

COMANDO DA AERONÁUTICA
CENTRO DE GERENCIAMENTO DA NAVEGAÇÃO AÉREA



CAPACIDAD DE PISTA

ÍNDICE

1.	DISPOSICIONES PRELIMINARES	03
2.	INTRODUCCIÓN	04
3.	DEFINICIONES	05
4.	RESUMEN HISTÓRICO DE LA CAPACIDAD DE PISTA EN BRASIL	06
5.	RELACIÓN ENTRE CAPACIDAD, DEMANDA Y RETRASO	08
6.	ELEMENTOS QUE AFECTAN LA CAPACIDAD DE UN SISTEMA DE PISTAS	09
7.	ELEMENTOS QUE AFECTAN LA CAPACIDAD AEROPORTUARIA	12
8.	METODOLOGIA ADOPTADA POR EL DECEA	13
9.	PRINCIPALES PARÁMETROS PARA EL CÁLCULO DE LA CAPACIDAD	16
10.	ESTRATEGIAS PARA OPTIMIZAR LA CAPACIDAD DE PISTA	17
11.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	18

1. DISPOSICIONES PRELIMINARES

1.1. FINALIDAD

La presente nota tiene por finalidad brindar a los alumnos conocimientos relacionados al cálculo de la Capacidad de Pista, para el fácil entendimiento del Sistema de Gestión de Afluencia de Tránsito Aéreo.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- (a) Identificar las definiciones relacionadas al término Capacidad.
- (b) Identificar las variables que afectan la Capacidad.
- (c) Identificar los parámetros de cálculo de la Capacidad.

1.3. ÁMBITO

La presente nota ha sido desarrollada para el Curso de Cálculo de Capacidad, impartido por el Centro de Gestión de la Navegación Aérea (CGNA).

1.4. ELABORACIÓN Y REVISIÓN

Elaborada por el Cap Esp CTA Juarez Franklin Gouveia en 2011.

1.5. GRADO DE RESERVA

El presente documento no ha sido clasificado como reservado.

2. INTRODUCCIÓN

Debido al incremento del volumen en Tránsito Aéreo, se han realizado diversos estudios para definir las tasas reales de crecimiento y la aplicabilidad de los índices del Sistema de Gestión de Tránsito Aéreo.

Surge, entonces, el concepto de balance entre demanda y capacidad, es decir, la capacidad del sistema para absorber el volumen de tránsito aéreo previsto. La necesidad de equilibrar estos dos elementos ha originado la necesidad del desarrollo de diversos métodos de cálculo de capacidad.

La capacidad se ve afectada por muchos factores, como por ejemplo, la configuración o geometría del aeropuerto, la organización del espacio aéreo (Ej.: ATFM), los procedimientos operacionales del aeropuerto (Ej.: utilización de pistas), la tecnología y los factores humanos (Ej.: ATCO y usuarios). Cuando la capacidad de pista o la capacidad de los terminales de pasajeros son insuficientes para atender la demanda presentada, ocurrirá una saturación del sistema originando el incremento de los niveles de los retrasos en las operaciones de aeronaves.

Es necesario que el ATFM conozca los valores de capacidad y demanda disponibles para todos los aeropuertos bajo su jurisdicción, permitiendo el balance efectivo de la afluencia de tránsito aéreo.

3. DEFINICIONES

Capacidad: número máximo de operaciones que un aeropuerto puede atender por unidad de tiempo, donde existe una demanda continúa para el servicio.

Aeropuerto Coordinado: Aeropuerto con un alto nivel de congestión en el cual la demanda supera la capacidad en un determinado periodo y en el que, para aterrizar o despegar, las compañías aéreas tienen que tener una franja horaria asignada por un coordinador.

Balance - Relación de equilibrio entre la demanda de tránsito aéreo y la capacidad de infraestructura aeronáutica instalada.

Capacidad Aeroportuaria - Número máximo de operaciones de aeronaves que se establece en un determinado aeródromo, para periodos específicos, que es capaz de ser atendido por la infraestructura aeroportuaria.

Capacidad Aeronáutica - Número máximo de operaciones aéreas, en un período de 60 (sesenta) minutos, que se establece en base al análisis de la infraestructura aeronáutica.

Capacidad de Pista - Número máximo de movimientos de despegue y aterrizaje en la pista, bajo una condición operacional específica (Ej.: mezcla de aeronaves, condiciones meteorológicas, configuración de la pista, procedimientos operacionales, etc.) durante períodos de tiempo específicos.

Demanda de Tránsito Aéreo - Número total de operaciones programadas en un determinado aeropuerto o porción del espacio aéreo.

4. RESUMEN HISTÓRICO DE LA CAPACIDAD DE PISTA EN BRASIL

Desde 1994, el tráfico aéreo en Brasil ha sufrido un incremento significativo superando todos los pronósticos y previsiones existentes. Ese aumento en la demanda ha provocado serios problemas en la afluencia de tránsito en algunas regiones del Brasil y ha servido de alerta sobre la saturación de la capacidad de los órganos de Control de Tránsito Aéreo (ATC) y de la infraestructura aeroportuaria, y las limitaciones para atender las tasas de crecimiento presentadas.

El incremento en el movimiento aéreo de Brasil se ha concentrado en el polígono comprendido por las ciudades de Brasilia, Belo Horizonte, Río de Janeiro, São Paulo, Curitiba y Porto Alegre. Habiéndose detectado que el mayor impacto ha ocurrido en las operaciones que involucran al Aeropuerto de Congonhas, donde, a determinadas horas, la excesiva demanda de tránsito aéreo sobrecargaba el sistema de control del aeródromo, los sectores de control del área de control terminal de São Paulo y las Regiones de Información de Vuelo (FIR) adyacentes. Esa sobrecarga ha sido originada por las limitaciones de las características físicas de la infraestructura existente, por la complejidad de la circulación aérea bajo responsabilidad del Control de Aproximación São Paulo, por el crecimiento de la Aviación General y Ejecutiva, y por el aumento de las líneas regionales para Congonhas y de las líneas internacionales para Guarulhos. Todos estos factores resultaron en una sobrecarga de la capacidad instalada, es decir, los aeródromos principales del país pasaron a operar con sus capacidades próximas de los niveles de saturación.

El 19 de diciembre de 1995, la antigua Dirección de Electrónica y Protección al Vuelo (DEPV) creó un grupo de estudios cuyo objetivo era la aplicación de técnicas de gestión de afluencia de tránsito aéreo (ATFM) que pudiesen solucionar los problemas de afluencia de tránsito aéreo que empezaban a afectar la circulación aérea en el Brasil.

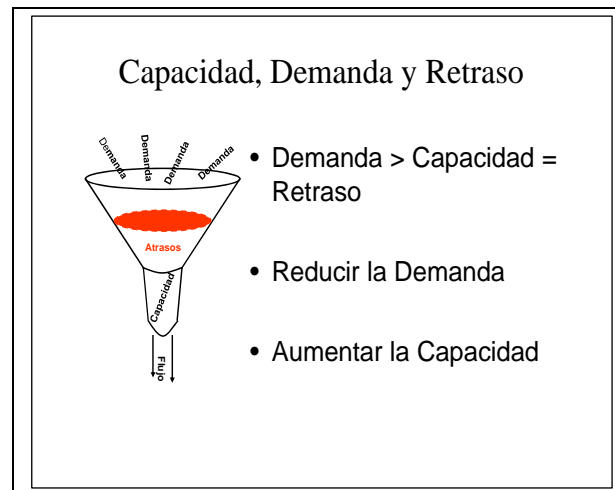
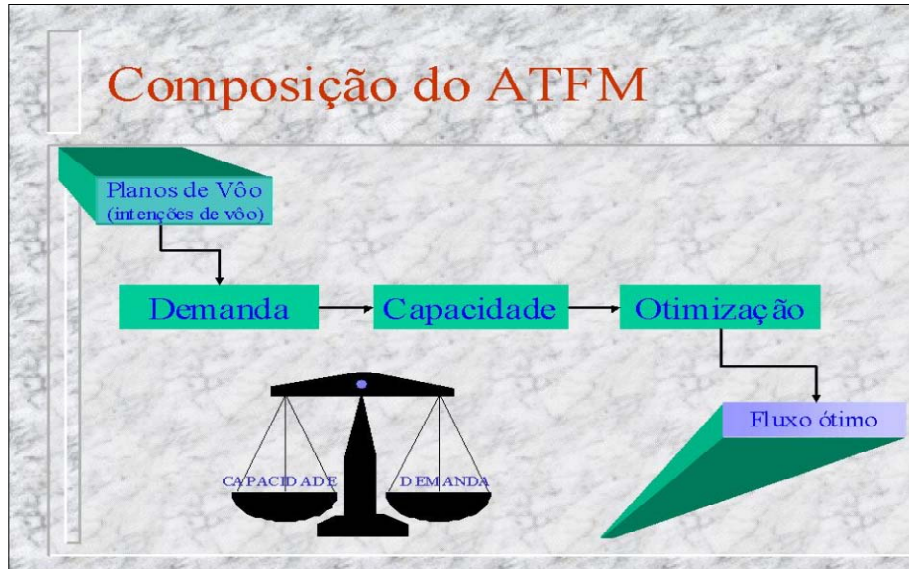
En 1997, se inició el proceso de implantación del Núcleo ATFM de Brasil (NuATFM). El NuATFM fue concebido para proporcionar análisis continuo, coordinación y utilización dinámica de medidas de gestión de afluencia de tránsito aéreo como complemento y asesoramiento a la prestación de los servicios de tránsito aéreo, cuyo

objetivo final era proporcionar una afluencia de tránsito segura, ordenada y económica. La primera concepción operacional de este órgano fue aprobada por Decreto Administrativo 017/DIRPV del 12 de marzo de 1998 y modificada por Decreto Administrativo 41/DIRPV del 09 de octubre de 1998. Entre otras resoluciones, este decreto administrativo activaba el Núcleo del Centro de Gestión de Afluencia de Tránsito Aéreo en el Instituto de Protección al Vuelo.

El objetivo de la activación del Centro de Gestión de Afluencia era apoyar los órganos de control, de modo que pudiesen atender efectivamente el mayor número posible de aeronaves, dentro de los estándares de seguridad establecidos y con esperas mínimas. De la misma forma, haría posible la mejor utilización de las pistas de aterrizaje, permitiendo alcanzar la capacidad máxima de aterrizajes y despegues en los aeródromos considerados.

Actualmente, la ASMU (Unidad de Gestión del Espacio Aéreo), a través de la Sección de Capacidad es la responsable del cálculo de los valores de capacidad de pista y de espacio aéreo.

5. RELACIÓN ENTRE CAPACIDAD, DEMANDA Y RETRASO.



6. ELEMENTOS QUE AFECTAN LA CAPACIDAD

Existen varios factores que afectan la capacidad de una pista de aterrizaje, sin embargo no todos están presentes en los aeropuertos. Cada factor tiene un peso en el valor de la capacidad, que varía según las particularidades del aeropuerto estudiado. Los factores más frecuentes en los aeropuertos son los siguientes:

a) separaciones longitudinal y lateral mínimas entre aeronaves: la categoría y desempeño de las aeronaves determinan el tiempo entre dos operaciones consecutivas. Las separaciones son impuestas por motivos de seguridad, tanto para evitar colisiones como para que una aeronave no penetre en la estera de turbulencia de otra, situación más crítica durante el despegue o aterrizaje, debido a las bajas velocidades practicadas. Este hecho sugiere la posibilidad de una secuenciación óptima para aeronaves que esperan aterrizar en determinado aeropuerto. El problema de secuenciación de aeronaves es típicamente formulado como un problema de optimización con restricciones, con el objetivo de encontrar secuencias que maximicen la razón de servicio de pistas sin penalizar en demasía algunos tipos de aeronaves.

b) configuración de las pistas: la ubicación y distancia entre pistas de aterrizaje son determinantes en la interferencia de los movimientos de una pista en relación a las demás pistas del aeropuerto. Convirtiéndose, por lo tanto, en uno de los principales factores que limitan la capacidad de las pistas:

a) La mayoría de los aeropuertos está diseñados para atender las operaciones primarias en función al viento predominante.

b) Las calles de rodaje y plataformas de estacionamiento de aeronaves son construidas para atender la operación primaria del aeropuerto.

c) Los procedimientos de aproximación y despegue están diseñados para atender las operaciones primarias del aeropuerto.

d) Cambios de pista durante picos de tránsito pueden ocasionar congestión.

e) Los cambios de pistas pueden afectar el uso de determinados procedimientos y/o instrumentos de despegue y/o aterrizaje.

c) condiciones meteorológicas: bajo condiciones meteorológicas adversas (techo y visibilidad bajos) los pilotos y controladores deben trabajar con “mayor cautela” y las separaciones se amplían, con la consecuente reducción de capacidad.

d) mix de aeronaves: distribución porcentual de la flota de aeronaves en operación en el aeródromo conforme a las categorías de las aeronaves. El mix de aeronaves para aeródromos debe ser calculado a partir del movimiento total diario, obtenido por medio de la media aritmética de un muestreo de datos referentes al período de, por lo menos, una semana. Es importante comprender que el mix de aeronaves también es responsable por las separaciones empleadas en los aeropuertos.

e) demanda característica (mezcla de despegues y aterrizajes)

a) Las grandes concentraciones de despegues o aterrizajes pueden alterar la afluencia de tránsito del aeropuerto.

b) Los retrasos en los despegues pueden producir problemas de ocupación de plataforma y en las aproximaciones.

c) La secuenciación de aterrizajes puede ser afectada por la configuración de las pistas y calles de rodaje.

f) tipo de operación (razón aterrizajes/despegues): las separaciones entre movimientos dependen de los tipos de operaciones realizadas. Es decir, un aterrizaje después de un despegue necesita una separación diferente al de un despegue después de otro despegue. La capacidad varía en relación al número de aterrizajes y despegues realizados.

g) herramientas de apoyo a los sistemas: los sistemas confiables de precisión permiten disminuir la separación entre las aeronaves aumentando la capacidad de la pista. La utilización de *programas* que contribuyan a la toma de decisiones del controlador brinda seguridad y racionalidad a las operaciones, por ejemplo elaboración de una secuencia óptima de las aeronaves que se aproximan para aterrizar en determinado aeropuerto.

h) factores humanos (controladores y pilotos): controladores y pilotos de mayor experiencia contribuyen a agilizar las operaciones aéreas. Un buen ejemplo es el aeropuerto de Congonhas donde los controladores utilizan las dos pistas para aterrizajes y despegues, los pilotos ejecutan despegues sin parada en el umbral de la pista (despegue inmediato), los pilotos de aeronaves más lentas mantienen velocidades compatibles con aquellas de los aviones comerciales, etc.

i) ubicación y tipos de calle de rodaje de salida rápida de pista de aterrizaje: las calles de rodaje de salida rápida de pista de aterrizaje, cuando están correctamente ubicadas permiten que los pilotos puedan dejar la pista de aterrizaje utilizando el sistema de calles de rodaje tan pronto como la velocidad haya sido reducida. Si la calle de rodaje de salida es rápida, es decir si hace un ángulo inferior a 90° con la pista de aterrizaje, la necesidad de una reducción de velocidad significativa ya no es necesaria, disminuyendo el tiempo de ocupación de la pista requerida por la aeronave.

j) ruido: el ruido puede ser un factor restrictivo para las operaciones aéreas sobre ciertas áreas habitadas, convirtiéndose en una restricción adicional que debe ser considerada durante la determinación de las rutas de salida.

7. CAPACIDAD AEROPORTUARIA

Como se ha manifestado anteriormente en esta nota, existen varias definiciones del término Capacidad. En este punto trataremos sobre la Capacidad Aeroportuaria, que incluye la definición de Capacidad de Pista, tema principal de nuestro estudio.

7.1 Elementos de la capacidad aeroportuaria

- a) Capacidad de Pista
- b) Capacidad de Plataforma
- c) Capacidad de TPS
 - Salón de Embarque/Desembarque
 - Puntos de Chequeo (facturación de equipaje)
 - Esteras
 - Puntos de Rayos-X

7.1.1 Capacidad de pista

En concordancia con estudios existentes, la Capacidad de Pista está formada, básicamente, por tres niveles de cálculo. Cada uno de estos cálculos está relacionado con la complejidad operacional y la demanda instalada. Partiendo de esta premisa, podemos dividir la Capacidad de Pista en: Capacidad Física de Pista, Capacidad Teórica de Pista y Capacidad Declarada de Pista.

8. METODOLOGÍA ADOPTADA POR EL DECEA

En Brasil, el método de cálculo de capacidad de pista considera la posibilidad de que un despegue ocurra entre dos aterrizajes consecutivos, manteniéndose las separaciones mínimas reglamentarias previstas en la ICA 100-12 (Reglas del Aire y Servicio de Tránsito Aéreo). La capacidad de pista es calculada para un intervalo de sesenta minutos en función del tiempo promedio de ocupación de pista.

Para la determinación de la capacidad del conjunto de pistas, se consideran los siguientes factores:

- a) Factores de Planificación; y
- b) Factores relativos a las operaciones de aterrizaje y despegue.

8.1. Factores de planificación

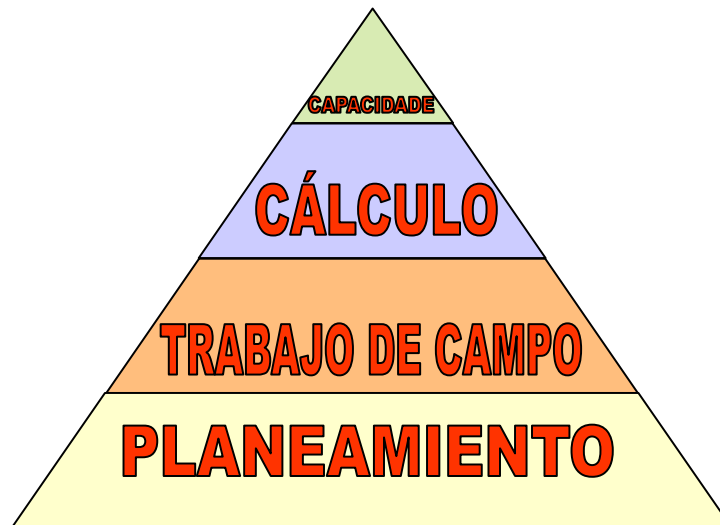
Los factores de planificación son los elementos utilizados para la simplificación de los modelos matemáticos o de los aspectos operacionales que influyen en la determinación de la capacidad de pista. Los comúnmente aplicados son:

- a) Las condiciones ideales de secuenciación y de coordinación de tránsito aéreo;
- b) Se considera que todos los equipos operacionales el mismo desempeño operacional
- c) Se considera que ningún equipo de radionavegación y de auxilios visuales tiene restricciones técnicas ni operacionales; y
- d) Se considera que todos los equipos de comunicaciones (VHF/Telefonía) están operativos.

8.2 Factores relativos a las operaciones de aterrizaje y de despegue

- a) Tiempos promedios de ocupación de pista;
- b) Mix de aeronaves;
- c) Porcentaje de utilización de los umbrales;
- d) Longitud del segmento de aproximación final;
- e) Separación mínima reglamentaria de aeronaves;
- f) Configuración de las pistas de aterrizaje y calles de rodaje; y
- g) Velocidad de aproximación final.

8.3 Fases del Cálculo de Capacidad de Pista



8.3.1 Planeamiento

Es la fase preparatoria del trabajo, donde serán establecidas las estrategias para la realización de los estudios:

- a) Elección de los aeródromos a ser analizados
- b) Definición del período de estudio
- c) Contacto con los organismos responsables de los aeródromos elegidos

8.3.2 Trabajo de Campo

Es la fase del trabajo donde serán recolectadas las muestras referentes a los siguientes tiempos:

- a) TIEMPO DE OCUPACIÓN DE PISTA DURANTE EL ATERRIZAJE
- b) TIEMPO DE OCUPACIÓN DE PISTA DURANTE EL DESPEGUE
- c) TIEMPO DE VUELO EN LA APROXIMACIÓN FINAL

8.4 Directrices para recolección de las muestras

El equipo procurará obtener las muestras de tiempo de las aeronaves, de preferencia en momentos donde hay un mayor volumen de tránsito aéreo, para obtener tiempos de diversas categorías de aeronaves y verificar como fluye el tráfico en el aeropuerto en los momentos de mayor demanda. Muchos aeropuertos poseen más de un horario pico, siendo interesante que durante el levantamiento el

equipo procure tomar tiempo en diferentes horarios pico, verificando así la fluidez del tránsito y el modo de operación de los distintos equipos de servicio de la TWR.

8.4.1 Recolección de tiempo de ocupación de pista durante el despegue

El tiempo de ocupación de pista durante el despegue será contado desde el momento en que la aeronave abandona el punto de espera hasta el cruce del umbral opuesto.

8.4.2 Recolección de tiempo de ocupación de pista durante las aterrizajes

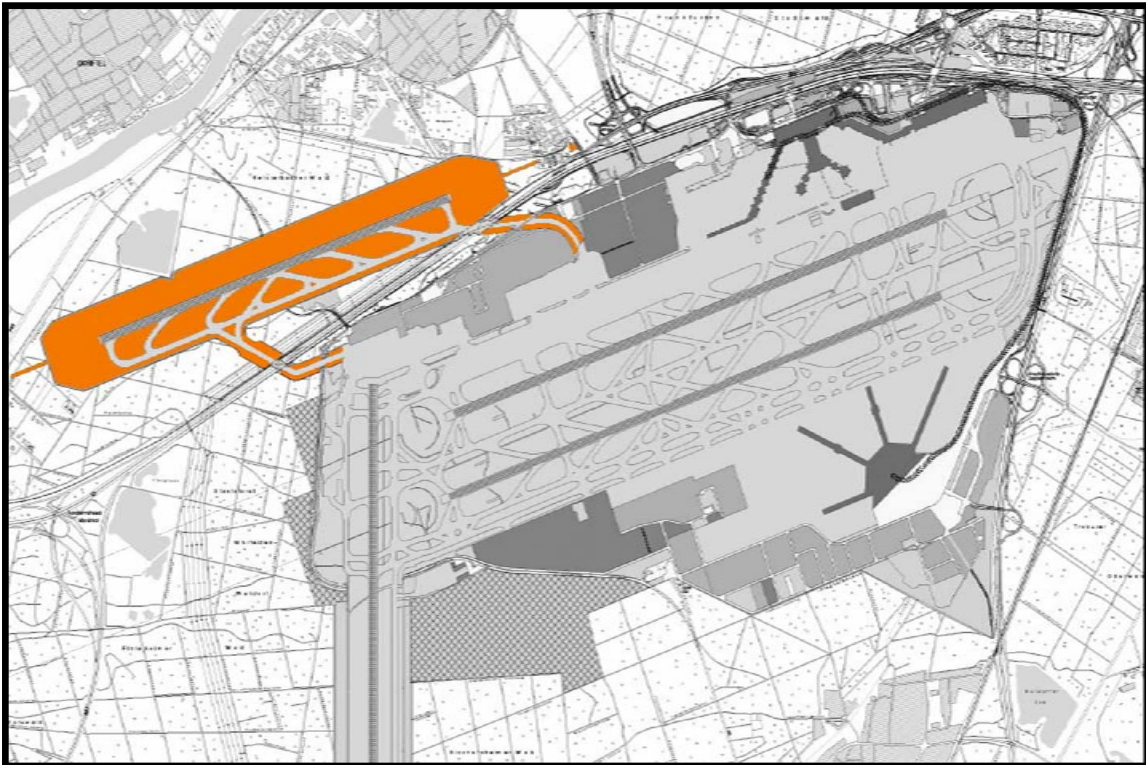
El tiempo de ocupación de pista durante el aterrizaje será contado a partir del punto en que la aeronave cruza el umbral hasta el momento en que haya abandonado la pista.

8.4.3 Recolección de tiempo en la aproximación final

El tiempo durante la aproximación final será contado a partir del momento que la aeronave cruza el Marcador Externo hasta el momento en que cruce el umbral de la pista o a partir del momento en que la TWR no autorizará ninguna aeronave a ingresar en la pista para despegar.

9 ESTRATÉGIAS PARA OPTIMIZAR LA CAPACIDAD DE PISTA

- a) Construcción de nuevos sistemas de pistas.
- b) Maximizar la eficiencia de los sistemas de pistas existentes.
- c) Maximizar el número de despegues y aterrizajes, aplicando estándares operacionales eficientes.
- d) Maximizar el empleo de las herramientas de apoyo al sistema



10 CONCLUSIÓN

El sistema de control de tránsito aéreo (ATC) deber tener la suficiente capacidad para atender la circulación aérea regular, incluso durante los intervalos de mayor movimiento. Sin embargo, el crecimiento acelerado del tránsito aéreo no es consistente, con el crecimiento de la infraestructura aeroportuaria instalada. Este escenario puede resultar en una sobrecarga de trabajo que el ATC no podría manejar, pudiendo ocasionar restricciones en la navegación aérea.

Por lo anteriormente expuesto y para garantizar el mantenimiento de los índices de seguridad y una óptima afluencia del tránsito aéreo, se crea la necesidad de mecanismos apropiados dentro del sistema denominado Gestión de Afluencia de Tránsito Aéreo (ATFM – Air Traffic Flow Management).

La Gestión de Afluencia de Tránsito Aéreo es un sistema que complementa el Servicio de Control Tránsito Aéreo y tiene como objetivo optimizar la afluencia, reducir las esperas tanto en vuelo como en tierra, además de prevenir la sobrecarga en el sistema y consecuentemente las implicaciones en la seguridad de las operaciones, es decir, balancear la demanda y la capacidad.

12 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BÉLGICA. EUROCONTROL – CFMU, EUROCONTROL [*Bruxelas*], <http://www.eurocontrol.int>.

EUA. Federal Aviation Administration. FAA Academy (MMAC). *Capacity. Enhanced Traffic Management Coordinator Course [Oklahoma]*, 17 de mayo de 2007.

BRASIL. MCA 100-14 (*MANUAL DE CÁLCULO DE CAPACIDADE DE PISTA*), DECEA, 2009.