipo C, D y E. Puntualmente se dan casos donde aeronaves de tipo B solicitan el servicio, pero al ser un número muy reducido no se han tenido en cuenta en este modelo. Aeronaves de tipo F actualmente solo opera una (B747-800). Esta operación es carguera y representa el 0.07% de las operaciones totales anuales, por lo que en este escenario se ha decidido no tenerla en cuenta. El porcentaje de las operaciones de cada tipo de aeronave se ha calculado en base a las operaciones totales del año 2015.

T_i' \rightarrow El tiempo de ocupación por tipo de aeronave se ha calculado en base al promedio de las operaciones del día tipo de diseño. No se han tenido en cuenta las operaciones de pernocte.

U_i \rightarrow Para determinar el factor de utilización del grupo de puestos disponibles para cada tipo de aeronave se ha contabilizado el tiempo de ocupación de cada estacionamiento a lo largo del día tipo de diseño y se ha dividido entre el tiempo total de ocupación del mismo. De cada grupo se ha elegido el estacionamiento con mayor factor de ocupación en relación al número de aeronaves que han ocupado el estacionamiento.

Se define entonces:

Clase de aeronave	i	Número de stands	Nº de stands disponibles para aeronaves de tipo i (N _i)	Proporción de las operaciones (M _i)	Tiempos de ocupación en horas (T _i ')	Factor de ocupación (U _i)
C	1	14	40	80,25%	1,1	77.08%
D	2	4	26	7,88%	1.58	77.08%
E	3	18	22	11,87%	1,77	72.5%
F	4	4	4	-	-	-
Σ		40	-	100,00%	-	-

Tabla 8: Parámetros empleados para el cálculo de la capacidad de plataforma. Fuente: Elaboración propia

Modelo sin restricciones de uso

$$C = \frac{40}{(0.8025 * 1.1) + (0.0788 * 1.58) + (0.1187 * 1.77)}$$

C = 32.86

Añadiendo el factor de utilización:

$$C = \frac{40}{(0.8025 * 1.1) + (0.0788 * 1.58) + (0.1187 * 1.77)} * 0.7708$$

C = 25.32

Modelo con restricciones de uso

Stands para aeronaves de código C (C₁)

$$C_1 = \frac{40}{(0.8025 * 1.1) + (0.0788 * 1.58) + (0.1187 * 1.77)} * 0.7708$$

C₁ = 25.32 aeronaves/hora

Stands para aeronaves de código D (C₂)

$$\frac{26}{(0.0788 * 1.58) + (0.1187 * 1.77)} * 0.7708$$

C₂ = **59.9** aeronaves/hora

Stands para aeronaves de código E (C₃)

$$\frac{22}{(0.1187 * 1.77)} * 0.7708$$

C₃ = **80.71** aeronaves/hora

Resumen del resultado del modelo:

Escenario 1.2	
Tipo de estacionamiento	Capacidad
C1	25.32
C2	59.9
C3	80.71

Tabla 9: Resumen resultado del modelo. Fuente: Elaboración propia

La capacidad de plataforma con restricciones de uso es la mínima de las capacidades por grupos de estacionamientos: **25.32 aeronaves por hora**.

3.2.3.2. Escenario II – División de plataforma

La plataforma de aeronaves del aeropuerto AMB cuenta con una restricción de uso adicional, ya que ésta está dividida en tres sectores según la naturaleza del tráfico, es decir, según se trate de tráfico nacional (NAC), internacional (INT) o carga (CRG) (ver ilustración 3).

Sin embargo, los sectores no son del todo estáticos, en tanto que, según el nivel de tráfico, la demanda horaria de este y la configuración de la terminal, la plataforma ofrece la flexibilidad de estacionar en stands fuera de la plataforma que le corresponde. Teniendo

en cuenta este dato, se va realizar una extensión del modelo propuesta por Bojana Mirkovic (*"Airport Apron Capacity Estimation – Model Enhancement"*, 2011) que combina la restricción de tamaño y de uso de plataforma:

$$C = \min_{ij}(C_{ij}) = \min_{ij}\left(\frac{N_{ij}'}{T_{ij}'} * U_{ij}'\right)$$

Donde:

i = Tipo de tráfico

j = Tamaño del estacionamiento en relación al código de la envergadura de las aeronaves

N_{ij}' = Número de stands que deben usar las aeronaves tráfico i y de tamaño j (los stands designados para tráfico i diseñados para aeronaves de tamaño j y mayores que j)

T_{ij}' = Tiempo de ocupación esperado por todas las aeronaves j que pueden utilizar el grupo de stands i

U_{ij}' = Segundo máximo factor de utilización esperado de los stands del grupo i que pueden atender aeronaves del grupo j. Este factor de utilización será calculado en base a las operaciones del día tipo del tráfico i

C_{ij} = Capacidad de la plataforma disponible para tráfico i y aeronaves de tamaño j

Definición de variables

Para dar un valor a las variables de tiempo de ocupación y factor de ocupación se ha calculado un día tipo por cada tipo de tráfico.

i → Tipo de tráfico:

$$\begin{cases} i = 1 \rightarrow \text{Internacional} \\ i = 2 \rightarrow \text{Nacional} \\ i = 3 \rightarrow \text{Carga} \end{cases}$$

j → Código de la envergadura de la aeronave:

$$\begin{cases} j = 1 \rightarrow \text{Aeronaves código C} \\ j = 2 \rightarrow \text{Aeronaves código D} \\ j = 3 \rightarrow \text{Aeronaves código E} \\ j = 4 \rightarrow \text{Aeronaves código F} \end{cases}$$

N_{ij}' → Como se menciona en el apartado 3.1.1, las instalaciones de la terminal de pasajeros ofrecen una cierta flexibilidad en el uso de plataforma:

- Los puentes 20, 21, 22 y 23 son mixtos, por lo que pueden ser usado tanto por nacional e internacional.

- Los remotos 26 y 37 son usados por tráfico de pasajeros nacionales y de carga en base a la demanda.

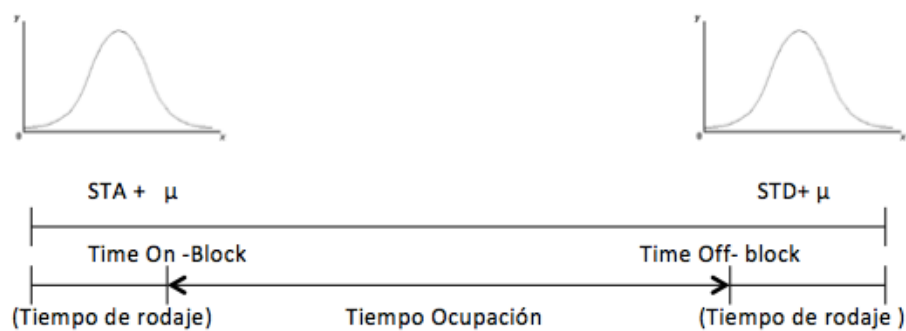
Entonces, los stands disponibles en cada plataforma son los siguientes:

Tamaño de stands	Número de stands (N_{ij})	Plataforma
C	7+1	INT
D	0+1	INT
E	13+1	INT
C	9	NAC
D	4	NAC
E	2+1+1	NAC
C	0	CRG
D	0	CRG
E	1+1	CRG
F	4	CRG

Tabla 10: Puentes mixtos de la plataforma AMB. Fuente: Elaboración propia

$M_{ij}' \rightarrow$ El porcentaje de la demanda por tipo de aeronave y tráfico se ha calculado en base a las operaciones realizadas en 2015. En este escenario se tiene en cuenta el porcentaje de las operaciones de la aeronave B747-800 de categoría F.

$T_{ij}' \rightarrow$ El promedio del tiempo de ocupación por tipos de aeronave y tráfico se ha calculado a partir de la siguiente función:



$$T_{ij}' = \{ (STD_{ij} + \mu_{ij} - C_{ij}) - (STA_{ij} + \mu_{ij} - C_{ij}) \} / n_{ij}$$

μ_{ij} → Media aritmética de la distribución normal de los *delays* de las llegadas y las salidas de las aeronaves de tamaño *j* y tráfico *i* con muestras de las operaciones de la día tipo de tráfico *j*. Los datos de las muestras son el resultado de la diferencia entre el ATD¹⁰ y el STD para las salidas y del ATA¹¹ y el STA para las llegadas, en el rango horario de demanda máxima¹².

C_{ij} → Tiempo promedio de carreteo de la aeronave desde la pista de aterrizaje hacia cada estacionamiento. Estos tiempos han sido proporcionados por la Torre del control del aeropuerto.

n_{ij} → Número de operaciones de aeronaves de tamaño *j* y de tipo de tráfico *i* del día tipo en el rango horario de tráfico máximo.

STA → Tiempo programado de arribo de las operaciones de aeronaves *j* y tráfico *i* del día tipo de tráfico *j* en el rango horario de tráfico máximo.

STD → Tiempo programado de salida de las operaciones de aeronaves *j* y tráfico *i* del día tipo de tráfico *j* en el rango horario de tráfico máximo.

NOTA: Por falta de información, los tiempos de ocupación de las operaciones cargueras se han calculado a partir del promedio real de las operaciones registradas en las tablas de cobros.

U_{ij}' = Factor de utilización esperado de los stands del grupo *i* que pueden atender aeronaves del grupo *j*. Este factor de utilización ha sido calculado a partir a las operaciones del día tipo del tráfico *j*.

¹⁰ Actual Time of Departure

¹¹ Actual Time of Arrival

¹² Se han escogido muestras en los rangos horarios de más demanda para tener un dato más representativo de capacidad teórica, en tanto que, cuando la demanda es menor existe más flexibilidad de plataforma, lo que supone un aumento de tiempo de ocupación.

Se define entonces:

Número de stands (N_{ij})	Tipo de tráfico (i)	Tamaño aeronave (j)	Proporción de operaciones % (M_{ij})	Tiempos de ocupación en min (T_{ij})	Factor de ocupación % (μ_{ij})
7+1	1	1	28,28	76	77,09
0+1	1	2	6,79	99	77,09
13+1	1	3	10,47	106	77,09
9	2	1	51,77	60	72,36
4	2	2	0,34	98	72,54
2+1+1	2	3	0,33	97	44,79
0	3	1	0,21	202	50,01
0	3	2	0,69	106	50,01
1+1	3	3	1,04	127	50,01
4	3	4	0,07	125	50,01

Tabla 11: Parámetros empleados para el cálculo del escenario 2. Fuente: Elaboración propia

Modelo

En este escenario tenemos 10 grupos de stands:

1. Grupo de stands para vuelos 1, aeronave clase 1: $N_{11}' = 8 + 1 + 14 = 23$
2. Grupo de stands para vuelos 1, aeronave clase 2: $N_{12}' = 15$
3. Grupo de stands para vuelos 1, aeronave clase 3: $N_{13}' = 13$
4. Grupo de stands para vuelos 2, aeronave clase 1: $N_{21}' = 9 + 4 + 4 = 17$
5. Grupo de stands para vuelos 2, aeronave clase 2: $N_{22}' = 4 + 4 = 8$
6. Grupo de stands para vuelos 2, aeronave clase 3: $N_{23}' = 4$
7. Grupo de stands para vuelos 3, aeronave clase 1: $N_{31}' = 2 + 4 = 6$
8. Grupo de stands para vuelos 3, aeronave clase 1: $N_{32}' = 2 + 4 = 6$
9. Grupo de stands para vuelos 3, aeronave clase 1: $N_{33}' = 2 + 4 = 6$
10. Grupo de stands para vuelos 3, aeronave clase 1: $N_{34}' = 4$

Los tiempos en minutos de ocupación de stand demandados son:

1. $T_{11}' = 0.2828 \cdot 76 + 0.0679 \cdot 99 + 0.1047 \cdot 106 = 0.655$ horas
2. $T_{12}' = 0.0679 \cdot 99 + 0.1047 \cdot 106 = 0.297$ horas
3. $T_{13}' = 0.1047 \cdot 106 = 0.184$ horas
4. $T_{21}' = 0.5177 \cdot 60 + 0.0034 \cdot 98 + 0.0033 \cdot 97 = 0.5287$ horas
5. $T_{22}' = 0.0034 \cdot 98 + 0.0033 \cdot 97 = 0.011$ horas
6. $T_{23}' = 0.0033 \cdot 97 = 0.0053$ horas

7. $T_{31}' = 0.0021 \cdot 202 + 0.0069 \cdot 106 + 0.0104 \cdot 127 + 0.0007 \cdot 125 = 0.043$ horas
8. $T_{32}' = 0.0069 \cdot 106 + 0.0104 \cdot 127 + 0.0007 \cdot 125 = 0.036$ horas
9. $T_{33}' = 0.0104 \cdot 127 + 0.0007 \cdot 125 = 0.0235$ horas
10. $T_{34}' = 0.0007 \cdot 125 = 0.0015$ horas

La capacidad teórica de la plataforma en base a la estructura de la demanda actual es:

$$C = \min(C_{11}, C_{12}, C_{13}, C_{21}, C_{22}, C_{23}, C_{31}, C_{32}, C_{33}, C_{34});$$

$$C = \min(27.07; 38.93; 54.45; \mathbf{23.27}; 527.56; 338.04; 69.78; 83.35; 127.69; 1333.6);$$

C= 23.27 aeronaves/hora

Para obtener una aproximación más real de la capacidad expresada en términos de operaciones por hora, se divide la capacidad por la proporción de arribos del rango horario de más demanda:

$$\left. \begin{array}{l} C = 23.27 \\ 65\% \text{ arribos} \\ 35\% \text{ salidas} \end{array} \right\} \frac{23.27}{0.65} = \mathbf{41.95 \text{ operaciones/hora}}$$

Teniendo en cuenta que la proporción de tipo de tráfico de operaciones del 2015 es la siguiente:

Operaciones 2015		
Tipo de tráfico	Num. Operaciones	%
NAC	91282	52,4
INT	79601	45,6
CRG	3537	2,0
Σ	174.420	100

Tabla 12: Tipo de tráfico operaciones 2015 del aeropuerto AMB. Fuente: Elaboración propia

La capacidad de cada sector de plataforma es:

Sector Internacional

$$C_1 = 27.07 \cdot 0.4554 = 12.33$$

$$C_2 = 38.93 \cdot 0.4554 = 17.73$$

$$C_3 = 54.45 \cdot 0.4554 = 24.8$$

$$C = \min(C_1, C_2, C_3) = \min(12.33; 17.73; 24.8) = 12.33 \text{ aeronaves/hora}$$

Sector Nacional

$$C_1 = 23.27 * 0.524 = 12.19$$

$$C_2 = 527.56 * 0.524 = 276.44$$

$$C_3 = 338.04 * 0.524 = 177.13$$

$$C = \min(C_1, C_2, C_3) = \min(12.19; 276.44; 177.13) = 12.19 \text{ aeronaves/hora}$$

Sector Carga

$$C_1 = 69.78 * 0.02 = 1.4$$

$$C_2 = 83.35 * 0.02 = 1.67$$

$$C_3 = 127.69 * 0.02 = 2.55$$

$$C_4 = 1333.6 * 0.02 = 26.67$$

$$C = \min(C_1, C_2, C_3) = \min(1.4; 1.67; 2.55; 26.67) = 1.4 \text{ aeronaves/hora}$$

3.3.Análisis

3.3.1.Escenarios

Escenario 1 – Plataforma AMB

El resultado del cálculo según el modelo Horonjeff con y sin restricciones de uso es de **25.32** aeronaves por hora.

En la actualidad la mayor proporción de aeronaves que atiende el aeropuerto son de categoría C, que al ser las aeronaves de menor tamaño pueden estacionarse en los estacionamientos diseñados para esta categoría y de categorías mayores, es decir, todos.

Se puede observar que, con el mix de aeronaves que solicitan servicio al aeropuerto AMB, la restricción de capacidad según el tamaño no tiene un peso significativo para alterar los resultados de los cálculos analíticos de capacidad de plataforma, es decir, actualmente no existe restricción de capacidad según el tamaño de la aeronave.

Escenario 2 – División de plataforma

De acuerdo con el modelo la capacidad de plataforma con restricciones por tipo de tráfico, el resultado decrece respecto al anterior escenario, el cual carece de esta última restricción, dando un resultado de **23.27** aeronaves por hora en el conjunto de la plataforma AMB.

En los dos escenarios la capacidad obtenida es inferior a las posiciones existentes, y es que un factor clave en estos resultados son los **tiempos de ocupación** de cada tipo de estacionamiento.

Centrándose en el tráfico de pasajeros, los tiempos son considerablemente elevados¹³, y no responden a los tiempos estándares óptimos, por lo que limita la capacidad de plataforma.

Si realizamos los mismos cálculos con menores tiempos de ocupación se puede observar un aumento muy significativo de la capacidad:

Número de stands (N_{ij})	Tipo de tráfico (i)	Tamaño aeronave (j)	Proporción de operaciones % (M_{ij})	Tiempos de ocupación en min (T_{ij})	Tiempos Reducidos	Factor de ocupación % (μ_{ij})
7+1	1	1	28,28	76	60	77,09
0+1	1	2	6,79	99	75	77,09
13+1	1	3	10,47	106	90	77,09
9	2	1	51,77	60	30	72,36
4	2	2	0,34	98	45	72,54
2+1+1	2	3	0,33	97	60	44,79

Tabla 13: Parámetros para el cálculo con diferentes tiempos de ocupación. Fuente: Elaboración propia

¹³ Hay que recordar que los tiempos utilizados para el cálculo del modelo están limitados por la problemática del registro de información (ver apartado 3.2.1 Limitación de los cálculos) por lo que no son totalmente representativos de las operaciones que solicitan el servicio.

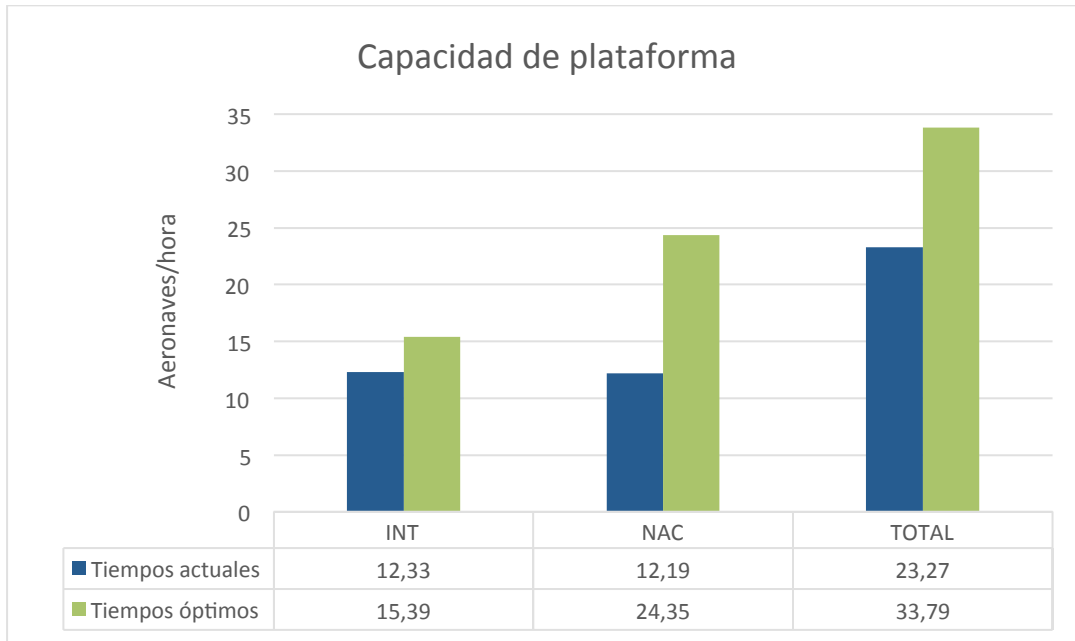


Tabla 14: Comparación de capacidad con tiempos actuales y tiempos menores. Fuente: Elaboración propia

Una vez finalizado el modelo se concluye que:

- Con el tráfico actual (menos de 42 operaciones/hora) no existe problema de falta de capacidad global de estacionamientos.
- Las características del mix de aeronaves que solicitan el servicio en el aeropuerto no restringe la capacidad.
- Los tiempos de *turnaround* son particularmente elevados en el aeropuerto AMB.
- La capacidad y el tiempo de ocupación de los stands son inversamente proporcionales.
- La demanda actual de tráfico carguero es baja, lo que supone una gran flexibilidad en los stands de carga.

3.3.2.Propuestas de mejora

En base a los resultados obtenidos, y teniendo en cuenta que el aeropuerto tiene un tasa de crecimiento anual alrededor del 6%, se van a plantear una serie de propuestas de mejora para la capacidad, uso y gestión de la plataforma de estacionamientos del aeropuerto AMB:

1. INDUCIR UN CAMBIO EN EL SISTEMA TARIFARIO DE LOS ESTACIONAMIENTOS

El aeropuerto AMB se caracteriza por ser un aeropuerto terminal, es decir, la mayoría de las operaciones que se realizan en éste son final de ruta. Esto es debido a varios factores, tales como la situación geográfica, las leyes que regulan el sector aeronáutico en Chile, las necesidades de las aerolíneas, etc. Otro factor que influye en gran medida es el bajo coste que supone para las aerolíneas estacionarse en la plataforma durante largos períodos de tiempo.

En esta propuesta no se pretende cambiar el tipo de tráfico que demanda el servicio en el aeropuerto, pero si presionar a las aerolíneas a optimizar los tiempos de rotación de las aeronaves, ya que, con el sistema de tarifas actual, se incita a la aerolínea un uso desproporcionado en términos de tiempo.

El actual sistema de tarifas es el siguiente:

TONELADA DE PESO DE LA AERONAVE	VALOR POR TONELADA
Hasta 49 Tm	US\$ 0,276
Más de 49 Tm y Hasta 89 Tm	US\$ 0,412
Más de 89 Tm	US\$ 0,469
Cargo Mínimo	US\$ 1,571

Tabla 15: Tarifas estacionamiento de aeronaves en aeropuerto AMB.

Fuente: Departamento comercial Aeropuerto AMB.

Las dos primeras horas de estacionamiento son libre de cobro (el cobro de la tasa de aterrizaje otorga el derecho de este descuento). La tasa de estacionamiento se cancela a partir de la segunda hora y por cada período de 4 horas o fracción de permanencia de la aeronave en el aeródromo.

Al hacer una comparación con las tarifas de estacionamiento de aeropuertos con volúmenes de tráfico similares al aeropuerto AMB, como son el aeropuerto de Tenerife

Norte y el aeropuerto de Valencia (AENA, Guía de tarifas 2015), se observa que las tasas son mucho más elevadas, cobrando la tarifa por períodos de 15 minutos o fracción, en lugar de cada 4 horas o fracción.

El cambio tarifario no puede ser muy agresivo, pues el aeropuerto podría verse afectado por un desacuerdo colectivo por parte de las aerolíneas, por lo que se propone realizar un estudio completo sobre la posibilidad de modificar el sistema de tarifas de estacionamiento de aeronaves.

2. ESTRATEGIA DE UTILIZACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA

En la actualidad, al no planificar la plataforma a largo ni medio plazo, no existe ninguna guía ni procedimientos lo bastante claros para la asignación de stands (de terminal y remotos).

El incremento del tráfico supone un incremento en la complejidad de la organización de los estacionamientos, por lo que se insiste en la elaboración de una estrategia para la planificación de la asignación de stands, con los siguientes objetivos:

- Optimizar el uso de los stands
- Promover prácticas de operación seguras
- Proporcionar la disponibilidad horaria de estacionamientos a las aerolíneas
- Garantizar un acceso equitativo a la plataforma
- Garantizar una coherencia en la asignación de estacionamientos con puentes y remotos para minimizar el uso de equipos móviles

En base a los problemas observados en el sector de operaciones (encargado de la organización de la plataforma) y las características de la plataforma, se plantean una serie de ideas y procedimientos a tener en cuenta para el desarrollo de una estrategia de utilización de la infraestructura:

a) Incentivos para la programación

En la operativa actual del aeropuerto son constantes las peticiones de las aerolíneas sobre el uso de puentes de embarque lo más próximos a sus salas VIP o de sus espacios operativos. Por otra parte, un problema presente en el sector de operaciones son las fechas en que reciben la programación de los vuelos por parte de las aerolíneas, siendo, a veces, con pocos días de margen de la fecha de inicio de las operaciones que solicitan.

Para resolver estas dos cuestiones se propone incentivar a las aerolíneas a proporcionar la programación de sus vuelos, con una antelación de 40 días antes de la fecha de inicio de ésta, a cambio de un uso preferencial de puentes de embarque.

b) Restricciones operacionales

La plataforma de estacionamientos, a parte de tener restricciones de tamaño tipo de tráfico, etc. Cuenta con una serie de limitaciones de uso de tipo operacional, por lo que para la elaboración de la estrategia se tendrán que tener en cuenta los siguientes puntos:

- En el puente 17 es prioridad estacionar vuelos con de bajo número de pasajeros, ya que, las dimensiones de la sala de embarque de este puente limita la capacidad de personas a un número considerablemente pequeño.
- El puente 12 es el único con disponibilidad de dos mangas a distintos niveles. El acceso a estas mangas es a través de las salas 12A y 12B.
- Los puentes 17, 18 y 20 son los más antiguos. No existe barra de parada para 777-300 ni 340-600. El 747-400 no opera por cuestiones de Restricciones operacionales (el puente no llega a la segunda puerta).
- La aeronave Embraer EMB-190 solo tiene barra de parada en los puentes 10, 14, 16 y 19 (en la realidad estaciona en todas las posiciones en la barra de parada del 737).
- En el puente 10 las aeronaves B747-400 y B777-300 por una cuestión de seguridad operacional (el camión de fuel no tiene una separación segura) solo pueden realizar las llegadas.
- El A320 no puede estacionarse en el puente 28 ya que la cola sobresale los límites de la línea de seguridad.
- El avión BAE146 no tiene barra de parada en ningún estacionamiento, pero suele estacionarse en el remoto 29. Si va a puente se estaciona en barra de parada del B737.

3. CAMBIOS EN EL REGISTRO DE LA INFORMACIÓN

La calidad de este estudio se ha visto afectada por del deficiente sistema de registro de los datos de las operaciones del aeropuerto AMB (ver apartado 3.2.1), por lo que se sugiere modificar los procedimientos asociados a dicha tarea.

Con visión a medio plazo se propone desarrollar por completo una nueva metodología más eficiente que involucre los nuevos sistemas de información que se implementarán durante el año 2017, con motivo de las obras de ampliación del aeropuerto.

A continuación se propone una serie de modificaciones para corregir el problema a corto plazo:

- Eliminar del concepto MTO las operaciones de pernocte y las que solicitan el servicio por más de dos horas.
- Registrar las operaciones de pernocte como PRN.
- Los vuelos que soliciten el servicio por un tiempo mayor a las dos horas anotar el estacionamiento remoto al que se traslada y registrar con el concepto ELD (Estacionamiento de Larga Durada) el número de vuelo de entrada y salida de dicho remoto.
- Solicitar a las compañías aéreas con base en el aeropuerto la información de los vuelos que se trasladen en sus correspondientes hangares y las operaciones con estadía completa en la plataforma AMB.

4. CONCLUSIÓN

Este trabajo ha sido fruto del esfuerzo continuo durante varios meses, ya que la falta de conocimientos sobre el tema en cuestión causó un desajuste en planificación temporal, con la necesidad de ampliar el horizonte temporal de la primera fase del proyecto, recopilación de la información.

4.1. Valoración de los objetivos

El objetivo general de este proyecto, conocer la capacidad teórica actual de la plataforma de aeronaves del aeropuerto AMB, se ha realizado de manera parcial, debido al riesgo 1 identificado en la viabilidad de este análisis: **falta de datos**. Por lo que el resultado de la capacidad teórica de plataforma del aeropuerto AMB no tiene suficiente calidad como para ser usado.

Aunque la capacidad obtenida no sea del todo real, el estudio sigue teniendo un gran aporte para el aeropuerto, ya que uno de los propósitos de desarrollar un estudio de capacidad es identificar las fortalezas y deficiencias de la infraestructura. En este caso el aporte ha sido el siguiente:

- Identificación de una falla grave en el manejo de la información.
- Identificación de restricciones de tipo operacional de la plataforma¹⁴ (ver apartado 3.3.2 Propuestas de mejora).
- Proporcionar un modelo para el cálculo de capacidad de plataforma.

Por otra parte, uno de los objetivos secundarios planteados en el informe previo de este proyecto difiere de los desarrollados en la memoria final:

“Realizar estimaciones de capacidad de plataforma en base a posibles estructuras futuras de tráfico de operaciones para poder establecer la configuración de plataforma más óptima”.

Este objetivo no se ha desarrollado debido a tres cuestiones:

1. Riesgo 2: Información confidencial → Las predicciones de demanda por tipo de tráfico y aeronaves son de carácter confidencial.

¹⁴ Previo al proyecto no existía ningún registro de dichas restricciones. Se han obtenido mediante el trabajo en campo desarrollado en el aeropuerto.

2. Falta de criterio→ Se ha considerado poco profesional calcular la capacidad en base a supuestas predicciones realizadas con pocos fundamentos.
3. Fuera del ámbito del proyecto→ Realizar una predicción de tráfico bien elaborada suponía el desarrollo de un proyecto completo sobre de la demanda del aeropuerto.

En referencia al siguiente objetivo secundario:

“Analizar los estacionamientos de la plataforma AMB para conocer el estado actual, características y, si fuera el caso, las deficiencias o limitaciones”.

Mencionar que ha sido el mas costoso en términos de tiempo y esfuerzo, en tanto que, una de las tareas a realizar para alcanzar el objetivo ha sido analizar los datos existentes de las operaciones del aeropuerto AMB, en la cual se ha identificado la falla en el manejo de información y, posteriormente, desarrollado una serie de filtros para tratar el problema.

Las propuestas de mejoras (último de los objetivos secundarios) se han alcanzado de acuerdo a las deficiencias del uso de la plataforma observadas a lo largo del trabajo realizado dentro y fuera del aeropuerto.

4.2. Ampliaciones y mejoras del trabajo

Este estudio ha sido posible gracias al convenio de cooperación educativa con la actual empresa concesionaria del aeropuerto AMB, Nuevo Pudahuel, por lo que, los resultados de éste se consideran una fuente de mejora para la operativa del aeropuerto.

Una vez solucionado el problema de la falta de datos por deficiencia en el registro de información, el análisis se puede mejorar recalculando los tiempos de ocupación de la plataforma.

Otra mejora y ampliación del trabajo es el cálculo del *delay* de las operaciones, ya que este se realizó con los datos disponibles durante la fase de cálculo, por lo que no fue posible realizarlo manera detallada.

Ampliar las propuestas de trabajo planteadas y realizar mejoras en este estudio supone una oportunidad de aprendizaje personal y un aporte significativo para la gestión de la plataforma, pero la decisión de continuar indagando en este tema queda en manos de la concesión del aeropuerto.

5. BIBLIOGRAFÍA

ACRP. *"Defining and Measuring Aircraft Delay and Airport Capacity Thresholds"*, Report 104. Washington, D.C. 2014

AENA. *"Guía de tarifas 2015"*, Madrid, Centro de Documentación y Publicaciones de Aena, Junio 2016

ALEJANDRO GONZÁLEZ MORALES. *"Descubrir como identificar los aviones"*. Madrid, Centro de Documentación y Publicaciones de Aena, 2011

DOGANIS, R. *"The Economics of International Airlines"*, Flying of course, 1991.

TRANSPORTATION RESEARCH BOARD. *"Apron Planning and Design Guidebook"*, Washington, d.c. 2013

WELLS, A. & YOUNG, S. *"Airport Planning and Management"*, New York: McGraw-Hill, 2004.

EUROCONTROL. *"Planning for Delay: influence of flight scheduling on airline punctuality"*, Trends in Air Traffic, 2008

YUQIONG BAI. *"Analysis of aircraft arrival delay and airport on-time performance"*, M.S. Tongji University, China, 2006

T. LEONARD¹ & J. BEKKER². *"Apron layout design and flight-to-gate assignment at international airport"*, Department of Industrial Engineering Stellenbosch University, 2009.

GARCÍA CRUZADO MARCOS. *"Descubrir la operación de aeropuertos"*, Madrid, Centro de Documentación y Publicaciones de Aena, 2008.

DUBLIN AIRPORT AUTHORITY. *"Dublin Airport Stand Allocation Rules"*, Julio 2011.

JOAQUÍN BLANCO SERRANO. *"Edificación y equipos aeroportuarios"*, Madrid, Escuela técnica superior de ingenieros aeronáuticos, 2005

LEIGHFISHER LTD. *"Capacity analysis of london luton airport with reference to coordinated designation"*, Londres, Mayo 2012.

BOJANA MIRKOVIC. *"Airport Apron Capacity Estimation – Model Enhancement"*, University of Belgrade, Serbia, 2011

DR. LANCE SHERRY. *"Airport Gate and Ramp Capacity"*, George Mason University, Center for Air Transportation Systems Research: 2009.

R HORONJEFF; F. MCKELVEY; W. J. SPROULE; S. YOUNG. *"Planning and Design of Airports"* New York, McGraw-Hill, 2010.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. *"The Apron and Terminal Building Planning Report"*, Report No. FAA-RD-75-191, Washington, D.C., 1975.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. *"Planning and design guidelines for airport terminal facilities"*, AC No: 150/5360-13, Washington, D.C., 1988.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. *"Airport Capacity and Delay"*, Advisory Circular 150/5060-5, Washington, D.C., 1983.

Trabajo realizado por Laura Chávez Garcia

Sabadell 6 de Julio 2016