



**ORGANIZACIÓN DE AVIACIÓN CIVIL INTERNACIONAL**  
**Oficina Regional Sudamericana - Proyecto Regional RLA/06/901**  
*Asistencia para la Implantación de un Sistema Regional de ATM*  
*Considerando el Concepto Operacional de ATM y el Soporte de Tecnología*  
*CNS correspondiente*  
**Quinta Reunión del Comité de Coordinación (RCC/5)**  
(Lima, Perú, 28 al 30 de noviembre de 2011)

---

**Asunto 4 de la**

**Agenda: Programa de actividades del proyecto para el año 2012**

**PRESENTACIÓN METODOLOGÍA MEDICIÓN Y CALCULO DE CAPACIDAD DE SECTORES  
ATC Y AEROPUERTOS – LADO AIRE E INFORMES FINALES**

(Nota de estudio presentada por Colombia)

**RESUMEN**

Esta nota de estudio pretende la presentación de las metodologías desarrolladas por la FMU COLOMBIA, para la Medición y Cálculo para la Determinación de Capacidad de sectores ATC y Aeropuertos – Lado Aire para las FIR SKED y SKEC.

Así mismo pretende la presentación de los informes finales de la “Medición y Cálculo para la Determinación de la Capacidad del Sector ATC – Bogotá Llegadas” y “Medición y Cálculo para la Determinación de la Capacidad del Aeropuerto Internacional Eldorado – Lado Aire”.

Lo anterior debido a que aún no se han presentado al **Grupo de Implantación SAM (SAM/IG/8)**, siendo esta una tarea pendiente para dar cumplimiento a la **Conclusión SAM/IG/3-5**.

**Referencias:**

Octavo Taller/Reunión del Grupo de Implantación SAM  
(SAM/IG/8) **INFORME FINAL**

**1. Introducción**

1.1 La Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil de Colombia ha implementado en 2005 el Servicio ATFM con el objeto de equilibrar la demanda con relación al recurso de capacidad del Aeropuerto Internacional Eldorado luego de detectar un incremento significativo de las demoras en tierra y en vuelo, por lo que se dio la necesidad de efectuar la determinación preliminar de la Capacidad Operacional del

RLA/06/901 – RCC/5  
NE/07

mismo. Posteriormente, se da la necesidad de determinar la capacidad del sector llegadas al detectar un ligero desequilibrio entre la capacidad de este y la del aeropuerto.

## **2. Discusión**


2.1 Por medio de la aplicación de los conocimientos adquiridos en los cursos de capacidad gestionados por la Oficina Regional de OACI Lima, de acuerdo a la metodología común desarrollada y en concordancia con la hoja de ruta ATFM – SAM, que plantea claramente los pasos a seguir producto de las necesidades, la FMU COLOMBIA ha realizado una metodología de Medición y Cálculo para la Determinación de la Capacidad de Sectores ATC y de Aeropuertos – Lado Aire, con algunos criterios propios desarrollados y otros adoptados de otras metodologías en respuesta a las necesidades operacionales.

## **3. Acción sugerida**

3.1 Se invita a la Reunión a:

- a) Tomar nota de la presentación de la metodología descrita y de los informes finales (Adj. 3 y Adj. 4), con el objeto de actualizar la información sobre los avances en relación a la implantación de la ATFM en la Región SAM y así mismo para ser analizados en el escenario correspondiente.

**METODOLOGIA DE MEDICION Y CÁLCULO  
PARA LA DETERMINACIÓN  
DE CAPACIDAD DE LOS SECTORES ATC DE LOS  
CENTROS Y SALAS  
DE CONTROL RADAR**

REPUBLICA DE COLOMBIA <b>AERONAUTICA CIVIL</b> Unidad Administrativa Especial		<b>CIRCULAR REGLAMENTARIA</b>			
		C.I. No.	REV	FECHA	PAGINA
		006	Orig.	2009-DIC- 21	Pág. 1 de 36
<b>TITULO</b>					
<b>METODOLOGÍA DE MEDICIÓN Y CÁLCULO PARA LA DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD DE LOS SECTORES ATC DE LOS CENTROS Y SALAS DE CONTROL RADAR</b>					

## 1. PROPÓSITO

La presente Circular tiene como finalidad proporcionar al personal responsable de la medición y cálculo de capacidad de sector ATC (Experto ATFCM), los conocimientos y procedimientos detallados acerca de la metodología a desarrollar durante el proceso base para la determinación y declaración de la capacidad ATC de los sectores de control (APP – ACC) en los que se preste servicio de Control Radar.

*Nota: Los criterios y parámetros establecidos en este documento no serán aplicados a los espacios aéreos que utilicen el sistema CPDLC (Controller Pilot Data Link Communications) y control convencional (NO RADAR).*

Los valores de capacidad de sector que se obtengan como resultado de la aplicación de las metodologías descritas en el presente documento, serán expuestos en un informe denominado "INFORME CAPACIDAD DE SECTOR ATC" a la Dirección de Servicios a la Navegación Aérea (DSNA), que a su vez será la responsable de la declaración oficial de los valores de capacidad de los sectores de control, a fin de ser utilizados para los fines correspondientes a la prestación de servicio ATC, y como medida de referencia para la aplicación de medidas ATFCM por parte de la FMU Colombia con el ánimo de proteger de sobrecargas a los sectores de control manteniendo la más alta eficiencia operacional en el Sistema Nacional del Espacio Aéreo – SINEA.

Esta Circular presenta la metodología a ser utilizada por COLOMBIA en su espacio aéreo y con el objeto de determinar la capacidad de un sector de Control Radar, aplica a la FIR SKED Y SKEC; la responsabilidad directa de su aplicación corresponde a la Unidad de Gestión de Flujo y Capacidad establecida por el RAC - Parte Sexta. Como quiera que esta Circular sea un documento vivo y de crecimiento, será la Unidad de Flujo por intermedio de la Dirección de Servicios a la Navegación Aérea la responsable de las actualizaciones pertinentes de este documento manteniéndolo a tono con las circunstancias cambiantes de un sistema en evolución.

## 2. LISTA DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS

<b>ATC</b>	Control de Tránsito Aéreo.
<b>ATCO</b>	Controlador de Tránsito Aéreo.
<b>ATFCM</b>	Gestión de la Afluencia y Capacidad del Tránsito Aéreo.
<b>CNS</b>	Comunicación, Navegación y Vigilancia.
<b>CPDLC</b>	Comunicaciones Controlador / Piloto por Enlace de Datos.
<b>DECEA</b>	Departamento de Control del Espacio Aéreo Brasileiro.
<b>DSNA</b>	Dirección de Servicios a la Navegación Aérea.
<b>FAA</b>	Administración Federal de Aviación.
<b>FMU</b>	Unidad de Gestión de Afluencia de Tránsito Aéreo.
<b>SECAP</b>	Sistema de evaluación de capacidad.
<b>SENEAM</b>	Servicios a la Navegación en el Espacio Mexicano.
<b>SLOT'S</b>	Intervalo de tiempo para la operación de un determinado vuelo.
<b>SSO</b>	Secretaria de Sistemas Operacionales

REPUBLICA DE COLOMBIA <b>AERONAUTICA CIVIL</b> <small>Unidad Administrativa Especial</small>				<b>CIRCULAR REGLAMENTARIA</b>			
C.I. No.		REV	FECHA		PAGINA		
006		Orig.	2009-DIC- 21		Pág. 2 de 36		
<b>TITULO</b>							
<b>METODOLOGÍA DE MEDICIÓN Y CÁLCULO PARA LA DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD DE LOS SECTORES ATC DE LOS CENTROS Y SALAS DE CONTROL RADAR</b>							

### 3. INTRODUCCIÓN

El Anexo 11 al Convenio de Chicago de la Organización de Aviación Civil Internacional - OACI en el punto 3.7.5.1, establece que se implantará la gestión de afluencia del tránsito aéreo (ATFM) en el espacio aéreo, en el que la demanda de tránsito aéreo excede a veces, o se espera que exceda, de la capacidad declarada de los servicios de control de tránsito aéreo de que se trate, definición que fuera transferida a nuestros Reglamentos, en particular la Parte Sexta, que define a la **Gestión de afluencia del tránsito aéreo (ATFM)** como el servicio establecido con el objetivo de contribuir a una circulación segura, ordenada y expedita del tránsito aéreo, asegurando que se utiliza al máximo posible la capacidad ATC y que el volumen de tránsito es compatible con las capacidades declaradas por la autoridad ATS competente.

De igual manera, el Anexo 11 define a la **capacidad declarada** como la medida de la capacidad del sistema ATC o cualquiera de sus subsistemas o puestos de trabajo para proporcionar servicio a las aeronaves durante el desarrollo de las actividades normales. Se expresa como el número de aeronaves que entran a una porción concreta del espacio aéreo en un período determinado, teniendo debidamente en cuenta las condiciones meteorológicas, la configuración de la dependencia ATC, su personal y equipo disponible y cualquier otro factor que pueda afectar el volumen de trabajo del controlador responsable del espacio aéreo.

Por otro lado, los RAC en su Parte Sexta - Capítulo IX, indican que se implanta la gestión de afluencia del tránsito aéreo (ATFM) en el espacio aéreo colombiano con el objeto de equilibrar el hecho de que la demanda de tránsito aéreo excede a veces, o se espera que exceda, de la capacidad declarada de los servicios de control de tránsito aéreo de que se trate, en un momento determinado

El Documento 4444 ATM, Procedimientos para los Servicios de Navegación Aérea en el Capítulo 3 numeral 3.1.4.1, establece que la autoridad ATS competente deberá examinar periódicamente la capacidad del ATS en relación con la demanda del tránsito; y deberá prever el uso flexible del espacio aéreo para mejorar la eficiencia de las operaciones y aumentar la capacidad.

El Documento 4444 ATM, Capítulo 3 numeral 3.1.4.2, indica que en caso de que la demanda de tránsito exceda regularmente de la capacidad del ATC, con el resultado de demoras continuas y frecuentes del tránsito, o cuando resulte evidente que el pronóstico de demanda de tránsito excederá de los valores de la capacidad, la autoridad ATS competente debería, en la medida de lo posible poner en práctica medidas destinadas a utilizar al máximo la capacidad existente del sistema; y preparar planes para aumentar la capacidad a fin de satisfacer la demanda actual o pronosticada.

Esta Circular presenta las dos metodologías de medición y cálculo para la determinación de capacidad de sectores ATC desarrolladas por la ATFCM de la FMU COLOMBIA, describiendo los pasos para determinar la capacidad de un sector ATC en un Centro de Control Radar (ACC), una Sala Radar u otra dependencia ATC donde se preste el servicio de control Radar, con el fin de medir y calcular la capacidad de los sectores ATC y por medio de su gestión, optimizar el uso del sistema



REPUBLICA DE COLOMBIA <b>AERONAUTICA CIVIL</b> Unidad Administrativa Especial			<b>CIRCULAR REGLAMENTARIA</b>			
C.I. No.	REV		FECHA	PAGINA		
006	Orig.	2009-DIC- 21	Pág. 3 de 36			
<b>TITULO</b>						
<b>METODOLOGÍA DE MEDICIÓN Y CÁLCULO PARA LA DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD DE LOS SECTORES ATC DE LOS CENTROS Y SALAS DE CONTROL RADAR</b>						

de espacio aéreo Colombiano para satisfacer la creciente demanda de tráfico aéreo. Lo anterior descrito se implanta por medio de esta circular con el aval de la Dirección de Servicios a la Navegación Aérea (DSNA).

*NOTA: Se ha considerado para el desarrollo de la metodología expuesta en este documento, la utilización del programa SECAP (SISTEMA DE EVALUACION DE CAPACIDAD) desarrollado por la misma, como herramienta de toma de datos.*

#### 4. CONSIDERACIONES

Es necesario resaltar algunas consideraciones de carácter general que están enmarcadas dentro del propósito de esta Circular y que actúan como guía a los prestadores de servicios ATS, contribuyendo con el propósito del ATFM.

El concepto ATFCM se aplica a toda actividad relacionada con la Gestión de la Afluencia y Capacidad del Tránsito, de forma que no solamente se asegure que todas las aeronaves efectúen vuelos de forma segura, ordenada y expedita, sino también que la totalidad del tránsito controlado en un determinado punto o en un área determinada sea compatible con la capacidad declarada del sistema de control del tránsito aéreo.

La finalidad del Servicio de Gestión de la Afluencia de Tránsito aéreo y Capacidad (ATFCM) es la de lograr balancear la demanda solicitada con la capacidad declarada a fin de evitar sobrecargas en el sistema de tránsito aéreo, logrando de esta manera una mejora en la optimización del espacio aéreo y aeropuertos; obteniendo así que las aeronaves cumplan con sus horarios de partida, llegada, vuelen sin desperdicio de combustible y puedan utilizar al máximo la capacidad de la infraestructura aeronáutica disponible con un mejor aprovechamiento del espacio aéreo, dentro de los patrones internacionales de seguridad de vuelo. De igual manera el servicio ATFCM tiene como misión detectar puntos focales susceptibles de ser analizados como objeto de mejora para la gestión de capacidad correspondiente a las necesidades de la demanda de tránsito aéreo.

Para poder gestionar este equilibrio entre la demanda y la capacidad es necesario además de conocer la demanda actual y la demanda pronosticada esperada, establecer una línea de capacidad en base a un cálculo analítico, analizar las consecuencias que la demanda esperada tendrá sobre la capacidad actual, identificar las limitaciones del sistema actual y las posibles mejoras previo análisis costo beneficio de las mismas, identificar prioridades y desarrollar un plan de mejoramiento de la capacidad.

##### 4.1. CAPACIDAD DEL ESPACIO AÉREO

La capacidad del espacio aéreo no es ilimitada, pero sin duda puede ser optimizada dependiendo de muchos factores tales como el diseño del espacio aéreo, la flexibilidad del mismo, la capacidad del sistema ATC, números de sectores y su complejidad, espacio aéreo segregado, los recursos humanos disponibles, entrenamiento y capacidad de respuesta, infraestructura CNS disponible, grado de automatización e incluso el equipamiento y tipo de aeronaves de la flota entre otros.

REPUBLICA DE COLOMBIA <b>AERONAUTICA CIVIL</b> <small>Unidad Administrativa Especial</small>				<b>CIRCULAR REGLAMENTARIA</b>			
C.I. No.		REV	FECHA		PAGINA		
006		Orig.	2009-DIC- 21		Pág. 4 de 36		
<b>TITULO</b>							
<b>METODOLOGÍA DE MEDICIÓN Y CÁLCULO PARA LA DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD DE LOS SECTORES ATC DE LOS CENTROS Y SALAS DE CONTROL RADAR</b>							

El término capacidad del ATC se aplica a la posibilidad del sistema ATC, o de cualquiera de sus subsistemas o puestos de operación, de proporcionar servicio a las aeronaves en condiciones normales de actividad y se expresa en función del número de aeronaves que entran, sobrevuelan y salen en una parte especificada del espacio aéreo en un determinado periodo de tiempo y que puedan ser manejados de forma segura, ordenada y expedita.

La capacidad máxima que puede lograrse durante periodos cortos o instantes podría ser bastante mayor que los valores de la capacidad sostenible, esto es debido a que la predicción de la capacidad del sistema parte de la premisa del conocimiento de la capacidad disponible en condiciones operacionales óptimas (equipos, meteorológicas, de recurso humano etc.)

Se deben realizar evaluaciones de capacidad aplicando métodos que produzcan resultados realistas, los cuales es conveniente expresar en términos que hagan posible comparar los valores de capacidad. Estos valores deberían expresarse de preferencia en función del número de aeronaves que podrían ingresar a un determinado volumen del espacio aéreo en un determinado periodo de tiempo. Igualmente la carga de trabajo del controlador se evaluará mediante la sumatoria de los tiempos empleados en cada tarea observable, a fin de conocer la capacidad de los sectores de tránsito aéreo y de los puestos de control.

Cuando se cubren adecuadamente todos los requisitos de disponibilidad, la capacidad de servicio es considerada del 100%, esta se reduce cuando dichos requisitos se encuentran limitados en su operación. A mayor restricción de recursos corresponde una menor capacidad de servicio, pero también puede suceder que se tome en consideración la declaración de un porcentaje menor de la capacidad real para prever la gestión de algunas situaciones de contingencia u otro tipo de operaciones imprevistas y eliminar la necesidad de considerar degradaciones de capacidad adicionales a nivel táctico de operación.

#### **4.2. GESTIÓN DE AFLUENCIA DE TRÁNSITO AÉREO Y CAPACIDAD**

El ATFCM apoya al ATC para que éste pueda lograr sus principales objetivos que consisten en prevenir colisiones entre aeronaves, acelerar y mantener ordenadamente el movimiento del tránsito aéreo y lograr una utilización más eficiente del espacio aéreo disponible y de la capacidad de los aeropuertos.

Para que sea eficaz, un servicio ATFCM debe contar con una continua cooperación y coordinación con las dependencias ATC participantes y con los diversos usuarios del espacio aéreo. En su planificación y organización del espacio aéreo, el Estado Colombiano deberá tratar de promover la seguridad de los vuelos, brindar suficiente capacidad para satisfacer la demanda del tránsito normal, asegurar la máxima utilización del espacio aéreo, así como la compatibilidad con los cambios que surjan a nivel internacional, y establecer un equilibrio entre los requisitos legítimos, pero a veces adversos de todos los usuarios.

REPUBLICA DE COLOMBIA <b>AERONAUTICA CIVIL</b> <small>Unidad Administrativa Especial</small>				<b>CIRCULAR REGLAMENTARIA</b>			
C.I. No.		REV	FECHA		PAGINA		
006		Orig.	2009-DIC- 21		Pág. 5 de 36		
<b>TITULO</b>							
<b>METODOLOGÍA DE MEDICIÓN Y CÁLCULO PARA LA DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD DE LOS SECTORES ATC DE LOS CENTROS Y SALAS DE CONTROL RADAR</b>							

La afluencia del tránsito se ve afectada negativamente algunas veces a causa de obstrucciones en el sistema. Una restricción en cualquier parte del sistema contribuirá a que surjan limitaciones en la capacidad (equipos, meteorológicas, recurso humano, factores humanos, etc.), por esta razón ni el sistema aeroportuario ni el sistema de navegación aérea deberán considerarse por separado en la planificación de mejoras del sistema total. Estas deficiencias pueden tener como resultado retrasos por re encaminamientos del tránsito y/o demoras en aeropuertos que afectan negativamente la regularidad y la economía de los vuelos. A efectos de ajustarse al crecimiento del tránsito aéreo, debe establecerse un plan apropiado para la organización del tránsito aéreo (ATM), dirigido a optimizar la utilización del espacio aéreo, así como a mantener una afluencia segura, ordenada y rápida del tránsito aéreo.

Uno de los objetivos del ATM, consiste en permitir que los explotadores de las aeronaves puedan cumplir con las horas previstas de salida y de llegada y mantener sus perfiles de vuelo preferidos con una mínima de limitaciones sin salirse de los niveles convenidos de seguridad. Pero no siempre es posible lograr una afluencia óptima del tránsito aéreo debido a varios factores restrictivos, como lo son los requisitos opuestos de los usuarios, las limitaciones del sistema de navegación aérea y las condiciones meteorológicas imprevistas. A este respecto, deberá considerarse la aplicación de medidas atenuantes tales como el control de la afluencia del tránsito aéreo, en particular cuando el sistema ATC no puede continuar haciendo frente al volumen del tránsito aéreo. Con frecuencia, la aplicación de estas medidas tiene como resultado demoras de los vuelos antes de la salida, esperas en vuelo, utilización de niveles de vuelo no económicos, re encaminamiento y desvíos, interrupciones de los programas de vuelo, mayores gastos en términos de dinero y combustible para los explotadores de aeronaves, congestión en los aeródromos o en los edificios terminales e insatisfacción en los pasajeros.

#### 4.3. PLANIFICACIÓN ATFCM

Para la planificación a largo plazo o aplicación de la fase estratégica de planificación ATFCM, es necesario anticipar adecuadamente cualquier disminución de la capacidad futura, según lo indiquen las previsiones de tránsito, las cuales son desarrolladas mediante la implantación de un programa de asignación de SLOT anticipados.

En caso de haberse detectado una disminución de la capacidad (restricción en pista, infraestructura CNS, etc.) que requiere la aplicación de medidas de gestión de la afluencia de tránsito aéreo, es necesario conocerla para poder limitar el tránsito sin sobrecargar el sistema ni perjudicar excesivamente a los operadores aéreos.

#### 5. MEDICIÓN Y CÁLCULO DE CAPACIDAD.

Para el análisis de capacidad del espacio aéreo, es necesario focalizar este en la capacidad del sistema ATC puntualizando algunos conceptos que son fundamentales a tener en cuenta como indicadores para el cálculo de la Capacidad en los Sectores ATC, como lo son la carga de trabajo y la importancia de las tareas observables y no observables que realiza el controlador aéreo.

REPUBLICA DE COLOMBIA <b>AERONAUTICA CIVIL</b> <small>Unidad Administrativa Especial</small>				<b>CIRCULAR REGLAMENTARIA</b>			
C.I. No.		REV		FECHA		PAGINA	
006		Orig.		2009-DIC- 21		Pág. 6 de 36	
<b>TITULO</b>							
<b>METODOLOGÍA DE MEDICIÓN Y CÁLCULO PARA LA DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD DE LOS SECTORES ATC DE LOS CENTROS Y SALAS DE CONTROL RADAR</b>							

Existen actualmente algunos modelos utilizados para la medición y evaluación de los parámetros considerados para determinar la capacidad, con miras a satisfacer la demanda de tránsito aéreo, como lo es el modelo DORATASK y los modelos metodológicos de cálculo de capacidad expuestos en este documento.

### 5.1. EL CONCEPTO CARGA DE TRABAJO.

Es necesario analizar la incidencia de la "carga de trabajo" del controlador en la medición de la capacidad ATC de un sector determinado del espacio aéreo, así como determinar las técnicas necesarias para estimar la gestión del tráfico en un sistema automatizado por medio de modelos. La medición de la carga de trabajo se realiza a través de la valoración de las diferentes tareas (Taskload) que realiza el controlador.

Complementariamente, no pueden dejarse de lado los extensivos estudios y aproximaciones sobre la carga de trabajo que consideran los factores humanos donde la conciencia situacional, la detección de errores y monitoreo del sistema, el trabajo en equipo, la confianza, el adecuado entrenamiento, el error humano etc., constituyen entre otros, elementos y aspectos fundamentales a tener en cuenta y son precisamente estos los que deben ser trabajados con el objeto de mejorar en la eficiencia y en la capacidad de realizar las tareas determinadas.

La naturaleza de las tareas que constituyen la carga de trabajo es importante a la hora de evaluar la capacidad puesto que hay tareas que pueden ser observables y posibles de cuantificar y otras que no son observables y por lo tanto no son tan fáciles de cuantificar. Sin embargo, se pueden establecer algunas constantes para estas tareas no cuantificables como producto de los análisis estadísticos y así reflejar un número en la metodología aplicada por algunos modelos.

### 5.2. MODELO DORATASK

Un modelo muy usado para la valoración de las tareas para analizar la carga de trabajo es el modelo DORATASK. Éste es un modelo analítico que se apoya en simulación de tiempo acelerado, que brinda ejemplos claros y cálculos lógicos y que inicialmente fue empleado por la Dirección de Investigación y Análisis Operacional del Reino Unido para calcular la capacidad de sectores ATC (DORA Interim Report 8818, para sectores del área Terminal (DORA Interim Report 8916) y la calibración de un modelo simulado para dos sectores de ruta en el ACC de Londres (DORA Report 8927).

En este modelo la carga de trabajo es calculada por la suma del tiempo empleado por el controlador para llevar a cabo todas las tareas necesarias asociadas con el flujo de tráfico en su sector y puesto de trabajo, tanto las tareas observables como las tareas no observables. La capacidad del sector entonces, se determina por la carga total de las tareas más un parámetro que indica la cantidad de tiempo necesario para la recuperación del controlador.

REPUBLICA DE COLOMBIA <b>AERONAUTICA CIVIL</b> Unidad Administrativa Especial				<b>CIRCULAR REGLAMENTARIA</b>			
C.I. No.		REV	FECHA		PAGINA		
006		Orig.	2009-DIC- 21		Pág. 7 de 36		
<b>TITULO</b>							
<b>METODOLOGÍA DE MEDICIÓN Y CÁLCULO PARA LA DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD DE LOS SECTORES ATC DE LOS CENTROS Y SALAS DE CONTROL RADAR</b>							

Las tareas observables son las tareas rutinarias. Son aquellas que se aplican a todas las aeronaves por igual, independientemente de cuantas aeronaves tenga bajo su control (Ej.: comunicaciones estándares) y aquellas tareas orientadas a la resolución de conflictos si alguna aeronave está en una situación real o potencial de conflicto.

Las tareas no observables son las tareas de planificación llevadas a cabo por el controlador y las tareas mentales empleadas en detectar o predecir conflictos. Aquí es necesario efectuar una consideración importante a tener en cuenta: Algunas tareas no son observables en sistemas procedimentales sin embargo, si lo son y se pueden cuantificar en sistemas automatizados (Ej.: planificación, predicción de conflictos). Si bien el trabajo de planificación es una tarea no observable, con las salvedades que hemos señalado, el Modelo DORATASK incluye algoritmos que estiman la carga de trabajo que representa el tiempo que el controlador emplea en tareas de planificación. Estas estimaciones y ejemplos están basadas en datos estadísticos que proporcionan constantes para ser utilizados en los ajustes de las fórmulas analíticas.

En el caso de las estimaciones de capacidad de área Terminal el Modelo DORATASK determina dos tareas no-observables que son el procesamiento inicial y el monitoreo radar, estas tareas son modeladas por el número de visualizaciones de la pantalla radar y la combinación de pares de aeronaves que deben ser chequeadas y como por definición estas tareas son lineales y cuadráticas al número de aeronaves cada una de estas medidas son multiplicadas por un número desconocido (constante) que es estimado por cada analista luego de efectuar una comparación contra sectores de capacidad conocida.

El Modelo DORATASK ha sido usado como base de muchas otras aplicaciones y modelos de cálculo de capacidad tomando en cuenta la carga de trabajo del controlador, sin embargo no es el único modelo a tener en cuenta ya que como hemos visto tiene algunas limitaciones, aunque para estudios de capacidad de sectores ATC es muy adecuado y perfectamente ajustable con las modificaciones del caso a sistemas automatizados.

## **6. METODOLOGÍA DE MEDICIÓN Y CÁLCULO PARA LA DETERMINACION DE CAPACIDAD DE LOS SECTORES ATC**

### **6.1. INTRODUCCIÓN**

Este análisis está basado en conceptos y estudios elaborados y adoptados por:

- La Organización de Aviación Civil Internacional (OACI).
- La Administración Federal de Aviación (FAA).
- The European Organization for The Safety of Air Navigation (EUROCONTROL).
- Dirección de Tránsito Aéreo de Servicios a la Navegación en el Espacio Aéreo Mexicano (SENEAM).
- Departamento de Control del Espacio Aéreo (DECEA), Ministerio de la Aeronáutica (BRASIL).

REPUBLICA DE COLOMBIA <b>AERONAUTICA CIVIL</b> <small>Unidad Administrativa Especial</small>			<b>CIRCULAR REGLAMENTARIA</b>		
C.I. No.	REV		FECHA	PAGINA	
006	Orig.	2009-DIC- 21	Pág. 8 de 36		
<b>TITULO</b>					
<b>METODOLOGÍA DE MEDICIÓN Y CÁLCULO PARA LA DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD DE LOS SECTORES ATC DE LOS CENTROS Y SALAS DE CONTROL RADAR</b>					

Estos conceptos fueron recopilados y analizados por el grupo ATFCM de la FMU COLOMBIA de la Dirección de Servicios a la Navegación Aérea de la UAE de Aeronáutica Civil para ser adecuados y utilizados en la metodología desarrollada para la determinación de capacidad de sectores de control.

## 6.2. GENERALIDADES

El método descrito a continuación se centra en la evaluación de la carga de trabajo del controlador radar, sumando, por una parte, el tiempo insumido en tareas ordinarias o (tareas observables) y de la resolución de conflictos (observables) y, por la otra, el tiempo insumido en tareas de planificación (no observables). Además de estos dos elementos interrelacionados de las tareas de controlador, existe un tercer elemento llamado tiempo de "recuperación", es decir, una mínima proporción del tiempo no asignado a tareas específicas (observables o no observables) pero que se considera fundamental para la operación segura del sector. Esta proporción aumentaría probablemente en función del tiempo que se prevé continúe la condición de afluencia a plena capacidad. Esta metodología define la carga de trabajo de un controlador y por ende la capacidad de un sector en un tiempo equivalente (por ejemplo, 15 minutos).


Por consiguiente, el tiempo medido sobre las tareas del controlador se divide en:

- Tareas observables;
- Tareas no observables y,
- Período o tiempo de recuperación.

Aunque la carga de trabajo se determinará mediante la sumatoria del tiempo insumido en tareas observables y no observables, la capacidad se considera como el nivel de la carga de trabajo que deja al controlador un margen seguro para la recuperación.

Así pues, el número de aeronaves a las que se proporcione servicio ATC no excederá del que se pueda tramitar en condiciones de seguridad por parte de la dependencia ATC interesada. Para determinar el número máximo de vuelos a los que pueda darse cabida en condiciones de seguridad, la autoridad ATS Competente deberá evaluar y declarar la capacidad del ATC respecto a áreas de control, sectores de control dentro del área de control basada en el informe correspondiente sobre los resultados de ésta evaluación.

Finalmente, esta metodología consiste en la obtención de un valor calculado a través de fórmula matemática, cuyos datos básicos son extraídos a través de investigación realizada por el grupo de trabajo designado por el grupo ATFCM en la dependencia ATC, considerando un momento de elevado movimiento donde son observadas, cronometradas y registradas las acciones del controlador (utilizando SECAP) y su disponibilidad para controlar los tránsitos del sector de control en aquel instante obteniendo así una muestra de datos a ser utilizados en el cálculo de la capacidad de los sectores ATC.

REPUBLICA DE COLOMBIA <b>AERONAUTICA CIVIL</b> <small>Unidad Administrativa Especial</small>				<b>CIRCULAR REGLAMENTARIA</b>		
C.I. No.		REV	FECHA	PAGINA		
006		Orig.	2009-DIC- 21	Pág. 9 de 36		
<b>TITULO</b>						
<b>METODOLOGÍA DE MEDICIÓN Y CÁLCULO PARA LA DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD DE LOS SECTORES ATC DE LOS CENTROS Y SALAS DE CONTROL RADAR</b>						

Esta metodología tiene en cuenta la carga soportada por el ATCO durante la ejecución de sus tareas y está basado en la evaluación de tareas ejecutadas por el controlador en los momentos de gran volumen de tránsito como hemos visto en el modelo DORATASK. Adicionalmente, para el desarrollo del método se inicia con la cuantificación preliminar de la carga de trabajo del puesto de controlador radar analizando lo siguiente:

- Categorización de todas las actividades observadas;
- Consideración de la capacidad del espacio aéreo la cual depende del riesgo de conflictos dentro del sector y, por consiguiente, de la estructura del sector y las características del tránsito.
- El uso de equipos alternos de comunicación (por fallas en los principales);
- La coordinación de los enlaces en fonía directos.

### 6.3. OBJETIVO GENERAL

Definir la metodología para determinar la Capacidad de los sectores de control con el fin de planificar su desarrollo y presentar conclusiones que lleven a la optimización de los mismos, lo cuales estarán enmarcados en procedimientos definidos para una correcta GESTIÓN DE LA SEGURIDAD OPERACIONAL EN EL ATC.

### 6.4. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Efectuar el cálculo de capacidad de los sectores.
- Validar los sectores de control existentes.
- Identificar los sectores que requieren mayor atención en sus procedimientos y así proponer soluciones para los aspectos críticos.
- Proponer la creación e implementación de nuevos sectores de control.
- Establecer criterios y procedimientos normalizados para el desarrollo de las operaciones aéreas en los diferentes sectores de control.
- Evaluar el servicio de control de cada uno de los sectores que están bajo vigilancia radar de un Centro de Control.
- Proponer modificaciones en las funciones realizadas por los ATCO en las diferentes posiciones de control, a fin de reducir las cargas de trabajo de los controladores y a la vez mejorar la eficiencia en la prestación de los servicios ATS en los diferentes sectores.

### 6.5. CONSIDERACIONES PRELIMINARES

Durante el registro de toma de datos de las diferentes tareas no observables en las posiciones de control, se observa que en gran medida la Tasa de Ocupación de los controladores se ve afectada por Factores Humanos y otros Factores limitantes. Para lograr un mejor entendimiento del valor de estas afectaciones a continuación se realiza una breve explicación de cada una de ellas:

REPUBLICA DE COLOMBIA <b>AERONAUTICA CIVIL</b> Unidad Administrativa Especial		<b>CIRCULAR REGLAMENTARIA</b>			
		C.I. No.	REV	FECHA	PAGINA
		006	Orig.	2009-DIC- 21	Pág. 10 de 36
<b>TITULO</b>					
<b>METODOLOGÍA DE MEDICIÓN Y CÁLCULO PARA LA DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD DE LOS SECTORES ATC DE LOS CENTROS Y SALAS DE CONTROL RADAR</b>					

### 6.5.1. FACTOR HUMANO

El elemento más importante de los factores humanos respecto a la interfaz entre el ser humano y la tecnología consiste en la capacidad del operador para mantener una conciencia de la situación en el entorno de un sistema de control. Los factores que se incluyen en la conciencia de la situación presentan cambios en diferentes proporciones que ocurren sin previo aviso, los cuales pueden influir en el rendimiento mental y físico del trabajo del controlador en determinado momento sin que el mismo lo advierta, trayendo como consecuencia una reducción en su capacidad de actuación durante un determinado espacio de tiempo. La Adecuada formación del CEA y su recurrencia refortalecen dicha capacidad.

- **Conciencia de la situación:** La definición de conciencia de la situación que la comunidad científica aeronáutica ha aceptado presta más apoyo a la interpretación más amplia de la expresión "conciencia de la situación es la percepción de los elementos en el entorno dentro de un determinado volumen del tiempo y del espacio, la comprensión de su significado y la proyección de su situación al futuro próximo".

- **Factores personales:** La condición física y mental de una persona determinará en gran parte su forma de actuar en relación con otras personas e influirá también en el desempeño de algunas tareas por parte de esa persona. De modo sencillo, alguien que no se siente bien en su ambiente de trabajo desempeñara probablemente sus tareas de forma inferior a la óptima.

En un entorno ATC ordinario, entre los factores de bienestar físico que influyen en el rendimiento personal se incluyen la temperatura ambiente, la iluminación, el nivel de ruido en el trabajo etc.

Otro factor personal importante es ser conciente de un nivel de stress personal. Un controlador con una elevada conciencia de la situación se dará cuenta del momento en que el estrés (habitualmente causado por factores externos) influye en su actuación.

El último factor que se analiza es la fatiga, reconocerla no es fácil, pero reconocer las condiciones que puede llevar a la fatiga aumenta la conciencia de la situación. Debe preverse que se sentirá la fatiga después de trabajar un número elevado de turnos diarios consecutivos, después de un periodo de actividad física intensa durante horas fuera de servicio o al terminar un turno de noche.

- **Diferencias individuales:** Se confía en que la actuación del controlador sea conforme a las normas mínimas. Los controladores deben desempeñar su labor de conformidad con estas aunque hay diferencias individuales en cuanto al grado de actuar por encima de las normas mínimas. Los seres humanos, a diferencias de las maquinas, no trabajan exactamente lo mismo una y otra vez, el reconocimiento de esta variación en el nivel de actuación de las personas es un componente importante de la conciencia de la situación.

REPUBLICA DE COLOMBIA <b>AERONAUTICA CIVIL</b> <small>Unidad Administrativa Especial</small>		 <b>CIRCULAR REGLAMENTARIA</b>		
C.I. No.	REV	FECHA	PAGINA	
006	Orig.	2009-DIC- 21	Pág. 11 de 36	
<b>TITULO</b>				
<b>METODOLOGÍA DE MEDICIÓN Y CÁLCULO PARA LA DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD DE LOS SECTORES ATC DE LOS CENTROS Y SALAS DE CONTROL RADAR</b>				

### 6.5.2. FACTORES LIMITANTES

- **Condiciones meteorológicas:** La conciencia de la situación se intensifica si se saben las condiciones meteorológicas reinantes y el pronóstico de tendencias, por lo menos mientras dura el turno del controlador. Por ejemplo, los cambios de la dirección del viento pueden implicar cambios de pista. Cuanto más denso sea el tránsito más importante será programar a tiempo el cambio de pistas. Un controlador planificará estrategias de cambio con una perturbación mínima de la afluencia del tránsito. Para los controladores en ruta, el conocimiento de las zonas del tiempo significativo ayudará a prever solicitudes de cambio de ruta o circunnavegación.
- **Congestión de las comunicaciones:** Debido a que las posiciones relativas de las aeronaves cambian rápidamente, la aplicación de la separación radar implica que un controlador radar debería estar en condiciones de comunicar rápidamente con cualquier aeronave que se encuentre bajo su control. Si la congestión de comunicaciones lo impide, el controlador radar debería aplicar mínimas de separación radar más elevadas o, si ello no es factible, poner fin al control radar. A este respecto debería observarse que de todos los factores que influyen en la seguridad de aplicación de la separación radar la congestión de comunicaciones es probablemente el más importante, y respecto al cual puede depender muy poco la voluntad del controlador radar. Puede resultar también difícil prever la congestión de las comunicaciones ya que, debido a la rápida modificación de la situación de tránsito, la carga de comunicaciones puede llegar a la saturación en pocos minutos.
- **Infraestructura aeroportuaria:** La conciencia permanente de la situación de disponibilidad de las pistas en los aeropuertos bajo jurisdicción de un controlador, permite dar una respuesta adecuada a emergencias que requieran una desviación inmediata. Para los controladores de un aeródromo, la conciencia de la situación de obras en marcha no se limita a las pistas sino también a las calles de rodaje y plataformas, así como consideraciones especiales tales como obstáculos temporales en relación con la visibilidad desde la torre, por razón de obras de construcción u objetos permanentes.
- **Tránsito:** La toma de conciencia de la situación real del tránsito es un elemento muy importante de la conciencia de la situación del controlador. Además de "tener un cuadro" de donde están todas las aeronaves bajo jurisdicción del controlador y cuál será la próxima, es igualmente importante ser consciente del desarrollo de la situación del tránsito. La conciencia de un controlador acerca de las configuraciones normales de tránsito le ayudará a determinar las opciones para resolver los conflictos, otro factor que puede influir en la conciencia de la situación del controlador es el de estar al tanto de la circulación del tránsito objeto de gestión. Si se espera un considerable volumen de tránsito que vaya a moverse en un sector en diferentes direcciones, las soluciones serán distintas y más lentas de aquellas cuando el tránsito se mueva en una misma o sola dirección.
- **Performance de la aeronave:** Un factor determinante es el modo por el que las diversas compañías aéreas explotan habitualmente una aeronave. Las velocidades de ascenso, los regímenes o ángulos de ascenso pueden ser distintos aunque el tipo de aeronave sea el mismo. La

REPUBLICA DE COLOMBIA <b>AERONAUTICA CIVIL</b> Unidad Administrativa Especial				<b>CIRCULAR REGLAMENTARIA</b>			
C.I. No.		REV	FECHA		PAGINA		
006		Orig.	2009-DIC- 21		Pág. 12 de 36		
<b>TITULO</b>							
<b>METODOLOGÍA DE MEDICIÓN Y CÁLCULO PARA LA DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD DE LOS SECTORES ATC DE LOS CENTROS Y SALAS DE CONTROL RADAR</b>							

familiaridad con tales diferencias puede ser un algo añadido a la conciencia de situación del controlador.

- **Equipamiento CNS:** En este aspecto es esencial tomar conciencia acerca de la disponibilidad del equipamiento ATC, esto incluye el equipo de reserva. La fiabilidad del equipo es un factor muy importante, ya que un elevado número de fallas en una determinada pantalla radar obligará a utilizarla con prudencia al trabajar en ese puesto de trabajo, incluidas tácticas tales como aceptar menos tránsito o aplicar separaciones mayores que en circunstancias normales. También pueden ocurrir degradaciones como resultado de problemas técnicos. La habilidad para reconocer los problemas y saber cuáles son las consecuencias forma parte de la conciencia de la situación del controlador.
- **Operadores y pilotos:** La "cultura corporativa" en términos de diferencias entre las líneas aéreas ha recibido considerable atención en los círculos de seguridad operacional de la aviación en los últimos años. Estas diferencias existen en el subconsciente de los controladores quienes han aprendido a tener en cuenta el nivel de actuación subjetivo de los diversos operadores. Esta subconciencia es parte de la conciencia de situación del controlador.

### 6.5.3. SEPARACIÓN

Es el término genérico usado para describir la acción de los servicios de tránsito aéreo (ATS) para mantener los aviones en operación en una misma área general en tales distancias que el riesgo de colisión está mantenido debajo de un nivel aceptable de seguridad. Tal separación se puede aplicar horizontalmente y verticalmente. La separación requerida entre el avión se expresa generalmente en términos de distancias mínimas en cada dimensión que no deba ser infringida simultáneamente.

- **Determinación de la separación:** La determinación de la separación vertical o de los mínimos de separación longitudinales basados en distancia o tiempo se debe basar en la calidad de la información disponible para el ATC y el piloto. Los tiempos de la decisión, de la coordinación y de la transmisión pueden tener una influencia en el uso de los mínimos longitudinales de separación.
- **Separación horizontal:** Regulaciones Internacionales adoptadas por Colombia que permiten unas separaciones bajo ambiente RADAR de:
  - 2.5 NM (Dos punto cinco millas náuticas en aproximaciones dependientes con las aeronaves establecidas en los respectivos LLZ).
  - 3.0 NM (Aeronaves establecidas en el mismo LLZ sin ser afectadas por la turbulencia de estela).
  - 4.0 NM (Separación por estela turbulenta, aeronave pesada1 – pesada2, separación para configuración de pistas 31 con guía vectorial).
  - 5.0 NM (Separación radar, separación por estela turbulenta pesada1 – media2 separación en VAP a la misma pista).
  - 6.0 NM (Separación por estela turbulenta media1 – ligera2 en configuración pistas 31).

REPUBLICA DE COLOMBIA <b>AERONAUTICA CIVIL</b> Unidad Administrativa Especial				<b>CIRCULAR REGLAMENTARIA</b>	
C.I. No.	REV	FECHA	PAGINA		
006	Orig.	2009-DIC- 21	Pág. 13 de 36		
<b>TITULO</b>					
<b>METODOLOGÍA DE MEDICIÓN Y CÁLCULO PARA LA DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD DE LOS SECTORES ATC DE LOS CENTROS Y SALAS DE CONTROL RADAR</b>					

- 7.0 NM (Separación por carta de acuerdo a la misma pista en condiciones MET sean iguales o superiores a 5.000 mts y/o techo de 1.500' y acción de frenado optima).
- 9.0 NM (separación a una sola pista en condiciones de 5.000 mts y/o techo inferior 1.500' o acción de frenado disminuida).
- 10.0 NM (Separación en espacios aéreos superiores).
- 12.0 NM (Separación en operación ILS CAT II de no existir transito para despegue).
- 15.0 NM (Separación en operación ILS CAT II).

Para el logro en la aplicación de una separación los controladores deberán considerar:

- La precisión de los equipos usados por el ATC.
- La dinámica natural del ATC.
- La dificultad en mantener una separación constante en distancia entre aeronaves con diferentes velocidades (mezcla de aeronaves).
- Elementos de Conciencia de la Situación en el ATC (anteriormente descritos).

De este modo la práctica más común de los controladores es la de mantener una separación basada en tiempo o de conservar una separación horizontal mucho mayor a la mínima.

En sectores de control en los cuales exista una gran mezcla de aeronave se presenta y es muy común el suceso del alcance entre las aeronaves. En condiciones bajo un ambiente radar es necesario asegurar una separación en distancia de por lo menos 5 NM en áreas terminales y de 10 NM en áreas superiores, en todo punto de la trayectoria común en rutas de aeronaves con la misma derrota, rutas con derrotas paralelas, derrotas que se cruzan o derrotas opuestas, hasta el punto en que las trayectorias se separan convencionalmente o se logra establecer otro tipo de separación reglamentaria. La distancia será definida previo análisis de factores tales como los tipos de aeronave, topografía circundante, complejidad de los procedimientos de vuelo y confiabilidad del sistema radar y de comunicaciones, es conveniente evitar ese gran número de mezclas de aeronaves en sectores demasiado grandes dado que se castiga en gran medida la capacidad de los sectores.

#### 6.5.4. CONDICIONES PARA LA MEDICIÓN

El análisis y toma de datos se efectuarán durante periodos comprendidos de horas pico de los respectivos sectores de control, para lo cual se deberá tener en cuenta:

- La no interferencia en la operación del sector.
- La toma de datos en escenarios reales.
- La no realización de tomas en turnos de instrucción.
- La no realización de tomas en ausencia del personal adecuado y/o mínimo de la posición de control.
- La realización de tomas con una duración máxima de 60' (sesenta minutos).
- La realización de tomas de cada uno de los sectores con diferentes controladores.

REPUBLICA DE COLOMBIA <b>AERONAUTICA CIVIL</b> Unidad Administrativa Especial				<b>CIRCULAR REGLAMENTARIA</b>			
C.I. No.		REV	FECHA		PAGINA		
006		Orig.	2009-DIC- 21		Pág. 14 de 36		
<b>TITULO</b>							
<b>METODOLOGÍA DE MEDICIÓN Y CÁLCULO PARA LA DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD DE LOS SECTORES ATC DE LOS CENTROS Y SALAS DE CONTROL RADAR</b>							

- La realización de tomas bajo ambiente RADAR.

### 6.6. RECOPIACIÓN DE DATOS

La recopilación de datos se centra en cuatro áreas básicas (tiempos de vuelo de aeronaves, tiempos en comunicaciones, tiempo en comunicaciones de coordinación, tiempo de tareas observadas), que en gran medida podrán ser utilizadas para otros estudios.

Uno de los principales datos tomados para el análisis están representados en la Tasa de Ocupación de los Controladores, lo que significa el porcentaje (%) de tiempo de ocupación para actividades identificadas como la Carga de Trabajo, ya que su desempeño es un factor fundamental para la medición de la capacidad de sectores, logrando identificar finalmente dos tipos de tareas desarrolladas por los ATCO y las cuales están definidas y agrupadas como:

#### 6.6.1. TAREAS OBSERVABLES

Son tareas rutinarias las cuales son aplicadas por el personal de controladores de tránsito aéreo a todas las aeronaves por igual, independientemente de cuantas aeronaves tenga bajo su control, las cuales pueden ser registradas y medidas por un observador externo. Para mayor identificación estas han sido agrupadas en seis clases:

- Radiotelefonía (RTF).
- Marcado de fajas de progreso de vuelo (Manejo de planes de vuelo).
- Uso de las herramientas para realizar tareas del sistema Radar (Handovers radar, coordinaciones, supervisión radar, etc.)
- Intervenciones RADAR (vectorización).
- Coordinación de los enlaces en fonía directos (Coordinaciones entre sectores externos del ACC, coordinaciones entre sectores internos del ACC).
- Planeamiento de autorizaciones (planeación de conflictos, reautorizaciones de control);

#### 6.6.2. TAREAS NO OBSERVABLES

Son las que el controlador debe realizar casi continuamente y en forma paralela a las tareas observables, son actividades mentales (no físicas) y por lo tanto un observador no puede registrar o cronometrar directamente. No obstante, estas tareas comprenden la vigilancia de la pantalla radar y la planificación de medidas futuras, las cuales resultan fundamentales en el quehacer del controlador del sector.

### 6.7. REGISTRO DE DATOS

El registro de datos recopilados durante las actividades de medición en las instalaciones de las dependencias de control, serán registrados por personal debidamente capacitado, bajo la supervisión de expertos ATFCM mediante el uso del software SECAP (SISTEMA DE EVALUACION

REPUBLICA DE COLOMBIA <b>AERONAUTICA CIVIL</b> <small>Unidad Administrativa Especial</small>				<b>CIRCULAR REGLAMENTARIA</b>			
C.I. No.		REV	FECHA		PAGINA		
006		Orig.	2009-DIC- 21		Pág. 15 de 36		
<b>TITULO</b>							
<b>METODOLOGÍA DE MEDICIÓN Y CÁLCULO PARA LA DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD DE LOS SECTORES ATC DE LOS CENTROS Y SALAS DE CONTROL RADAR</b>							

DE CAPACIDAD), o manualmente utilizando cronómetros y hojas de cálculo para recolección de datos (EXCEL), para luego ser analizadas matemáticamente.

El desarrollo de esta fase permite registrar las acciones de control, actuaciones en el sistema y coordinaciones realizadas por los ATCO y la toma de datos en mención debe ser efectuada durante periodos de 3, 15 y 60 minutos, en donde la densidad de tráfico sea considerada alta.

La franja horaria escogida para la toma de datos deberá ser evaluada en base a estadísticas en cada sector durante periodos anuales de mayor número de operaciones a fin de lograr determinar la franja horaria pico en los diferentes sectores de APP y ACC ya que:

- El número de aeronaves que puedan ser controladas simultáneamente por una Posición de control de Aproximación es sensiblemente menor que el atribuido a una Posición de control de Área. Eso ocurre porque en las áreas terminales, las aeronaves se encuentran en una fase más compleja de vuelo, es más elevado el número de cruces de trayectorias y la proximidad de otros aeródromos, así como las combinaciones de pista que se utilizan en un dado momento tienden a dificultar la afluencia de tránsito aéreo. Por lo tanto, la división de responsabilidades entre un sector de control de Área y el correspondiente sector de control de Aproximación debe ser establecida de modo que permita la utilización máxima del espacio aéreo.
- El número de aeronaves que pueden ser controladas simultáneamente por una posición de control de Área, depende, en promedio, de la estructura y de la utilización de las rutas ATS abarcadas por el sector. En el caso de un sector en que la mayoría del tránsito aéreo realiza vuelo nivelado y opera a lo largo de las rutas ATS con sentido único, la capacidad del Controlador es considerablemente superior a aquella de un sector que posee varios puntos de cruce, donde son frecuentes los cambios de niveles y que se tenga que establecer separaciones con tránsitos en sentido contrario.

Mediante un promedio diario de operaciones de cada uno de los sectores se deberá establecer un número mínimo de tomas por sector. Es importante que la recolección de datos sea bastante significativa, a fin de diluir las desviaciones estocásticas provisionales y de representar valores fidedignos para la dependencia ATC. En las condiciones ideales, la investigación de datos debe ser llevada a cabo en el momento en que haya gran movimiento de tránsito aéreo, por eso elegir la época ideal es un factor a ser considerado, puesto que tiene influencia directa en el resultado final.

Los datos a ser registrados en el sistema son:

1. Número de vuelos en el sector.
2. Hora de entrada de las aeronaves al sector.
3. Hora de salida de las aeronaves del sector.
4. Tipo de Aeronave, tipo de operación.
5. Tiempo empleado en las comunicaciones con las aeronaves (controlador – piloto), Ej.
  - a. Primer llamado de la aeronave posterior al despegue.

REPUBLICA DE COLOMBIA <b>AERONAUTICA CIVIL</b> <small>Unidad Administrativa Especial</small>				<b>CIRCULAR REGLAMENTARIA</b>			
C.I. No.		REV	FECHA		PAGINA		
006		Orig.	2009-DIC- 21		Pág. 16 de 36		
<b>TITULO</b>							
<b>METODOLOGÍA DE MEDICIÓN Y CÁLCULO PARA LA DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD DE LOS SECTORES ATC DE LOS CENTROS Y SALAS DE CONTROL RADAR</b>							

- b. Primer llamado de la aeronave entrando al sector proveniente de un sector del mismo ACC.
  - c. Primer llamado de la aeronave entrando al sector proveniente de un sector diferente del ACC.
  - d. Informe de reporte de posición de una aeronave.
  - e. Reporte de una aeronave alcanzando o cruzando un nivel.
  - f. Transmisión de instrucción para cambio de código SSR.
  - g. Instrucción a una aeronave para cambio de autorización (nivel, inicio de descenso, velocidades).
  - h. Transmisión de fin de control en el sector.
  
6. Tiempo empleado en las comunicaciones entre sectores del ACC control (controlador – controlador).
  - a. Solicitud de coordinación de un vuelo.
  - b. Revisión (hora, ruta, nivel).
  - c. Transferencia (fix, hora, nivel).
  
7. Tiempo empleado en las comunicaciones entre sectores externos del ACC en la transmisión y recepción de solicitudes.
  - a. Transferencia y recepción (hora y nivel).
  - b. Transferencia con solicitud de autorización de control.
  - c. Revisión (hora, ruta, nivel).
  - d. Transferencia de una solicitud de cambio de ruta o nivel.
  - e. Transferencia a una torre de control.
  - f. Recepción de transferencia de una torre de control (hora de despegue).
  - g. Recepción de cambio de ruta o nivel.
  - h. Transmisión de una nueva restricción por falla de comunicaciones de una aeronave.
  
8. Tiempo empleado en el desarrollo de las tareas RADAR.
  - a. Manejo de fajas de progreso de vuelo.
  - b. Registro de cambios de datos en la faja de progreso de vuelo (física o electrónica).
  - c. Recepción, verificación y acomodación de la faja de progreso de vuelo.
  - d. Funciones de HANDOFF y HANDOVER.
  
9. Separación RADAR, tareas de supervisión de conflictos radar.
  - a. Supervisión radar por conflicto de tipo 1, (dos aeronaves con la misma derrota y nivel de vuelo).
  - b. Supervisión radar por conflicto de tipo 2, (dos aeronaves con la misma derrota y una de las cuales está en ascenso o descenso).

REPUBLICA DE COLOMBIA <b>AERONAUTICA CIVIL</b> <small>Unidad Administrativa Especial</small>				<b>CIRCULAR REGLAMENTARIA</b>		
C.I. No.	REV	FECHA	PAGINA			
006	Orig.	2009-DIC- 21	Pág. 17 de 36			
<b>TITULO</b>						
<b>METODOLOGÍA DE MEDICIÓN Y CÁLCULO PARA LA DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD DE LOS SECTORES ATC DE LOS CENTROS Y SALAS DE CONTROL RADAR</b>						

- c. Supervisión radar por conflicto de tipo 3, (dos aeronaves con la misma derrota en ascenso o descenso).
  - d. Supervisión radar por conflicto de tipo 4, (dos aeronaves con derrotas cruzadas con el mismo nivel de vuelo).
  - e. Supervisión radar por conflicto de tipo 5, (dos aeronaves con derrotas cruzadas y una de las cuales está en ascenso o descenso).
  - f. Supervisión radar por conflicto de tipo 6, (dos aeronaves con derrotas que se cruzan en ascenso o descenso).
  - g. Supervisión radar por conflicto de tipo 7, (dos aeronaves en derrotas opuestas al mismo nivel de vuelo).
  - h. Supervisión radar por conflicto de tipo 8, (dos aeronaves en derrotas opuestas una en descenso o ascenso).
  - i. Supervisión radar por conflicto de tipo 9, (dos aeronaves en derrotas opuestas en ascenso o descenso).
10. Identificación del controlador trabajando en el sector (siglas del controlador).
  11. Identificación del sector.
  12. Observaciones operativas, estado de (radio ayudas, frecuencias aeronáuticas, equipos de reserva).
  13. Estado de la presentación RADAR.
  14. Condiciones meteorológicas al momento o instante de la toma.
  15. Procedimientos Radar (Vínculos de predicción entre aeronaves y puntos de referencia, Vínculos de predicción entre aeronaves y aeronaves).
  16. Niveles de ocupación de los sectores.
  17. Mezcla del tráfico.
  18. Entrevista con los ATCO.

*Nota: Los datos deberán ser medidos "in situ" para que se obtenga una medición más exacta de la realidad.*

### **6.8. TRATAMIENTO Y ESCRUTINIO DE DATOS**

Debido a que, durante el registro de las tomas se ingresan a la base de datos interna un gran número de tareas del controlador las cuales son recopiladas durante el paso de cada uno de los vuelos a través del sector analizado durante un tiempo determinado, y en aras de prevenir errores en los resultados finales antes de realizar el cálculo matemático de los datos recopilados se realiza una verificación manual, a fin de detectar posibles errores en la toma o registro de los mismos. Una vez realizada la verificación se ejecuta el procesamiento de los datos mediante el uso de la metodología matemática, obteniendo al final los valores de capacidad del sector evaluado.

Estas tareas son aquellas ejecutadas por los ATCO para cualquier aeronave determinada que va de un punto "A" a un punto "B", esto debido a que todas las aeronaves tienen que establecer contacto con el ATC para que éste le proporcione autorizaciones de control, determinados rumbos, autorizaciones de nivel de vuelo y las transfiera al siguiente sector.

REPUBLICA DE COLOMBIA <b>AERONAUTICA CIVIL</b> Unidad Administrativa Especial		<b>CIRCULAR REGLAMENTARIA</b>			
		C.I. No.	REV	FECHA	PAGINA
		006	Orig.	2009-DIC- 21	Pág 18 de 36
<b>TITULO</b>					
<b>METODOLOGÍA DE MEDICIÓN Y CÁLCULO PARA LA DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD DE LOS SECTORES ATC DE LOS CENTROS Y SALAS DE CONTROL RADAR</b>					

La secuencia en las instrucciones que se dan a una aeronave están determinadas virtualmente por la ruta asignada a través del sector, por sus puntos de origen – destino y las solicitudes realizadas durante el tiempo de vuelo en el respectivo sector.

### 6.9. ANÁLISIS FINAL

Los parámetros generales tomados en cuenta para la determinación y declaración de la capacidad son los siguientes:

- El nivel y el tipo de ATS suministrado.
- Volumen del tránsito.
- La complejidad estructural del sector de control analizado.
- La carga de trabajo del controlador.
- Los tipos de sistemas CNS de soporte, su grado de fiabilidad y disponibilidad técnicas, así como la disponibilidad de sistemas o procedimientos de reserva.
- La disponibilidad y fiabilidad de los sistemas ATC que proporcionan apoyo a los controladores y funciones de alerta.
- Cualquier otro factor o elemento que se juzgue o sea necesario para la determinación de la carga de trabajo del controlador.

La definición de capacidad establece lo siguiente: “La capacidad teórica o cadencia es el número máximo de aeronaves que el sistema ATC podrá físicamente evacuar en algún sector en una unidad de tiempo (15’ o, la hora) sin tener en cuenta la calidad del servicio y que resulta de la aplicación de fórmulas matemáticas. La consideración teórica de variables frecuentes ha llevado a definir la capacidad práctica u operacional como “el débito máximo de tránsito evacuado con una calidad de servicio igual o superior a un umbral indicado previamente.

El ajuste de la capacidad teórica, entendiéndose cálculo de la capacidad operacional, deberá ser definido por quién realiza el estudio, previa consideración de los diferentes escenarios y de las variables de difícil control, tales como:

- Aplicación de procedimientos locales;
- Juzgamiento profesional;
- Ajuste óptimo de la capacidad del sector en valores superiores o inferiores de acuerdo a la necesidad.
- Estructuras de las rutas en el sector;
- Factores humanos;
- Factores limitantes;
- Volumen del sector del espacio aéreo (vertical y horizontal);
- Complejidad de operaciones en el sector;
- Numero de sectores fusionados;
- Cantidad de tráfico en ascenso y descenso;

REPUBLICA DE COLOMBIA <b>AERONAUTICA CIVIL</b> Unidad Administrativa Especial		<b>CIRCULAR REGLAMENTARIA</b>			
		C.I. No.	REV	FECHA	PAGINA
		006	Orig.	2009-DIC- 21	Pág. 19 de 36
<b>TITULO</b>					
<b>METODOLOGÍA DE MEDICIÓN Y CÁLCULO PARA LA DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD DE LOS SECTORES ATC DE LOS CENTROS Y SALAS DE CONTROL RADAR</b>					

- Topografía (terreno);
- Operaciones militares y uso especial del espacio aéreo;

Lo expuesto anteriormente significaría que la capacidad teórica puede ser afectada en algún momento por un factor de rendimiento (R) llamado también **FACTOR DE AJUSTE**. Un valor R entre 0.6 y 0.9 podrá considerarse como apropiado.

#### 6.10. VALIDACIÓN DE RESULTADOS


Una vez estudiada y desarrollada la metodología y de haber obtenido los valores de capacidad de cada sector, estos deberán ser convalidados mediante la ejecución de ejercicios prácticos en un simulador RADAR con los valores que se obtuvieron como resultado en el estudio de cada uno de los sectores.

#### 7. TÉCNICA PARA OBTENCIÓN DE LAS MUESTRAS

En estadística se conoce como **MUESTREO** a la técnica para la selección de una muestra a partir de una población.

Al elegir una muestra se espera conseguir que sus propiedades sean explotables a la población. Este proceso permite ahorrar recursos, y a la vez obtener resultados parecidos a los que se alcanzarían si se realizase un estudio de toda la población. Cabe mencionar que para el muestreo sea válido y se pueda realizar un estudio adecuado que consienta no solo hacer estimaciones de la población, sino estimar también los márgenes de error correspondientes a dichas estimaciones y que debe cumplir ciertos requisitos. Nunca podremos estar enteramente seguros de que el resultado sea una muestra representativa, pero si podemos actuar de manera que esta condición se alcance con una probabilidad alta. Durante el muestreo, si el tamaño de la muestra es más pequeño que el tamaño de la población, se puede extraer dos o más muestras de la misma población.

Existen dos métodos para seleccionar muestras de poblaciones: el muestreo no aleatorio o de juicio y el muestreo aleatorio (que incorpora el azar como recurso en el proceso de selección). Cuando este último cumple con la condición de que todos los elementos de la población tienen alguna oportunidad de ser escogidos en la muestra - si la probabilidad correspondiente a cada sujeto de la población es conocida de antemano - recibe el nombre de muestreo probabilístico. El concepto adoptado en este modelo es el de extraer una fracción de la población (muestra) que sea representativa y que permita hacer afirmaciones y deducciones. Para que estas consideraciones tengan alguna validez, se debe garantizar que la muestra haya sido seleccionada de manera aleatoria y probabilística. Al obtener resultados en un proceso investigativo que sea elaborado a partir de muestras estas deducciones no son rigurosamente exactas con respecto al universo ya que, tales resultados presentan un error de medición denominado error de muestra ( $\epsilon$ ), en tal sentido no se puede evitar la ocurrencia del error de muestra, pero si se puede limitar su valor a través de la elección de una muestra de tamaño adecuado, en consecuencia cuanto mayor es la muestra, menor el error cometido y viceversa.

REPUBLICA DE COLOMBIA <b>AERONAUTICA CIVIL</b> Unidad Administrativa Especial		<b>CIRCULAR REGLAMENTARIA</b>			
		C.I. No.	REV	FECHA	PAGINA
		006	Orig.	2009-DIC- 21	Pág. 20 de 36
<b>TITULO</b>					
<b>METODOLOGÍA DE MEDICIÓN Y CÁLCULO PARA LA DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD DE LOS SECTORES ATC DE LOS CENTROS Y SALAS DE CONTROL RADAR</b>					

### 7.1. NIVELES DE CONFIANZA

La confianza o el porcentaje de confianza es el porcentaje de seguridad que existe para generalizar los resultados obtenidos. Esto quiere decir que un porcentaje de 100% equivale a decir que no existe ninguna duda para generalizar tales resultados, pero también implica estudiar a la totalidad de los casos de la población. Para evitar un alto costo para el estudio o debido a que en ocasiones llega a ser prácticamente imposible el estudio de todos los casos, se busca un porcentaje de confianza menor. Comúnmente en las investigaciones sociales se busca un 95% probabilidad de que la estimación efectuada se ajuste a la realidad. Cualquier información que queramos recoger está distribuida según la ley de probabilidad (Gauss o Student), así llamamos nivel de confianza a la probabilidad de que el intervalo construido en torno a un estadístico capte el verdadero valor del parámetro.

A la vez hay que considerar que el nivel de confianza no es ni un porcentaje, ni la proporción que le correspondería, a pesar de que se expresa en términos de porcentajes. El nivel de confianza se obtiene a partir de la distribución normal estándar, pues la proporción correspondiente al porcentaje de confianza es el área simétrica bajo la curva normal que se toma como la confianza, y la intención es buscar el valor Z de la variable aleatoria que corresponda a tal área.

<b>TABLA DE APOYO AL CALCULO DEL TAMAÑO DE UNA MUESTRA POR NIVELES DE CONFIANZA</b>									
CERTEZA	95%	94%	93%	92%	91%	90%	80%	62.27%	50%
Z	1.96	1.88	1.81	1.75	1.69	1.65	1.28	1	0.6745
Z <sup>2</sup>	3.84	3.53	3.28	3.06	2.86	2.72	1.64	1.00	0.45
E	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.20	0.37	0.50
e <sup>2</sup>	0.0025	0.0036	0.0049	0.0064	0.0081	0.01	0.04	0.1369	0.25

### 7.2. ERROR O PORCENTAJE DE ERROR PERMITIDO

El error o porcentaje de error equivale a elegir una probabilidad de aceptar una hipótesis que sea falsa como si fuera verdadera, o la inversa, rechazar la hipótesis verdadera por considerarla falsa. Al igual que en el caso de la confianza, si se quiere eliminar el riesgo del error y considerarlo como 0%, entonces la muestra es del mismo tamaño que la población, por lo que conviene correr un cierto riesgo de equivocarse. Casi siempre se aceptan errores del 3% al 5%, en este caso cualquiera que sea el procedimiento utilizado y la perfección del método empleado, la muestra diferirá de la población. A esta diferencia se le denomina error de muestreo.

REPUBLICA DE COLOMBIA <b>AERONAUTICA CIVIL</b> Unidad Administrativa Especial				<b>CIRCULAR REGLAMENTARIA</b>			
C.I. No.		REV	FECHA		PAGINA		
006		Orig.	2009-DIC- 21		Pág. 21 de 36		
<b>TITULO</b>							
<b>METODOLOGÍA DE MEDICIÓN Y CÁLCULO PARA LA DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD DE LOS SECTORES ATC DE LOS CENTROS Y SALAS DE CONTROL RADAR</b>							

Ejemplo:

Se ha seleccionado una muestra de un Centro de Control en el que hay 30 ATCO, se elige una muestra de 16 ATCO. Para elegir la proporción de ATCO que monitorearemos, dividimos el tamaño de la muestra entre el tamaño total:

$$16/30=0.53,$$

Lo que quiere decir que estamos tomando el monitoreo al 53% de la población.

Ahora vamos a calcular a cuantos ATCO representa cada uno de los elementos de la muestra, para el caso hacemos la división contraria, dividimos el número de ATCO de la población entre los de la muestra:

$$30/16=1.875,$$

Lo que quiere decir que cada uno de los elementos de la muestra representa a 2 ATCO del Centro de Control.

*Nota: El nivel de confianza adoptado en esta metodología es de 95% de confiabilidad y el error máximo tolerable es de 5%.*

### 7.3. DESVÍO ESTÁNDAR OPERACIONAL

La desviación solo significa que tan lejos de lo normal se encuentra los datos.

La desviación estándar ( $\sigma$ ) mide cuanto se separan los datos.

Este valor será tomado de acuerdo al desvío estándar del muestreo que se hará durante la obtención de tiempo promedio de duración de cada mensaje, en segundos (tm).

**TITULO**

**METODOLOGÍA DE MEDICIÓN Y CÁLCULO PARA LA DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD DE LOS SECTORES ATC DE LOS CENTROS Y SALAS DE CONTROL RADAR**

**7.4. MUESTREO ALEATORIO SIMPLE PARA POBLACIÓN INFINITA**

$$n = \left( \frac{Z_{\alpha/2} \cdot \sigma}{\varepsilon} \right)^2$$

Donde:

$n$  = Tamaño de la muestra;

$Z_{\alpha/2}$  = Nivel de confianza elegido (95%), expresado con  $Z_{\alpha/2} = 1.96$ ;

$\sigma$  = Desvío-estándar poblacional; y

$\varepsilon$  = Error máximo permitido.

Con el fin de obtener unas muestras en tamaños compatibles con el nivel de confianza y con el error del muestreo deseable, este modelo utiliza la formula de muestreo aleatorio simple para población infinita, esto debido a que no es posible definir con una mayor precisión el tamaño de la población durante la aplicación de la metodología para determinar el numero de aeronaves bajo control simultaneo de un controlador. A fin de determinar el tamaño de la muestra de los parámetros del modelo matemático que calcula la capacidad de los sectores de las dependencias ATC.

Ejemplo para un sector:

Desviación estándar ( $\sigma$ ) obtenida en un del (tm)=21

$\sigma = tm = 11$  sg

Nivel de confianza= 95%

Error máximo permitido= 5%

Aplicando la formula de muestreo para población infinita,

$$n = \left( \frac{Z_{\alpha/2} \cdot \sigma}{\varepsilon} \right)^2$$

$$n = \left( \frac{1,96 * 11}{5} \right)^2$$

REPUBLICA DE COLOMBIA <b>AERONAUTICA CIVIL</b> Unidad Administrativa Especial			<b>CIRCULAR REGLAMENTARIA</b>		
C.I. No.	REV		FECHA	PAGINA	
006	Orig.	2009-DIC- 21	Pág. 23 de 36		
<b>TITULO</b>					
<b>METODOLOGÍA DE MEDICIÓN Y CÁLCULO PARA LA DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD DE LOS SECTORES ATC DE LOS CENTROS Y SALAS DE CONTROL RADAR</b>					

$$n=18,59$$

De acuerdo a lo expuesto y con base del valor obtenido en el ejemplo la cual es menor a 21, es necesario incrementarlo a 21, de esta forma el número mínimo de repeticiones para medir el (tm) deberá ser de por lo menos 21.

#### 7.5. MUESTREO ALEATORIO SIMPLE PARA POBLACIÓN FINITA

$$n = \frac{Z_{\alpha/2}^2 \cdot p \cdot q \cdot N}{\varepsilon^2 \cdot (N - 1) + Z_{\alpha/2}^2 \cdot p \cdot q}$$

Donde:

$n$  = Tamaño de la muestra;

$Z_{\alpha/2}$  = Nivel de confianza elegido (95%), expresado con  $Z_{\alpha/2} = 1,96$ ;

$p$  = Proporción poblacional de individuos que pertenecen a la categoría de interés;

$q$  = Proporción poblacional de individuos que **no** pertenecen a la categoría de interés ( $q=1-p$ );

$N$  = Tamaño de la población; y

$\varepsilon$  = Error máximo permitido.

Esta fórmula será aplicada para definir la cantidad minima de controladores a ser observados en cada dependencia, la técnica de muestreo mas indicada es el muestreo aleatorio simple para población finita.

Otro dato a tenerse en cuenta es la probabilidad de que un controlador sea observado durante un día de labores. Así, un día tiene  $X$  turnos de control, con esto la probabilidad del controlador de ser observado para uno de los turnos es de  $X$  dividido por el total de controladores y multiplicado por la cantidad de sectores.

$$p = \frac{X}{N} * \text{Cantidad de sectores}$$

REPUBLICA DE COLOMBIA <b>AERONAUTICA CIVIL</b> Unidad Administrativa Especial		<b>CIRCULAR REGLAMENTARIA</b>			
		C.I. No.	REV	FECHA	PAGINA
		006	Orig.	2009-DIC- 21	Pág. 24 de 36
<b>TITULO</b>					
<b>METODOLOGÍA DE MEDICIÓN Y CÁLCULO PARA LA DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD DE LOS SECTORES ATC DE LOS CENTROS Y SALAS DE CONTROL RADAR</b>					

Para realizar el calculo del numero mínimo de controladores a ser considerados en las tomas de tiempo debe tomar en cuenta las peculiaridades de la operación del cada Centro de Control.

Ejemplo:

ATCO en el ACC Estelar = 93  
 # de turnos diarios = 4  
 # de sectores de control = 6

$$p = \frac{4}{93} * 6$$

$$p = 0.25; p = 25\%$$

Teniendo en cuenta un nivel de confianza elegido de 95%, un valor de 5% para el error máximo permitido un **N** de 93 y un **p** de 0.25 y aplicando la formula de la técnica de muestreo aleatoria simple para población infinita se consiguen los siguientes valores:

$$n = \frac{Z_{\alpha/2}^2 \cdot p \cdot q \cdot N}{\epsilon^2 \cdot (N - 1) + Z_{\alpha/2}^2 \cdot p \cdot q}$$

$$n = \frac{1.96^2 * 0.25 * 0.975 * 93}{0.05^2 * (93 - 1) + 1.96^2 * 0.25 * 0.975}$$

$$n = 74.6 \text{ ATCO}$$

Debido a que el tamaño total de la población es considerado pequeño, la aplicación de la formula da como resultado una muestra bastante grande con respecto de la población (81%), así cuanto menor sea el tamaño de la población, más próximo de ese valor será el valor del tamaño de la muestra. En consideración esta muestra podrá ser repartida entre la cantidad de sectores del Centro de Control así:

Ejemplo:

# de sectores = 6  
 n = 75 ATCO  
 y = ?

REPÚBLICA DE COLOMBIA <b>AERONAUTICA CIVIL</b> Unidad Administrativa Especial				<b>CIRCULAR REGLAMENTARIA</b>			
C.I. No.		REV	FECHA		PAGINA		
006		Orig.	2009-DIC- 21		Pág. 25 de 36		
<b>TITULO</b>							
<b>METODOLOGÍA DE MEDICIÓN Y CÁLCULO PARA LA DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD DE LOS SECTORES ATC DE LOS CENTROS Y SALAS DE CONTROL RADAR</b>							

$$Y = \frac{\# \text{ de sectores}}{n}$$

$$Y = \frac{75}{6}$$

$$Y = 12.5, Y = 13$$

Se reitera que las técnicas de muestreo revelan valores mínimos de muestras relevantes. Por lo tanto, siempre que exista la oportunidad de que sean recolectadas mas muestras, de acuerdo al tiempo y costos disponibles, se aconseja recolectar un número mayor de muestras.

**“CUANTO MAYOR SEA LA MUESTRA, MAS PRECISO SERÁ EL RESULTADO DEL ESTUDIO”.**

Mediante la aplicación de la técnica de muestreo aleatorio simple para población infinita, se obtiene el número de observaciones mínimas para la obtención de los parámetros **n** y **tm** de cada sector.

Mediante la aplicación de la técnica de muestreo aleatorio simple para población finita, se obtiene del numero mínimo de controladores a ser considerados en las tomas.

Si los recursos lo permiten se sugiere colectar el mayor numero posible de observaciones y de controladores por sector, ya que esto sirve para compensar eventuales descartes de "outliers" (valores extremos) y para minimizar cualquier tipo de tendencia existente, como por ejemplo cuando alguna de las partes (controlador o piloto) se prolongan o reducen en exceso las comunicaciones lo cual puede provocar una tendencia de aumento o disminución del **tm**.

## 8. DESARROLLO METODOLÓGICO

Es importante que la recolección de datos sea bastante significativa, a fin de diluir las desviaciones estocásticas provisionales y de representar valores fidedignos para la dependencia ATC.

Este método tiene en cuenta la carga soportada por el ATCO durante la ejecución de sus tareas y está basado en la evaluación de tareas ejecutadas por el controlador en los momentos de gran volumen de tránsito como hemos visto en el modelo DORATASK.

De acuerdo con el modelo actual, la carga de trabajo de un controlador es la sumatoria de los tiempos empleados en:

- Comunicación (transmisión/recepción);
- Actividades manuales (relleno de fajas de progreso de vuelo) y coordinación; y

REPUBLICA DE COLOMBIA <b>AERONAUTICA CIVIL</b> Unidad Administrativa Especial				<b>CIRCULAR REGLAMENTARIA</b>		
C.I. No.	REV	FECHA	PAGINA			
006	Orig.	2009-DIC- 21	Pág. 26 de 36			
<b>TITULO</b>						
<b>METODOLOGÍA DE MEDICIÓN Y CÁLCULO PARA LA DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD DE LOS SECTORES ATC DE LOS CENTROS Y SALAS DE CONTROL RADAR</b>						

- Planificación y distribución del tránsito.

Esta metodología utiliza el concepto de "**factor de disponibilidad**" del controlador ( $\phi$ ), que es definido como el porcentaje de tiempo disponible para que el ATCO planifique los procedimientos de separación de aeronaves.

Ese factor de disponibilidad se sitúa, comúnmente, entre un valor mínimo de 40% del tiempo del ATCO, para control no radar, y 60%, para radar. Por consiguiente, es fácil deducir que se deben concentrar los esfuerzos para un aumento del "factor de disponibilidad"  $\phi$ .

Esto último solo es posible con la aplicación de medidas que resulten en una menor intervención del controlador con las actividades citadas en 1 y 2.

Ese factor  $\phi$  puede presentar un porcentaje más grande al perfeccionarse la "Interfaz Hombre / Máquina – IHM., es decir al aumentar la automatización de algunas tareas.

La recolección de la mayor cantidad posible de observaciones y de controladores de la dependencia a evaluar es fundamental para descartar valores extremos y para minimizar cualquier tipo de tendencia existente (Ej. Casos de controladores o pilotos lentos o demasiado rápidos en las comunicaciones que afecten la media aritmética).

### 8.1. NÚMERO DE REFERENCIA DE POSICIÓN DE CONTROL (N)

El valor N es el número de aeronaves que pueden ser controladas simultáneamente por un controlador de tránsito aéreo y se expresa por medio de la siguiente fórmula:

$$N = F \cdot d / (n \cdot t_m \cdot V_m)$$

Esta capacidad ATC es función directa o inversa de algunos factores, considerados:

- i. **Factores directamente proporcionales a la capacidad ATC (Funciones Directas):**
  - F : factor de disponibilidad del controlador, definido como el porcentaje de tiempo disponible para planificar los procedimientos de separación de aeronaves;
  - d : distancia promedio recorrida por las aeronaves en el sector, que es función de las trayectorias y de los procedimientos de ruta o terminal establecidos para cada sector;
- ii. **Factores inversamente proporcionales a la capacidad ATC (Funciones Inversas):**
  - n: número de comunicaciones para cada aeronave en el sector, que debe ser restricto al mínimo necesario para el entendimiento entre el piloto y el controlador. Ese número puede

REPUBLICA DE COLOMBIA <b>AERONAUTICA CIVIL</b> Unidad Administrativa Especial				<b>CIRCULAR REGLAMENTARIA</b>		
C.I. No.		REV	FECHA	PAGINA		
006		Orig.	2009-DIC- 21	Pág. 27 de 36		
<b>TITULO</b>						
<b>METODOLOGÍA DE MEDICIÓN Y CÁLCULO PARA LA DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD DE LOS SECTORES ATC DE LOS CENTROS Y SALAS DE CONTROL RADAR</b>						

ser minimizado a través de la emisión de una autorización completa con una anticipación suficiente para la planificación del vuelo;

- tm: tiempo medio de duración de cada mensaje. Este factor puede ser minimizado al emitirse mensajes de manera objetiva, sin largas explicaciones perjudiciales al entendimiento entre el piloto y el controlador; y
- Vm: velocidad medio de las aeronaves en el sector. Las velocidades medias en Áreas Terminales se ajustan, según las normas para velocidades máximas. En ruta, se recomienda, cuando necesario, sectorizar el espacio aéreo de la FIR en Espacios Aéreos Superior e Inferior, donde las aeronaves presentan desempeños equilibrados.

Substituyéndose d y Vm por el tiempo promedio de vuelo de la aeronave en la travesía del sector (T), la fórmula anterior puede ser simplificada:

$$N = F \cdot T / (n \cdot tm)$$

## 8.2. FACTOR DE DISPONIBILIDAD DEL CONTROLADOR (F)

Se define como "**FACTOR DE DISPONIBILIDAD**" del Controlador, el porcentaje de tiempo dedicado exclusivamente a las comunicaciones (transmisión/recepción) con las aeronaves. Así no estén incluidos en este parámetro, los tiempos consumidos con las demás actividades relacionadas directamente con el control, tales como: relleno de FPV, coordinación entre Órganos/sectores, identificación de blancos, transferencias, y todavía, todo el tiempo destinado a la distribución y planificación consideradas.

Podemos identificar una relación directa entre este factor y la capacidad de control simultáneo de aeronaves, eso es, cuanto mayor el "factor de disponibilidad" (F) de un Controlador, mayor su capacidad de control simultáneo. Observamos, también, que ese factor se presentará con un porcentual mayor a medida que son optimizados los sistemas de tratamiento de plan de vuelo, vehiculación de mensajes ATS, identificación de blancos, correlación de trazas/planes de vuelo, visualización de Modo C, transferencias automáticas de control ("hand-off") y, principalmente, cuando las condiciones técnicas de las "consolas" permitan la utilización de la Posición Controlador Planificador/Coordinador como asistente para el Controlador Titular. En ese caso, todo el trabajo de coordinación será ejecutado por el Asistente. Para una mejor comprensión de la interacción de ese factor con las demás actividades de control, consideremos la carga de trabajo de un Controlador como la sumatoria de los tiempos consumidos con:

- a. Comunicación (transmisión/recepción) o "F";
- b. Actividades manuales (relleno de "strips") y coordinación; y
- c. Planificación y distribución del tránsito.

Tomándose como objetivo una mejor capacidad de control simultáneo de aeronaves en un determinado sector, debemos direccionar nuevos esfuerzos para un aumento de "F". Como podemos

REPUBLICA DE COLOMBIA <b>AERONAUTICA CIVIL</b> Unidad Administrativa Especial				<b>CIRCULAR REGLAMENTARIA</b>			
C.I. No.		REV		FECHA		PAGINA	
006		Orig.		2009-DIC- 21		Pág. 28 de 36	
<b>TITULO</b>							
<b>METODOLOGÍA DE MEDICIÓN Y CÁLCULO PARA LA DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD DE LOS SECTORES ATC DE LOS CENTROS Y SALAS DE CONTROL RADAR</b>							

deducir, eso será posible con la aplicación de medidas que resulten en un menor involucramiento del controlador con las actividades b y c arriba enunciadas.

Básicamente, esas medidas envuelven estandarización y automatización de procedimientos, mejoras técnicas y, especialmente, el empleo del RADAR.

### 8.3. PROCEDIMIENTO PARA EL LEVANTAMIENTO DE LOS VALORES (F,tm,n,T)

- Factor de Disponibilidad del controlador (F):

Se realiza mediante la verificación de los intervalos de tiempo durante los cuales el controlador ejecuta las tareas de coordinación, llenado de fajas, o cualquier otra necesaria para el desempeño de sus funciones en la posición de control, excepto las comunicaciones con aeronaves (transmisión/recepción), el valor considerado será la Media aritmética de los resultados obtenidos.

#### EJEMPLO

FECHA	HORA (INICIO-FINAL)	CONTROLADOR (SIGLAS)	POSICION DE CONTROL	TIEMPO TOTAL (sg)	TIEMPO DE DISPONIBILIDAD (sg)	f (%)
20/12/2009	1300/1400	VV	LLEGADAS	3600	1133	31,4
21/12/2009	2300/0000	YT	LLEGADAS	3600	1205	33,4
22/12/2009	1500/1600	HX	LLEGADAS	3600	1145	31,8
23/12/2009	2100/2200	BZ	LLEGADAS	3600	1230	34,1
<b>FACTOR DE DISPONIBILIDAD MEDIA DEL CONTROLADOR</b>						32,6

- Tiempo medio de duración de los mensajes radiotelefónicos (tm):

Se realiza mediante el levantamiento del tiempo consumido por el controlador en las tareas de comunicación y recepción con cada una de las aeronaves durante todo su vuelo en el sector.

FECHA	HORA		CONTROLADOR	POSICION												
	INICIO	FINAL														
22/12/2009	1300	1400	HX	LLEGADAS												
MATRICULA	NUMERO DE CONTACTOS Y TIEMPO EN LA TRANSMISION / RECEPCION (sg)															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	tm
SLX6401	11	8	13													10,6
ONE6185	14	11	6	10												10,25
NHT3465	13	11	7	9												10
KLT2176	13	7	5	10	15											10
<b>TIEMPO MEDIO DE DURACION DE CADA MENSAJE</b>																
																10

REPUBLICA DE COLOMBIA <b>AERONAUTICA CIVIL</b> Unidad Administrativa Especial				<b>CIRCULAR REGLAMENTARIA</b>			
C.I. No.		REV	FECHA		PAGINA		
006		Orig.	2009-DIC- 21		Pág. 29 de 36		
<b>TITULO</b> <b>METODOLOGÍA DE MEDICIÓN Y CÁLCULO PARA LA DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD DE LOS SECTORES ATC DE LOS CENTROS Y SALAS DE CONTROL RADAR</b>							

- Numero medio de comunicaciones de cada aeronave en el sector (n):

Se contabilizan y promedian el número de comunicaciones entre el controlador y las tripulaciones durante el tiempo en el que la aeronave sobrevuela el sector.

FECHA	HORA		CONTROLADOR		POSICION											
	INICIO	FINAL	HX		LLEGADAS											
22/12/2009	1300	1400														
MATRICULA	NUMERO DE CONTACTOS Y TIEMPO EN LA TRANSMISION / RECEPCION (sg)															n
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
SLX6401	11	8	13													3
ONE6185	14	11	6	10												4
NHT3465	13	11	7	9												4
KLT2176	13	7	5	10	15											5
TIEMPO MEDIO DE DURACION DE CADA MENSAJE															4	

- Tiempo medio de permanencia de las aeronaves en el sector (T):

Se contabilizan los tiempos de sobrevuelo de las aeronaves en el sector evaluado.

FECHA	HORA		CONTROLADOR		POSICION		
	INICIO	FINAL	HX		LLEGADAS		
22/12/2009	1900	2000					
MATRICULA	TIEMPO DE VUELO EN EL SECTOR						TIEMPO DE VUELO EN EL SECTOR
	HORA ENTRADA		HORA DE SALIDA				
SLX6401	19:20		19:28				8
ONE6185	19:22		19:32				10
NHT3465	19:18		19:30				12
KLT2176	19:10		19:17				7
TIEMPO MEDIO EN SEGUNDOS (T) = 9,2 Min * 60						552 sg	


#### 8.4. CÁLCULO DEL NÚMERO DE REFERENCIA (N)

El valor del número de Referencia es proporcionado por el desarrollo de la fórmula simplificada descrita:

$$N = F * T / (n * tm)$$

Ejemplo 1:

Se asignan los siguientes valores a la variables F, n, tm, y T en un sector de control Radar con dos posiciones, Controlador titular Radar y Controlador Planificador/Coordinador:

REPUBLICA DE COLOMBIA <b>AERONAUTICA CIVIL</b> Unidad Administrativa Especial				<b>CIRCULAR REGLAMENTARIA</b>			
C.I. No.		REV	FECHA		PAGINA		
006		Orig.	2009-DIC- 21		Pág 30 de 36		
<b>TITULO</b>							
<b>METODOLOGÍA DE MEDICIÓN Y CÁLCULO PARA LA DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD DE LOS SECTORES ATC DE LOS CENTROS Y SALAS DE CONTROL RADAR</b>							

F=65%  
 n=8  
 tm=23 sg  
 T=20 min.

$N=0,65*20/8*23''$   
 $N=0,65*(20*60)/8*23''$   
 N=4,2

Ejemplo 2:

Se asignan los siguientes valores a las variables F, n, tm, y T en un sector de control Radar con una sola posición, Controlador Radar sin Controlador Planificador:

F=45%  
 n=8  
 tm=23 sg  
 T=20 min.

$N=0,45*20/8*23$   
 $N=0,45*(20*60)/8*23$   
 N=2,9

Según los anteriores ejemplos se deduce que la capacidad máxima de control simultáneo de aeronaves para un sector de control que cuente con un controlador titular Radar y un controlador Planificador/Coordinador es de cuatro (4) aeronaves, y que para el mismo sector de control pero que solo cuente con el controlador radar es de tres (3) aeronaves.

*NOTA: Los valores resultantes fueron redondeados así:  
 Para valores decimales de  $N < 5$  se redondea al entero inferior.  
 Para valores decimales de  $N > 5$  se redondea al entero superior.*

### 8.5. CÁLCULO DE CAPACIDAD HORARIA

La capacidad horaria se calculará utilizando la siguiente fórmula:

$$CH = 3600sg * N / T (sg)$$

Utilizando el ejemplo 1 anterior:

$$CH = 3600sg * 4.2 / 1200sg$$

$$CH = 12.6 \text{ (aeronaves/hora)}$$

REPUBLICA DE COLOMBIA <b>AERONAUTICA CIVIL</b> Unidad Administrativa Especial		<b>CIRCULAR REGLAMENTARIA</b>			
		C.I. No.	REV	FECHA	PAGINA
		006	Orig.	2009-DIC- 21	Pág. 31 de 36
<b>TITULO</b>					
<b>METODOLOGÍA DE MEDICIÓN Y CÁLCULO PARA LA DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD DE LOS SECTORES ATC DE LOS CENTROS Y SALAS DE CONTROL RADAR</b>					

### 9. DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SECTOR PARA PERIODOS DE 15 MINUTOS

El método consiste en dividir el tiempo promedio de vuelo en el sector, entre el total del tiempo empleado para desempeñar las funciones de control necesarias para manejar el tránsito el cual contempla el tiempo que un Controlador invierte en la planeación, organización del tránsito y vigilancia radar en un sector.

#### 9.1. PASOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SECTOR PARA PERIODOS DE 15 MINUTOS

- Determine el número de vuelos en el sector.
- Determine el promedio de tiempo de vuelo de las aeronaves en el sector (T).
- Determine el tiempo promedio de comunicaciones (controlador-piloto) en el sector (Tm).
- Determine el tiempo promedio de comunicaciones (controlador-controlador) en el sector (Tc).
- Determine el tiempo promedio en las tareas observables del controlador en el sector (Tt).

Ejemplo:

- PROMEDIO DE TIEMPO DE VUELO DE LAS AERONAVES EN EL SECTOR A EVALUAR:

FECHA	HORA		CONTROLADOR	POSICION
	INICIO	FINAL		
22/12/2009	1300	1315	HX	LLEGADAS
<b>TIEMPO DE VUELO EN EL SECTOR</b>				
MATRICULA	HORA ENTRADA	HORA DE SALIDA	TIEMPO DE VUELO EN EL SECTOR (T)	
SLX6401	19:00	19:04	4	
ONE6185	19:00	19:06	6	
NHT3465	19:03	19:08	5	
KLT2176	19:09	19:14	5	
TIEMPO PROMEDIO DE VUELO EN EL SECTOR en segundos (T) = (20/4) * 60				300 sg

- PROMEDIO DE TIEMPO EN COMUNICACIONES CONTROLADOR / PILOTO:

FECHA	HORA		CONTROLADOR	POSICION												
	INICIO	FINAL														
22/12/2009	1300	1315	HX	LLEGADAS												
<b>NUMERO DE CONTACTOS Y TIEMPO EN LA TRANSMISION / RECEPCION (sg)</b>																
MATRICULA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Tm
SLX6401	11	8	13													10,6
ONE6185	14	11	6	10												10,25

REPUBLICA DE COLOMBIA <b>AERONAUTICA CIVIL</b> Unidad Administrativa Especial				<b>CIRCULAR REGLAMENTARIA</b>			
C.I. No.		REV		FECHA		PAGINA	
006		Orig.		2009-DIC- 21		Pág. 32 de 36	
<b>TITULO</b> <b>METODOLOGÍA DE MEDICIÓN Y CÁLCULO PARA LA DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD DE LOS SECTORES ATC DE LOS CENTROS Y SALAS DE CONTROL RADAR</b>							

NHT3465	13	11	7	9														10
KLT2176	13	7	5	10	15													10
TIEMPO PROMEDIO DE LAS COMUNICACIONES CONTROLADOR / PILOTO																		10 sg

• PROMEDIO DE TIEMPO DE COMUNICACIONES ENTRE CONTROLADOR / CONTROLADOR EN LA POSICIÓN DE CONTROL:

FECHA	HORA		CONTROLADOR										POSICION					
	INICIO	FINAL	HX										LLEGADAS					
22/12/2009	1300	1315																
SECTOR	NUMERO DE CONTACTOS Y TIEMPO EN LA TRANSMISION / RECEPCION (sg)															Tc		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15			
SUR	9	16	13															12,6
NORTE	10	11	6															9
TORRE N	13	15	7	9														11
TORRE S	19	7	5	10														10,2
TIEMPO PROMEDIO DE LAS COMUNICACIONES CONTROLADOR / CONTROLADOR																		10,7 sg

• PROMEDIO DE TIEMPO DE TAREAS OBSERVADAS DEL CONTROLADOR EN LA POSICIÓN DE CONTROL:

FECHA	HORA (INICIO-FINAL)	CONTROLADOR (SIGLAS)	POSICION DE CONTROL	TIEMPO TOTAL (sg)	TIEMPO DE TAREAS (sg)	# DE AERONAVES	(Tt) PROMEDIO TIEMPO DE TAREAS (sg)
20/12/2009	1300/1315	VV	LLEGADAS	900	420	10	42
21/12/2009	2300/2315	YT	LLEGADAS	900	350	8	43,7
22/12/2009	1515/1530	HX	LLEGADAS	900	310	9	34,4
23/12/2009	2105/2120	BZ	LLEGADAS	900	280	6	46,6
TIEMPO PROMEDIO DE TAREAS OBSERVADAS DEL CONTROLADOR							41,6 sg

**9.2. CALCULO DEL NÚMERO DE REFERENCIA DE LA CAPACIDAD DE SECTOR (N)**

El valor del número de Referencia es proporcionado a través de la ejecución del siguiente modelo matemático simplificado.

$$N = \frac{T}{T_m + T_c + T_t}$$

Ejemplo:

Se asignan los siguientes valores a la variables f, n, tm, y T en un sector de control Radar con dos posiciones, Controlador Radar y Controlador Planificador:

REPUBLICA DE COLOMBIA <b>AERONAUTICA CIVIL</b> <small>Unidad Administrativa Especial</small>				<b>CIRCULAR REGLAMENTARIA</b>		
C.I. No.		REV	FECHA	PAGINA		
006		Orig.	2009-DIC- 21	Pág. 33 de 36		
<b>TITULO</b>						
<b>METODOLOGÍA DE MEDICIÓN Y CÁLCULO PARA LA DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD DE LOS SECTORES ATC DE LOS CENTROS Y SALAS DE CONTROL RADAR</b>						

T=300sg  
 Tm=10sg  
 Tc=11sg  
 Tt=41sg

$N = T/Tm + Tc + Tt$   
 $N = 300sg/10sg + 11sg + 41sg$   
 $N = 300/62$   
 $N = 4,8$

Según el anterior ejemplo se deduce que la capacidad máxima de control de aeronaves para un sector de control que cuente con un controlador Radar y un controlador Planificador es de cinco (5) aeronaves en un periodo de tiempo de quince (15) minutos.

*NOTA: Los valores resultantes fueron redondeados así:  
 Para valores decimales de  $N < 5$  se redondea al entero inferior.  
 Para valores decimales de  $N > 5$  se redondea al entero superior.*

### 9.3. AJUSTES DEL VALOR OPTIMO DE CAPACIDAD DEL SECTOR

Estos ajustes podrán ser realizados en valores superiores o inferiores.

Tenga en cuenta las siguientes consideraciones que afectan el sector para el ajuste de los valores el cual será efectuado durante el proceso de validación.

- Estructuras de las rutas en el sector;
- Factores humanos;
- Factores limitantes (guía vectorial – para separación);
- Volumen del sector del espacio aéreo (vertical y horizontal);
- Complejidad de operaciones en el sector;
- Numero de sectores fusionados;
- Cantidad de tráfico en ascenso y descenso;
- Operaciones militares sin restricción y uso especial del espacio aéreo;

Se deberá analizar y tener en consideración otros factores que afectan la capacidad del sector como lo son:

- Aplicación de procedimientos locales;
- Juzgamiento profesional y;
- Ajuste óptimo de la capacidad del sector en valores superiores o inferiores de acuerdo a la necesidad.

Para el caso de este ejercicio los FACTORES DE AJUSTE fueron considerados con un valor de CERO (0).

REPUBLICA DE COLOMBIA <b>AERONAUTICA CIVIL</b> <small>Unidad Administrativa Especial</small>				<b>CIRCULAR REGLAMENTARIA</b>			
C.I. No.		REV		FECHA		PAGINA	
006		Orig.		2009-DIC- 21		Pág. 34 de 36	
<b>TITULO</b>							
<b>METODOLOGÍA DE MEDICIÓN Y CÁLCULO PARA LA DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD DE LOS SECTORES ATC DE LOS CENTROS Y SALAS DE CONTROL RADAR</b>							

El resultado de 5, es el valor óptimo de capacidad para 15' minutos.

VALOR ÓPTIMO DE CAPACIDAD DE SECTOR

$$+ / - \quad \frac{\text{FACTORES DE AJUSTES}}{\text{CAPACIDAD DEL SECTOR}}$$

#### 9.4. MEJORAS PARA EL INCREMENTO DE CAPACIDAD DE SECTORES

La autoridad ATS competente deberá:

- Examinar periódicamente cada 10 meses la capacidad del ATS en relación con la demanda del tránsito;
- Prever el uso flexible del espacio aéreo para mejorar la eficiencia de las operaciones y aumentar la capacidad;
- Prever la elaboración de procedimientos para la reducción de las comunicaciones radiotelefónicas aeroterrestres en áreas congestionadas.
- Prever la elaboración y mejoramiento de procedimientos de vuelo a fin de reducir tiempos de vuelo en los sectores de control.

En caso de que la demanda de tránsito exceda regularmente de la capacidad del ATC, con el resultado de demoras continuas y frecuentes del tránsito, o cuando resulte evidente que el pronóstico de demanda de tránsito excederá de los valores de la capacidad, la autoridad ATS competente debería, en la medida de lo posible:

- Poner en práctica medidas destinadas a utilizar al máximo la capacidad existente del sistema;
- Preparar planes para aumentar la capacidad a fin de satisfacer la demanda actual o pronosticada.

#### 10. CONCLUSIÓN GENERAL

El conocimiento de la capacidad de los sectores de tránsito aéreo o de posiciones de operación ATC es necesario por dos razones principales: La primera es que para planificar a largo plazo se necesita anticiparse en forma eficiente a cualquier capacidad futura, según lo indiquen las previsiones de tránsito; La segunda razón es que si ya existe una capacidad que requiere la aplicación de control de afluencia, es necesario conocerla para poder limitar el tránsito sin sobrecargar el sistema ni perjudicar a los explotadores o implementar mejores prácticas de desempeño operacional bajo la Unidad de Flujo.

REPUBLICA DE COLOMBIA <b>AERONAUTICA CIVIL</b> Unidad Administrativa Especial				<b>CIRCULAR REGLAMENTARIA</b>			
C.I. No.		REV	FECHA		PAGINA		
006		Orig.	2009-DIC- 21		Pág. 35 de 36		
<b>TITULO</b>							
<b>METODOLOGÍA DE MEDICIÓN Y CÁLCULO PARA LA DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD DE LOS SECTORES ATC DE LOS CENTROS Y SALAS DE CONTROL RADAR</b>							

Existen innumerables métodos para el cálculo de la capacidad y de los métodos descritos, es fácil observar que la carga de trabajo del controlador de tránsito aéreo es un parámetro significativo. Por consiguiente, cuanto mayor es el conocimiento de los factores relacionados con la carga de trabajo, las acciones para mejorar su eficiencia y sus implicaciones mejor serán su adecuación y ajuste operacional de los servicios brindados para satisfacer la demanda.

Paralelamente, es de fundamental importancia que haya una perfecta comprensión de las variables atribuidas al modelo matemático, utilizadas en el cálculo del número de aeronaves que se pueden atender en los sectores ATC dentro de un determinado lapso de tiempo.

Para ello se necesita un estudio crítico, un análisis imparcial y minucioso ajustado a la realidad de cada dependencia con relación a los resultados alcanzados en el levantamiento de datos para cuantificar estas variables por parte de la Unidad de Flujo, que permitirán a los planificadores identificar, con la anticipación requerida, los puntos de limitación operacional de los servicios prestados.

Por otro lado, las observaciones de factores ocasionales, tales como, inoperancias en las comunicaciones, condiciones meteorológicas adversas, operación de aeronaves con preferencia, operación militar, aeronaves en emergencia entre muchísimas otras que pueden ocasionar demoras operacionales, pueden influir en los resultados de forma no deseada y conducir a conclusiones que no reflejen la realidad sino son debidamente ponderadas.

La periodicidad de los levantamientos de datos y la cantidad de los mismos por sector y controlador debería ser suficiente para contemplar los casos de modificaciones de la circulación aérea, sectorización, instalación/inoperancia de la infraestructura de la navegación, nuevo diseño para la optimización del espacio aéreo, etc.

Con la aplicación de mejores prácticas en el diseño del espacio aéreo, en la gestión del secuenciamiento y coordinación, en la aplicación de separaciones mínimas reglamentarias entre aeronaves, así como mejores prácticas de mantenimiento CNS y sobre todo la rigurosa selección y entrenamiento de los recursos humanos puede elevar el estándar y optimizar la formulación matemática del modelo que se aplique aumentando significativamente la capacidad.

La optimización de la morfología existente de pistas y calles de rodaje, la mezcla de aeronaves, los tiempos promedios de ocupación de pista, la longitud determinada del segmento de aproximación final para la distancia de seguridad, la capacidad y equipamiento de la flota así como el entrenamiento de las tripulaciones constituyen también factores contribuyentes a la optimización de la capacidad que deben ser considerados a la hora de la declaración de la capacidad sea esta de un sector ATC o la capacidad Aeroportuaria.

La Aerocivil adopta estas metodologías para la determinación de la capacidad de sectores de APP y ACC del espacio aéreo de la República de Colombia a fin de facilitar la obtención de un valor de referencia de capacidad de sectores el cual consiste en la obtención de un valor, calculado a través

REPUBLICA DE COLOMBIA <b>AERONAUTICA CIVIL</b> Unidad Administrativa Especial				<b>CIRCULAR REGLAMENTARIA</b>			
C.I. No.		REV		FECHA		PAGINA	
006		Orig.		2009-DIC- 21		Pág 36 de 36	
<b>TITULO</b>							
<b>METODOLOGÍA DE MEDICIÓN Y CÁLCULO PARA LA DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD DE LOS SECTORES ATC DE LOS CENTROS Y SALAS DE CONTROL RADAR</b>							

de fórmula o modelo matemático, cuyos datos básicos son extraídos a través de investigación realizada por un grupo de expertos ATFCM de las dependencias ATC considerando un momento de elevado movimiento, donde son observadas y cronometradas las acciones del controlador y su disponibilidad para controlar los tránsitos del sector de control en un instante de tiempo.


*NOTA: Cuando se trate de un sector donde ya se venga aplicando, con éxito, una capacidad estimada, no es necesaria el desarrollo de este procedimiento.*

### 11. CONTACTOS PARA MAYOR INFORMACIÓN

Para cualquier consulta técnica adicional con respecto a esta Circular de metodología de medición y cálculo para la determinación de capacidad de los sectores ATC de los centros y salas de control radar, favor dirigirse a la Unidad de Flujo CFMU-Colombia de la Dirección de Servicios a la Navegación Aérea al teléfono 266 3835, correo electrónico [fmp.bogota@aerocivil.gov.co](mailto:fmp.bogota@aerocivil.gov.co) y [fmp@aerocivil.gov.co](mailto:fmp@aerocivil.gov.co) y [cfmu.dsna@aerocivil.gov.co](mailto:cfmu.dsna@aerocivil.gov.co) o con los autores primarios de esta Circular Mauricio Corredor o Joy Caballero.

### 12. VIGENCIA

La presente Circular Reglamentaria rige a partir de la fecha de expedición y complementa todas las medidas de carácter particular y técnico que adopte la Entidad en la materia, en especial aquellas de gestión de flujo de tránsito aéreo. Así mismo, deroga todas las disposiciones que le sean contrarias.

  
**SERGIO PARIS MENDOZA**  
 Secretario de Sistemas Operacionales

**METODOLOGIA DE MEDICION Y CÁLCULO  
PARA LA DETERMINACIÓN  
DE CAPACIDAD DE LOS AEROPUERTOS  
Y AERÓDROMOS**



## METODOLOGIA DE MEDICIÓN Y CÁLCULO PARA LA DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD DE LOS AEROPUERTOS Y AERÓDROMOS.

### 1. PROPÓSITO

El presente documento tiene como finalidad proveer al personal responsable de la medición y cálculo de capacidad de sector ATC (Experto ATFCM), de los conocimientos y procedimientos detallados acerca de la metodología a desarrollar durante el proceso base para la determinación y declaración de la Capacidad Física de Pista (CFP), la Capacidad Teórica de Pista (CTP), y el Régimen de Aceptación de Aeródromo (AAR) para cualquier Aeropuerto/Aeródromo ubicado al interior de la República de Colombia.

Los valores de capacidad que se obtengan como resultado de la aplicación de la metodología descrita en el presente documento serán expuestos en un informe denominado "INFORME CAPACIDAD DE AEROPUERTO" a la **Dirección de Servicios a la Navegación Aérea (DSNA)**, que a su vez será la responsable de la declaración oficial de los valores de capacidad, a fin de ser utilizados para los fines correspondientes a la prestación de servicio ATC, y como medida de referencia para la aplicación de medidas ATFCM por parte de la FMU Colombia.

Esta circular presenta la metodología a ser utilizada por COLOMBIA en sus aeropuertos/aeródromos con el objeto de determinar su capacidad, la responsabilidad directa de su aplicación corresponde a la Unidad de Gestión de Afluencia y Capacidad (FMU COLOMBIA) establecida por el RAC Parte Sexta. Como quiera que esta Circular sea un documento vivo y de crecimiento, será la FMU COLOMBIA por intermedio de la Dirección de Servicios a la Navegación Aérea, la responsable de las actualizaciones pertinentes de este documento manteniéndolo a tono con las circunstancias cambiantes de un sistema en evolución.

### 2. INTRODUCCIÓN

Con el objetivo de mantener la afluencia de tránsito aéreo, en un nivel óptimo, evitando posibles sobrecargas en el sistema, la FMU COLOMBIA implementa la metodología a continuación para determinar los valores CFP,CTP y AAR los cuales deberán ser tomados en cuenta para declarar la capacidad operacional en sus diferentes configuraciones operativas, y que a su vez permita analizar permanentemente la evolución y eficiencia de la operación con el objeto de proponer estrategias de optimización para la operación del aeropuerto y la prestación del servicio ATC.

Los valores de capacidad de pista son utilizados como referencia para lograr una utilización óptima de la pista bajo un nivel de demanda constante, a ser absorbido en un determinado intervalo de tiempo, equilibrando las potencialidades que el aeródromo pueda ofrecer a las necesidades de dicha demanda.

La capacidad de pista de un aeródromo está relacionada específicamente con su infraestructura, la meteorología reinante, las configuraciones operativas, el modo de operación de las dependencias ATC y las características operacionales de los operadores aéreos. Estos

	<b>DIRECCIÓN DE SERVICIOS A LA NAVEGACIÓN AÉREA</b> <b>UNIDAD DE GESTIÓN DE AFLUENCIA DE TRÁNSITO AÉREO</b> <b>FMU COLOMBIA</b> <a href="mailto:cfmu.dsna@aerocivil.gov.co">cfmu.dsna@aerocivil.gov.co</a>	PAG. 2/46
		FEBRERO 2009

son factores que pueden determinar incrementos o reducciones en los valores de la capacidad de pista de un aeródromo.

### 3. CONSIDERACIONES

Es necesario resaltar algunas consideraciones de carácter general que están enmarcadas dentro del propósito de este documento que como guía a los prestadores de servicios ATS, contribuye con la finalidad del ATFM.

La finalidad del Servicio de Gestión de la Afluencia de Tránsito aéreo y Capacidad (ATFCM) es la de lograr balancear la demanda solicitada con la capacidad declarada a fin de, evitar sobrecargas en el sistema de tránsito aéreo mejorando la optimización del espacio aéreo y aeropuertos, obteniendo con esto que las aeronaves cumplan con sus horarios de partida, llegada y vuelen sin desperdicio de combustible, utilizando al máximo la capacidad de la infraestructura aeronáutica disponible con un mejor aprovechamiento del espacio aéreo, dentro de los patrones internacionales de seguridad de vuelo. De igual manera el servicio ATFCM tiene como misión detectar puntos focales susceptibles de ser analizados como objeto de mejora para la gestión de capacidad correspondiente a las necesidades de la demanda de tránsito aéreo.

Para poder gestionar este equilibrio entre la demanda y la capacidad es necesario además de conocer la demanda actual y la demanda pronosticada esperada, establecer una línea base de capacidad en base a un cálculo analítico, analizar las consecuencias que la demanda esperada tendrá sobre la capacidad actual, identificar las limitaciones del sistema actual y las posibles mejoras previo análisis costo beneficio de las mismas, identificar las prioridades y desarrollar un plan de mejoramiento de la capacidad.

El concepto ATFCM se aplica a toda actividad relacionada con la Gestión de la Afluencia y Capacidad del Tránsito, de forma que no solamente se asegure que todas las aeronaves efectúen vuelos de forma segura, ordenada y expedita, sino también que la totalidad del tránsito controlado en un determinado punto o en un área determinada sea compatible con la capacidad declarada del sistema de control del tránsito aéreo.

### 4. GENERALIDADES

Cada aeropuerto tiene un límite en cuanto al número de operaciones de aeronaves que el sistema de pista y calles de rodaje pueden acomodar. Este límite se identifica como la capacidad del aeródromo. La capacidad del aeródromo es evaluada en periodos de una hora para el sistema de pista/calles de rodaje. El análisis Demanda/Capacidad busca identificar la capacidad del aeródromo y definir que mejoras, si existiesen, pueden ser necesarias para atender la demanda futura.

Para la determinación de la capacidad aeroportuaria existen varios métodos o modelos de tipo empírico, analítico, de colas y manuales. El presente estudio se basa en la aplicación de la teoría relacionada con la práctica del cálculo de la capacidad de pista y con los factores que

	<b>DIRECCIÓN DE SERVICIOS A LA NAVEGACIÓN AÉREA</b> <b>UNIDAD DE GESTIÓN DE AFLUENCIA DE TRÁNSITO AÉREO</b> <b>FMU COLOMBIA</b> <a href="mailto:cfmu.dsna@aerocivil.gov.co">cfmu.dsna@aerocivil.gov.co</a>	PAG. 3/46
		FEBRERO 2009

determinan, por interferencia, la variación de sus índices, los cuales serán utilizados como parámetros que permitan mantener una operación eficiente en el aeródromo.

Para la determinación de la capacidad de pista se consideran los siguientes factores:

#### **4.1. FACTORES DE PLANIFICACIÓN**

Los elementos operacionales influyentes en los cuales se basa el estudio para simplificar los modelos matemáticos son los siguientes:

- Condiciones óptimas de secuenciamiento y coordinación de tránsito aéreo;
- Ayudas a la navegación aérea (visuales y no visuales), técnica y operacionalmente, sin restricciones.
- Equipos de comunicaciones (VHF/telefonía) operacionales.

#### **4.2. FACTORES RELACIONADOS CON LAS OPERACIONES DE ATERRIZAJE Y DESPEGUE**

- Tiempo medio de ocupación de pista.
- Mezcla de aeronaves.
- Porcentaje de utilización de pista.
- Longitud del segmento de aproximación final.
- Separación requerida por estela turbulenta.
- Separación mínima radar reglamentaria.
- Configuración de pista y calles de rodaje.
- Velocidad de aproximación final.

Para el Sistema Nacional de Espacio Aéreo, el método de cálculo de capacidad de pista considera la posibilidad de ocurrir un despegue entre dos aterrizajes consecutivos logrando mantener las separaciones mínimas reglamentarias descritas en los documentos correspondientes, esta capacidad de pista es calculada para un intervalo de 60 minutos, en función del tiempo promedio de ocupación de pista.

#### **4.3. ELEMENTOS QUE AFECTAN LA CAPACIDAD DE PISTA**

Existen varios factores que en un momento dado tienen un efecto en la capacidad de una pista, los cuales a su vez tienen un peso de implicación en el valor de la capacidad, los factores más frecuentes son:

##### **4.3.1. SEPARACIONES LONGITUDINALES Y LATERALES MÍNIMAS ENTRE AERONAVES**

Las separaciones son utilizadas como medida de seguridad tanto para evitar colisiones, como para que una aeronave no sea afectada por la estela turbulenta de otra, efecto el cual se acentúa en las fase final del aterrizaje y durante la fase inicial del despegue, esto debido a las bajas velocidades de operación.



Las mínimas de separación por estela turbulenta entre aeronaves son aplicadas en minutos, sin embargo si se consigue trabajar bajo un ambiente Radar estas separaciones serán aplicadas en distancia (NM). La aplicación de separaciones por estela turbulenta en Millas Náuticas durante el tramo de aproximación Intermedia y Final facilitan y mejoran la capacidad de un aeropuerto.

### MÍNIMAS DE SEPARACIÓN LONGITUDINAL POR TURBULENCIA DE ESTELA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO

1 aeronave 2 aeronave	LIGERA	MEDIA	PESADA
LIGERA	N/A	180 sg	180 sg
MEDIA	N/A	N/A	120 sg
PESADA	N/A	N/A	150 sg

### MÍNIMAS DE SEPARACIÓN LONGITUDINAL POR TURBULENCIA DE ESTELA EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA

1 aeronave 2 aeronave	LIGERA	MEDIA	PESADA
LIGERA	N/A	5NM	6 NM
MEDIA	N/A	N/A	5 NM
PESADA	N/A	N/A	4 NM

Las mínima de separación por estela turbulenta entre aeronaves de igual categoría, puede en algún momento, ser reducida a reserva de las capacidades del sistema radar y de presentación de la situación (visualización radar), hasta una separación radar de 5,6 km (3 NM) entre aeronaves en el mismo localizador ILS.

#### 4.3.2. CONFIGURACION DE PISTAS

La orientación y distancia entre pistas de aterrizaje determinan la interferencia de los movimientos de una de ellas, en relación a las otras pistas del aeropuerto, esto conlleva a que su configuración sea uno de los factores que más limita la capacidad.

En relación a la configuración de pistas los análisis correspondientes llevan a que la mejor manera de lograr el equilibrio entre la Capacidad y Demanda de un aeropuerto, es el diseño de pistas paralelas, incrementando la capacidad y la eficiencia del mismo. Generalmente, el impulso que genera la consideración para implementar las operaciones simultáneas (dependientes o independientes) en pistas de vuelo por instrumentos paralelas o casi paralelas en condiciones IMC, proviene de la necesidad de aumentar la capacidad en los aeródromos de mucho tráfico.

El aumento de la capacidad puede lograrse, ya sea utilizando las pistas paralelas existentes con más eficiencia, o ya sea construyendo nuevas pistas. Dado que el costo de la segunda opción puede ser muy elevado en un momento dado, en un aeródromo en el cual existan pistas paralelas y que cada una de ellas este equipada con equipos ILS puede aumentarse la

capacidad si estas pistas se utilizan con seguridad, de manera simultánea e independiente en incluso en condiciones IIMC.

#### 4.3.2.1. FACTORES QUE INFLUYEN EN LAS OPERACIONES SIMULTANEAS EN PISTAS DE VUELO POR INSTRUMENTOS PARALELAS

##### a. APROXIMACIONES PARALELAS SIMULTÁNEAS

- Aproximaciones Paralelas Independientes: Aproximaciones simultaneas a pistas de vuelo por instrumentos, paralelas o casi paralelas, cuando no se prescriben mínimos de separación radar entre aeronaves situadas en las prolongaciones de ejes de pista adyacentes.

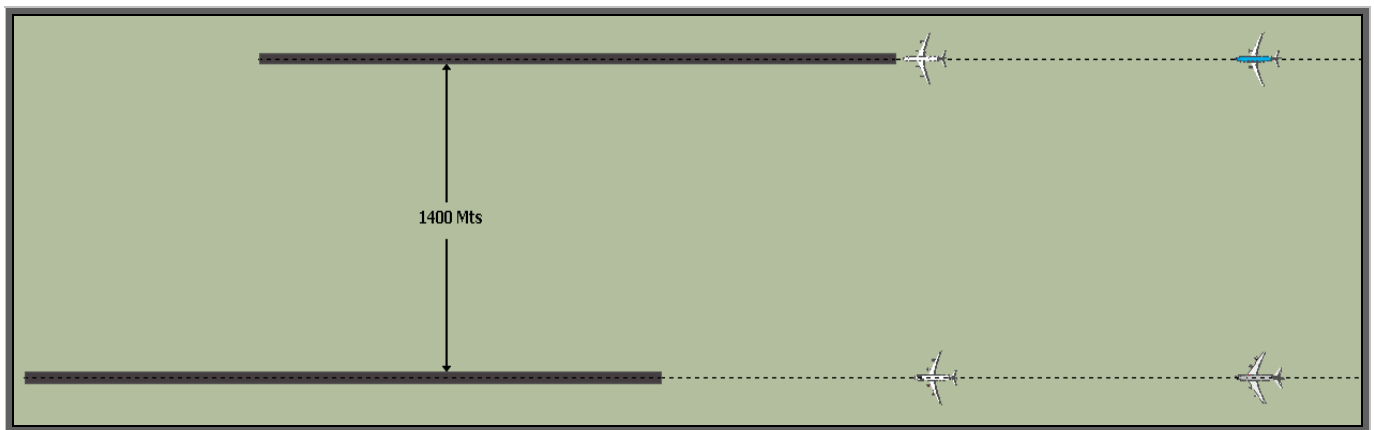


Figura 1.

- Aproximaciones Paralelas Dependientes: Aproximaciones simultaneas a pistas de vuelo por instrumentos, paralelas o casi paralelas, cuando se prescriben mínimos de separación radar entre aeronaves situadas en las prolongaciones de ejes de pista adyacentes.

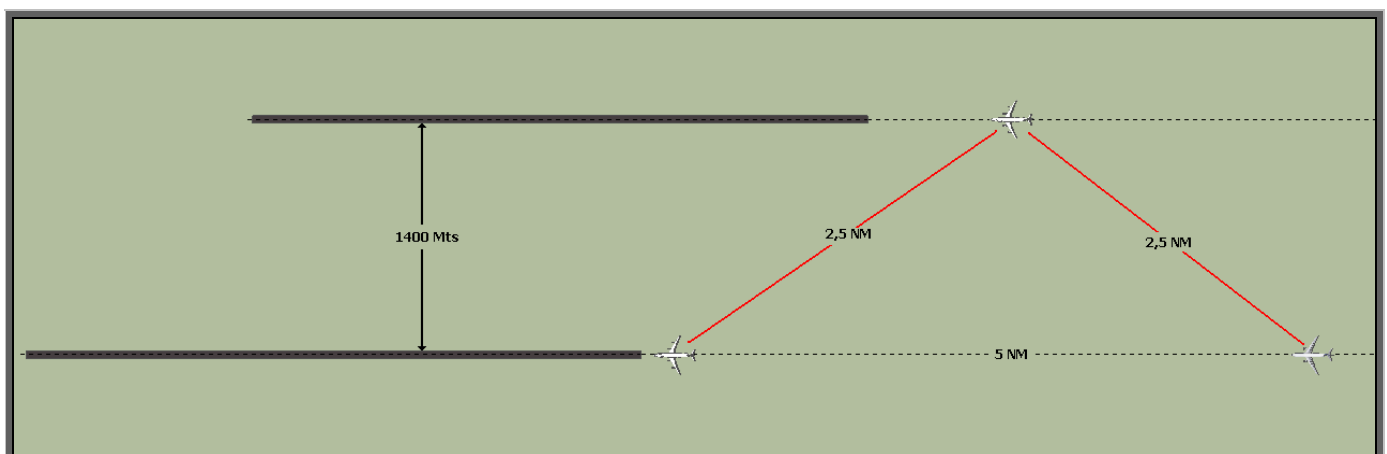


Figura 2.

Ejemplo:

Si la mínima de separación radar prescrita (lateral/diagonal) es de 2.5 NM,

El valor de \*5 NM se obtiene a partir del siguiente cálculo:

$$2 * \sqrt{(2,5 \text{ NM})^2 - (1400\text{m})^2}$$

#### **b. CONDICIONES METEOROLOGICAS**

Durante condiciones meteorológicas adversas tanto pilotos como controladores realizan las operaciones “bajo mayor cautela” y las separaciones son ampliadas, con una consecuente baja de la capacidad.

#### **c. DEMANDA DE DESPEGUES Y ATERRIZAJES**

Una gran concentración de despegues o en su defecto aterrizajes, pueden alterar la afluencia de tránsito de un aeropuerto, así pues, retrasos en las operaciones de despegue pueden producir problemas de ocupación de plataformas y restricciones en los aterrizajes, en tal sentido el secuenciamiento de aterrizajes puede ser afectada por la configuración de las pistas y calles de rodaje.

#### **d. CALIDAD Y DESEMPEÑO DE LOS SISTEMAS DE NAVEGACION, VIGILANCIA Y CONTROL**

Sistemas confiables y con buena precisión permiten disminuir la separación entre las aeronaves aumentando la capacidad. La posible utilización de un software de soporte a la decisión que auxilie al controlador a prever un mejor secuenciamiento de las aeronaves que se aproximen para aterrizar o a despegar confiere una mayor seguridad y racionalidad a las operaciones.

#### **e. UBICACIÓN Y TIPO DE CALLES DE RODAJE DE SALIDA DE PISTA**

Las calles de rodaje de salida de pista en una correcta ubicación permiten que las tripulaciones de aeronaves puedan abandonar la pista de aterrizaje tan pronto como puedan reducir suficientemente la velocidad. Si la salida de pista es rápida, o sea, si esta hace un ángulo inferior a 90° en sentido del aterrizaje, no existe la necesidad de una drástica reducción de velocidad, con lo cual el tiempo de ocupación de pista disminuye.

#### **f. FACTORES MEDIOAMBIENTALES**

El ruido puede llegar a restringir la operación sobre determinadas áreas habitadas ocasionando una restricción adicional para ser considerada en la determinación de los procedimientos de llegada y salida de un aeropuerto.

### **4.4. RECOLECCION DE DATOS**

Con el objeto de obtener una mayor precisión, la toma de datos será efectuada en la hora pico,

	<b>DIRECCIÓN DE SERVICIOS A LA NAVEGACIÓN AÉREA</b> <b>UNIDAD DE GESTIÓN DE AFLUENCIA DE TRÁNSITO AÉREO</b> <b>FMU COLOMBIA</b> <a href="mailto:cfmu.dsna@aerocivil.gov.co">cfmu.dsna@aerocivil.gov.co</a>	PAG. 7/46
		FEBRERO 2009

visto que en estos horarios la afluencia de tránsito aéreo tiene mayor fluidez, reduciendo el tiempo de ocupación de la pista. En caso que la recolección efectuada no abarque todas las categorías, se podrá hacer una complementación por fuera de la hora pico o incluso en días distintos.

## 5. DEFINICIONES

**AAR Potencial:** El régimen de aceptación Teórico de aeronaves para un umbral de pista antes de tomar en cuenta, si es el caso, los factores de ajuste. El AAR potencial es el valor que la DSNA a determinado como capacidad declarada para dicho cálculo.

**AAR Real:** Es el AAR potencial en el umbral de pista, revisado con base en los factores de ajuste, este valor de AAR podrá ser calculado rápidamente por el supervisor o encargado del aeródromo y tendrá como numero base o de partida el valor de capacidad declarado oficialmente por la DSNA (AAR Potencial), a fin de ser aplicado, en caso necesario, debido a alguna reducción de capacidad por condiciones MET en la aproximación o en el Aeródromo. Siendo este un valor de AAR potencial resultado de la operación matemática correspondiente, teniendo en cuenta una separación base, más una separación adicional requerida de acuerdo a las condiciones operacionales.

***AAR POTENCIAL= CAPACIDAD DECLARADA***

***AAR REAL= GS / (SEPARACIÓN REQUERIDA + SEPARACIÓN ADICIONAL POR FACTORES DE AJUSTE)***

**Capacidad Declarada:** Medida de la capacidad del sistema ATC o cualquiera de sus subsistemas o puestos de trabajo para proporcionar servicio a las aeronaves durante el desarrollo de las actividades normales. Se expresa como el número de aeronaves que entran a una porción concreta del espacio aéreo en un período determinado, teniendo debidamente en cuenta las condiciones meteorológicas, la configuración de la dependencia ATC, su personal y equipo disponible, y cualquier otro factor que pueda afectar al volumen de trabajo del controlador responsable del espacio aéreo.

**Capacidad Declarada de Pista (CDP):** Capacidad de pista plenamente sostenible desde el punto de vista operacional resultante del valor aplicable de los anteriores teniendo en cuenta parámetros que interfieren directa o indirectamente en el modo de operación de las dependencias ATC. Este valor es el resultado del análisis de todas las variables que pueden afectar a los valores calculados, como meteorología y, finalmente es el valor a ser efectivamente divulgado.

**Nota:** El valor de Capacidad Declarada será determinado por la Dirección de Servicios a la Navegación Aérea (DSNA) y por medio de un constante análisis a su aplicación establecerá un valor de capacidad sostenible de operaciones por un periodo de tiempo determinado.

**Capacidad de Pista:** Número máximo de operaciones de despegue y aterrizaje combinadas que se puede alcanzar en una determinada pista, bajo condiciones definidas, para periodos de tiempo especificados.

**Nota 1:** La capacidad de pista se establece para cada umbral en uso. Si se requiere establecer un valor de capacidad teniendo en cuenta los dos umbrales, se debe utilizar el valor de la media aritmética ponderada de los dos valores encontrados, en función del porcentaje de utilización de cada uno de acuerdo a los datos estadísticos de operación.

**Nota 2:** Para análisis específicos, el cálculo de capacidad de pista presenta cuatro valores característicos que se definen a continuación:

**Capacidad Física de Pista (CFP):** Capacidad de pista calculada, para un intervalo de sesenta minutos, en función del tiempo de ocupación de pista (TOP). Proceso simplificado que tiene por finalidad proporcionar el primer indicativo para los valores de capacidad del aeródromo. El valor obtenido se aplica a aeródromos donde la demanda de tránsito aéreo no ha alcanzado niveles de congestión.

**Capacidad Física de Aeródromo (CFA):** Capacidad del aeródromo teniendo en cuenta la capacidad física de la pista considerando el porcentaje de utilización de cada umbral.

**Capacidad Teórica de Pista (CTP):** Capacidad de pista calculada, para un intervalo de sesenta minutos, en función del tiempo de ocupación de pista (TOP) teniendo en cuenta la separación reglamentaria aplicable entre aeronaves, las normas y procedimientos específicos aplicables a las operaciones aéreas en el aeropuerto. El valor obtenido se aplica a 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 del ATC, del aeropuerto y de los operadores aéreos.

**Categoría de Aeronave (CAT):** Categorías de aeronave subdivididas en cinco grupos: A, B, C, D y E definidas en función de la velocidad de cruce del umbral ( $V_{at}$ ), que es 1.3 del valor de velocidad de pérdida (STALL), en la configuración de aterrizaje (full flaps, gear down), de acuerdo a la tabla siguiente:

CAT	Vat
A	$< 91 \text{ Kt}$
B	$91 < o \leq 120 \text{ Kt}$
C	$121 < o \leq 140 \text{ Kt}$
D	$141 < o \leq 165 \text{ Kt}$
E	$166 < o \leq 210 \text{ Kt}$

**Configuración Principal de las Pistas del Aeródromo:** La configuración de cada aeródromo que maneja el 3 por ciento o más de las operaciones anuales.

**Factores de Ajuste:** Estos son los factores que deben ser tomados en cuenta para poder establecer el AAR Real, los principales factores a ser considerados para un ajuste del ARR Potencial son:

- Las condiciones meteorológicas.
- Las condiciones de la pista.
- La disposición general de las calles de rodaje.
- El espacio en plataforma.
- Las instalaciones aeroportuarias.
- Utilización de pistas (de llegada y salida que se cruzan).
- Limitaciones de procedimientos (atenuación del ruido, procedimientos de aproximación frustrada, procedimientos de salida).

**Nota:** Pueden llegar a ser considerados otros factores no descritos anteriormente que en algún momento lleguen a afectar los valores del AAR Real.

**Media Aritmética de los Tiempos de Ocupación de Pista (MATOP):** Es el tiempo resultante de la media aritmética entre TOPD y TOPA por categoría de aeronave.

**MIX de Aeronaves (MIX):** Distribución porcentual del número de aeronaves en operación en el aeródromo, conforme a sus categorías (CAT). El MIX de aeronaves para aeródromos deber ser calculado a partir del movimiento total diario de acuerdo a un análisis estadístico.

**Porcentaje de Utilización de Pista (PU):** Índice calculado a partir del análisis estadístico de la operación del aeródromo. Se obtiene por medio de la media aritmética de un muestreo estadístico.

**Régimen de Aceptación de Aeródromo (AAR):** Se define como la cantidad de aeronaves entrantes que un aeródromo conjuntamente con las condiciones meteorológicas, la capacidad del espacio aéreo terminal, el espacio en plataforma, el espacio para estacionamiento y las instalaciones puede aceptar por hora.

**Separación de Seguridad (SS):** Se define separación como el término genérico usado para describir la acción de los servicios de tránsito aéreo (ATS) para mantener los aviones en operación en una misma área general en tales distancias que el riesgo de colisión está mantenido debajo de un nivel aceptable de seguridad. Tal separación se puede aplicar horizontalmente y verticalmente. La separación requerida entre el avión se expresa generalmente en términos de distancias mínimas en cada dimensión que no deba ser infringida simultáneamente, así pues la Separación de Seguridad es el cálculo de una distancia de seguridad para ser sumada a la separación mínima reglamentaria, entre las aeronaves en aproximación, con el fin de posibilitar el despegue de una aeronave, luego del aterrizaje de la primera, sin comprometer la separación reglamentaria con la segunda aeronave en aproximación, en caso de presentarse un procedimiento de Aproximación Frustrada.

**Tiempo de Ocupación de Pista (TOP):** Tiempo consumido por la aeronave durante la operación de despegue (TOPD) o aterrizaje (TOPA). Es decir, el tiempo contado desde el momento en que la aeronave abandona el punto de espera hasta el momento en que cruza el extremo de la pista, para la operación de despegue, o desde el momento en que la aeronave cruza el umbral hasta el momento en que abandona la pista, en la operación de aterrizaje.

	<b>DIRECCIÓN DE SERVICIOS A LA NAVEGACIÓN AÉREA</b> <b>UNIDAD DE GESTIÓN DE AFLUENCIA DE TRÁNSITO AÉREO</b> <b>FMU COLOMBIA</b> <a href="mailto:cfmu.dsna@aerocivil.gov.co">cfmu.dsna@aerocivil.gov.co</a>	PAG. 10/46
		FEBRERO 2009

**Tiempo de vuelo SAF (TSAF):** tiempo consumido por la aeronave en vuelo entre el marcador exterior (OM) y el umbral de la pista (THR).

**Tiempo Medio de Ocupación de Pista (TMOP):** Es el tiempo resultante de la 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.

**Tiempo medio de vuelo SAF (TM):** media aritmética de los TSAF por categoría de aeronave.

**Tiempo de Ocupación de pista en Despegue (TOPD):** Tiempo desde el momento en que la aeronave abandona el punto de espera hasta el momento en que cruza el extremo de pista en sentido de despegue.

**Tiempo de Ocupación de pista en Aterrizaje (TOPA):** Tiempo desde el momento en que la aeronave cruza el umbral de la pista en el sentido del aterrizaje hasta el momento en que la abandona.

**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.

**Velocidad de aproximación final (VA):** Velocidad necesaria para recorrer el segmento de aproximación final (SAF) para aterrizaje.

## 6. DETERMINACIÓN DE AAR REAL

Se establecerán los valores del AAR Real para la configuración general de las pistas de cada aeródromo, teniendo en consideración las siguientes condiciones meteorológicas:

- VMC marginal: Las condiciones meteorológicas no permiten guías vectoriales para aproximaciones visuales, pero es posible la separación visual en la aproximación final.
- Condiciones meteorológicas de vuelo por instrumentos (IMC): Las aproximaciones visuales y la separación visual en la aproximación final no son posibles.

## PROCEDIMIENTO

Utilizando el valor de la capacidad Declarada (AAR POTENCIAL):

- Determine la velocidad promedio con respecto al suelo (GS) al atravesar el umbral de pista de la flota de aeronaves que utilizan normalmente este aeródromo.
- Determine el espaciamiento en millas náuticas (NM) que se requiera entre las llegadas sucesivas.
- Divida la velocidad con respecto al suelo (GS) entre el espaciamiento para determinar el AAR potencial.



**UTILIZANDO LA FORMULA:** La velocidad con respecto al suelo en el umbral de pista, expresada en nudos, dividida entre el espaciamento en el umbral de pista, expresado en millas.

**NOTA:** Cuando el cociente es una fracción, redondear al próximo número entero inferior

Ejemplo 1:

$$130 \text{ KTS} / 5 \text{ NM} = 26$$

Capacidad Declarada = AAR potencial = 26 llegadas por hora.

Debido a condiciones MET, se solicita ampliar la separación entre llegadas sucesivas a 7 Millas Náuticas.

$$130 \text{ KTS} / (5 \text{ NM} + 2 \text{ NM}) = 18.57 \text{ redondear hacia abajo} = 18.$$

AAR REAL = 18 llegadas por hora.

O, utilizar el **METODO DE TABLA** para determinar el AAR REAL.

**TABLA: AAR REAL**

MILLAS NAUTICAS ENTRE AERONAVES EN EL UMBRAL DE PISTA										
VELOCIDAD (GS) EN EL UMBRAL DE PISTA	3	3.5	4	4.5	5	6	7	8	9	10
	AAR REAL									
140 Kts	46	40	35	31	28	23	20	17	15	14
130 Kts	43	37	32	28	26	21	18	16	14	13
120 Kts	40	34	30	26	24	20	17	15	13	12
110 Kts	36	31	27	24	22	18	15	13	12	11

Ejemplo:

CONFIGURACION DE PISTAS	CAPACIDAD DECLARADA (AAR POTENCIAL)	AAR PARA VMC MARGINAL	AAR PARA IMC
RWY 10	24	21	19
RWY 28	23	20	17

Consideraciones adicionales:

El responsable por el establecimiento e implantación de los AAR REAL en aeródromos será el Supervisor o Encargado de turno del Aeródromo quien informara los valores de AAR REAL para dicho aeródromo a la FMU Colombia, la cual a su vez será la encargada de la respectiva publicación.

	<b>DIRECCIÓN DE SERVICIOS A LA NAVEGACIÓN AÉREA</b> <b>UNIDAD DE GESTIÓN DE AFLUENCIA DE TRÁNSITO AÉREO</b> <b>FMU COLOMBIA</b> <a href="mailto:cfmu.dsna@aerocivil.gov.co">cfmu.dsna@aerocivil.gov.co</a>	PAG. 12/46  FEBRERO 2009
---	---	-----------------------------------

## **7. CÁLCULO DE CAPACIDAD FÍSICA PISTA (CFP)**

### **7.1. METODOLOGÍA**

Esta metodología se basa en un modelo matemático que se desarrolla luego de la recolección de datos del aeropuerto. El proceso realizado se presenta a continuación:

#### **7.1.1. DETERMINACIÓN DE TIEMPO DE OCUPACIÓN DE PISTA (TOP)**

Para la determinación del TOP se deberá recolectar datos por cronometraje en la torre de control y con información radar, utilizando los formatos (01 y 02) siguientes PLANILLA TOMA DE DATOS – TOPA – y – TOPD - para su registro. (Apéndice A).





### 7.1.2. CÁLCULO DE LA MEDIA ARITMÉTICA DE LOS TIEMPOS DE OCUPACIÓN DE PISTA EN DESPEGUE Y ATERRIZAJE (MTOPE/MTOPA) POR CATEGORÍA DE AERONAVES

Los tiempos de ocupación de pista recolectados, tanto en despegue como en aterrizaje, se deberán clasificar por categoría de aeronaves para luego calcular la media aritmética de esos tiempos (MTOPE y MTOPEA) por categoría. Para dicho cálculo se utilizó el formato MTOPEA y MTOPE.

<b>MEDIA ARITMÉTICA DE LOS TIEMPOS DE OCUPACIÓN DE PISTA DURANTE EL ATERRIZAJE POR CATEGORÍA DE AERONAVES (MTOPEA)</b>		
<b>AERÓDROMO: PISTA LIBRE</b>	<b>PISTA: 10</b>	
$\sum TOPA_{CAT X} / N^{\circ} ACFT_{CAT X}$	<b>CAT</b>	<b>TIEMPO (seg)</b>
	A	50
	B	50
	C	90
	D	90
	E	-
<b>MEDIA ARITMÉTICA DE LOS TIEMPOS DE OCUPACIÓN DE PISTA DURANTE EL DESPEGUE POR CATEGORÍA DE AERONAVES (MTOPE)</b>		
$\sum TOPD_{CAT X} / N^{\circ} ACFT_{CAT X}$	<b>CAT</b>	<b>TIEMPO (seg)</b>
	A	120
	B	120
	C	90
	D	90
	E	-
<b>MEDIA ARITMETICA DE LOS TIEMPOS DE OCUPACION DE PISTA POR CATEGORIA DE AERONAVES (MATOP)</b>		
$(\sum MTOPEA + \sum MTOPE) / 2$	<b>CAT</b>	<b>TIEMPO (seg)</b>
	A	<b>MATOP<sub>A</sub></b>
	B	<b>MATOP<sub>B</sub></b>
	C	<b>MATOP<sub>C</sub></b>
	D	<b>MATOP<sub>D</sub></b>
	E	<b>MATOP<sub>E</sub></b>

**MEDIA ARITMÉTICA DE LOS TIEMPOS DE OCUPACIÓN DE PISTA DURANTE EL  
 ATERRIZAJE POR CATEGORÍA DE AERONAVES (MTOPA)**

**AERÓDROMO: PISTA LIBRE**

**PISTA: 28**

$\Sigma TOPA_{CAT X} / N^{\circ} ACFT_{CAT X}$	TIEMPO (seg)	
	CAT	
	A	46
	B	44
	C	95
	D	94
E	-	

**MEDIA ARITMÉTICA DE LOS TIEMPOS DE OCUPACIÓN DE PISTA DURANTE EL  
 DESPEGUE POR CATEGORÍA DE AERONAVES (MTPD)**

$\Sigma TOPD_{CAT X} / N^{\circ} ACFT_{CAT X}$	TIEMPO (seg)	
	CAT	
	A	120
	B	120
	C	90
	D	90
E	-	

**MEDIA ARITMETICA DE LOS TIEMPOS DE OCUPACION DE PISTA POR CATEGORIA  
 DE AERONAVES (MATOP)**

$(\Sigma MTOPA + \Sigma MTPD) / 2$	CAT	TIEMPO (seg)
	A	$MATOP_A$
	B	$MATOP_B$
	C	$MATOP_C$
	D	$MATOP_D$
	E	$MATOP_E$

### 7.1.3. CÁLCULO DE LA MEDIA ARITMÉTICA DE LOS TIEMPOS DE OCUPACIÓN DE PISTA POR CATEGORÍA DE AERONAVES (MATOP).

Luego del registro de datos en el formato 3, se calculó la media aritmética, por categoría de aeronaves, entre esos tiempos como se describe a continuación:

<b>PISTA</b>	<b>10</b>
$\text{MATOP}_A = \frac{\text{MTOPD}_A + \text{MTOPA}_A}{2}$	<b>85 SEG</b>
$\text{MATOP}_B = \frac{\text{MTOPD}_B + \text{MTOPA}_B}{2}$	<b>85 SEG</b>
$\text{MATOP}_C = \frac{\text{MTOPD}_C + \text{MTOPA}_C}{2}$	<b>90 SEG</b>
$\text{MATOP}_D = \frac{\text{MTOPD}_D + \text{MTOPA}_D}{2}$	<b>90 SEG</b>
$\text{MATOP}_E = \frac{\text{MTOPD}_E + \text{MTOPA}_E}{2}$	---
Formato 04	

<b>PISTA</b>	<b>28</b>
$\text{MATOP}_A = \frac{\text{MTOPD}_A + \text{MTOPA}_A}{2}$	<b>83 SEG</b>
$\text{MATOP}_B = \frac{\text{MTOPD}_B + \text{MTOPA}_B}{2}$	<b>82 SEG</b>
$\text{MATOP}_C = \frac{\text{MTOPD}_C + \text{MTOPA}_C}{2}$	<b>92 SEG</b>
$\text{MATOP}_D = \frac{\text{MTOPD}_D + \text{MTOPA}_D}{2}$	<b>92 SEG</b>
$\text{MATOP}_E = \frac{\text{MTOPD}_E + \text{MTOPA}_E}{2}$	---
Formato0 4	

#### 7.1.4. DETERMINACIÓN DEL MIX DE AERONAVES

Para la determinación del MIX de aeronaves se efectúa un análisis estadístico del último año a fin de obtener los valores:

PISTA	10	PISTA	28
CAT	PORCENTAJE %	CAT	PORCENTAJE %
A	5	A	5
B	27	B	27
C	63	C	63
D	5	D	5
E	0	E	0

Formato 05

#### 7.1.5. CALCULO TIEMPO MEDIO PONDERADO DE OCUPACIÓN DE PISTA (TMOP)

Este valor de tiempo se obtiene al ponderar los tiempos medios de ocupación de pista en despegue y aterrizaje (MATOP) para cada categoría de aeronaves con el MIX de aeronaves.

##### PISTA 10

$$TMOP = \sum (MATOP_{CATX} \cdot MIX_{CATX}) / 100$$

##### PISTA 28

$$TMOP = \sum (MATOP_{CATX} \cdot MIX_{CATX}) / 100$$

El tiempo medio ponderado de ocupación de la pista 10 calculado es el siguiente:

$$TMOP\ 10 = 88\ SEG$$

$$TMOP\ 28 = 88.8 = 89\ SEG$$

#### 7.1.6. CAPACIDAD FÍSICA DE PISTA (CFP)

El valor de capacidad física de pista se determina por medio de la división del intervalo de una hora en segundos (3600seg), entre el tiempo medio de ocupación de cada pista (TMOP), en segundos.

##### PISTA 10

$$CFP = 3600 / TMOP$$

$$CFP\ 10 = 40.9 = 41$$

##### PISTA 28

$$CFP = 3600 / TMOP$$

$$CFP\ 28 = 40.4 = 40$$



### 7.1.7. PORCENTAJE DE UTILIZACION DE PISTA (PU)

Este valor es calculado a partir del total de los movimientos mensuales, los porcentajes son ponderados con las capacidades de cada pista, posibilitando de esta forma un único valor como resultado final.

MOVIMIENTO MENSUAL DE AERONAVES			
MES	PISTA 10	PISTA 28	MOV. MENSUAL
ENERO	7622	2631	10253
FEBRERO	6364	3229	9593
MARZO	9239	2409	11648
ABRIL	9965	1184	11149
MAYO	10811	896	11707
JUNIO	11280	291	11571
JULIO	11637	620	12257
AGOSTO	12145	263	12408
SEPTIEMBRE	11687	273	11960
OCTUBRE	9177	2184	11361
NOVIEMBRE	7765	2936	10701
DICIEMBRE	7487	2665	11152
TOTAL	115179	20581	135760

PISTA	% DE UTILIZACION (PU)
PISTA 10	86
PISTA 28	14
TOTAL	100

Formato 06

A partir de estos valores de porcentaje anual de uso de pista y sus valores de capacidad física de pista, se efectúa la ponderación de estos datos para la obtención de la capacidad física del aeródromo.

	<p style="text-align: center;"> <b>DIRECCIÓN DE SERVICIOS A LA          NAVEGACIÓN AÉREA</b>  <b>UNIDAD DE GESTIÓN DE AFLUENCIA DE          TRÁNSITO AÉREO</b>  <b>FMU COLOMBIA</b>  <a href="mailto:cfmu.dsna@aerocivil.gov.co">cfmu.dsna@aerocivil.gov.co</a> </p>	PAG. 20/46
		FEBRERO 2009

### 7.1.8. CALCULO DE CAPACIDAD FISICA DEL AERÓDROMO (CFA)

$$CFA = \sum (CFP_{PISTAX} \cdot \%UTIL_{PISTAX}) / 100$$

$$CFA = 40.86 = 41$$

## 8. CÁLCULO DE CAPACIDAD TEÓRICA DE LA PISTA (CTP)

La capacidad teórica de pista se calcula, para un intervalo de sesenta minutos, en función del tiempo medio de ocupación de pista (TMOP), considerando **la separación reglamentaria aplicable entre aeronaves, así como los factores de planificación y los factores relativos a las operaciones de aterrizaje y despegue del aeródromo.**

### 8.1. METODOLOGÍA

Para el cálculo de la capacidad teórica de pista se utilizaron los datos referentes al Tiempo de Ocupación de Pista, el MIX de las Aeronaves y el Tiempo de Ocupación Medio de Pista utilizados durante el cálculo de la Capacidad Física de Pista.

Adicionalmente se deberán efectuar una serie de cálculos basados en la recolección de datos relacionados con el segmento de aproximación final, que son registrados en el formato 7 (TSAF).



**DIRECCIÓN DE SERVICIOS A LA  
NAVEGACIÓN AÉREA  
UNIDAD DE GESTIÓN DE AFLUENCIA DE  
TRÁNSITO AÉREO  
FMU COLOMBIA**

[cfmu.dsna@aerocivil.gov.co](mailto:cfmu.dsna@aerocivil.gov.co)

PAG. 21/46

FEBRERO  
2009

**PLANILLA TOMA DE DATOS - TSAF -**

1. AERÓDROMO

2. FECHA

5. PISTA

3. HORA INICIO

4. HORA FINAL.

6. METAR / SPECI

7. MATRICULA / Nro. DE VUELO	8. TIPO DE AERONAVE	9. CAT. ACFT					10. TIEMPO DE VUELO 5NM AL UMBRAL			11. TIPO DE APROXIMACION	12. OBSERVACIONES
		A	B	C	D	E					
AVA9331	EA320			X			12:02:10	12:05:35	00:03:25	ILS	

13. NOMBRE DEL \_\_\_\_\_

14. FIRMA \_\_\_\_\_

## 8.2. DETERMINACIÓN DE LOS TIEMPOS DE VUELO SAF (TSAF)

Se recolectaron los TSAF cronometrados utilizando el formato 7 (TSAF), considerando las diversas categorías de aeronaves que operan en el aeródromo y se calculan las respectivas medias aritméticas TM (Tiempo Medio de Vuelo SAF), que se relacionan a continuación:

$$TM_A = 176 \text{ SEG.}$$

$$TM_B = 138 \text{ SEG.}$$

$$TM_C = 108 \text{ SEG.}$$

$$TM_D = 95 \text{ SEG.}$$

## 8.3. CÁLCULO DE VELOCIDAD DE APROXIMACIÓN (VA) POR CATEGORÍA (NM/SEG).

Esta velocidad es el resultado de la división de la longitud del segmento de aproximación final entre el tiempo medio de vuelo SAF (TM) y los valores resultantes son:

$$VA_A = 0.0284 \text{ NM/SEG.}$$

$$VA_B = 0.0362 \text{ NM/SEG.}$$

$$VA_C = 0.0462 \text{ NM/SEG.}$$

$$VA_D = 0.0526 \text{ NM/SEG.}$$

## 8.4. CÁLCULO DE LA VELOCIDAD MEDIA PONDERADA DE APROXIMACIÓN FINAL (VMP) (NM/SEG).

Esta es la media ponderada de las velocidades de aproximación final (VA) donde se considera el MIX de aeronaves.

$$VMP = \sum (MIX_x * VA_x) / \sum MIX$$

$$VMP = 0.0448 \text{ NM/SEG}$$

## 8.5. CÁLCULO DE LA SEPARACIÓN DE SEGURIDAD (SS)

Este método de cálculo de capacidad prevé la posibilidad de que se efectúe un despegue entre dos aterrizajes consecutivos, para lo cual se debe aplicar una separación mínima reglamentaria (**SMR**) de 5 NM entre las aeronaves aterrizando en configuración de aproximaciones dependientes a pistas paralelas y despegando. Con este objetivo, se calculó una distancia de seguridad para ser sumada a la separación mínima reglamentaria, entre las aeronaves en aproximación, con el fin de posibilitar el despegue de una aeronave luego del aterrizaje de la primera sin comprometer la separación reglamentaria con la segunda aeronave en aproximación.

Al calcular la distancia recorrida en aproximación final por la segunda aeronave durante el tiempo en que la pista permanece ocupada, y al sumarla con la separación reglamentaria



mínima aplicada, se obtuvo la separación necesaria entre dos aterrizajes consecutivos. Esa distancia recorrida es el resultado de la multiplicación de la velocidad media ponderada en final (VMP), por el tiempo medio ponderado de ocupación de pista (TMOP).

$$\begin{aligned}SS &= VMP * TMOP \\SS &= 0.0448 * 88 = 3.94 = 4 \text{ NM}\end{aligned}$$

En configuración de pistas en el cual el tramo de aproximación final sea por referencia visual (Aproximación en Circuito) y en donde la separación en este ejercicio la pista 28 es usada únicamente en condiciones visuales.

$$\begin{aligned}SS &= VMP * MTOPA \\SS &= 0.026 * 70 = 1.82 = 2 \text{ NM}\end{aligned}$$

#### 8.6. CÁLCULO DE LA SEPARACIÓN TOTAL ENTRE DOS ATERRIZAJES (ST)

Teniendo en cuenta la separación de seguridad necesaria se determina la separación total (ST), resultado que se determina al sumar la separación de seguridad (SS) y la separación mínima reglamentaria (SMR).

$$\begin{aligned}ST &= SS + SMR \\ST &= 4 \text{ NM} + 5 \text{ NM} = 9 \text{ NM}\end{aligned}$$

En el caso de un aeropuerto en cual su configuración sea de pistas paralelas y su modo de operación corresponda a Operaciones Paralelas Segregadas (una pista solo para llegadas y otra solo para salidas) el calculo de separación total entre dos aterrizajes será tomada como el resultado de la separación de seguridad (SS).

$$\begin{aligned}ST &= SS + SMR \\ST &= 2 \text{ NM} + 0 = 2 \text{ NM}\end{aligned}$$

#### 8.7. CÁLCULO DEL TIEMPO MEDIO PONDERADO ENTRE DOS ATERRIZAJES CONSECUTIVOS (TMST)

Luego de determinar la separación total entre dos aterrizajes se calcula el tiempo medio ponderado requerido para recorrer la distancia de separación total (ST) entre dos aterrizajes consecutivos, el cual se obtuvo al dividir la distancia de la separación total (ST) entre la velocidad media ponderada del MIX de aeronaves (VMP).

$$\begin{aligned}TMST &= ST / VMP \\TMST &= 9 \text{ NM} / 0.0448 \text{ NM/SEG} = 200.89 \text{ SEG}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}TMST &= ST / VMP \\TMST &= 2 \text{ NM} / 0.0179 \text{ NM/SEG} = 111 \text{ SEG}\end{aligned}$$



### 8.8. CÁLCULO DEL NÚMERO DE ATERRIZAJES EN EL INTERVALO DE UNA HORA (A)

Para obtener el número de aterrizajes, con la separación correspondiente, en una hora, se divide el intervalo de tiempo entre el tiempo medio ponderado requerido para recorrer la separación total entre dos aterrizajes consecutivos (TMST).

$$A = 1 \text{ HORA} / \text{TMST}$$
$$A = 3600 \text{ SEG} / 200.89 \text{ SEG} = 17.92 = 18 \text{ ATERRIZAJES}$$

$$A = 1 \text{ HORA} / \text{TMST}$$
$$A = 3600 \text{ SEG} / 111 \text{ SEG} = 32 \text{ ATERRIZAJES}$$

### 8.9. CÁLCULO DEL NÚMERO DE DESPEGUES EN EL INTERVALO DE UNA HORA (D)

Dado que la determinación de la separación total (ST) tiene por objeto hacer posible un despegue entre dos aterrizajes consecutivos, sin infringir la separación mínima reglamentaria, se resta una aeronave del total de aterrizajes, para obtener el número de despegues posibles, en una hora.

$$D = A - 1$$
$$D = 18 - 1 = 17 \text{ DESPEGUES}$$

### 9. CÁLCULO DE LA CAPACIDAD TEÓRICA DE PISTA (CTP)

Para determinar la capacidad teórica de cada pista, se suma el número de aterrizajes encontrado con el número de despegues.

$$\text{CTP} = A + D$$
$$\text{CTP} = 17 + 17 = 34 \text{ AERONAVES}$$

En escenarios de pistas Paralelas se deberá calcular por separado los valores de Capacidad Teórica de cada una de las pistas y posteriormente acomodar este valor de acuerdo al Modo de operación.

Para el caso de operaciones de pista Paralela Segregada;

$$\text{CTP} = A$$
$$\text{CTP} = 32 \text{ AERONAVES}$$

### 10. CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DECLARADA DEL CONJUNTO DE PISTAS (CDP)

Se calcula la capacidad declarada teniendo en cuenta el porcentaje anual de utilización de pista.



### 10.1. DETERMINACION DE LA CAPACIDAD DECLARADA DEL CONJUNTO DE PISTAS (CDP)

La capacidad declarada del conjunto de pistas es la capacidad plenamente sostenible desde el punto de vista operacional, considerando el porcentaje de utilización anual de cada pista.

$$\text{CDP} = \frac{\text{PU}_{10}\text{CTP}_{10} + \text{PU}_{28}\text{CTP}_{28}}{\text{PU}_{10} + \text{PU}_{28}}$$

$$\text{CDP} = \frac{86 \cdot 34 + 14 \cdot 32}{86 + 14}$$

$$\text{CDP} = 33.72 = 34$$



**DIRECCIÓN DE SERVICIOS A LA  
NAVEGACIÓN AÉREA  
UNIDAD DE GESTIÓN DE AFLUENCIA DE  
TRÁNSITO AÉREO  
FMU COLOMBIA**

[cfmu.dsna@aerocivil.gov.co](mailto:cfmu.dsna@aerocivil.gov.co)

PAG. 26/46

FEBRERO  
2009





DIRECCIÓN DE SERVICIOS A LA  
NAVEGACIÓN AÉREA  
UNIDAD DE GESTIÓN DE AFLUENCIA DE  
TRÁNSITO AÉREO  
FMU COLOMBIA

[cfmu.dsna@aerocivil.gov.co](mailto:cfmu.dsna@aerocivil.gov.co)

PAG. 28/46

FEBRERO  
2009

### DESCRIPCION DE LOS CAMPOS DE LA PLANILLA DE TOMA DE DATOS - OPERACIÓN ATERRIZAJE

NOMBRE CAMPO	TIPO	CARACTERES	EJEMPLO	DESCRIPCION DEL CAMPO
1. AERÓDROMO	ALFABETICO	4	SKBO	INDICADOR DE LUGAR - OACI
2. FECHA	NUMERICO	6	05/09/2007	dd/mm/aaaa
3. HORA INICIO UTC	NUMERICO	4	14:30	hh :mm
4. HORA FINALIZACION UTC	NUMERICO	4	15:30	hh :mm
5. PISTA	ALFANUMERICO	3	13L	PISTA EN USO
6. INFORME MET DE LA HORA	ALFANUMERICO	---	METAR 262300Z	INFORMES MET ORDINARIOS Y ESPECIALES DE AERÓDROMO
7. MATRICULA / N° VUELO	ALFANUMERICO	7	AES 7990	MATRICULA DE AERONAVE O SI ES EL CASO N° DE VUELO
8. TIPO DE AERONAVE	NUMERICO	4	MD82	NOMENCLATURA INTERNACIONAL OACI
9. CATEGORIA DE ACFT	ALFABETICO	1	C	CATEGORIA POR VELOCIDAD EN APROX. FINAL (SE ESCRIBE UNA X)
10. TIEMPOS DE OCUPACION	NUMERICO	4	00:58	TIEMPOS DE OCUPACION DE LA PISTA (mm:ss)
11. NOMBRE DE TWY	ALFANUMERICO	1	A	NOMBRE DE LA CALLE DE RODAJE UTILIZADA PARA ABANDONAR LA PISTA
12. OBSERVACIONES	ALFANUMERICO	---	B	ESTADO DE OPERACIÓN DE CALLE DE RODAJE
13. DATOS CONSIGNADOS POR:	ALFABETICO	---	-----	APELLIDO Y NOMBRES DEL CONTROLADOR QUE REALIZO LA TOMA
14. FIRMA	-----	---	-----	-----





**DIRECCIÓN DE SERVICIOS A LA  
NAVEGACIÓN AÉREA  
UNIDAD DE GESTIÓN DE AFLUENCIA DE  
TRÁNSITO AÉREO  
FMU COLOMBIA**

[cfmu.dsna@aerocivil.gov.co](mailto:cfmu.dsna@aerocivil.gov.co)

PAG. 30/46

FEBRERO  
2009

**DESCRIPCION DE LOS CAMPOS DE LA PLANILLA  
DE TOMA DE DATOS - OPERACIÓN ATERRIZAJE**

NOMBRE CAMPO	TIPO	CARACTERES	EJEMPLO	DESCRIPCION DEL CAMPO
1. AERÓDROMO	ALFABETICO	4	SKBO	INDICADOR DE LUGAR - OACI
2. FECHA	NUMERICO	6	05/09/2007	dd/mm/aaaa
3. HORA INICIO UTC	NUMERICO	4	14:30	hh:mm
4. HORA FINALIZACION UTC	NUMERICO	4	15:30	hh:mm
5. PISTA	ALFANUMERICO	3	13L	PISTA EN USO
6. INFORME MET DE LA HORA	ALFANUMERICO	---	METAR 262300Z	INFORMES MET ORDINARIOS Y ESPECIALES DE AERÓDROMO
7. MATRICULA / N° VUELO	ALFANUMERICO	7	AES 7990	MATRICULA DE AERONAVE O SI ES EL CASO N° DE VUELO
8. TIPO DE AERONAVE	NUMERICO	4	MD82	NOMENCLATURA INTERNACIONAL OACI
9. CATEGORIA DE ACFT	ALFABETICO	1	C	CATEGORIA POR VELOCIDAD EN APROX. FINAL (SE ESCRIBE UNA X)
10. TIEMPOS DE OCUPACION	NUMERICO	4	00:58	TIEMPOS DE OCUPACION DE LA PISTA (mm:ss)
11. NOMBRE DE TWY	ALFANUMERICO	1	A	NOMBRE DE LA CALLE DE RODAJE UTILIZADA PARA ABANDONAR LA PISTA
12. OBSERVACIONES	ALFANUMERICO	---	B	ESTADO DE OPERACIÓN DE CALLE DE RODAJE
13. DATOS CONSIGNADOS POR:	ALFABETICO	---	-----	APELLIDO Y NOMBRES DEL CONTROLADOR QUE REALIZO LA TOMA
14. FIRMA	-----	---	-----	-----



**MEDIA ARITMÉTICA DE LOS TIEMPOS DE OCUPACIÓN DE PISTA DURANTE EL  
 ATERRIZAJE POR CATEGORÍA DE AERONAVES (MTOPA)**

**AERÓDROMO:**

**PISTA:**

$\Sigma TOPA_{CAT X} / N^{\circ} ACFT_{CAT X}$	<b>CAT</b>	<b>TIEMPO (seg)</b>
	A	
	B	
	C	
	D	
	E	

**MEDIA ARITMÉTICA DE LOS TIEMPOS DE OCUPACIÓN DE PISTA DURANTE EL  
 DESPEGUE POR CATEGORÍA DE AERONAVES (MTPD)**

$\Sigma TOPD_{CAT X} / N^{\circ} ACFT_{CAT X}$	<b>CAT</b>	<b>TIEMPO (seg)</b>
	A	
	B	
	C	
	D	
	E	

**MEDIA ARITMETICA DE LOS TIEMPOS DE OCUPACION DE PISTA POR CATEGORIA  
 DE AERONAVES (MATOP)**

$(\Sigma MTOPA + \Sigma MTPD) / 2$	<b>CAT</b>	<b>TIEMPO (seg)</b>
	A	<b>MATOP<sub>A</sub></b>
	B	<b>MATOP<sub>B</sub></b>
	C	<b>MATOP<sub>C</sub></b>
	D	<b>MATOP<sub>D</sub></b>
	E	<b>MATOP<sub>E</sub></b>

<b>PISTA</b>	
$MATOP_A = \frac{MTOPD_A + MTOPA_A}{2}$	
$MATOP_B = \frac{MTOPD_B + MTOPA_B}{2}$	
$MATOP_C = \frac{MTOPD_C + MTOPA_C}{2}$	
$MATOP_D = \frac{MTOPD_D + MTOPA_D}{2}$	
$MATOP_E = \frac{MTOPD_E + MTOPA_E}{2}$	
Formato 4	

<b>PISTA</b>		<b>PISTA</b>	
CAT	PORCENTAJE %	CAT	PORCENTAJE %
A		A	
B		B	
C		C	
D		D	
E		E	
Formato 5			

PISTA	% DE UTILIZACION (PU)
PISTA	
PISTA	
TOTAL	
Formato 6	





DIRECCIÓN DE SERVICIOS A LA  
NAVEGACIÓN AÉREA  
UNIDAD DE GESTIÓN DE AFLUENCIA DE  
TRÁNSITO AÉREO  
FMU COLOMBIA

[cfmu.dsna@aerocivil.gov.co](mailto:cfmu.dsna@aerocivil.gov.co)

PAG. 34/46

FEBRERO  
2009

### DESCRIPCION DE LOS CAMPOS DE LA PLANILLA DE TOMA DE DATOS - OPERACIÓN ATERRIZAJE

NOMBRE CAMPO	TIPO	CARACTERES	EJEMPLO	DESCRIPCION DEL CAMPO
1. AERÓDROMO	ALFABETICO	4	SKBO	INDICADOR DE LUGAR - OACI
2. FECHA	NUMERICO	6	05/09/2007	dd/mm/aaaa
3. HORA INICIO UTC	NUMERICO	4	14:30	hh :mm
4. HORA FINALIZACION UTC	NUMERICO	4	15:30	hh :mm
5. PISTA	ALFANUMERICO	3	13L	PISTA EN USO
6. INFORME MET DE LA HORA	ALFANUMERICO	---	METAR 262300Z	INFORMES MET ORDINARIOS Y ESPECIALES DE AERÓDROMO
7. MATRICULA / N° VUELO	ALFANUMERICO	7	AES 7990	MATRICULA DE AERONAVE O SI ES EL CASO N° DE VUELO
8. TIPO DE AERONAVE	ALFANUMERICO	4	MD82	NOMENCLATURA INTERNACIONAL OACI
9. CATEGORIA DE ACFT	ALFABETICO	1	C	CATEGORIA POR VELOCIDAD EN APROX. FINAL (SE ESCRIBE UNA X)
10. TIEMPOS DE OCUPACION	NUMERICO	4	00:58	TIEMPOS DE OCUPACION DE LA PISTA (mm:ss)
11. TIPO DE APROXIMACION	ALFANUMERICO	15	CIRCULAR	NOMBRE DEL TIPO DE APROXIMACION (ILS/VOR/NDB/CIRCULAR)
12. OBSERVACIONES	ALFANUMERICO	---	B	ESTADO DE OPERACIÓN DE CALLE DE RODAJE
13. DATOS CONSIGNADOS POR:	ALFABETICO	---	-----	APELLIDO Y NOMBRES DEL PERSONAL QUE REALIZO LA TOMA
14. FIRMA	-----	---	-----	-----



**DIRECCIÓN DE SERVICIOS A LA  
NAVEGACIÓN AÉREA  
UNIDAD DE GESTIÓN DE AFLUENCIA DE  
TRÁNSITO AÉREO  
FMU COLOMBIA**

[cfmu.dsna@aerocivil.gov.co](mailto:cfmu.dsna@aerocivil.gov.co)

PAG. 35/46

FEBRERO  
2009



**DIRECCIÓN DE SERVICIOS A LA  
NAVEGACIÓN AÉREA  
UNIDAD DE GESTIÓN DE AFLUENCIA DE  
TRÁNSITO AÉREO  
FMU COLOMBIA**

[cfmu.dsna@aerocivil.gov.co](mailto:cfmu.dsna@aerocivil.gov.co)

PAG. 36/46

FEBRERO  
2009



**DIRECCIÓN DE SERVICIOS A LA  
NAVEGACIÓN AÉREA  
UNIDAD DE GESTIÓN DE AFLUENCIA DE  
TRÁNSITO AÉREO  
FMU COLOMBIA**

[cfmu.dsna@aerocivil.gov.co](mailto:cfmu.dsna@aerocivil.gov.co)

PAG. 37/46

FEBRERO  
2009



**DIRECCIÓN DE SERVICIOS A LA  
NAVEGACIÓN AÉREA  
UNIDAD DE GESTIÓN DE AFLUENCIA DE  
TRÁNSITO AÉREO  
FMU COLOMBIA**

[cfmu.dsna@aerocivil.gov.co](mailto:cfmu.dsna@aerocivil.gov.co)

PAG. 38/46

FEBRERO  
2009



**DIRECCIÓN DE SERVICIOS A LA  
NAVEGACIÓN AÉREA  
UNIDAD DE GESTIÓN DE AFLUENCIA DE  
TRÁNSITO AÉREO  
FMU COLOMBIA**

[cfmu.dsna@aerocivil.gov.co](mailto:cfmu.dsna@aerocivil.gov.co)

PAG. 39/46

FEBRERO  
2009



**DIRECCIÓN DE SERVICIOS A LA  
NAVEGACIÓN AÉREA  
UNIDAD DE GESTIÓN DE AFLUENCIA DE  
TRÁNSITO AÉREO  
FMU COLOMBIA**

[cfmu.dsna@aerocivil.gov.co](mailto:cfmu.dsna@aerocivil.gov.co)

PAG. 40/46

FEBRERO  
2009



**DIRECCIÓN DE SERVICIOS A LA  
NAVEGACIÓN AÉREA  
UNIDAD DE GESTIÓN DE AFLUENCIA DE  
TRÁNSITO AÉREO  
FMU COLOMBIA**

[cfmu.dsna@aerocivil.gov.co](mailto:cfmu.dsna@aerocivil.gov.co)

PAG. 1/46

FEBRERO  
2009



**DIRECCIÓN DE SERVICIOS A LA  
NAVEGACIÓN AÉREA  
UNIDAD DE GESTIÓN DE AFLUENCIA DE  
TRÁNSITO AÉREO  
FMU COLOMBIA**

[cfmu.dsna@aerocivil.gov.co](mailto:cfmu.dsna@aerocivil.gov.co)

PAG. 1/46

FEBRERO  
2009



**DIRECCIÓN DE SERVICIOS A LA  
NAVEGACIÓN AÉREA  
UNIDAD DE GESTIÓN DE AFLUENCIA DE  
TRÁNSITO AÉREO  
FMU COLOMBIA**

[cfmu.dsna@aerocivil.gov.co](mailto:cfmu.dsna@aerocivil.gov.co)

PAG. 1/46

FEBRERO  
2009



**DIRECCIÓN DE SERVICIOS A LA  
NAVEGACIÓN AÉREA  
UNIDAD DE GESTIÓN DE AFLUENCIA DE  
TRÁNSITO AÉREO  
FMU COLOMBIA**

[cfmu.dsna@aerocivil.gov.co](mailto:cfmu.dsna@aerocivil.gov.co)

PAG. 1/46

FEBRERO  
2009



**DIRECCIÓN DE SERVICIOS A LA  
NAVEGACIÓN AÉREA  
UNIDAD DE GESTIÓN DE AFLUENCIA DE  
TRÁNSITO AÉREO  
FMU COLOMBIA**

[cfmu.dsna@aerocivil.gov.co](mailto:cfmu.dsna@aerocivil.gov.co)

PAG. 1/46

FEBRERO  
2009



**DIRECCIÓN DE SERVICIOS A LA  
NAVEGACIÓN AÉREA  
UNIDAD DE GESTIÓN DE AFLUENCIA DE  
TRÁNSITO AÉREO  
FMU COLOMBIA**

[cfmu.dsna@aerocivil.gov.co](mailto:cfmu.dsna@aerocivil.gov.co)

PAG. 1/46

FEBRERO  
2009

RLA/06/901 - RCC/5

**NE/07-Adj. 3**

24/11/2011

# **INFORME CAPACIDAD DE AEROPUERTO “EL DORADO”**

## **INFORME CAPACIDAD DE AEROPUERTO “Eldorado”**

### **1. PROPÓSITO**

1.1 El presente documento tiene como finalidad proveer los valores de capacidad que se obtuvieron como resultado de la aplicación de la **METODOLOGIA DE MEDICIÓN Y CÁLCULO PARA LA DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD DE LOS AEROPUERTOS Y AERÓDROMOS** los cuales serán tomados para realizar la declaración oficial por parte de la **Dirección de Servicios a la Navegación Aérea (DSNA)** de los valores de capacidad de pista del Aeropuerto Internacional “Eldorado” a fin de ser utilizados para los fines correspondientes a la prestación de servicio ATC, y como medida de referencia para la aplicación de medidas ATFCM por parte de la FMU Colombia.

1.2 Los valores de capacidad de pista son utilizados como referencia para lograr una utilización óptima de la pista bajo un nivel de demanda constante a ser absorbido en un determinado intervalo de tiempo, equilibrando las potencialidades que el aeropuerto Eldorado pueda ofrecer a las necesidades de dicha demanda.

1.3 La capacidad de pista del aeropuerto Eldorado está relacionada específicamente con su infraestructura, la meteorología reinante, las configuraciones operativas, el modo de operación de las dependencias ATC y las características operacionales de los operadores aéreos. Estos son factores que pueden determinar en incrementos o reducciones en los valores de la capacidad de pista.

### **2. CONSIDERACIONES**

2.1 El aeropuerto Eldorado tiene un límite en cuanto al número de operaciones de aeronaves que el sistema de pista y calles de rodaje pueden acomodar. Este límite se identifica como la capacidad del aeródromo. La capacidad del aeródromo es evaluada en periodos de una hora para el sistema de pista/calles de rodaje. El análisis Demanda/Capacidad busca identificar la capacidad del aeródromo y definir que mejoras, si existiesen, pueden ser necesarias para atender la demanda futura.

2.2 Para la determinación de la capacidad aeroportuaria existen varios métodos o modelos de tipo empírico, analítico, de colas y manuales. El presente estudio se basa en la aplicación de la teoría relacionada con la práctica del cálculo de la capacidad de pista y con los factores que determinan, por interferencia, la variación de sus índices, los cuales fueron utilizados como parámetros que permitan mantener una operación eficiente.

	<b>DIRECCIÓN DE SERVICIOS A LA NAVEGACIÓN AÉREA</b> <b>UNIDAD DE GESTIÓN DE AFLUENCIA DE TRÁNSITO AÉREO</b> <b>FMU COLOMBIA</b> <a href="mailto:cfmu.dsna@aerocivil.gov.co">cfmu.dsna@aerocivil.gov.co</a>	PAG. 2/31
		SEP. 2011

### 3. GENERALIDADES

3.1. Para la determinación de la capacidad de pista se consideran los siguientes factores:

#### 3.2. FACTORES DE PLANIFICACIÓN

3.1.1 Los elementos operacionales influyentes en los cuales se baso el estudio para simplificar los modelos matemáticos son los siguientes:

- 3.1.1.1 Condiciones óptimas de secuenciamiento y coordinación de tránsito aéreo;
- 3.1.1.2 Ayudas a la navegación aérea (visual y no visual), técnica y operacionalmente, sin restricciones.
- 3.1.1.3 Equipos de comunicaciones (VHF/telefonía) operacionales.

#### 3.3. FACTORES RELACIONADOS CON LAS OPERACIONES DE ATERRIZAJE Y DESPEGUE

- Tiempo medio de ocupación de pista.
- Mezcla de aeronaves.
- Porcentaje de utilización de pista.
- Longitud del segmento de aproximación final.
- Separación requerida por estela turbulenta.
- Separación mínima radar reglamentaria.
- Configuración de pista y calles de rodaje.
- Velocidad de aproximación final.

Para el Sistema Nacional de Espacio Aéreo, el método de **medición y cálculo para la determinación de capacidad de los aeropuertos y aeródromos** consideró la posibilidad de ocurrir un despegue entre dos aterrizajes consecutivos logrando mantener las separaciones mínimas reglamentarias descritas en los documentos correspondientes, esta capacidad de pista es calculada para un intervalo de 60 minutos, en función del tiempo promedio de ocupación de pista.

#### 3.4. RECOLECCION DE DATOS

3.4.1 Con el objeto de obtener una mayor precisión, la toma de datos fue efectuada en la hora pico, visto que en estos horarios la afluencia de tránsito aéreo tiene mayor fluidez, reduciendo el tiempo de ocupación de la pista.

### 4. DEFINICIONES

4.1 **AAR Potencial:** El régimen de aceptación Teórico de aeronaves para un umbral de pista antes de tomar en cuenta, si es el caso, los factores de ajuste. El AAR potencial es el valor que la DSNA a determinado como capacidad declarada para dicho cálculo.



4.2 **AAR Real:** Es el AAR potencial en el umbral de pista, revisado con base en los factores de ajuste, este valor de AAR podrá ser calculado rápidamente por el supervisor o encargado del aeródromo y tendrá como numero base o de partida el valor de capacidad declarado oficialmente por la DSNA (AAR Potencial), a fin de ser aplicado, en caso necesario, debido a alguna reducción de capacidad por condiciones MET en la aproximación o en el Aeródromo. Siendo este un valor de AAR potencial resultado de la operación matemática correspondiente, teniendo en cuenta una separación base, más una separación adicional requerida de acuerdo a las condiciones operacionales.

$$\text{AAR POTENCIAL} = \text{CAPACIDAD DECLARADA}$$

$$\text{AAR REAL} = \text{GS} / (\text{SEPARACIÓN REQUERIDA} + \text{SEPARACIÓN ADICIONAL POR FACTORES DE AJUSTE})$$

4.3 **Capacidad Declarada:** Medida de la capacidad del sistema ATC o cualquiera de sus subsistemas o puestos de trabajo para proporcionar servicio a las aeronaves durante el desarrollo de las actividades normales. Se expresa como el número de aeronaves que entran a una porción concreta del espacio aéreo en un período determinado, teniendo debidamente en cuenta las condiciones meteorológicas, la configuración de la dependencia ATC, su personal y equipo disponible, y cualquier otro factor que pueda afectar al volumen de trabajo del controlador responsable del espacio aéreo.

4.4 **Capacidad Declarada de Pista (CDP):** Capacidad de pista plenamente sostenible desde el punto de vista operacional resultante del valor aplicable de los anteriores teniendo en cuenta parámetros que interfieren directa o indirectamente en el modo de operación de las dependencias ATC. Este valor es el resultado del análisis de todas las variables que pueden afectar a los valores calculados, como meteorología y, finalmente es el valor a ser efectivamente divulgado.

4.5 **Nota:** El valor de Capacidad Declarada es determinado por la Dirección de Servicios a la Navegación Aérea (DSNA) y por medio de un constante análisis a su aplicación se deberá establecer un valor de capacidad sostenible de operaciones por un periodo de tiempo determinado.

4.6 **Capacidad de Pista:** Número máximo de operaciones de despegue y aterrizaje combinadas que se puede alcanzar en una determinada pista, bajo condiciones definidas, para periodos de tiempo especificados.

4.7 **Nota 1:** La capacidad de pista se establece para cada umbral en uso. Si se requiere establecer un valor de capacidad teniendo en cuenta los dos umbrales, se debe utilizar el valor de la media aritmética ponderada de los dos valores encontrados, en función del porcentaje de utilización de cada uno de acuerdo a los datos estadísticos de operación.

4.8 **Nota 2:** Para análisis específicos, el cálculo de capacidad de pista presenta cuatro valores característicos que se definen a continuación:

4.9 **Capacidad Física de Pista (CFP):** Capacidad de pista calculada, para un intervalo de sesenta minutos, en función del tiempo de ocupación de pista (TOP). Proceso simplificado que

tiene por finalidad proporcionar el primer indicativo para los valores de capacidad del aeródromo. El valor obtenido se aplica a aeródromos donde la demanda de tránsito aéreo no ha alcanzado niveles de congestión.

**4.10 Capacidad Física de Aeródromo (CFA):** Capacidad del aeródromo teniendo en cuenta la capacidad física de la pista considerando el porcentaje de utilización de cada umbral.

**4.11 Capacidad Teórica de Pista (CTP):** Capacidad de pista calculada, para un intervalo de sesenta minutos, en función del tiempo de ocupación de pista (TOP) teniendo en cuenta la separación reglamentaria aplicable entre aeronaves, las normas y procedimientos específicos aplicables a las operaciones aéreas en el aeropuerto. El valor obtenido se aplica a 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 del ATC, del aeropuerto y de los operadores aéreos.

**4.12 Categoría de Aeronave (CAT):** Categorías de aeronave subdivididas en cinco grupos: A, B, C, D y E definidas en función de la velocidad de cruce del umbral ( $V_{at}$ ), que es 1.3 del valor de velocidad de pérdida (STALL), en la configuración de aterrizaje (full flaps, gear down), de acuerdo a la tabla siguiente:

CAT	Vat
A	$< 91 \text{ Kt}$
B	$91 < o \leq 120 \text{ Kt}$
C	$121 < o \leq 140 \text{ Kt}$
D	$141 < o \leq 165 \text{ Kt}$
E	$166 < o \leq 210 \text{ Kt}$

**4.13 Configuración Principal de las Pistas del Aeródromo:** La configuración de cada aeródromo que maneja el 3 por ciento o más de las operaciones anuales.

**4.14 Factores de Ajuste:** Estos son los factores que deben ser tomados en cuenta para poder establecer el AAR Real, los principales factores a ser considerados para un ajuste del ARR Potencial son:

- Las condiciones meteorológicas.
- Las condiciones de la pista.
- La disposición general de las calles de rodaje.
- El espacio en plataforma.
- Las instalaciones aeroportuarias.
- Utilización de pistas (de llegada y salida que se cruzan).
- Limitaciones de procedimientos (atenuación del ruido, procedimientos de aproximación frustrada, procedimientos de salida).

	<b>DIRECCIÓN DE SERVICIOS A LA NAVEGACIÓN AÉREA</b> <b>UNIDAD DE GESTIÓN DE AFLUENCIA DE TRÁNSITO AÉREO</b> <b>FMU COLOMBIA</b> <a href="mailto:cfmu.dsna@aerocivil.gov.co">cfmu.dsna@aerocivil.gov.co</a>	PAG. 5/31
		SEP. 2011

**Nota:** Pueden llegar a ser considerados otros factores no descritos anteriormente que en algún momento lleguen a afectar los valores del AAR Real.

**4.15 Media Aritmética de los Tiempos de Ocupación de Pista (MATOP):** Es el tiempo resultante de la media aritmética entre TOPD y TOPA por categoría de aeronave.

**4.16 MIX de Aeronaves (MIX):** Distribución porcentual del número de aeronaves en operación en el aeródromo, conforme a sus categorías (CAT). El MIX de aeronaves para aeródromos deber ser calculado a partir del movimiento total diario de acuerdo a un análisis estadístico.

**4.17 Porcentaje de Utilización de Pista (PU):** Índice calculado a partir del análisis estadístico de la operación del aeródromo. Se obtiene por medio de la media aritmética de un muestreo estadístico.

**4.18 Régimen de Aceptación de Aeródromo (AAR):** Se define como la cantidad de aeronaves entrantes que un aeródromo conjuntamente con las condiciones meteorológicas, la capacidad del espacio aéreo terminal, el espacio en plataforma, el espacio para estacionamiento y las instalaciones puede aceptar por hora.

**4.19 Separación de Seguridad (SS):** Se define separación como el término genérico usado para describir la acción de los servicios de tránsito aéreo (ATS) para mantener los aviones en operación en una misma área general en tales distancias que el riesgo de colisión está mantenido debajo de un nivel aceptable de seguridad. Tal separación se puede aplicar horizontalmente y verticalmente. La separación requerida entre el avión se expresa generalmente en términos de distancias mínimas en cada dimensión que no deba ser infringida simultáneamente, así pues la Separación de Seguridad es el cálculo de una distancia de seguridad para ser sumada a la separación mínima reglamentaria, entre las aeronaves en aproximación, con el fin de posibilitar el despegue de una aeronave, luego del aterrizaje de la primera, sin comprometer la separación reglamentaria con la segunda aeronave en aproximación, en caso de presentarse un procedimiento de Aproximación Frustrada.

**4.20 Tiempo de Ocupación de Pista (TOP):** Tiempo consumido por la aeronave durante la operación de despegue (TOPD) o aterrizaje (TOPA). Es decir, el tiempo contado desde el momento en que la aeronave abandona el punto de espera hasta el momento en que cruza el extremo de la pista, para la operación de despegue, o desde el momento en que la aeronave cruza el umbral hasta el momento en que abandona la pista, en la operación de aterrizaje.

**4.21 Tiempo de vuelo SAF (TSAF):** tiempo consumido por la aeronave en vuelo entre el marcador exterior (OM) y el umbral de la pista (THR).

**4.22 Tiempo Medio de Ocupación de Pista (TMOP):** Es el tiempo resultante de la 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.

**4.23 Tiempo medio de vuelo SAF (TM):** media aritmética de los TSAF por categoría de aeronave.

4.24 **Tiempo de Ocupación de pista en Despegue (TOPD):** Tiempo desde el momento en que la aeronave abandona el punto de espera hasta el momento en que cruza el extremo de pista en sentido de despegue.

4.25 **Tiempo de Ocupación de pista en Aterrizaje (TOPA):** Tiempo desde el momento en que la aeronave cruza el umbral de la pista en el sentido del aterrizaje hasta el momento en que la abandona.

4.26 **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.

4.27 **Velocidad de aproximación final (VA):** Velocidad necesaria para recorrer el segmento de aproximación final (SAF) para aterrizaje.

## 5. PROCEDIMIENTO

5.1 Utilizando el valor de la capacidad Declarada (AAR POTENCIAL):

- Se determina la velocidad promedio con respecto al suelo (GS) al atravesar el umbral de pista de la flota de aeronaves que utilizan la pista.
- Se determina el espaciamiento en millas náuticas (NM) que se requiera entre las llegadas sucesivas.
- Se divide la velocidad con respecto al suelo (GS) entre el espaciamiento para determinar el AAR potencial.

5.2 **UTILIZANDO LA FORMULA:** La velocidad con respecto al suelo en el umbral de pista, expresada en nudos, dividida entre el espaciamiento en el umbral de pista, expresado en millas.

**NOTA:** Si el cociente es una fracción, se redondea al próximo número entero inferior

### TABLA: AAR REAL

MILLAS NAUTICAS ENTRE AERONAVES EN EL UMBRAL DE PISTA										
VELOCIDAD (GS) EN EL UMBRAL DE PISTA	3	3.5	4	4.5	5	6	7	8	9	10
	AAR REAL									
140 Kts	46	40	35	31	28	23	20	17	15	14
<b>130 Kts</b>	43	37	32	28	26	21	<b>18</b>	16	<b>14</b>	<b>13</b>
120 Kts	40	34	30	26	24	20	17	15	13	12
110 Kts	36	31	27	24	22	18	15	13	12	11



CONFIGURACION DE PISTAS	CAPACIDAD DECLARADA (AAR POTENCIAL)	AAR PARA VMC MARGINAL	AAR PARA IMC
RWY 13L	<b>18</b>	<b>14</b>	<b>13</b>
RWY 13R	<b>18</b>	<b>14</b>	<b>13</b>

Consideraciones adicionales:

En situaciones especiales de operación el supervisor de aeródromo será el responsable por el establecimiento e implantación de los AAR REAL.

## 6. CÁLCULO DE CAPACIDAD FÍSICA PISTA (CFP)

### 6.1. METODOLOGÍA

6.1.1 Esta metodología se basa en un modelo matemático que se desarrolla luego de la recolección de datos del aeropuerto. El proceso realizado se presenta a continuación:

#### 6.1.1. DETERMINACIÓN DE TIEMPO DE OCUPACIÓN DE PISTA (TOP)

6.1.1.1 Para la determinación del TOP se recolectaron datos por cronometraje en la torre de control y con información radar, utilizando los formatos (01 y 02) siguientes PLANILLA TOMA DE DATOS – TOPA – y – TOPD - para su registro. (Apéndice A).





### 6.1.2. CÁLCULO DE LA MEDIA ARITMÉTICA DE LOS TIEMPOS DE OCUPACIÓN DE PISTA EN DESPEGUE Y ATERRIZAJE (MTOPD/MTOPA) POR CATEGORÍA DE

Los tiempos de ocupación de pista recolectados, tanto en despegue como en aterrizaje, se deberán clasificar por categoría de aeronaves para luego calcular la media aritmética de esos tiempos (MTOPD y MTOPA) por categoría. Para dicho cálculo se utilizó el formato MTOPA y MTOPD.

<b>MEDIA ARITMÉTICA DE LOS TIEMPOS DE OCUPACIÓN DE PISTA DURANTE EL ATERRIZAJE POR CATEGORÍA DE AERONAVES (MTOPA)</b>		
<b>AERÓDROMO: PISTA LIBRE</b>		<b>PISTA: 13L</b>
$\sum TOPA_{CAT X} / N^{\circ} ACFT_{CAT X}$	<b>CAT</b>	<b>TIEMPO (seg)</b>
	A	53
	B	53
	C	57
	D	69
	E	75
<b>MEDIA ARITMÉTICA DE LOS TIEMPOS DE OCUPACIÓN DE PISTA DURANTE EL DESPEGUE POR CATEGORÍA DE AERONAVES (MTOPD)</b>		
$\sum TOPD_{CAT X} / N^{\circ} ACFT_{CAT X}$	<b>CAT</b>	<b>TIEMPO (seg)</b>
	A	74
	B	59
	C	58
	D	56
	E	61
<b>MEDIA ARITMETICA DE LOS TIEMPOS DE OCUPACION DE PISTA POR CATEGORIA DE AERONAVES (MATOP)</b>		
$(\sum MTOPA + \sum MTOPD) / 2$	<b>CAT</b>	<b>TIEMPO (seg)</b>
	A	63,5
	B	56
	C	57,5
	D	62,5
	E	68

**MEDIA ARITMÉTICA DE LOS TIEMPOS DE OCUPACIÓN DE PISTA DURANTE EL  
 ATERRIZAJE POR CATEGORÍA DE AERONAVES (MTOPA)**

**AERÓDROMO: PISTA LIBRE**

**PISTA: 13R**

$\Sigma TOPA_{CAT X} / N^{\circ} ACFT_{CAT X}$		
	CAT	TIEMPO (seg)
	A	52
	B	58
	C	57
	D	66
	E	0

**MEDIA ARITMÉTICA DE LOS TIEMPOS DE OCUPACIÓN DE PISTA DURANTE EL  
 DESPEGUE POR CATEGORÍA DE AERONAVES (MTOPD)**

$\Sigma TOPD_{CAT X} / N^{\circ} ACFT_{CAT X}$		
	CAT	TIEMPO (seg)
	A	69
	B	60
	C	56
	D	58
	E	0

**MEDIA ARITMETICA DE LOS TIEMPOS DE OCUPACION DE PISTA POR CATEGORIA  
 DE AERONAVES (MATOP)**

$(\Sigma MTOPA + \Sigma MTOPD) / 2$		
	CAT	TIEMPO (seg)
	A	60,5
	B	59
	C	56,5
	D	62
	E	0

**MEDIA ARITMÉTICA DE LOS TIEMPOS DE OCUPACIÓN DE PISTA DURANTE EL  
ATERRIAJE POR CATEGORÍA DE AERONAVES (MTOPA)**
**AERÓDROMO: PISTA LIBRE**
**PISTA: 31L**

$\sum TOPA_{CAT X} / N^{\circ} ACFT_{CAT X}$	CAT	TIEMPO (seg)
	A	47
	B	60
	C	63
	D	70
	E	

**MEDIA ARITMÉTICA DE LOS TIEMPOS DE OCUPACIÓN DE PISTA DURANTE EL  
DESPEGUE POR CATEGORÍA DE AERONAVES (MTOPD)**

$\sum TOPD_{CAT X} / N^{\circ} ACFT_{CAT X}$	CAT	TIEMPO (seg)
	A	72
	B	60
	C	54
	D	62
	E	

**MEDIA ARITMETICA DE LOS TIEMPOS DE OCUPACION DE PISTA POR CATEGORIA  
DE AERONAVES (MATOP)**

$(\sum MTOPA + \sum MTOPD) / 2$	CAT	TIEMPO (seg)
	A	59,2
	B	30
	C	58,5
	D	66
	E	

**MEDIA ARITMÉTICA DE LOS TIEMPOS DE OCUPACIÓN DE PISTA DURANTE EL  
ATERRIJAZE POR CATEGORÍA DE AERONAVES (MTOPA)**

**AERÓDROMO: PISTA LIBRE**
**PISTA: 31R**

$\sum TOPA_{CAT X} / N^{\circ} ACFT_{CAT X}$	<b>CAT</b>	<b>TIEMPO (seg)</b>
	A	47
	B	60
	C	63
	D	70
	E	

**MEDIA ARITMÉTICA DE LOS TIEMPOS DE OCUPACIÓN DE PISTA DURANTE EL  
DESPEGUE POR CATEGORÍA DE AERONAVES (MTOPD)**

$\sum TOPD_{CAT X} / N^{\circ} ACFT_{CAT X}$	<b>CAT</b>	<b>TIEMPO (seg)</b>
	A	72
	B	60
	C	54
	D	62
	E	

**MEDIA ARITMETICA DE LOS TIEMPOS DE OCUPACION DE PISTA POR CATEGORIA  
DE AERONAVES (MATOP)**

$(\sum MTOPA + \sum MTOPD) / 2$	<b>CAT</b>	<b>TIEMPO (seg)</b>
	A	59,2
	B	30
	C	58,5
	D	66
	E	

### 6.1.3. CÁLCULO DE LA MEDIA ARITMÉTICA DE LOS TIEMPOS DE OCUPACIÓN DE PISTA POR CATEGORÍA DE AERONAVES (MATOP).

Luego del registro de datos en el formato 3, se calculó la media aritmética, por categoría de aeronaves, entre esos tiempos como se describe a continuación:

<b>PISTA</b>	<b>13L</b>
$\text{MATOP}_A = \frac{\text{MTOPD}_A + \text{MTOPA}_A}{2}$	63,5
$\text{MATOP}_B = \frac{\text{MTOPD}_B + \text{MTOPA}_B}{2}$	56
$\text{MATOP}_C = \frac{\text{MTOPD}_C + \text{MTOPA}_C}{2}$	57,5
$\text{MATOP}_D = \frac{\text{MTOPD}_D + \text{MTOPA}_D}{2}$	62,5
$\text{MATOP}_E = \frac{\text{MTOPD}_E + \text{MTOPA}_E}{2}$	68
Formato 04	

<b>PISTA</b>	<b>13R</b>
$\text{MATOP}_A = \frac{\text{MTOPD}_A + \text{MTOPA}_A}{2}$	60,5
$\text{MATOP}_B = \frac{\text{MTOPD}_B + \text{MTOPA}_B}{2}$	59
$\text{MATOP}_C = \frac{\text{MTOPD}_C + \text{MTOPA}_C}{2}$	56,5
$\text{MATOP}_D = \frac{\text{MTOPD}_D + \text{MTOPA}_D}{2}$	62
$\text{MATOP}_E = \frac{\text{MTOPD}_E + \text{MTOPA}_E}{2}$	0
Formato0 4	

#### 6.1.4. DETERMINACIÓN DEL MIX DE AERONAVES

Para la determinación del MIX de aeronaves se efectúa un análisis estadístico del último año a fin de obtener los valores:

PISTA	13L	PISTA	13R
CAT	PORCENTAJE %	CAT	PORCENTAJE %
A	1,831	A	2,279
B	18,732	B	18,665
C	21,278	C	22,071
D	2,754	D	4,346
E	0,005	E	0,004

Formato 05

PISTA	31L	PISTA	31R
CAT	PORCENTAJE %	CAT	PORCENTAJE %
A	0,088	A	0,1389
B	0,909	B	1,528
C	1,084	C	2,656
D	0,3126	D	1,354
E	0,000034	E	0,00068

Formato 05

#### 6.1.5. CALCULO TIEMPO MEDIO PONDERADO DE OCUPACIÓN DE PISTA (TMOP)

Este valor de tiempo se obtiene al ponderar los tiempos medios de ocupación de pista en despegue y aterrizaje (MATOP) para cada categoría de aeronaves con el MIX de aeronaves.

##### PISTA 13L

$$TMOP = \sum (MATOP_{CATX} \cdot MIX_{CATX}) / 100$$

$$TMOP = 57,37068$$

##### PISTA 13R

$$TMOP = \sum (MATOP_{CATX} \cdot MIX_{CATX}) / 100$$

$$TMOP = 58,11765$$



### PISTA 31L

$$TMOP = \sum (MATOP_{CATX} \cdot MIX_{CATX}) / 100$$

$$TMOP = 47,85$$

### PISTA 31R

$$TMOP = \sum (MATOP_{CATX} \cdot MIX_{CATX}) / 100$$

$$TMOP = 52,611$$

El tiempo medio ponderado de ocupación de las pistas calculado es el siguiente:

$$TMOP\ 13L = 57\ \text{seg}$$

$$TMOP\ 13R = 58\ \text{seg}$$

$TMOP\ 31L = 47,85\ \text{seg}$  (a consecuencia del bajo porcentaje de utilización de pista se descarta este valor) = N/A

$$TMOP\ 31R = 52,611\ \text{seg}$$

#### 6.1.6. CAPACIDAD FÍSICA DE PISTA (CFP)

El valor de capacidad física de pista se determina por medio de la división del intervalo de una hora en segundos (3600seg), entre el tiempo medio de ocupación de cada pista (TMOP), en segundos.

**PISTA 13L**

$$CFP = 3600 / TMOP$$

$$CFP\ 13L = 63,1 = 63$$

**PISTA 31L**

$$CFP = 3600 / TMOP$$

$$CFP\ 31L = N/A$$

**PISTA 13R**

$$CFP = 3600 / TMOP$$

$$CFP\ 13R = 62,06 = 62$$

**PISTA 31R**

$$CFP = 3600 / TMOP$$

$$CFP\ 31R = 68,42 = 68$$

#### 6.1.7. PORCENTAJE DE UTILIZACION DE PISTA (PU)



Este valor es calculado a partir del total de los movimientos mensuales, los porcentajes son ponderados con las capacidades de cada pista, posibilitando de esta forma un único valor como resultado final.

MOVIMIENTO MENSUAL DE AERONAVES año 2010					
MES	PISTA 13L	PISTA 13R	PISTA 31L	PISTA 31R	MOV. MENSUAL
ENERO	10892	11431	815	1432	24570
FEBRERO	9499	10868	867	1304	22538
MARZO	11287	12055	701	1452	25495
ABRIL	10704	11946	462	1142	24254
MAYO	11887	11815	218	1037	24957
JUNIO	11299	11963	73	980	24315
JULIO	11862	12057	153	1266	25338
AGOSTO	11431	12356	250	1301	25338
SEPTIEMBRE	10952	11726	542	1548	24768
OCTUBRE	12025	10898	1114	1800	25837
NOVIEMBRE	11496	11009	896	1595	25054
DICIEMBRE	12436	11580	1039	1878	26045
TOTAL	135770	139704	7130	16735	298509

PISTA	% DE UTILIZACION (PU)
PISTA 13L	45,48
PISTA 13R	46,80
PISTA 31L	2,38
PISTA 31R	5,60
TOTAL	100

Formato 06

A partir de estos valores de porcentaje anual de uso de pista y sus valores de capacidad física de pista, se efectúa la ponderación de estos datos para la obtención de la capacidad física del aeródromo.

	<p style="text-align: center;">DIRECCIÓN DE SERVICIOS A LA NAVEGACIÓN AÉREA UNIDAD DE GESTIÓN DE AFLUENCIA DE TRÁNSITO AÉREO FMU COLOMBIA <a href="mailto:cfmu.dsna@aerocivil.gov.co">cfmu.dsna@aerocivil.gov.co</a></p>	PAG. 18/31
		SEP. 2011

### 6.1.8. CALCULO DE CAPACIDAD FISICA DEL AERÓDROMO (CFA)

$$CFA = \sum (CFP_{PISTAX} \cdot \%UTIL_{PISTAX}) / 100$$

$$CFA\ 13L/31R = ((63 \cdot 45.48) + (68 \cdot 5.60)) / 100$$

$$CFA\ 13L/31R = ((2865) + (380)) / 100$$

$$CFA\ 13L/31R = 32.45 = 32$$

$$CFA\ 13R/31L = ((62 \cdot 46.80) + (68 \cdot 2.38)) / 100$$

$$CFA\ 13R/31L = ((2901) + (161)) / 100$$

$$CFA\ 13R/31L = 30.62 = 31$$

$$CFA\ 13L/31R/13R/31L = CFA\ 13L/31R + CFA\ 13R/31L$$

$$CFA\ 13L/31R/13R/31L = 32 + 31$$

$$CFA\ 13L/31R/13R/31L = 63$$

## 7. CÁLCULO DE CAPACIDAD TEÓRICA DE LA PISTA (CTP)

La capacidad teórica de pista se calcula, para un intervalo de sesenta minutos, en función del tiempo medio de ocupación de pista (TMOP), considerando **la separación reglamentaria aplicable entre aeronaves, así como los factores de planificación y los factores relativos a las operaciones de aterrizaje y despegue del aeródromo.**

### 7.1. METODOLOGÍA

Para el cálculo de la capacidad teórica de pista se utilizaron los datos referentes al Tiempo de Ocupación de Pista, el MIX de las Aeronaves y el Tiempo de Ocupación Medio de Pista utilizados durante el cálculo de la Capacidad Física de Pista.

Adicionalmente se deberán efectuar una serie de cálculos basados en la recolección de datos relacionados con el segmento de aproximación final, que son registrados en el formato 7 (TSAF)



## 7.2. DETERMINACIÓN DE LOS TIEMPOS DE VUELO SAF (TSAF)

Se recolectaron los TSAF cronometrados utilizando el formato 7 (TSAF), considerando las diversas categorías de aeronaves que operan en el aeródromo y se calculan las respectivas medias aritméticas TM (Tiempo Medio de Vuelo SAF), que se relacionan a continuación:

$TM_A =$	<b>126 SEG.</b>
$TM_B =$	<b>118 SEG.</b>
$TM_C =$	<b>109 SEG.</b>
$TM_D =$	<b>103 SEG.</b>

## 7.3. CÁLCULO DE VELOCIDAD DE APROXIMACIÓN (VA) POR CATEGORÍA (NM/SEG).

Esta velocidad es el resultado de la división de la longitud del segmento de aproximación final entre el tiempo medio de vuelo SAF (TM) y los valores resultantes son:

$VA_A =$	<b>0.03968 NM/SEG.</b>
$VA_B =$	<b>0.04237 NM/SEG.</b>
$VA_C =$	<b>0.04587 NM/SEG.</b>
$VA_D =$	<b>0.04854 NM/SEG.</b>

## 7.4. CÁLCULO DE LA VELOCIDAD MEDIA PONDERADA DE APROXIMACIÓN FINAL (VMP) (NM/SEG).

Esta es la media ponderada de las velocidades de aproximación final (VA) donde se considera el MIX de aeronaves.

$$VMP = \sum (MIX_x * VA_x) / \sum MIX$$

$$VMP = \quad \mathbf{0.04426465 \text{ NM/SEG}}$$

## 7.5. CÁLCULO DE LA SEPARACIÓN DE SEGURIDAD (SS)

Este método de cálculo de capacidad prevé la posibilidad de que se efectúe un despegue entre dos aterrizajes consecutivos, para lo cual se debe aplicar una separación mínima reglamentaria (**SMR**) de 5 NM entre las aeronaves aterrizando en configuración de aproximaciones dependientes a pistas paralelas y despegando. Con este objetivo, se calculó una distancia de seguridad para ser sumada a la separación mínima reglamentaria, entre las aeronaves en aproximación, con el fin de posibilitar el despegue de una aeronave luego del aterrizaje de la primera sin comprometer la separación reglamentaria con la segunda

	<b>DIRECCIÓN DE SERVICIOS A LA NAVEGACIÓN AÉREA</b> <b>UNIDAD DE GESTIÓN DE AFLUENCIA DE TRÁNSITO AÉREO</b> <b>FMU COLOMBIA</b> <a href="mailto:cfmu.dsna@aerocivil.gov.co">cfmu.dsna@aerocivil.gov.co</a>	PAG. 21/31
		SEP. 2011

aeronave en aproximación.

Al calcular la distancia recorrida en aproximación final por la segunda aeronave durante el tiempo en que la pista permanece ocupada, y al sumarla con la separación reglamentaria mínima aplicada, se obtuvo la separación necesaria entre dos aterrizajes consecutivos. Esa distancia recorrida es el resultado de la multiplicación de la velocidad media ponderada en final (VMP), por el tiempo medio ponderado de ocupación de pista (TMOP).

$$SS = VMP * TMOP$$

$$SS = 0.04426465 \text{ NM/SEG} * 62.5 = 2.7 \text{ NM} = 3 \text{ NM}$$

En configuración de pistas en el cual el tramo de aproximación final sea por referencia visual (Aproximación en Circuito) y en donde la separación en este ejercicio las pistas 31 son usadas únicamente en condiciones visuales.

$$SS = VMP * MTOPA$$

$$SS = 0.030214 * 52.6 = 1.5 = 1 \text{ NM}$$

#### 7.6. CÁLCULO DE LA SEPARACIÓN TOTAL ENTRE DOS ATERRIZAJES (ST)

Teniendo en cuenta la separación de seguridad necesaria se determina la separación total (ST), resultado que se determina al sumar la separación de seguridad (SS) y la separación mínima reglamentaria (SMR).

$$ST = SS + SMR \text{ PISTAS 13}$$

$$ST = 3 \text{ NM} + 5 \text{ NM} = 8 \text{ NM}$$

En el caso de un aeropuerto en cual su configuración sea de pistas paralelas y su modo de operación corresponda a Operaciones Paralelas Segregadas (una pista solo para llegadas y otra solo para salidas) el calculo de separación total entre dos aterrizajes será tomada como el resultado de la separación de seguridad (SS).

$$ST = SS + SMR \text{ PISTAS 31}$$

$$ST = 1 \text{ NM} + 5 \text{ NM} = 6 \text{ NM}$$

#### 7.7. CÁLCULO DEL TIEMPO MEDIO PONDERADO ENTRE DOS ATERRIZAJES CONSECUTIVOS (TMST)

Luego de determinar la separación total entre dos aterrizajes se calcula el tiempo medio ponderado requerido para recorrer la distancia de separación total (ST) entre dos aterrizajes consecutivos, el cual se obtuvo al dividir la distancia de la separación total (ST) entre la velocidad media ponderada del MIX de aeronaves (VMP).



$$\text{TMST} = \text{ST} / \text{VMP}$$

$$\text{TMST} = 8 \text{ NM} / 0.04426465 \text{ NM/SEG}$$

$$\text{TMST} = 180.73 \text{ SEG (PISTAS 13)}$$

$$\text{TMST} = \text{ST} / \text{VMP}$$

$$\text{TMST} = 6 \text{ NM} / 0.031645$$

$$\text{TMST} = 198 \text{ SEG (PISTAS 31)}$$

### 7.8. CÁLCULO DEL NÚMERO DE ATERRIZAJES EN EL INTERVALO DE UNA HORA (A)

Para obtener el número de aterrizajes, con la separación correspondiente, en una hora, se divide el intervalo de tiempo entre el tiempo medio ponderado requerido para recorrer la separación total entre dos aterrizajes consecutivos (TMST).

$$A = 1\text{HORA} / \text{TMST}$$

$$A = 3600 \text{ SEG} / 180.73 \text{ SEG} = 19.91 = 20 \text{ ATERRIZAJES}$$

$$A = 3600 \text{ SEG} / 198 \text{ SEG} = 18 = 18 \text{ ATERRIZAJES}$$

### 7.9. CÁLCULO DEL NÚMERO DE DESPEGUES EN EL INTERVALO DE UNA HORA (D)

Dado que la determinación de la separación total (ST) tiene por objeto hacer posible un despegue entre dos aterrizajes consecutivos, sin infringir la separación mínima reglamentaria, se resta una aeronave del total de aterrizajes, para obtener el número de despegues posibles, en una hora.

$$D = A - 1$$

$$D = 20 - 1 = 19 \text{ DESPEGUES}$$

$$D = 18 - 1 = 17 \text{ DESPEGUES}$$

### 8. CÁLCULO DE LA CAPACIDAD TEÓRICA DE PISTA (CTP)

Para determinar la capacidad teórica de cada pista, se suma el número de aterrizajes encontrado con el número de despegues.

$$\text{CTP} = A + D$$

$$\text{CTP } 13\text{L}/13\text{R} = 20 + 19 = 39 \text{ AERONAVES}$$

$$\text{CTP } 31\text{R}/31\text{L} = 18 + 17 = 35 \text{ AERONAVES}$$



En escenarios de pistas Paralelas se deberá calcular por separado los valores de Capacidad Teórica de cada una de las pistas y posteriormente acomodar este valor de acuerdo al Modo de operación.

## 9. CALCULO DE LA CAPACIDAD DECLARADA DEL CONJUNTO DE PISTAS (CDP)

Se calcula la capacidad declarada teniendo en cuenta el porcentaje anual de utilización de pista.

$$CDP = \frac{PU_{AX}CTP_A + PU_{BX}CTP_B + PU_{NX}CTP_N}{PU_A + PU_B + \dots + PU_N}$$

### 9.1. DETERMINACION DE LA CAPACIDAD DECLARADA DEL CONJUNTO DE PISTAS (CDP)

La capacidad declarada del conjunto de pistas es la capacidad plenamente sostenible desde el punto de vista operacional, considerando el porcentaje de utilización anual de cada pista.

$$CDP\ 13L/31R = \frac{PU_{13L}CTP_{13L} + PU_{31R}CTP_{31R}}{PU_{13L} + PU_{31R}}$$

$$CDP\ 13L/31R = \frac{(45.48 \cdot 39) + (5.60 \cdot 35)}{45.48 + 5.60}$$

$$CDP\ 13L/31R = 38$$

$$CDP\ 13R/31L = \frac{PU_{13R}CTP_{13R} + PU_{31L}CTP_{31L}}{PU_{13R} + PU_{31L}}$$

$$CDP\ 13R/31L = \frac{(46.80 \cdot 39) + (2.38 \cdot 35)}{46.80 + 2.38}$$

$$CDP\ 13R/31L = 38$$

$$CDP_{13L/13R/31L/31R} = CDP\ 13L/31R + CDP\ 13R/31L$$

$$CDP_{13L/13R/31L/31R} = 38 + 38$$

$$CDP_{13L/13R/31L/31R} = 76$$





DIRECCIÓN DE SERVICIOS A LA  
NAVEGACIÓN AÉREA  
UNIDAD DE GESTIÓN DE AFLUENCIA DE  
TRÁNSITO AÉRO  
FMU COLOMBIA

[cfmu.dsna@aerocivil.gov.co](mailto:cfmu.dsna@aerocivil.gov.co)

PAG. 25/31

SEP. 2011

### DESCRIPCION DE LOS CAMPOS DE LA PLANILLA DE TOMA DE DATOS - OPERACIÓN ATERRIZAJE

NOMBRE CAMPO	TIPO	CARACTERES	EJEMPLO	DESCRIPCION DEL CAMPO
1. AERÓDROMO	ALFABETICO	4	SKBO	INDICADOR DE LUGAR - OACI
2. FECHA	NUMERICO	6	05/09/2007	dd/mm/aaaa
3. HORA INICIO UTC	NUMERICO	4	14:30	hh :mm
4. HORA FINALIZACION UTC	NUMERICO	4	15:30	hh :mm
5. PISTA	ALFANUMERICO	3	13L	PISTA EN USO
6. INFORME MET DE LA HORA	ALFANUMERICO	---	METAR 262300Z	INFORMES MET ORDINARIOS Y ESPECIALES DE AERÓDROMO
7. MATRICULA / N° VUELO	ALFANUMERICO	7	AES 7990	MATRICULA DE AERONAVE O SI ES EL CASO N° DE VUELO
8. TIPO DE AERONAVE	NUMERICO	4	MD82	NOMENCLATURA INTERNACIONAL OACI
9. CATEGORIA DE ACFT	ALFABETICO	1	C	CATEGORIA POR VELOCIDAD EN APROX. FINAL (SE ESCRIBE UNA X)
10. TIEMPOS DE OCUPACION	NUMERICO	4	00:58	TIEMPOS DE OCUPACION DE LA PISTA (mm:ss)
11. NOMBRE DE TWY	ALFANUMERICO	1	A	NOMBRE DE LA CALLE DE RODAJE UTILIZADA PARA ABANDONAR LA PISTA
12. OBSERVACIONES	ALFANUMERICO	---	B	ESTADO DE OPERACIÓN DE CALLE DE RODAJE
13. DATOS CONSIGNADOS POR:	ALFABETICO	---	-----	APELLIDO Y NOMBRES DEL CONTROLADOR QUE REALIZO LA TOMA
14. FIRMA	-----	---	-----	-----





DIRECCIÓN DE SERVICIOS A LA  
NAVEGACIÓN AÉREA  
UNIDAD DE GESTIÓN DE AFLUENCIA DE  
TRÁNSITO AÉREO  
FMU COLOMBIA

[cfmu.dsna@aerocivil.gov.co](mailto:cfmu.dsna@aerocivil.gov.co)

PAG. 27/31

SEP. 2011

DESCRIPCIÓN DE LOS CAMPOS DE LA PLANILLA  
DE TOMA DE DATOS - OPERACIÓN ATERRIZAJE

NOMBRE CAMPO	TIPO	CARACTERES	EJEMPLO	DESCRIPCIÓN
1. AERÓDROMO	ALFABETICO	4	SKBO	INDICADOR I
2. FECHA	NUMERICO	6	05/09/2007	dd/mm
3. HORA INICIO UTC	NUMERICO	4	14:30	hh
4. HORA FINALIZACION UTC	NUMERICO	4	15:30	hh
5. PISTA	ALFANUMERICO	3	13L	PISTA
6. INFORME MET DE LA HORA	ALFANUMERICO	---	METAR 262300Z	INFORMES MET ORDINARIOS
7. MATRICULA / N° VUELO	ALFANUMERICO	7	AES 7990	MATRICULA DE AERONAVE
8. TIPO DE AERONAVE	NUMERICO	4	MD82	NOMENCLATURA
9. CATEGORIA DE ACFT	ALFABETICO	1	C	CATEGORIA POR VELOCIDAD EN
10. TIEMPOS DE OCUPACION	NUMERICO	4	00:58	TIEMPOS DE OCUPACION
11. NOMBRE DE TWY	ALFANUMERICO	1	A	NOMBRE DE LA CALLE DE RODAJE
12. OBSERVACIONES	ALFANUMERICO	---	B	ESTADO DE OPERACION
13. DATOS CONSIGNADOS POR:	ALFABETICO	---	-----	APELLIDO Y NOMBRES DEL COM
14. FIRMA	-----	---	-----	-----



**MEDIA ARITMÉTICA DE LOS TIEMPOS DE OCUPACIÓN DE PISTA DURANTE EL  
ATERRIZAJE POR CATEGORÍA DE AERONAVES (MTOPA)**

**AERÓDROMO:**

**PISTA:**

$$\sum TOPA_{CAT X} / N^{\circ} ACFT_{CAT X}$$

CAT	TIEMPO (seg)
A	
B	
C	
D	
E	

**MEDIA ARITMÉTICA DE LOS TIEMPOS DE OCUPACIÓN DE PISTA DURANTE EL  
DESPEGUE POR CATEGORÍA DE AERONAVES (MTPD)**

$$\sum TOPD_{CAT X} / N^{\circ} ACFT_{CAT X}$$

CAT	TIEMPO (seg)
A	
B	
C	
D	
E	

**MEDIA ARITMETICA DE LOS TIEMPOS DE OCUPACION DE PISTA POR CATEGORIA  
DE AERONAVES (MATOP)**

$$(\sum MTOPA + \sum MTPD) / 2$$

CAT	TIEMPO (seg)
A	MATOP <sub>A</sub>
B	MATOP <sub>B</sub>
C	MATOP <sub>C</sub>
D	MATOP <sub>D</sub>
E	MATOP <sub>E</sub>

<b>PISTA</b>	
$MATOP_A = \frac{MTOPD_A + MTOPA_A}{2}$	
$MATOP_B = \frac{MTOPD_B + MTOPA_B}{2}$	
$MATOP_C = \frac{MTOPD_C + MTOPA_C}{2}$	
$MATOP_D = \frac{MTOPD_D + MTOPA_D}{2}$	
$MATOP_E = \frac{MTOPD_E + MTOPA_E}{2}$	
Formato 4	

<b>PISTA</b>		<b>PISTA</b>	
CAT	PORCENTAJE %	CAT	PORCENTAJE %
A		A	
B		B	
C		C	
D		D	
E		E	
Formato 5			

PISTA	% DE UTILIZACION (PU)
PISTA	
PISTA	
TOTAL	
Formato 6	





DIRECCIÓN DE SERVICIOS A LA  
NAVEGACIÓN AÉREA  
UNIDAD DE GESTIÓN DE AFLUENCIA DE  
TRÁNSITO AÉREO  
FMU COLOMBIA

[cfmu.dsna@aerocivil.gov.co](mailto:cfmu.dsna@aerocivil.gov.co)

PAG. 1/31

SEP. 2011

### DESCRIPCION DE LOS CAMPOS DE LA PLANILLA DE TOMA DE DATOS - OPERACIÓN ATERRIZAJE

NOMBRE CAMPO	TIPO	CARACTERES	EJEMPLO	DESCRIPCION DEL CAMPO
1. AERÓDROMO	ALFABETICO	4	SKBO	INDICADOR DE LUGAR - OACI
2. FECHA	NUMERICO	6	05/09/2007	dd/mm/aaaa
3. HORA INICIO UTC	NUMERICO	4	14:30	hh :mm
4. HORA FINALIZACION UTC	NUMERICO	4	15:30	hh :mm
5. PISTA	ALFANUMERICO	3	13L	PISTA EN USO
6. INFORME MET DE LA HORA	ALFANUMERICO	---	METAR 262300Z	INFORMES MET ORDINARIOS Y ESPECIALES DE AERÓDROMO
7. MATRICULA / N° VUELO	ALFANUMERICO	7	AES 7990	MATRICULA DE AERONAVE O SI ES EL CASO N° DE VUELO
8. TIPO DE AERONAVE	ALFANUMERICO	4	MD82	NOMENCLATURA INTERNACIONAL OACI
9. CATEGORIA DE ACFT	ALFABETICO	1	C	CATEGORIA POR VELOCIDAD EN APROX. FINAL (SE ESCRIBE UNA X)
10. TIEMPOS DE OCUPACION	NUMERICO	4	00:58	TIEMPOS DE OCUPACION DE LA PISTA (mm:ss)
11. TIPO DE APROXIMACION	ALFANUMERICO	15	CIRCULAR	NOMBRE DEL TIPO DE APROXIMACION (ILS/VOR/NDB/CIRCULAR)
12. OBSERVACIONES	ALFANUMERICO	---	B	ESTADO DE OPERACIÓN DE CALLE DE RODAJE
13. DATOS CONSIGNADOS POR:	ALFABETICO	---	-----	APELLIDO Y NOMBRES DEL PERSONAL QUE REALIZO LA TOMA
14. FIRMA	-----	---	-----	-----

**INFORME CAPACIDAD DE  
SECTOR ATC  
“BOGOTÁ LLEGADAS”**



DIRECCIÓN DE SERVICIOS A LA NAVEGACIÓN  
AÉREA  
UNIDAD DE GESTIÓN DE AFLUENCIA DE  
TRÁNSITO AÉREO  
FMU COLOMBIA  
[cfmu.dsna@aerocivil.gov.co](mailto:cfmu.dsna@aerocivil.gov.co)

PAG. 1/13

SEP. 2011

# INFORME CAPACIDAD DE SECTOR ATC “BOGOTÁ LLEGADAS”

**CONTENIDO**

<b>1. INTRODUCCION.....</b>	<b>2</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1 Objetivo General.....</b>	<b>3</b>
<b>2.2 Objetivo Especifico.....</b>	<b>3</b>
<b>3. MARCO TEORICO.....</b>	<b>3</b>
<b>4. METODOLOGIA.....</b>	<b>5</b>
<b>5. ANALISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>9</b>
<b>6. CONCLUSIONES.....</b>	<b>10</b>
<b>7. VALIDACION DE RESULTADOS.....</b>	<b>10</b>
<b>8. BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>11</b>

	<b>DIRECCIÓN DE SERVICIOS A LA NAVEGACIÓN AÉREA</b> <b>UNIDAD DE GESTIÓN DE AFLUENCIA DE TRÁNSITO AÉREO</b> <b>FMU COLOMBIA</b> <a href="mailto:cfmu.dsna@aerocivil.gov.co">cfmu.dsna@aerocivil.gov.co</a>	PAG. 3/13
		SEP. 2011

## 1. INTRODUCCIÓN

Basándose en el actual crecimiento del tráfico aéreo alrededor de todo el mundo, en las nuevas tecnologías y los métodos propuestos para mejorar la calidad y cumplimiento de los itinerarios y frecuencias para lograr así la satisfacción y comodidad de los usuarios de los servicios de transporte de pasajeros y de carga, es deber de la autoridad ATS competente respectiva en cada país regular de manera eficiente y responsable el volumen de tránsito que puede operar por determinado periodo de tiempo en un espacio aéreo, teniendo en cuenta los recursos tecnológicos, geográficos y de infraestructura física disponibles así como de las condiciones operacionales propias de cada posición de un centro de control.

Para lograr este objetivo es necesaria una labor conjunta entre los servicios de Gestión de Afluencia y Capacidad de Tránsito Aéreo (ATFCM) y los Servicios de Tránsito Aéreo (ATS) con el fin de asegurar la máxima utilización de los espacios aéreos, en este caso para el sector de Bogotá Llegadas.

Es por lo anterior que la unidad administrativa especial de aeronáutica civil de Colombia (UAEAC) con su dependencia UNIDAD DE GESTION DE AFLUENCIA Y CAPACIDAD DE TRANSITO (FMU-Colombia) ha decidido realizar una medición detallada de la capacidad del “BOGOTÁ LLEGADAS” del Aeropuerto Internacional Eldorado, teniendo en cuenta dos métodos de medición ampliamente aplicados por otras organizaciones de aviación civil del mundo logrando así una mejor precisión y veracidad y contemplados en la CIRCULAR REGLAMENTARIA 006 del 21 de diciembre de 2009 de la Secretaria de Sistemas Operacionales “**METODOLOGÍA DE MEDICIÓN Y CÁLCULO PARA LA DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD DE LOS SECTORES ATC DE LOS CENTROS Y SALAS DE CONTROL RADAR**” . Esta medición ha sido desarrollada en colaboración con estudiantes de ingeniería aeronáutica de la Universidad San Buenaventura, los cuales recibieron la respectiva

	<b>DIRECCIÓN DE SERVICIOS A LA NAVEGACIÓN AÉREA</b> <b>UNIDAD DE GESTIÓN DE AFLUENCIA DE TRÁNSITO AÉREO</b> <b>FMU COLOMBIA</b> <a href="mailto:cfmu.dsna@aerocivil.gov.co">cfmu.dsna@aerocivil.gov.co</a>	PAG. 4/13
		SEP. 2011

capacitación y seguimiento por parte de los expertos ATFM de la UAE de Aeronáutica Civil para así lograr una mayor exactitud en los resultados obtenidos.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GENERAL

Utilización de las metodologías establecidas por Colombia para la determinación de un valor de capacidad del sector de BOGOTÁ LLEGADAS del aeropuerto internacional Eldorado en periodos de tiempo de 15 y 60 minutos.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Realizar el cálculo de medición de capacidad del sector de BOGOTÁ LLEGADAS con la aplicación dos métodos diferentes.
- Definir un valor de aeronaves a ser vectorizadas simultáneamente en el sector de Bogotá llegadas.
- Conocer un valor promedio de la carga de trabajo de los controladores de tráfico aéreo en el sector.
- Proponer modificaciones en la funciones de los controladores de tráfico aéreo con el fin de reducir las cargas de trabajo mejorando la eficiencia operacional.

## 3. MARCO TEORICO

La medición de capacidad de un sector es un proceso estadístico que tiene como finalidad el obtener un valor que indica un número de aeronaves que pueden ser controladas en un espacio aéreo determinado por un periodo de tiempo teniendo en cuenta factores relevantes como:

- Carga de trabajo del controlador.

- Tareas observables.
- Tareas no observables.
- Cantidad de aeronaves en el sector.
- Tiempo de permanencia de las aeronaves en el sector.
- Tiempo de comunicaciones con las tripulaciones de las aeronaves en el sector.
- Tiempo de comunicaciones entre controladores.

En la actualidad existen variados y diferentes métodos para la obtención de un valor lógico de capacidad para un sector con el fin de satisfacer la creciente demanda de los servicios de tránsito aéreo. Los métodos implementados para la obtención de la capacidad son:

- Método utilizando el Modelo DORATASK.

$$N = \frac{F * T}{n * Tm} \qquad CH = \frac{3600 \text{ sg} * N}{T (\text{sg})}$$

En donde:

N= Número de aeronaves controladas vectorizadas simultáneamente.

F= Factor de disponibilidad.

T= Tiempo medio de permanencia de las aeronaves en el sector.

n= Número medio de comunicaciones de cada aeronave en el sector.

Tm= Tiempo medio de duración de los mensajes radiotelefónicos.

CH= Capacidad por hora.

- Método para la determinación de capacidad de sectores en periodos de 15 minutos.

$$N = \frac{T}{Tm + Tc + Tt}$$

	<b>DIRECCIÓN DE SERVICIOS A LA NAVEGACIÓN AÉREA</b> <b>UNIDAD DE GESTIÓN DE AFLUENCIA DE TRÁNSITO AÉREO</b> <b>FMU COLOMBIA</b> <a href="mailto:cfmu.dsna@aerocivil.gov.co">cfmu.dsna@aerocivil.gov.co</a>	PAG. 6/13
		SEP. 2011

En donde:

N= Numero de aeronaves a ser controladas en periodos de 15 minutos.

T= Tiempo promedio de vuelo de las aeronaves en el sector.

Tm= Tiempo promedio de comunicaciones (controlador - piloto).

Tc= Tiempo promedio de comunicaciones (controlador – controlador).

Tt= Tiempo promedio de tareas observables del controlador.

Para la realización de este método es necesario el análisis de las tareas observables del controlador y después de realizar las estadísticas respectivas, definir un valor de carga de trabajo promedio de los controladores en la posición de control.

En este método se tienen en cuenta las sumatorias de tiempos de cada uno de los métodos aplicados por el controlador para cada una de las tareas.

#### 4. METODOLOGIA

Para el cálculo de la capacidad de sector, se siguió el siguiente orden de eventos:

##### 1er paso:

Recolección de datos:

Registrar en formularios específicos, constantes de las Tablas 1, 2, 3, 4, 5, 6, respectivamente, factores directa e inversamente proporcionales a la capacidad ATC, como lo son: factor de disponibilidad del controlador, numero de comunicaciones con la aeronave, tiempo de duración de cada mensaje con el avión y con controladores dentro de la posición de control, tiempo de permanencia de las aeronaves en el sector central (considerado este con un radio de 30 millas a partir del VOR Bogotá) y el promedio del tiempo de las tareas observables del controlador.



**TABLA 1**

FECHA	HORA (INICIO-FINAL)	CONTROLADOR (SIGLAS)	POSICION DE CONTROL	TIEMPO TOTAL (sg)	TIEMPO DE DISPONIBILIDAD (sg)	f(%)
<b>FACTOR DE DISPONIBILIDAD MEDIA DEL CONTROLADOR</b>						

**TABLA 2**

FECHA	HORA		CONTROLADOR	POSICION												
	INICIO	FINAL														
				LLEGADAS												
MATRICULA	NUMERO DE CONTACTOS Y TIEMPO EN LA TRASMISION Y RECEPCION (sg)															n
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	

**TABLA 3**

FECHA	HORA		CONTROLADOR	POSICION												
	INICIO	FINAL														
SECTOR	NUMERO DE CONTACTOS Y TIEMPO EN LA TRASMISION / RECEPCION (sg)															Tc
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
SUR																
NORTE																
TORRE N																
TORRE S																
OTROS																
TIEMPO PROMEDIO DE LAS COMUNICACIONES CONTROLADOR/CONTROLADOR																
TIEMPO MEDIO DE DURACION DE CADA MENSAJE																



**TABLA 4**

FECHA	HORA		CONTROLADOR	POSICION
	INICIO	FINAL		
MATRICULA	TIEMPO DE VUELO EN EL SECTOR			
	HORA ENTRADA		HORA SALIDA	TIEMPO DE VUELO EN EL SECTOR
				00:00:00
				00:00:00
TIEMPO MEDIO EN SEGUNDOS (T)=9,2 min * 60				00:00:00

**TABLA 5**

FECHA	HORA		CONTROLADOR	POSICION												
	INICIO	FINAL														
MATRICULA	NUMERO DE CONTACTOS Y TIEMPO EN LA TRASMISION Y RECEPCION (sg)															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Tm

**TABLA 6**

FECHA	HORA (INICIO-FINAL)	CONTROLADOR (SIGLAS)	POSICION DE CONTROL	TIEMPO TOTAL (sg)	TIEMPO DE TAREAS (sg)	# DE AERONAVES	(Tt) PROMEDIO TIEMPO DE TAREAS (sg)
TIEMPO PROMEDIO DE TAREAS OBSERVADAS DEL CONTROLADOR							
TIEMPO PROMEDIO DE LAS COMUNICACIONES CONTROLADOR/PILOTO							

Nota 1: Las recolecciones fueron realizadas junto al controlador en la posición de control de Bogotá llegadas del ACC Bogotá, la toma de tiempo de comunicación entre el piloto y el controlador fue sustraída por medio del software llamado REDBOX, y la permanencia de la aeronave en el sector con la ayuda de playback de radar.

Nota 2: Para la toma de tiempos anteriormente mencionados se requirió un software de control de tiempo y un cronometro.

Nota 3: El tiempo de toma de datos se realizó durante un periodo de 60 minutos a partir del mes de septiembre de año 2010, teniendo en cuenta las condiciones para la medición (no deben ser: turnos de instrucción, con interferencias, ausencia del controlador, etc.) en horario de alta y baja densidad de tránsito.

### **Paso 2:**

Cálculo del número de referencia, y capacidad horaria para el método del concepto de carga de trabajo y cálculo del número de referencia para la capacidad del sector según el método Doratask.

Para este paso se organizaron las tablas de tal forma que se podían obtener resultados inmediatos (tabla 7) de constantes necesarias para cada cálculo, promediándolos en una tabla general, y de esta forma empleados en las siguientes ecuaciones:

<b>TABLA 7</b>		
<b>DATOS EMPLEADOS PARA LA DETERMINACION DE CAPACIDAD DE SECTOR</b>		
<b>F</b>	<b>61,95140741</b>	<b>%</b>
<b>n</b>	<b>5,4389</b>	
<b>Tm</b>	<b>12,644</b>	<b>sg</b>
<b>T</b>	<b>420,1333333</b>	<b>sg</b>
<b>Tt</b>	<b>23,91863618</b>	<b>sg</b>
<b>Tto</b>	<b>3600</b>	<b>sg</b>
<b>Tc</b>	<b>3,747166667</b>	<b>sg</b>

	<b>DIRECCIÓN DE SERVICIOS A LA NAVEGACIÓN AÉREA</b> <b>UNIDAD DE GESTIÓN DE AFLUENCIA DE TRÁNSITO AÉREO</b> <b>FMU COLOMBIA</b> <a href="mailto:cfmu.dsna@aerocivil.gov.co">cfmu.dsna@aerocivil.gov.co</a>	PAG. 10/13
		SEP. 2011

$$N = \frac{F*T}{n*Tm} \quad \text{Eq. (1)}$$

De la cual se obtuvo un resultado de 4 aeronaves que son las que simultáneamente un controlador RADAR en la posición de llegadas puede vectorizar al mismo tiempo, seguido a esto se calculó el valor de capacidad horaria:

$$CH = \frac{3600 \text{ sg} * N}{T \text{ (sg)}} \quad \text{Eq. (2)}$$

Lo cual da un valor de 34 aviones por hora, este resultado dado según el método de carga de trabajo.

Para el método de determinación de la capacidad de sector para periodos de 15 minutos se empleó la siguiente ecuación.

$$N = \frac{T}{Tm+Tc+Tt} \quad \text{Eq. (3)}$$

En este caso se obtuvo un valor de 10 aviones por 15 minutos, posterior a esto se calculó para una hora dando como resultado 40 aviones por hora.

## 5. ANALISIS DE RESULTADOS

Para el método de Doratask el cual tiene en cuenta el factor de disponibilidad, el número de comunicaciones, el tiempo de permanencia de las aeronaves en el sector y el tiempo medio de comunicaciones, se traduce en que a menor tiempo de tareas observables mayor va a ser el número de referencia (N) (Tabla 8), lo que daría una capacidad horaria alta.

Este método se ve afectado por las condiciones o disponibilidad de trabajo de cada controlador, lo que significa que se tiene en cuenta es el modo de trabajo mas no los factores limitantes, lo cual sería una forma de calificar a los controladores que se hagan cargo de este sector, lo que representaría un alto nivel de concentración, planeación, organización por parte de este, para lograr el objetivo máximo de capacidad de sector.

TABLA 8		
METODO DOROTASK		
<b>N</b>	3,784798438	
	4	
<b>CH</b>	<b>34,27483339</b>	<b>AVIONES /HR</b>

Por otro lado para el método del concepto de carga de trabajo, este tiene en cuenta el promedio de tiempo de las tareas observables, la permanencia de las aeronaves en el sector y tiempo de comunicaciones entre piloto-controlador y controlador-controlador, durante un periodo de tiempo de 15 minutos.

Este método no tiene en cuenta la disposición del controlador por lo cual la capacidad sería alta (Tabla 9) porque a menor tiempo de comunicaciones y de permanencia en el sector de la aeronave para 15 minutos va a ser mayor la capacidad de sector, pero sin importar que tan efectivo y/o bueno pueda ser el trabajo del controlador o los factores humanos que pueda estar afectando a este.

TABLA 9		
CAPACIDAD DE SECTOR PARA METODO DE 15 MINS		
<b>N</b>	<b>10,42260948</b>	
	<b>10</b>	<b>AVIONES/15MIN</b>
<b>CH</b>	<b>40</b>	<b>AVIONES/HR</b>

	<b>DIRECCIÓN DE SERVICIOS A LA NAVEGACIÓN AÉREA</b> <b>UNIDAD DE GESTIÓN DE AFLUENCIA DE TRÁNSITO AÉREO</b> <b>FMU COLOMBIA</b> <a href="mailto:cfmu.dsna@aerocivil.gov.co">cfmu.dsna@aerocivil.gov.co</a>	PAG. 12/13
		SEP. 2011

## 6. CONCLUSIÓN

Debido a que se observaron altos valores en los tiempos de duración de mensajes controlador – piloto se recomienda realizar ajustes a la fraseología a fin de mejorar los valores de disponibilidad y carga de trabajo del controlador.

Se recomienda mejorar el secuencia miento realizado por los sectores alimentadores hacia el sector de Bogotá Llegadas.

Se recomienda efectuar restricciones en los horarios de operación de ciertos tipos de aeronaves, ya que el valor de tiempo de permanencia en el sector influye considerablemente en los valores de capacidad.

Se recomienda hacer un estudio y reubicación de los fix alimentadores del sector de Llegadas a fin de agilizar el secuenciamiento de aeronaves.

Se recomienda estandarizar el modo de operación del grupo de controladores a fin de no mostrar una gran diferencia en los criterios de control aplicados por el grupo de controladores que trabajan en el sector evaluado.

## 7. VALIDACION DE RESULTADOS

Los datos obtenidos mediante la aplicación de los métodos anteriores deberán ser convalidados mediante la ejecución de ejercicios prácticos en el simulador Radar.

	<b>DIRECCIÓN DE SERVICIOS A LA NAVEGACIÓN AÉREA UNIDAD DE GESTIÓN DE AFLUENCIA DE TRÁNSITO AÉREO FMU COLOMBIA</b> <a href="mailto:cfmu.dsna@aerocivil.gov.co">cfmu.dsna@aerocivil.gov.co</a>	PAG. 13/13
		SEP. 2011

## 8. BIBLIOGRAFIA

[1] Metodología de medición y cálculo para la determinación de capacidad de los sectores ATC de los centros y salas de control radar, Aeronáutica civil.

---