

## ESTUDIO DE CAPACIDAD MEDIANTE SIMULACIÓN: INTERACCIÓN PLATAFORMA-CALLE DE RODAJE

GABRIEL RAMÍREZ DIAZ<sup>b</sup>; JOAQUÍN PIECHOCKI<sup>a</sup>; ALEJANDRO DI BERNARDI<sup>a</sup>; GUSTAVO ALONSO<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Grupo de Transporte Aéreo - UIDET GTA-GIAI, Departamento de Aeronáutica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata. Calle 116 e/ 47 y 48, 1900 La Plata, Pcia. de Buenos Aires, Argentina

<sup>b</sup>CONICET (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas)

<sup>c</sup>Departamento de Infraestructura, Sistemas Aeroespaciales y Aeropuertos, Universidad Politécnica de Madrid, Ciudad Universitaria 28040, Madrid, España

Email: ramirezdiaz.gabriel@gmail.com

### RESUMEN

Los niveles de capacidad de las infraestructuras aeronáuticas son motivo de interés por cuanto permite establecer las políticas de gestión de los recursos y la planificación estratégica del sistema, de los distintos subsistemas de lado aire. La plataforma se caracteriza por su complejidad producto del número de variables que afectan su aptitud de procesamiento y la simultaneidad en el uso de la misma. Dicha problemática ha dado lugar al desarrollo de modelos con distintos niveles de detalle.

El presente estudio tiene por objeto la construcción de una herramienta para la evaluación de la capacidad y toma de decisión respecto al desarrollo de su infraestructura. El modelo considera particularmente la plataforma y su interacción con el sistema de rodaje de ingreso y salida; por otra parte, se explicita las condiciones operativas del uso del sistema y plantea los lineamientos para el estudio de escenarios adicionales. La herramienta desarrollada consiste en una representación gráfica de la aptitud de procesamiento de distintas configuraciones físicas y operativas de la plataforma. En base a los resultados obtenidos se concluye que la metodología resulta válida para continuar con la elaboración de una herramienta de diseño y evaluación macroscópica de múltiples variables.

### ABSTRACT

Airport infrastructure capacity determinations allow establishing resources management policies and systemic strategic planning for the different airport subsystems. This fact motivates the strong research interest to develop models to predict delay sources. Apron specifically, shows a singular complexity due to the number of variables that condition the ability to process demand and to be simultaneously in use.

This study has the aim of developing a tool for the capacity evaluation and its consequences regarding infrastructure development. The model considers specifically the apron subsystem and its interaction with the taxiways depending on operating scenarios. The tool developed includes a graphical representation of the processing ability of different physical and operative apron configurations. The results obtained shows that this methodology could be useful for developing a design tool that considered a wider range of variables and infrastructures.

Palabras clave: Capacidad operacional, Plataforma, Calle de Rodaje, Aeropuerto, Simulación

## INTRODUCCIÓN

La capacidad del sistema aeronáutico puede ser calculada mediante herramientas empíricas, analíticas y de simulación, las cuales presentan distintos niveles de detalle respecto a la caracterización de la infraestructura y los procesos que en ella se llevan a cabo.

En el caso de las herramientas empíricas y analíticas, una de las principales falencias radica en que el análisis de los subsistemas pista, calle de rodaje y plataforma se realiza en forma desagregada, por otra parte; las herramientas de simulación tienen como principal inconveniente los tiempos asociados a la construcción de los modelos, en respuesta a estas problemáticas, surgió el presente estudio.

Uno de los modelos analíticos de capacidad ampliamente reconocidos es el propuesto por la FAA [1] este contempla la capacidad del subsistema de pista y plataforma, pero no el de las calles de rodaje ni la interacción de la plataforma con los demás componentes.

El modelo de la FAA considera a la plataforma como un sistema aislado, cuyo nivel de capacidad depende del tiempo promedio de servicio en plataforma por tipo de aeronave (widebody o narrowbody), el número de puestos y su posibilidad de uso como puestos mixtos. En la Figura 1 se presenta un caso particular de capacidad práctica de plataforma, donde se observa que el método como tal, establece una relación lineal entre capacidad y número de puestos de estacionamiento.

La tendencia lineal presentada en la Figura 1 en muchos casos no es representativa, dado que para ello es necesario disponer varios canales de servicio (rodajes de ingreso y salida de puesto), condición que no siempre resulta viable.

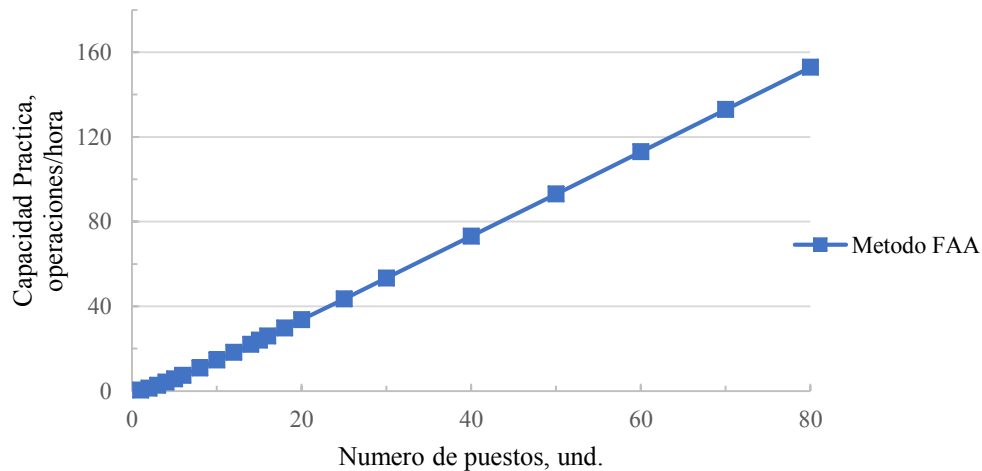


Figura 1. Capacidad Práctica de Plataforma calculada por el método FAA

Otros métodos analíticos disponible consisten en extensiones del modelo de la FAA [2–7], estos modelos consideran en forma particular el tipo de aeronave (según características física, operativas o clasificación FAA) o el tipo de vuelo (doméstico o internacional, en ruta u origen destino) e incluso otras clasificaciones según exclusividad del uso de posiciones o terminales por tipo de aerolíneas. Las variantes de modelos analíticos pueden corresponder en mayor o menor medida con el escenario que uno deba analizar.

En el caso de los modelos de simulación específicos como TAAM, CAST, ArcPort, SIMMOD o genéricos como FlexSim, Simio, entre otros, consideran múltiples variables en función del nivel de detalle deseado, además de su interacción con los demás componentes del sistema.

La desventaja de las herramientas de simulación radica en los tiempos que insumen la construcción de los modelos y el costo económico asociado a sus licencias.

Las variables contempladas en los modelos de simulación pueden estar directa o indirectamente relacionadas con la capacidad de la plataforma.

Las variables vinculadas directamente a la capacidad de la plataforma son: la velocidad de rodaje sobre la calle de acceso y salida del estacionamiento, los procedimientos de ingreso y salida del puesto, los tiempos de servicio, las reglas de asignación de posiciones, las restricciones operativas sobre el rodaje o puestos adyacentes, entre otras.

Entre las variables vinculadas indirectamente con la capacidad de la plataforma se destacan: los retrasos en la hora programada de arribo producto de la demora generada en otros subsistemas, el modelo de gestión de la cola de partida, entre otras.

El modelo de gestión de colas, hace referencia al orden y prioridad en que se asignan las partidas y ranuras de espacio tiempo para insertarse en el espacio aéreo, en otras palabras, para hacer uso de la pista a fin de realizar el procedimiento de despegue. Este modelo de gestión puede contemplar que las aeronaves abandonen en el puesto de estacionamiento tan pronto como sea posible, a fin de que la espera se realice en una plataforma de espera cercana a la cabecera de despegue (demora en cola de partida) o efectuar la espera en el puesto de estacionamiento.

Otra ventaja de las herramientas de simulación respecto al tratamiento de las variables, es la posibilidad de considerarlas como parámetros puntuales o como distribuciones estadísticas. El tratamiento como distribución estadística permite aumentar el grado de aleatoriedad del proceso y por ende simular la operación del sistema de un modo más próximo a la realidad.

Producto de considerar, entre otros, los aspectos previamente mencionados en forma sintética, surgió el presente estudio. Los resultados presentados forman parte de una herramienta en proceso de desarrollo cuyo objetivo general es permitir la evaluación de la capacidad aeroportuaria contemplando la dimensión operacional y ambiental en forma conjunta.

El presente documento describe la metodología empleada en el desarrollo de un modelo de plataforma que considera la dimensión operacional y resultados obtenidos por medio de su aplicación.

## **DESARROLLO**

En la Figura 2. Metodología. se presenta en forma resumida la estructura del presente estudio, el cual se enfocó simultáneamente en los subsistemas calle de rodaje y plataforma, con el objetivo de obtener una herramienta simplificada para el estudio y análisis de esta interacción, como potencial condicionante de la capacidad operacional del sistema lado aire.

Las primeras tres etapas se desarrollaron en la sección anterior, la presente sección se enfoca en las etapas desarrollo del modelo y simulación de escenarios operacionales, mientras que la sección resultados abarca las etapas seis y siete.

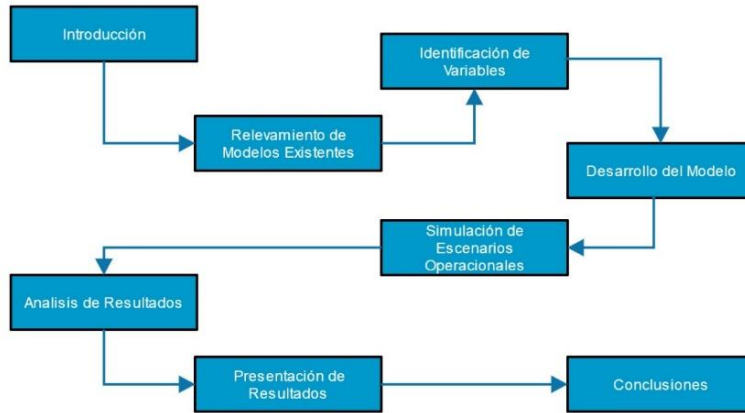


Figura 2. Metodología.

El desarrollo de la herramienta se resume en los siete pasos indicados en la Figura 3.

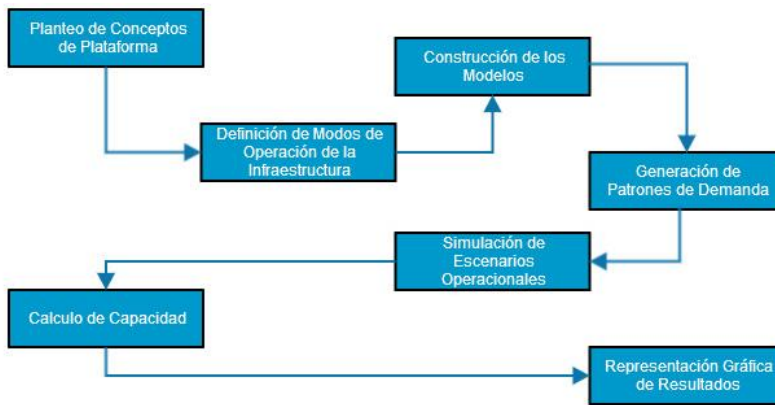


Figura 3. Etapas del desarrollo de la herramienta.

### Concepto de plataforma

El diseño de la plataforma responde en mayor o menor medida a tres conceptos de plataforma: lineal, espigón e híbrido (plataforma lineal con posiciones a ambos lados), en las Figura 4 a Figura 7 se presentan algunos ejemplos de estos conceptos.



Figura 4. Concepto Lineal: Aeropuerto Internacional Benito Juárez de la Ciudad de México.



Figura 5. Concepto Espigón: Aeropuerto Internacional de Los Ángeles.



Figura 6. Concepto Híbrido: Aeropuerto Internacional de Múnich-Franz Josef Strauss.



Figura 7. Concepto Híbrido: Aeroparque Metropolitano Jorge Newbery.

Como puede observarse, en la realidad los sistemas presentan variaciones constructivas respecto a los sistemas plateados, no obstante, estos pueden ser analizados como una combinación de uno o más de los conceptos propuestos Figura 8.

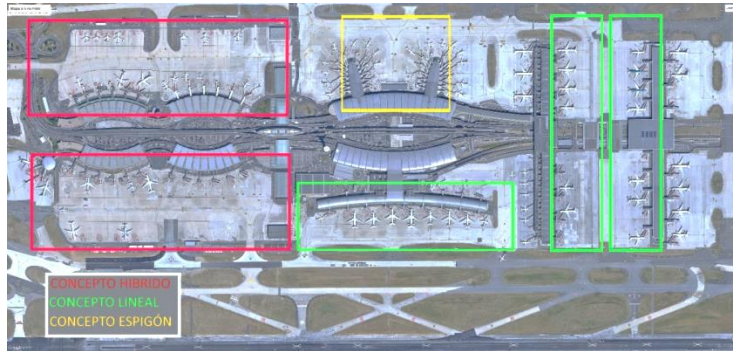


Figura 8. Sistema de plataforma complejo, mezcla de conceptos (Aeropuerto de Paris-Charles de Gaulle)

En el desarrollo de la herramienta se generaron los tres conceptos propuestos, para cada uno de los conceptos de plataforma se generaron varios modelos (en total 18 modelos), cada modelo dispone de una configuración de número de posiciones de estacionamiento distinta.

Plataforma	Rango de posiciones	Numero de modelos
Lineal	15 a 60	5
Espigón	6 a 22	6
Híbrida	16 a 80	7

Tabla 1. Modelos generados en función de la configuración de puestos.



**Modo de operación**

En el presente estudio se contemplaron las distintas variables (previamente mencionadas) disponibles en los modelos de simulación, exceptuando las reglas de asignación de puesto por exclusividad de uso, atento a esto cabe aclarar que:

- Se asumió que todas las aeronaves pueden usar todos los puestos disponibles.
- El modelo de gestión de colas utilizado se basó en asignar la demora a la cola de partida.
- Los retrasos respecto a la hora programada, se incluyeron en el modelo por medio de la variable latencia en arribos.

Por otra parte, el modo de operación de la infraestructura considero la caracterización estadística de las siguientes variables: el tiempo de latencia, el tiempo de servicio, el proceso de pushback, y el tiempo de inicio de rodaje por parte de la aeronave una vez finalizado el proceso de pushback. Estos procesos fueron caracterizados en base a [8–10] y ajustados en función de los resultados obtenidos en [11]

Otras consideraciones operativas fueron: las velocidades de rodaje, la separación entre aeronaves (margen de seguridad), y el bloqueo parcial de calles de rodaje y/o puestos contiguos producto de la operación de una aeronave.

En el caso del concepto de plataforma espigón, se consideró un modo de operación adicional, el cual contemplo el bloqueo total de la calle de acceso al puesto de estacionamiento.,

**Patrón de demanda**

Los patrones de demanda se generaron bajo la premisa de una demanda continua durante una franja de 5 horas, donde la hora programada entre arribos se encuentra equiespaciada de 2 a 10 minutos según el concepto de plataforma analizado.

Plataforma	Operaciones hora	Patrones planteados
Lineal	20 a 30	3
Espigón	6 a 15	3
Hibrida	10 a 20	3

Tabla 2. Patrones de demanda simulados

El objetivo del patrón de demanda planteado fue generar en la zona media de la franja dos horas consecutivas de alta demanda, a fin de determinar la aptitud de procesamiento de la infraestructura.

El patrón de demanda implico definir la cantidad de vuelos y asignar a cada uno las horas de arribo y partida, del siguiente modo:

$$STA_i = IT + 60/D NF_i$$

$$ATA_i = STA_i + LT_i$$

$$ATD_i = ATA_i + ST_i$$

$$ST_i = 60 + \Delta t$$

Donde  $NF$  es el número de vuelo,  $D$  es la demanda expresada en operaciones hora,  $IT$  es la hora de arribo del primer vuelo,  $STA$  y  $ATA$  son la hora de arribo estimada y real respectivamente,  $STD$  es la y  $ATD$  son la hora de partida estimada y real respectivamente,  $LT$  y  $ST$  son el tiempo de latencia y de servicio respectivamente y  $\Delta t$  es el tiempo adicional de servicio, el cual no se computo como demora.

### **Simulación de escenarios operacionales**

Como se indicó previamente, el desarrollo de la herramienta se basó en los modelos que se construyeron con el software de simulación operacional SIMMOD PLUS [12],

Los modelos construidos responden a una combinación de concepto de plataforma -configuración de número de puestos – patrón de demanda, cada combinación representa un escenario. Sobre cada escenario se efectuaron 20 simulaciones (iteraciones) a partir de las cuales se obtuvieron los resultados estadísticos de demora.

Los resultados brindan para cada patrón de demanda, un valor de demora, este valor de demora se asocia con la capacidad al momento de establecer el nivel de servicio deseado. Los resultados obtenidos de cada simulación son las demoras en arribos, partidas y por operación.

Las demoras en arribos son separadas en Aire, Tierra y Puerta, mientras que, para la operación de partida estas se clasifican en Puerta, Tierra, Cola de Partida y Aire, a los fines del presente modelo los resultados se procesaron con el objeto de presentar únicamente las demoras en tierra producto de la interacción entre la Plataforma y la calle de rodaje asociada.

Los valores de la demora en Aire y Cola de Partida están asociadas a los subsistemas Espacio Aéreo y Pistas respectivamente, por otra parte, sobre la demora en Puerta confluyen numerosos procesos.

Las demoras generadas en Puerta pueden ser atribuidas a diversos subsistemas, por ejemplo, a la interacción con la terminal y el sistema de handling al pasajero, o por otra parte, al subsistema de handling a la aeronave. A raíz de esto, el estudio de esta variable escapa del alcance de la presente herramienta.

Los resultados obtenidos mediante las simulaciones fueron procesados con el objeto de presentar gráficamente la relación capacidad-demora frente a las distintas condiciones de demanda a las que fue sometida la infraestructura.

## **RESULTADOS**

A continuación, se presentan gráficamente discriminadas las demoras en arribos, partidas y por operación (1 arribo y 1 partida) en función del número de posiciones de estacionamiento para cada concepto de plataforma lineal, espigón e híbrida.

Para el concepto espigón se consideró una condición operativa adicional dada por el bloqueo total del rodaje.



**Plataforma Lineal**

En el caso del concepto de plataforma lineal, puede observarse que las demoras en arribos presentan una forma similar a una exponencial, la cual brinda dos zonas diferenciables.

En la primera zona (la cual se denomina Zona 1) las demoras disminuyen significativamente con el aumento del número de posiciones de estacionamiento y una segunda zona (la cual se denominó Zona 2) donde la incorporación de puestos no genera una mejora sustancial.

La ubicación del punto que separa las dos zonas varía con las características de la demanda, puede observarse que el punto de inflexión se encuentra entorno de los 30 puestos de estacionamiento para una condición de 20 operaciones/hora y, se desplaza hacia la derecha ver Figura 9 a medida que aumenta la demanda.

El comportamiento manifestado en la Figura 10 evidencia que a partir del punto de inflexión es conveniente incorporar una calle de salida de plataforma y limitar su ampliación a estas dimensiones, dado que, las demoras generadas son producidas principalmente por el bloqueo generado por las aeronaves en partida.

En la Figura 9 se evidencia que el aumento de la demanda genera un aumento de la demora promedio por arribo, independientemente de la infraestructura disponible.

El comportamiento de la demora para los movimientos de partida, presenta niveles cuasi constantes para la Zona 1, mientras que para la Zona 2 pueden identificarse un aumento de la demora como consecuencia del aumento de la demanda, en este caso la demora no varía con el aumento de las posiciones de estacionamiento, dado que la demora se genera principalmente por el bloqueo generado sobre la calle de rodaje durante la operación de pushback.

El aumento del número de posiciones implica un aumento en los tiempos de operación, producto del aumento de la longitud del rodaje en plataforma donde las velocidades de operación son menores respecto a los rodajes en general.

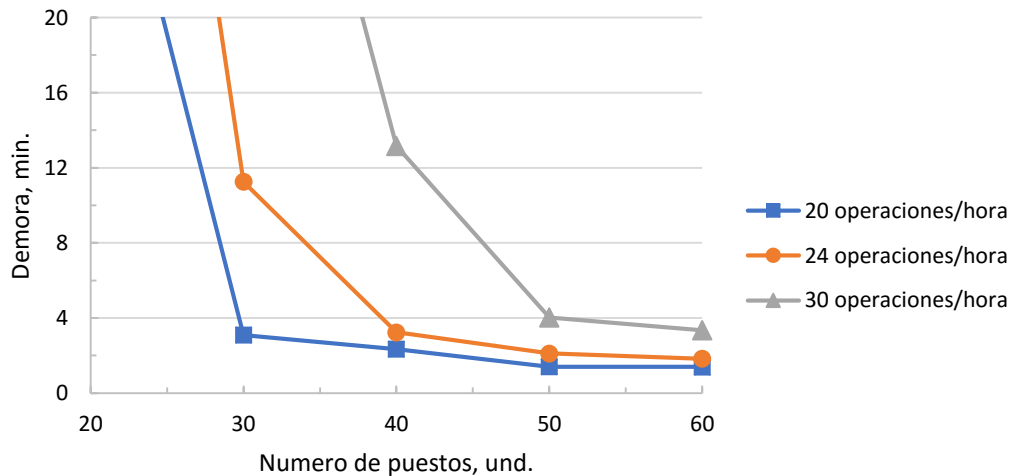


Figura 9. Concepto de Plataforma Lineal: Demora promedio en vuelos de arribo.

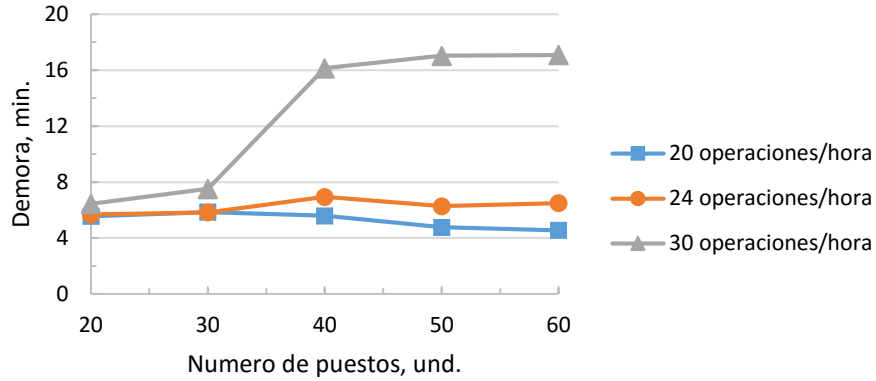


Figura 10. Concepto de Plataforma Lineal: Demora promedio en vuelos de partida.

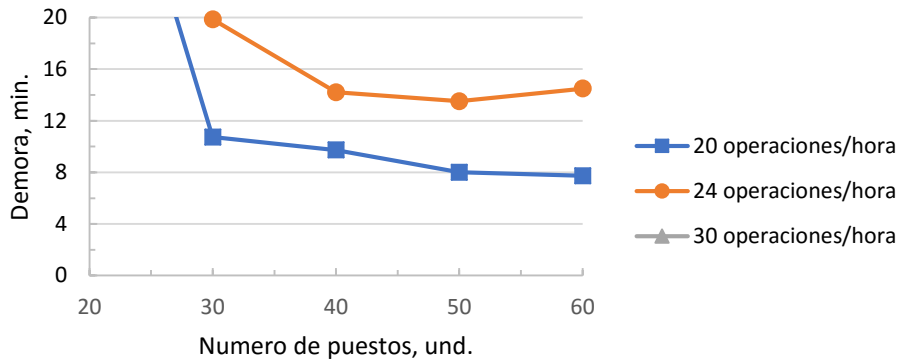


Figura 11. Concepto de Plataforma Lineal: Demora promedio por operación.

**Plataforma Espigón con bloqueo total de la calle de acceso a puesto**

En el caso del concepto de plataforma espigón, el comportamiento seguido por la curva, cuando las condiciones demanda se aproximan a la congestión del sistema, presenta un comportamiento parabólico, este comportamiento permite identificar dos zonas, antes del vértice (Zona 1) y después del vértice (Zona 2) de la curva.

En la Zona 1, las demoras son producto de la falta de puestos de estacionamiento, mientras que en la Zona 2, las demoras se deben al aumento del tiempo de bloqueo de la calle de rodaje, ya que el aumento de número de puestos genera un aumento en la longitud de la calle de acceso a puesto y por ende de los tiempos de rodaje sobre el mismo.

Las demoras durante el movimiento de partida presentan un comportamiento lineal, donde la demora se encuentra principalmente vinculada a la demanda y no a la infraestructura disponible.

Las demoras predominantes corresponden a la operación de arribo. Para condiciones de “baja” demanda los niveles de demora son casi constantes independientemente de la infraestructura disponible, por ende, el aumento de posiciones no repercute en una reducción de la demora, sin embargo; el aumento del número de

posiciones puede repercutir en los tiempos operativos producto del aumento de las distancias recorridas por las aeronaves.

Cuando las condiciones de demanda se acercan a la condición de congestión del sistema desde el punto de vista de la demora se identifica un punto “óptimo” de desarrollo de la infraestructura.

El punto “óptimo” de desarrollo de la infraestructura se ve fuertemente influenciado por el modo de operación, en este sentido, se considera apropiado profundizar en el estudio de la influencia de la variable Tiempo de Servicio en operaciones Turnaround, dado que el presente trabajo considero únicamente un perfil de distribución.

En relación al número de puestos recomendados la FAA [13, 14] indica para este concepto de plataforma no exceder los ocho puestos, de ser así realizar un análisis particular y/o recurrir a un segundo rodaje de acceso a puesto de estacionamiento

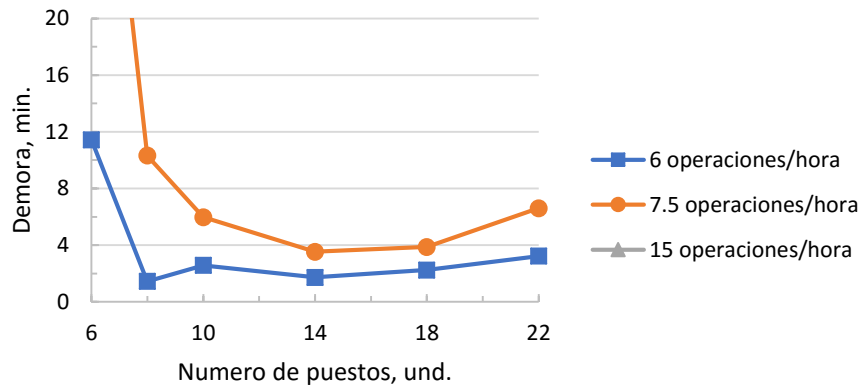


Figura 12. Plataforma Espigón con bloqueo total de calle de rodaje: Demora promedio en vuelos de arribo.

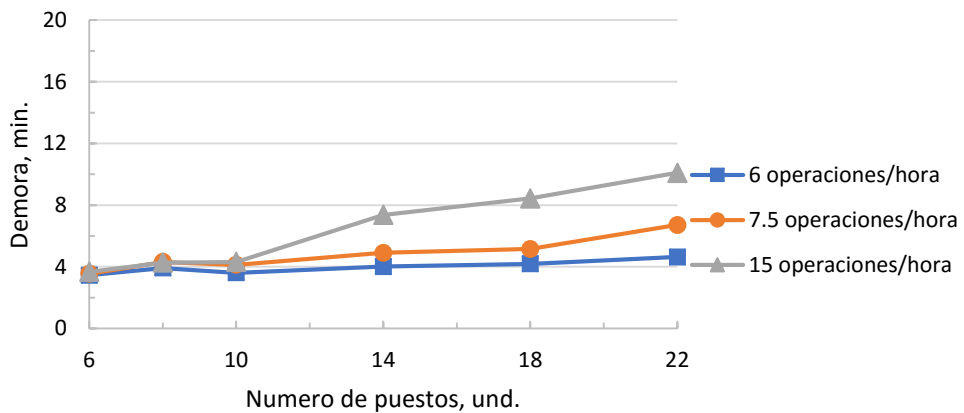


Figura 13. Plataforma Espigón con bloqueo total de calle de rodaje: Demora promedio en vuelos de partida.

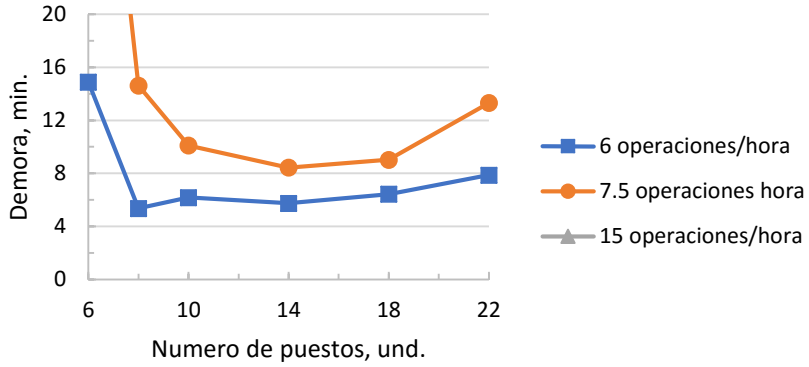


Figura 14. Plataforma Espigón con bloqueo total de calle de rodaje: Demora promedio por operación.

**Plataforma Espigón con bloqueo parcial de calle de acceso a puesto**

En el caso de la plataforma espigón operada con bloqueo parcial, se observa que las tendencias de la curva de demora son similares al del caso. previamente presentado (con bloqueo total), mas allá de esto, se observa que la diferencia entre el nivel de demora de los dos perfiles de demanda se ve reducido.

En la condición de “baja” demanda la demora aumenta ligeramente, se considera que este aumento es producto de algunas pocas interferencias (bloqueo de la aeronave en movimiento de partida y/o arribo, producto de una aeronave en procedimiento de pushback) que se presentan bajo este tipo de operación y no en el caso anterior.

En la condición de “alta” demanda se presenta dos fenómenos, por un lado, un elevado número de interferencias sobre el rodaje de acceso a puesto y por otro, una reducción en los tiempos de espera para el ingreso dicho rodaje. La combinación de estos dos fenómenos resulta en un balance positivo desde el punto de vista de la demora, en contraposición, la operación del sistema resulta más compleja producto del tráfico en superficie.

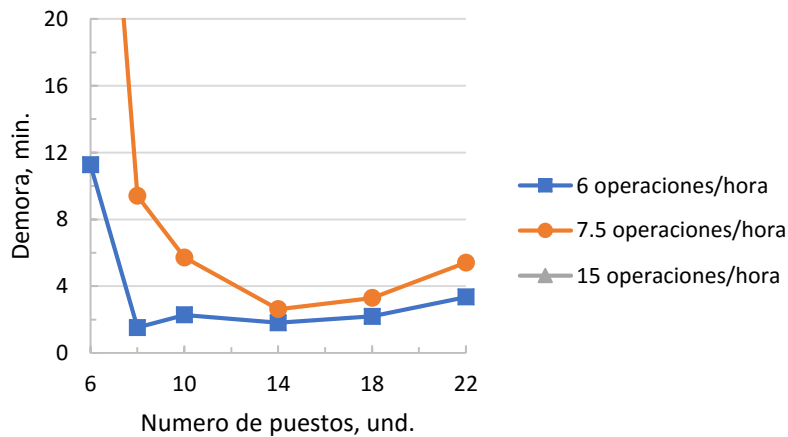


Figura 15. Plataforma Espigón con bloqueo parcial de calle de rodaje: Demora promedio en vuelos de arribo.

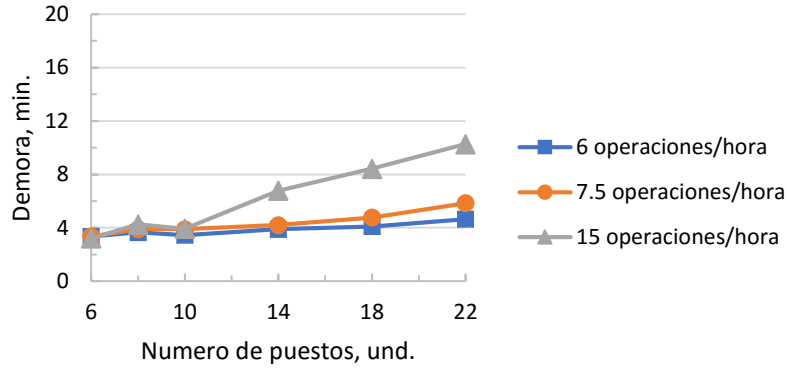


Figura 16. Plataforma Espigón con bloqueo parcial de calle de rodaje: Demora promedio en vuelos de partida.

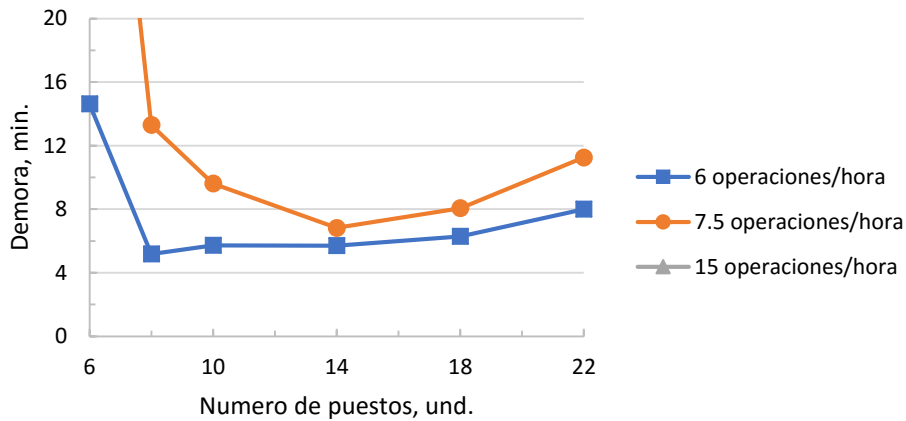


Figura 17. Plataforma Espigón con bloqueo parcial de calle de rodaje: Demora promedio por operación.

**Plataforma Híbrida**

En el caso del concepto de plataforma híbrida, la demora presenta una tendencia similar a la observada en el concepto de plataforma lineal.

La demora en arribos y total que se generan en la plataforma de concepto híbrido, a igual patrón de demanda, resultan mayores que en el concepto lineal.

En el caso de la plataforma lineal el bloqueo es sobre dos puestos, mientras que en el concepto híbrido es sobre cinco puestos este hecho da lugar a un mayor número de interferencias, y por ende un aumento en los niveles de demora.

A medida que la demanda se aproxima a las condiciones de saturación de subsistema rodaje-plataforma, se observa que en la relación entre las variables infraestructura-demanda-demora no se presenta un comportamiento proporcional, por ejemplo; si se duplica la demanda, aunque se duplique la infraestructura, la demora promedio aumentará.

Se observa que el desarrollo de la infraestructura genera en todos los casos una reducción de la demora total.

En el caso de la demora en partidas, se presenta un comportamiento particular en la zona próxima a los 30 puestos, este comportamiento presenta similitudes al observado en la plataforma lineal (ver Figura 10).

El comportamiento observado en la zona próxima a los 30 puestos se atribuye a las interferencias que se generan sobre las aeronaves en partidas producidas por las aeronaves en arribos, esta interacción se puede dividir en zona 1 (previo al punto de inflexión) zona 2 (posterior al punto de inflexión):

En la zona 1, al disminuir el número de posiciones, la longitud del rodaje en la calle de acceso a puestos también se reduce, permitiendo que las aeronaves abandonen la plataforma en menor tiempo, por otra parte; al haber pocas posiciones, las demoras se generan en el punto de acceso a plataforma y en menor medida en las interferencias a lo largo del rodaje de acceso a puesto de estacionamiento.

En la zona 2, al aumentar el número de posiciones, la frecuencia de las interferencias se reduce y por ende las demoras, no obstante, al aumentar la longitud del rodaje en plataforma se puede genera un aumento en los tiempos de operación a causa de las velocidades empleadas en el rodaje.

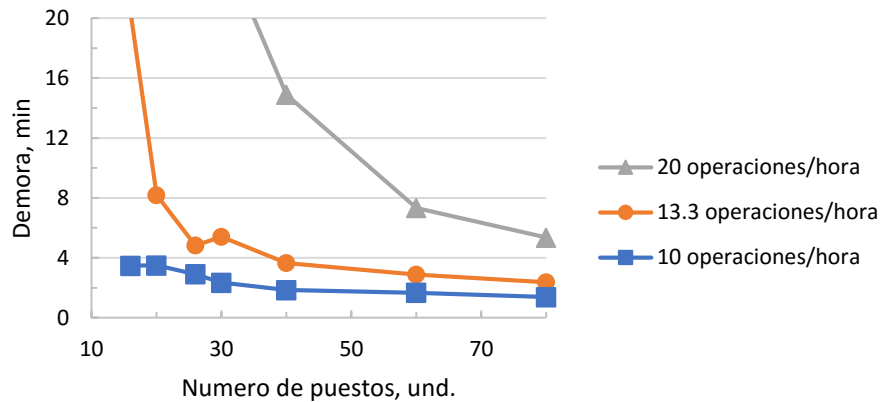


Figura 18. Concepto de Plataforma Híbrida: Demora promedio en vuelos de arribos.

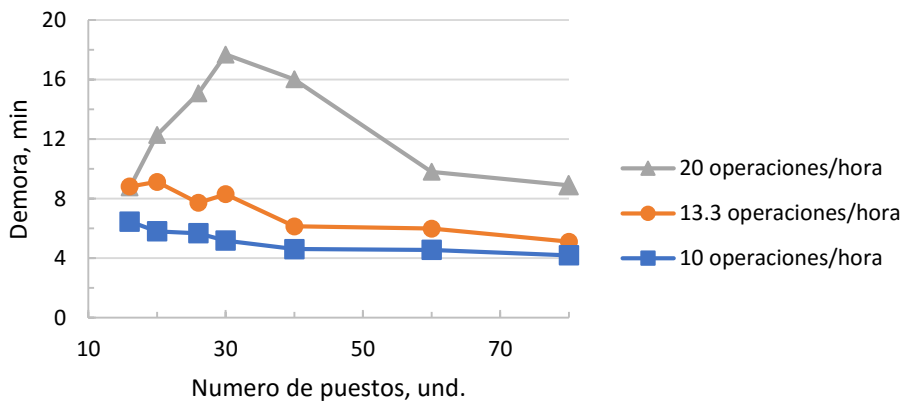


Figura 19. Concepto de Plataforma Híbrida: Demora promedio en vuelos de partida

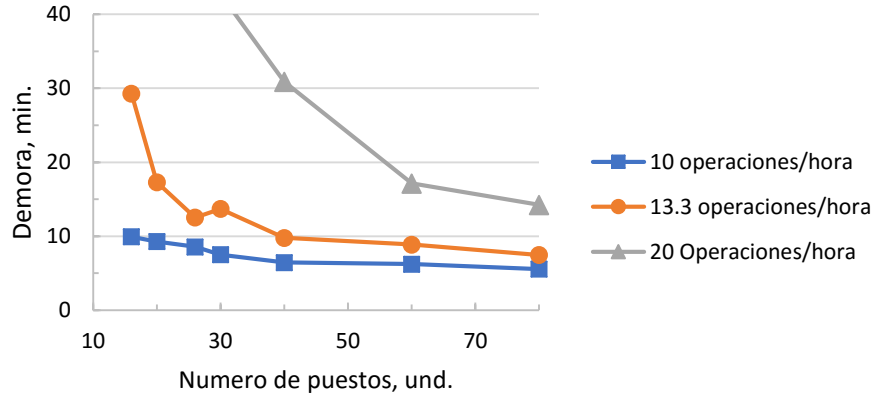


Figura 20. Concepto de Plataforma Híbrida: Demora promedio por operación

## CONCLUSIONES

En los modelos macroscópicos disponibles no se contempla la interacción entre la plataforma y los rodajes asociados. Se observa que la interacción entre la plataforma y las calles de rodaje influyen significativamente sobre la aptitud del sistema. No considerar esta interacción puede ocasionar desvíos en las previsiones.

Se puede concluir que es viable el desarrollo de una herramienta para evaluar la capacidad de la infraestructura y toma de decisión respecto al desarrollo de la misma.

La metodología implementada resulta adecuada para el desarrollo de una herramienta aplicable al diseño y evaluación de la capacidad de la infraestructura aeronáutica durante la etapa de planificación.

Los resultados muestran que la representación gráfica es apropiada para el análisis de subsistemas plataforma-calle de rodaje, por otra parte, permite que la herramienta sea de aplicación rápida y sencilla en comparación con otras herramientas existentes.

Se considera que la característica modular de los diseños que es posible proponer a través del uso de la herramienta y la aplicación de la metodología permitirían el análisis de sistemas aeronáuticos de mayor complejidad.

Dado el número de variables que influyen sobre la aptitud de procesamiento de la plataforma, es necesario la ejecución de un mayor número de escenarios, a fin de aumentar el potencial de la herramienta.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Federal Aviation Administration, "Advisory Circular 150/5060-5 Airport Capacity and Delay," 1983.
- [2] B. Mirkovic and V. Tasic, "Airport apron capacity: Estimation, representation, and flexibility," *Journal of Advanced Transportation*, vol. 48. pp. 97–118, 2014.
- [3] B. Mirković and V. Tasic, "Airport apron capacity: estimation, representation, and flexibility," *J. Adv. Transp.*, vol. 47, no. June 2010, pp. 512–525, 2011.
- [4] R. Horonjeff, F. McKelvey, W. Sproule, and S. Young, *Planning and Design of Airports*, Fifth Edition. 2010.



- [5] N. Ashford, S. Mumayiz, and P. Wright, "Airport Engineering: Planning, Design and Development of 21st Century." pp. 234–296, 2011.
- [6] R. Horonjeff and F. X. McKelvey, Planning and design of airports, 4th ed., I. New York : McGraw-Hill, 1994.
- [7] R. De Neufville and A. R. Odoni, "Airport Systems: Planning, Design, and Management," 2003.
- [8] C.-L. Wu and R. E. Caves, "Modelling and optimization of aircraft turnaround time at an airport," Transp. Plan. Technol., vol. 27, pp. 47–66, 2004.
- [9] L. Schaefer and T. Noam, "Aircraft Turnaround Times for Air Traffic Simulation Analyses," Transp. Res. Board, p. 9, 2003.
- [10] W. J. Coupe, D. Milutinovi, W. Malik, and Y. Jung, "A Data Driven Approach for Characterization of Ramp Area Push Back and Ramp-Taxi Processes," AIAA Aviat. Technol. Integr. Oper. Conf., no. June, pp. 1–15, 2016.
- [11] G. Ramírez Díaz, J. Piechocki, and A. Di Bernardi, "Capacidad aeroportuaria: Estudio de la influencia de las variables aleatorias sobre el lado aire mediante el uso de simulaciones computacionales," in 4o Jornadas ITE - 2017 - Facultad de Ingeniería - UNLP, 2017, pp. 127–135.
- [12] Federal Aviation Administration (FAA), "Simmod Manual: How SIMMOD Works," pp. 1–79.
- [13] Federal Aviation Administration (FAA), "Advisory Circular: AC 150/5300-13A: Airport Design," 2014.
- [14] Federal Aviation Administration, "FAA Advisory Circular 150/5300-13: Airport Design Changes 1-18," vol. 7, 2011.