

**COMANDO DE LA AERONÁUTICA**  
**CENTRO DE GESTIÓN DE NAVEGACIÓN AÉREA**



**1. CAPACIDAD DE PISTA**

## **1. DISPOSICIONES PRELIMINARES**

### **1.1 FINALIDAD**

La presente apostilla tiene por finalidad dotar a los alumnos de conocimientos relacionados al cálculo de la Capacidad de Pista, a fin de que puedan entender más fácilmente el Sistema de Gestión de Afluencia de Tránsito Aéreo.

### **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

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

### **1.3 ÁMBITO**

La presente apostilla se destina al Curso de Cálculo de Capacidad, impartido por el Centro de Gestión de la Navegación Aérea.

### **1.4 ELABORACIÓN Y REVISIÓN**

Elaborada por el Cap Esp CTA Juarez Franklin Gouveia en 2009.

### **1.5 GRADO DE SIGILO**

El presente documento posee carácter ostensivo.

## **2. INTRODUCCIÓN**

Con el aumento del volumen de Tránsito Aéreo, diversos estudios han sido realizados para definir las reales tasas de crecimiento y cuál la aplicabilidad de esos índices en el Sistema de Gestión de Tránsito Aéreo.

Surge, entonces, el concepto de balanceo entre la demanda y la capacidad, o sea, cuanto el sistema sería capaz de absorber del volumen de tránsito aéreo previsto. La necesidad de equilibrio entre esos dos elementos ha acarreado el 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 (Ex: ATFM), los procedimientos operacionales del aeropuerto (Ex: como son utilizadas las pistas), la tecnología y los factores humanos (Ex: ATCO y usuarios). Caso la capacidad de pista o la capacidad de los terminales de pasajeros sean insuficientes para atender la demanda presentada, ocurrirá una saturación del sistema que conllevará el aumento de los niveles de retrasos.

El ATFM debe conocer los valores de capacidad y demanda disponibles para todos los aeropuertos bajo su jurisdicción, permitiendo el balanceo efectivo de la afluencia de tránsito aéreo.

### 3 DEFINICIONES

**Capacidad:** es el número máximo de operaciones a que un aeropuerto puede dar soporte durante un tiempo especificado, donde existe continua demanda para el servicio.

**Aeródromo Coordinado:** aeródromo con limitaciones de capacidad tales que la programación de vuelos es dependiente del atendimento de medidas administrativas para la obtención del respectivo *slot* de aeropuerto.

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

**Capacidad Aeroportuaria** - Número máximo de operaciones de aeronaves, establecido para un determinado aeródromo, para periodos especificados, soportado por la infraestructura aeroportuaria.

**Capacidad Aeronáutica** - Número máximo de operaciones aéreas, en un período de 60 (sesenta) minutos, establecido con base en el análisis de la infraestructura aeronáutica.

**Capacidad de Pista** - Número máximo de movimientos que se puede alcanzar con la combinación de aeronaves (anvs.) despegando y aterrizando, en un determinado ad, para una dada condición operacional (Ex: mix de aeronaves, condiciones meteorológicas, configuración de la pista, procedimientos operacionales, etc.) y para períodos de tiempo especificados.

**Capacidad ATC** - Habilidad del sistema (**ATC**), o de cualquier uno de sus subsistemas, de proporcionar servicio a las aeronaves, siendo expresa como núm. máx. de anvs. que pueden entrar en un sector del espacio aéreo en un período especificado. El núm. máx. de anvs. que pueden permanecer simultáneamente en un sector es uno de los factores determinantes para la capacidad **ATC**.

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

**Partición de Tránsito** - Relación porcentual de la utilización de la capacidad de la infraestructura aeronáutica entre la aviación comercial regular y la no regular.

**Slot de Aeropuerto** - Destinación de un período de tiempo específico para una determinada operación en aeródromos coordinados/monitoreados.

#### **4 HISTÓRICO DE LA CAPACIDAD DE PISTA EN BRASIL**

A partir de 1994, el movimiento aéreo en Brasil sufrió un incremento substancial, superando todas las expectativas y previsiones existentes. Ese aumento en la demanda ha provocado problemas de afluencia de tránsito en algunas regiones, alertando que la capacidad de los órganos de Control de Tránsito Aéreo (ATC) y de la infraestructura aeroportuaria era insuficiente para soportar las tasas de crecimiento presentadas.

El incremento verificado en el movimiento aéreo se ha concentrado, en mayor volumen, en el polígono comprendido por las ciudades de Brasilia, Belo Horizonte, Rio de Janeiro, São Paulo, Curitiba y Porto Alegre. Entretanto, el mayor impacto ha ocurrido en las operaciones involucrando el Aeropuerto de Congonhas, donde, en determinados horarios, una demanda excesiva 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 era motivada por las limitaciones de las características físicas y 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 esos factores resultaron en una sobrecarga de la capacidad instalada, o sea, los aeródromos principales del país pasaran a operar con sus capacidades próximas de los niveles de saturación.

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

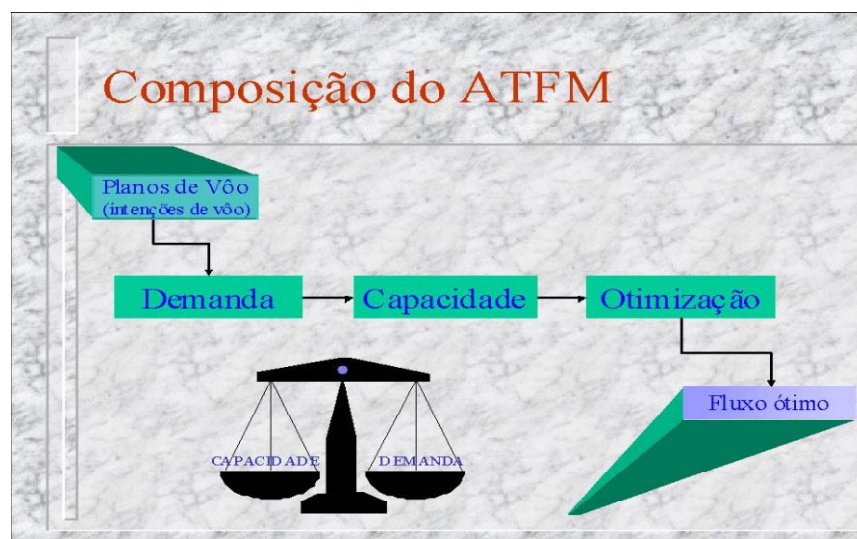
En 1997, tuvo inicio el proceso de implantación del Núcleo ATFM de Brasil (NuATFM). El NuATFM ha sido concebido de forma a proporcionar un

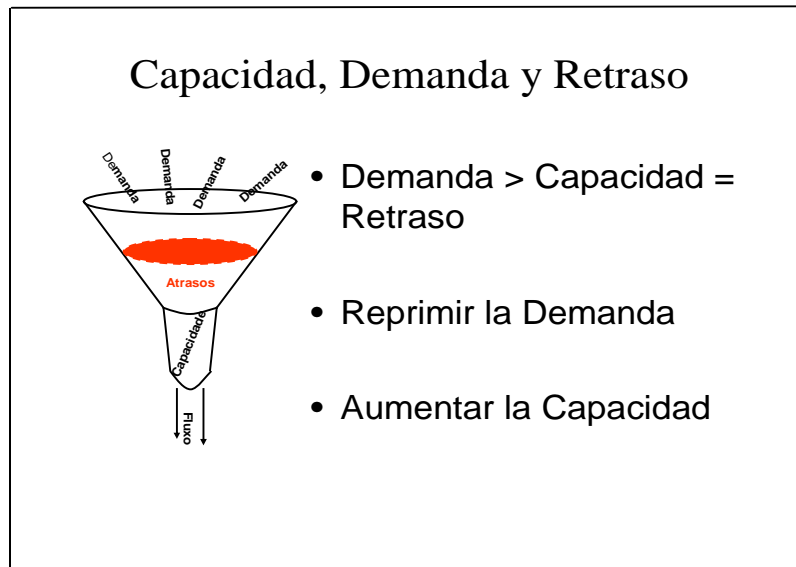
proceso de análisis continuo, coordinación y utilización dinámica de medidas de gestión de afluencia de tránsito aéreo, como complemento y asesoramiento a la prestación de los servicios de tránsito aéreo. Todo con el objetivo final de proporcionar una afluencia de tránsito segura, ordenada y económica. La primera concepción operacional de ese órgano fue aprobada por la Providencia Administrativa 017/DIRPV de 12 de marzo de 1998 y modificada por la Prov. Adm. 41/DIRPV de 09 de octubre de 1998. Entre otras resoluciones, la Providencia Administrativa 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, efectivamente, atender un número de aeronaves hasta el límite de su capacidad, dentro de los estándares de seguridad establecidos y con las aeronaves sometidas a esperas mínimas. De la misma forma, sería posible la mejor utilización de las pistas de aterrizaje, pudiendo alcanzar la capacidad máxima de aterrizajes y despegues en los aeródromos considerados.

Actualmente, la ASMU (Unidad de Gestión del Espacio Aéreo), por medio de la Subsección de Capacidad, es la responsable por el 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 DE UN SISTEMA DE PISTAS.

De entre los varios factores que afectan la capacidad de una pista de aterrizaje, se verifica que ni todos están presentes en todos los aeropuertos. Cada factor tiene un peso de implicación en el valor de la capacidad, que varía según las peculiaridades del aeropuerto estudiado. Los factores más frecuentes en los aeropuertos son los siguientes:

- **Separaciones longitudinal y lateral mínimas entre aeronaves:** las separaciones son impuestas por motivos de seguridad tanto para evitar colisiones como para que una aeronave no entre en la estela de turbulencia de otra, lo que suele ser más crítico cuando próximo al aterrizaje o durante el despegue, debido a las bajas velocidades practicadas;

- **configuración de las pistas:** la posición relativa y distancia entre pistas de aterrizaje determinan la interferencia de los movimientos de una en relación a los de las demás pistas del aeropuerto. Se constituye, por lo tanto, en uno de los principales factores que limitan la capacidad;

a) La mayoría de los aeropuertos está diseñada para atender la operación más común en función del viento predominante.

b) Las calles de rodaje y los patios son construidos para atender la operación primaria del aeropuerto

- c) Procedimientos de aproximación y salida son diseñados para atender la operación primaria del aeropuerto
- d) Mudanzas de pista durante picos de tránsito pueden ocasionar congestiones
- e) Mudanzas de pistas pueden resultar en desventajas para el uso de determinados procedimientos instrumentos de salida o llegada
- **condiciones meteorológicas:** bajo condiciones meteorológicas adversas (techo y visibilidad bajos) pilotos y controladores pasan a trabajar con “mayor cautela” y las separaciones son ampliadas, con consecuente baja de la capacidad;
  - **mix de las aeronaves:** la categoría y desempeño de las aeronaves determinan el tiempo entre dos operaciones consecutivas. Blumstein (1959) ha demostrado que el intervalo entre aterrizajes entre una aeronave pesada y una ligera es mucho mayor cuando la pesada aterriza primero. Ese 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;
  - **demanda característica (mix de despegues y aterrizajes)**
    - a) Grandes concentraciones de despegues o aterrizajes pueden alterar la afluencia de tránsito del aeropuerto.
    - b) Retrasos en los despegues pueden producir problemas de ocupación de patios y problemas con las aproximaciones.
    - c) La secuenciación de aterrizajes puede ser afectada por la configuración de las pistas y calles de rodaje.
  - **tipo de operación (razón aterrizajes/despegues):** las separaciones entre movimientos dependen de los tipos de operaciones abarcadas, o sea, un aterrizaje que sucede un despegue necesita de separación diferente de, por ejemplo, un despegue sucediendo otro despegue. La capacidad varía con la relación entre las cantidades de aterrizajes y despegues ejecutados. Así, no

tiene sentido una indicación única de capacidad y sí un sobre de capacidad determinado por el *mix* de operaciones;

- ***calidad y desempeño de los sistemas de navegación, vigilancia y control:*** sistemas confiables y con buena precisión permiten disminuir la separación entre las aeronaves aumentando la capacidad. La utilización de *software* de soporte a la decisión que auxilie el controlador, por ejemplo: a prever la secuenciación óptima de las aeronaves que se aproximan para aterrizar en determinado aeropuerto, confiere seguridad y racionalidad a las operaciones;
- ***factores humanos (controladores y pilotos):*** controladores y pilotos con mayor experiencia proporcionan mayor agilidad a las operaciones. Un buen ejemplo es el aeropuerto de Congonhas donde los controladores utilizan las dos pistas para aterrizajes y despegues, pilotos ejecutan despegues sin parada en el umbral de la pista (despegue inmediato), pilotos de aeronaves más lentas buscan mantener velocidades compatibles con las de los aviones comerciales etc.;
- ***ubicación y tipo de las salidas de pista:*** las salidas de pista de aterrizaje cuando correctamente ubicadas permiten que los pilotos puedan abandonar la pista de aterrizaje en dirección al sistema de calles de rodaje tan pronto tengan reducido suficientemente la velocidad. Si la salida es rápida, o sea, si hace un ángulo inferior al 90° con la pista de aterrizaje, no existe la necesidad de demasiada reducción de velocidad, con lo cual el tiempo de ocupación de la pista disminuye;
- ***ruido:*** el ruido puede restringir la operación sobre determinadas áreas habitadas funcionando como una restricción adicional a ser considerada en la determinación de rutas de salida.

## **7 CAPACIDAD AEROPORTUARIA**

De acuerdo con lo que ya ha sido presentado en los ítems anteriores de esta apostilla, existen varias definiciones envolviendo el término Capacidad. En este ítem, iremos tratar de la Capacidad Aeroportuaria, la cual abarca la definición de Capacidad de Pista que es el principal enfoque de nuestro estudio.

## **7.1 ELEMENTOS DE LA CAPACIDAD AEROPORTUARIA**

- ✓ Capacidad de Pista
- ✓ Capacidad de Patio
- ✓ Capacidad de TPS
- Salón de Embarque/Desembarque
- Puntos de Check-in (facturación de equipaje)
- Esteras
- Puntos de Rayos-X

### **7.1.1 CAPACIDAD DE PISTA**

De acuerdo con lo verificado en los estudios existentes, la Capacidad de Pista es formada, básicamente, por tres niveles de cálculo. Cada uno de esos cálculos está atrallado a la complejidad operacional y a la demanda instalada. Partiendo de esa premisa, podemos clasificar la Capacidad de Pista como: Capacidad Física de Pista, Capacidad Teórica de Pista y Capacidad Declarada de Pista.

### **7.1.2 CAPACIDAD FÍSICA DE PISTA**

Proceso simplificado que tiene por finalidad proporcionar el primer indicativo para los valores de capacidad del aeródromo. Se destina a los aeródromos donde la demanda de tránsito aéreo todavía no ha alcanzado niveles de congestión.

### **7.1.3 CAPACIDAD TEÓRICA DE PISTA**

Se destina a los aeródromos donde la demanda de tránsito aéreo ha alcanzado o tiende a alcanzar niveles de congestión. Por tratarse de un proceso complejo, toma en cuenta diversas variables, siendo la más importante el modo de operación (ATC, AEROPUERTO, EMPRESA AÉREA).

### **7.1.4 CAPACIDAD DECLARADA DE PISTA.**

Se trata del valor efectivamente divulgado, o sea, para que se llegue a un valor final son reunidas y evaluadas todas las variables estudiadas. El resultado de ese estudio puede resultar en un valor diferente de los

anteriormente calculados. Ese valor puede agregar otros elementos, como: meteorología, posición geográfica, etc.

## **8 METODOLOGÍA ADOPTADA POR EL DECEA**

En Brasil, el método de cálculo de capacidad de pista considera la posibilidad de ocurrir un despegue entre dos aterrizajes consecutivos, manteniéndose las separaciones mínimas reglamentares, 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, los siguientes factores son considerados:

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

### **8.1.1 Factores de planificación.**

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

- a) condiciones ideales de secuenciación y de coordinación de tránsito aéreo;
- b) todos los equipos operacionales son considerados con la misma capacitación y el mismo desempeño operacional
- c) todos los equipamientos de radionavegación y de auxilios visuales son considerados técnica y operacionalmente sin restricciones; y
- d) todos los equipamientos de comunicaciones (VHF/Telefonía) son considerados operacionales.

### **8.1.2 Factores relativos a las operaciones de aterrizaje y de despegue**

- a) Tiempos promedios de ocupación de pista;
- b) Mix de aeronaves;

- c) Porcentual de utilización de los umbrales;
- d) Longitud del segmento de aproximación final;
- e) Separación mínima reglamentar de aeronaves;
- f) Configuración de las pistas de aterrizaje y calles de rodaje; y
- g) Velocidad de aproximación final.

## **9 PRINCIPALES PARÁMETROS UTILIZADOS EN EL CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE PISTA**

- Mix de aeronaves (Categoría de aeronaves y velocidad de proximación)
- Tiempo promedio de ocupación de pista (seg).
- Criterios de separación adoptados por el ATC.

### **9.1 Mix de Aeronaves:**

Distribución porcentual de la flota de aeronaves en operación en el aeródromo conforme las categorías de las aeronaves. El Mix de aeronaves para aeródromos debe ser calculado a partir del movimiento total diario, constante en la IEPV 100-34 (Movimiento de Aeronaves en Aeródromos) o en el SGTC, obtenido por medio de la media aritmética de un muestreo conteniendo datos referente al período de, por lo menos, una semana.

### **9.2 Tiempo Promedio de Ocupación de Pista**

Media aritmética ponderada de las medias de los tiempos de ocupación de pista por categoría de aeronave, teniendo como factor de ponderación el Mix de aeronaves que opera en el aeródromo.

### **9.3 Directrices para recolección de las muestras**

Con el objetivo de obtener mayor precisión, se recomienda que los datos sean recolectados en la hora pico, visto que en esos horarios la afluencia de tránsito aéreo tiene mayor fluidez, reduciendo el tiempo de ocupación de la pista. Caso la recolección efectuada no abarque todas las categorías, se podrá hacer una complementación fuera de la hora pico e incluso en días distintos. El tiempo de ocupación de pista durante el despegue será contado a partir del

momento en que la aeronave abandona el punto de espera hasta el cruce del umbral opuesto.

## **10 ESTRATÉGIAS PARA OPTIMIZAR LA CAPACIDAD DE PISTA**

- Construcción de nuevos sistemas de pistas.
- Maximizar la eficiencia de los sistemas de pistas existentes.
- Maximizar los despegues y los aterrizajes, aplicando estándares operacionales eficientes.

## **11 CONCLUSIÓN**

El sistema de control de tránsito aéreo (ATC) tiene capacidad suficiente para atender la circulación aérea normal, inclusive en los intervalos de mayor movimiento. Entretanto, el crecimiento acelerado del tránsito aéreo no es seguido, en las mismas proporciones, por la infraestructura instalada. Ese escenario puede resultar en cargas de trabajo que no serían practicables por el ATC, pudiendo ocasionar restricciones a la navegación aérea.

Así, para mantener los índices de seguridad y garantizar una óptima afluencia de tránsito aéreo, se presenta 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 cuanto en tierra, además de prevenir la sobrecarga en el sistema y sus consecuentes implicaciones en la seguridad de las operaciones, o sea, balancear la demanda y la capacidad.

## 12 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

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

## ÍNDICE

1.	DISPOSICIONES PRELIMINARES.....	01
2.	INTRODUCCIÓN.....	02
3.	DEFINICIONES.....	03
4	HISTÓRICO DE LA CAPACIDAD DE PISTA EN BRASIL.....	04
5	RELACIÓN ENTRE CAPACIDAD, DEMANDA Y ATRASO... ..	05
6	ELEMENTOS QUE AFECTAN LA CAPACIDAD DE UN SISTEMA DE PISTAS.....	06
7	CAPACIDAD AEROPORTUARIA.....	08
8	METODOLOGÍA ADOPTADA POR EL DECEA.....	10
9	PRINCIPALES PARÁMETROS UTILIZADOS EN EL CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE PISTA.....	11
10	ESTRATÉGIAS PARA OPTIMIZAR LA CAPACIDAD.....	12
11	CONCLUSIÓN.....	12