



ORGANIZACIÓN DE AVIACIÓN CIVIL INTERNACIONAL
Oficina Regional Sudamericana

Proyecto Regional RLA/06/901

**Taller para instructores sobre cálculo de capacidad de pistas
y sectores ATC**

Modulo 1: Teorías de capacidad de Pista

Lima, Perú, 24 al 28 de octubre de 2011

1. INTRODUCCIÓN

Después de la realización, en Brasil, de 02 (dos) Cursos de Capacidad de la Pista destinados a los representantes de los países de la Región CAR/SAM, se verificó la necesidad de que el método referido fuese ofrecido a un número mayor de personas involucradas con este tipo de estudio. Por este motivo, se decidió ofrecer un curso de cálculo de capacidad, dirigido a futuros instructores, para lograr un efecto multiplicador en la divulgación del conocimiento a los países miembros de la Región.

Para que un instructor sea capaz de divulgar los conocimientos contenidos en el Manual del Cálculo de Capacidad de la Pista, es necesaria que la filosofía de la metodología del cálculo sea entendida de forma más amplia, destacando su relación con la infraestructura de un aeropuerto, además de los diversos escenarios operacionales.

La infraestructura del aeropuerto es, en gran parte, la responsable de la fluidez de tráfico en un aeropuerto, contribuyendo a la distribución equilibrada de la demanda de aterrizajes y despegues. Por lo tanto, es necesario mostrar las bondades en la aplicación de la metodología, en virtud de las diferentes características operacionales presentes en cada aeropuerto. Por este motivo, se han enumerado los principales factores que afectan la capacidad de un sistema de pistas, para que los profesionales involucrados en el estudio de la capacidad puedan realizar la evaluación, correctamente, teniendo en cuenta los escenarios operacionales existentes en el aeropuerto y el método sea aplicado de acuerdo con el Modus Operandi de la localidad.

2. DEFINICIONES

Balance: Relación de equilibrio entre la demanda de tráfico aéreo y la capacidad de la infraestructura aeronáutica instalada.

Capacidad: Es el número máximo de las operaciones que un aeropuerto puede recibir durante un tiempo específico, donde existe continua demanda para el servicio.

Capacidad de Pista: Número máximo de movimientos que se puede realizar con la combinación de aeronaves despegando y aterrizando, para un determinado aeródromo, en condiciones operacionales determinadas (Ejemplo: conjunto de aeronaves, condiciones

meteorológicas, configuración de la pista, procedimientos operacionales, etc.) y para periodos de tiempo específicos.

Capacidad Aeroportuaria: Número máximo de operaciones de aeronaves, establecido para un determinado aeródromo, para periodos específicos, que pueda ser atendido por la infraestructura aeroportuaria.

Demanda de Tráfico Aéreo: Número total de operaciones requeridas en un determinado aeropuerto o porción del espacio aéreo.

Conjunto de Aeronaves: Distribución porcentual de la flota de aeronaves en operación en el aeródromo conforme a las categorías de las aeronaves. El conjunto aeronaves para aeródromos debe ser calculado a partir del movimiento total diario obtenido a través de la media aritmética de una muestra que contiene datos referentes al periodo de un año.

Tiempo medio de la Ocupación de la pista - Media aritmética ponderada de las medias de los tiempos de ocupación de pista por categoría de aeronave, teniendo como factor de ponderación o el conjunto de aeronaves que opera en el aeródromo.

3. PILARES DE LA METODOLOGÍA DEL CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE PISTA

En Brasil, el método del cálculo de capacidad de pista considera la posibilidad de que ocurra una despegue entre dos aterrizajes consecutivos (ARR: 50% DEP: 50%), manteniéndose las separaciones mínimas reglamentarias. La capacidad de la pista es calculada para un intervalo de sesenta minutos, en función, principalmente, del tiempo medio de ocupación de la pista.

Al efectuar un estudio de capacidad de la pista, el valor encontrado debe representar el número máximo de aterrizajes y despegues en el periodo de una hora. Considerando que todos los elementos sean operacionales.

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

- Factores de Planeamiento
- Factores relativos a las operaciones de aterrizaje y de despegue

Factores de Planeamiento

Aspectos operacionales que influyen la determinación de la capacidad de la pista. Las aplicaciones más comunes son:

- a) condiciones ideales de secuenciamiento y coordinación del tráfico aéreo;



- b) todos los equipos operacionales son considerados con la misma capacitación y desempeño operacional;



- c) todos los equipos de radio-navegación y ayudas visuales son considerados operacionales;



- d) todos los equipos de comunicaciones (VHF/Telefonía) son considerados operacionales.



Factores relativos a las operaciones de aterrizaje y de despegues:

- a) Tiempos medios de ocupación de la pista;
- b) Porcentaje de utilización de cabeceras;
- c) Conjunto de aeronaves;

- d) Longitud del segmento de aproximación final;
- e) Separación mínima reglamentada entre aeronaves;
- f) Configuración de las pistas de aterrizaje y calles de rodaje;
- g) Procedimientos de salida; y
- h) Velocidad de aproximación final.

4. FACTORES QUE AFECTAN LA CAPACIDAD DE UN SISTEMA DE PISTAS.

Dentro de los diversos factores que afectan la capacidad de una pista de aterrizaje, se ha verificado que no todos están presentes en todos los aeropuertos. Cada uno de los elementos posee características que pueden influenciar la capacidad de la pista, originando una variación del valor calculado de acuerdo a las particularidades del aeropuerto estudiado. Los factores encontrados con más frecuencia en los aeropuertos son los siguientes:

a) **TIEMPO MEDIO DE OCUPACIÓN DE LA PISTA** - El tiempo medio de ocupación de pista refleja la disponibilidad de infraestructura aeroportuaria, como evidencia el patrón operacional de las Empresas Aéreas. La ausencia de calles de rodaje adecuadas, que permitan a la aeronave una ocupación de pista por un tiempo corto, es uno de los dos principales factores que implica el aumento de las separaciones entre las aeronaves en aproximación, reduciendo así, la capacidad de pista disponible. La construcción de pistas de salida rápida contribuiría a que las aeronaves efectuasen sus operaciones, ocupando la pista en un menor tiempo y, consecuentemente, haciendo posible el incremento de la capacidad. Existen aeropuertos que poseen sistemas de calles de rodaje adecuados, sin embargo, en función de los patrones operacionales restrictivos que presentan las empresas aéreas, los tiempos de ocupación de la pista son elevados, impactando el flujo del Aeropuerto. La adopción de patrones optimizados, por parte de las Compañías Aéreas, originaría una reducción de las separaciones entre aeronaves generando las respectivas ganancias de capacidad de la pista.



b) **PORCENTAJE DE LA UTILIZACIÓN DE LAS CABECERAS** - En función del viento predominante en la localidad, las cabeceras pueden tener diferentes porcentajes de utilización durante el año. Quiere decir, que la cabecera más utilizada puede ser aquella que ofrezca menor capacidad de pista, dependiendo de la infraestructura disponible.

MES	RWY 09L	RWY 27L	RWY 09R	RWY 27R
ago/09	46,61%	6,71%	35,52%	11,16%
set/09	36,45%	13,50%	40,09%	9,97%
oct/09	42,62%	6,67%	45,10%	5,61%
nov/09	35,05%	13,98%	35,98%	14,98%
dic/09	36,45%	11,59%	37,20%	14,77%
ene/10	35,29%	14,41%	35,46%	14,85%
feb/10	38,57%	11,31%	39,76%	10,35%
mar/10	37,56%	12,14%	38,16%	12,15%
abr/10	41,65%	6,74%	44,27%	7,33%
may/10	33,14%	16,05%	34,83%	15,98%
jun/10	43,27%	6,35%	44,39%	5,99%
jul/10	46,23%	3,69%	46,81%	3,27%
TOTAL	39,41%	10,26%	39,80%	10,53%

c) **CONJUNTO DE AERONAVES** - El conjunto de aeronaves es otro factor que afecta las separaciones entre aeronaves, que se refleja en la capacidad de la pista. La estela de turbulencia (vortex) es un enemigo invisible que acarrea riesgo a las operaciones, especialmente cuando una aeronave ligera sigue a una aeronave pesada, durante la fase de aproximación, con la

separación reducida. En estos casos, separaciones mayores deben ser adoptadas garantizando, con esto, la seguridad operacional en el aeropuerto.

ESTUDO DE SBGR EM FUNÇÃO DA CATEGORIA DE AERONAVES														
CAT	ago/09	set/09	out/09	nov/09	dez/09	jan/10	fev/10	mar/10	abr/10	mai/10	jun/10	jul/10	SOMA ANUAL	%
A	119	122	190	220	143	81	67	60	110	97	94	773	2076	0,91
B	1108	1253	1428	1425	1354	1289	1154	1967	2018	1976	1771	1769	18512	8,13
C	12425	12084	12909	12627	13423	14352	12458	13482	13035	13386	13169	14285	157635	69,25
D	4054	3853	4015	3933	4131	4175	3718	4220	4005	4248	4352	4675	49379	21,69
E	1	8	9	4	0	0	1	0	4	3	0	0	30	0,01
TOTAL	17707	17320	18551	18209	19051	19897	17398	19729	19172	19710	19386	21502	227632	100

d) **LEGISLACIÓN RELATIVA A LAS SEPARACIONES** - Las legislaciones relativas a las separaciones establecen separaciones mínimas reglamentadas (SMR) a ser cumplidas, teniendo como objetivo preservar la seguridad de las operaciones aéreas. La reducción de las SMR originaría un aumento de capacidad, por ende, es necesario un estudio minucioso por parte de los profesionales de tráfico aéreo, una vez que, conforme a lo indicado anteriormente, existan deficiencias de infraestructura aeroportuaria y patrones operacionales restrictivos de algunas empresas aéreas que podrían comprometer tales separaciones reducidas.

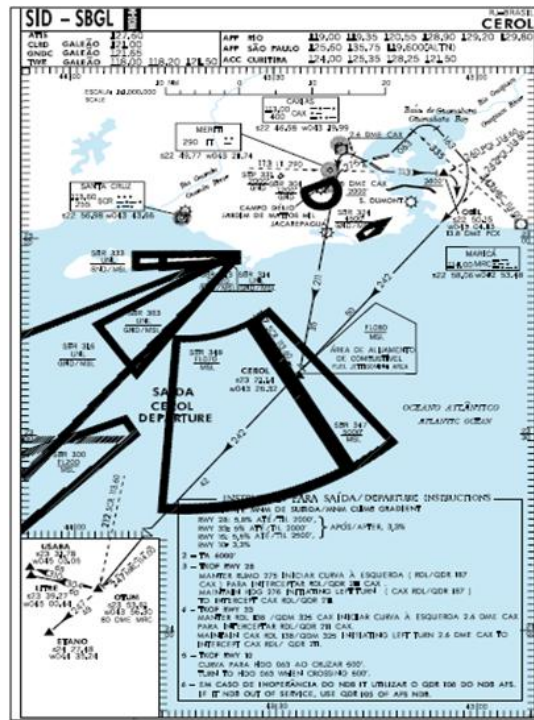
OPERAÇÃO EM PISTAS ISOLADAS						
CABECEIRAS	09R			27L		
SEPARAÇÕES	80%	90%	100%	80%	90%	100%
9NM	24	27	31	24	27	31
10NM	23	26	29	23	26	29
11NM	21	24	27	21	24	27
12NM	20	22	25	20	22	25
13NM	18	20	23	18	20	23
14NM	16	18	21	16	18	21
15NM	15	17	19	15	17	19

e) **INFRAESTRUCTURA AEROPORTUARIA** - Además de la deficiencia de los sistemas de calles de rodaje, los aeropuertos poseen serios problemas de plataforma de estacionamiento. La mayoría de las plataformas no pueden ser adaptadas para permitir la aceleración de las salidas y llegadas de las aeronaves en hora pico; existen localidades que cuentan con posiciones de estacionamiento suficientes, originando esperas en las calles de rodaje o en

espacio aéreo. Cabe resaltar que la capacidad de la infraestructura aeroportuaria es la resultante de las capacidades que están actuando en un aeropuerto (pista, plataforma, terminal de pasajeros, etc.). Normalmente, la capacidad aeroportuaria será igual a la menor de las capacidades, de forma que se puede evitar autorizar a un número de aeronaves mayores que la infraestructura aeroportuaria pueda recibir.



f) **PROCEDIMIENTOS DE SALIDA** – El diseño de los procedimientos de salida puede causar un aumento en las separaciones entre los despegues, afectando el flujo de las salidas. Este problema ocurre, principalmente, cuando todas las aeronaves que despegan deben mantener el mismo segmento inicial de salida. Por ejemplo, las localidades donde son utilizados procedimientos de atenuación de ruido, en que las aeronaves tienen que efectuar maniobras curvas hacia el mismo lado después del despegue.



g) **INFRAESTRUTURA AERONÁUTICA** – La instalacion de radares acarrea la reduccion de las separaciones, con ganancia de capacidad, ademas de aumentar la seguridad de las operaciones. Las localidades que cuentan con radar de terminal, asociado a una infraestructura aeroportuária adecuada, consiguen alcanzar capacidades bastante mayores en relaciona aquellas localidades que prestan el servicio sin radar en sus terminales. Se resalta, tambien, que la instalacion del ILS en algunos aeropuertos reduciria los mínimos meteorológicos para operaiones de aterrizaje, tornando el aeródromo menos vulnerable a condiciones meteorológicas adversas.



h) **MODUS OPERANDI DEL ÓRGANO ATC** - Cada localidad posee particularidades que afectan sus operaciones del día-a-día. Los modelos operacionales de los Órganos ATC establecen procedimientos a ser adoptados por los Controladores de vuelo, teniendo como objetivo, principalmente, mantener la seguridad de las operaciones. Existen localidades, por ejemplo, que poseen su punto de espera para el ingreso en la pista el retiro de la cabecera, de forma a evitar interferencia en los sistemas de aproximación de aterrizaje de precisión (interferencia en el GLIDE). Tal hecho colocaría en riesgo las operaciones de aterrizaje en condiciones degradadas de techo y visibilidad. Se incrementan las particularidades de cada localidad a las condiciones de relevo, que no permiten la elaboración de procedimientos para un aterrizaje directo, y aeropuertos que no se encuadran en las especificaciones de ICAO, en relación al largo de TWY's, al PCN, y las distancias entre ejes que no permiten operaciones simultáneas de aeronaves de fuselaje ancho.



i) **METEOROLOGÍA** - Las condiciones meteorológicas adversas pueden acarrear desde el aumento de las separaciones en la aproximación final, debido al exceso de desvíos, hasta la reducción de la capacidad a cero, en función de fenómenos meteorológicos bastante restrictivos (nieblas, tormentas, etc.). El aeropuerto de Guarulhos posee diferentes tipos de separación, en función de las condiciones meteorológicas reinantes y de las cabeceras en uso, acarreando variaciones de la capacidad del conjunto de pistas.



5. CONCLUSIÓN

El sistema de control de tráfico aéreo (ATC) y la infraestructura aeroportuaria deben poseer una capacidad suficiente para atender la circulación aérea, inclusive en los intervalos de mayor movimiento. Entretanto, se percibe que, en muchos casos, el crecimiento acelerado del tráfico aéreo no es continuo, a las proporciones de la infraestructura instalada. Ese escenario puede ocasionar un desequilibrio entre la capacidad instalada y la demanda prevista, reflejándose en el volumen de carga de trabajo del ATC, teniendo como resultado restricciones a la navegación aérea.

Así, para mantener los índices de seguridad y garantizar un óptimo flujo de tráfico aéreo es necesaria la creación de mecanismos apropiados dentro del sistema denominado Gerenciamiento de Flujo de Tráfico Aéreo (ATFM – Air Traffic Flow Management).

El Gerenciamiento de Flujo de Tráfico Aéreo es una actividad que complementa el Servicio de Control Tráfico Aéreo y tiene como objetivo optimizar el flujo, reducir las esperas tanto en vuelo como prevenir una sobrecarga en el sistema y sus consecuentes implicaciones en la seguridad de las operaciones, o sea, balancear la demanda y la capacidad.

6. 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 May 2007.*

BRASIL. DECEA-CGNA. Centro de Gerenciamento da Navegação Aérea. MCA 100-14
Capacidade do Sistema de Pistas, 2009.

BRASIL. DECEA-CGNA. Centro de Gerenciamento da Navegação Aérea. Curso CGN004, Curso
de Capacidade de Pista e de Espaço Aéreo, 2009.

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	03
2.	DEFINICIÓN.....	04
3	HISTORIAL DE CAPACIDAD DE PISTA EN BRASIL.	04
4	RELACIÓN ENTRE CAPACIDAD, DEMANDA Y ATRASO..	06
5	ELEMENTOS QUE AFECTAN A LA CAPACIDAD DE UN SISTEMA DE PISTAS.....	07
6	CAPACIDAD AEROPORTUARIA.....	08
7	METODOLOGÍA ADOPTADA POR LA DECEA.....	10
8	PRINCIPALES PARÁMETROS UTILIZADOS EN EL CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE PISTA.....	10
9	ESTRATEGIAS PARA OPTIMIZAR LA CAPACIDAD.....	11
10	CAPACIDAD ATC.....	12
11	CONCLUSIÓN.....	14