



**Quinta Reunión Conjunta GREPECAS–RASG-PA (GREPECAS-RASG-PA/5) y  
Vigésima tercera Reunión del Grupo Regional de Planificación y Ejecución del Caribe y  
Sudamérica (GREPECAS/23)**

Fase Virtual (Asincrónica, 19 de enero al 17 de febrero de 2026)

Fase Presencial (Ciudad de México, México del 2 al 6 de marzo de 2026)

**Cuestión 6 del  
Orden del día:**

**Avances en la planificación de la navegación aérea regional y nacional**

**DESARROLLO Y APLICACIÓN DE UNA METODOLOGÍA MATEMÁTICA PARA EL  
CÁLCULO DE LA CAPACIDAD INSTANTÁNEA (PIAC) COMO KPI EN ÁREAS DE  
CONTROL TERMINAL: CASO DE ESTUDIO EN LA TMA DE CANCÚN**

(Presentada por México)

**RESUMEN EJECUTIVO**

Este documento presenta una metodología matemática desarrollada por los Servicios a la Navegación en el Espacio Aéreo Mexicano (SENEAM) para el cálculo de la capacidad instantánea de aeronaves (PIAC) en sectores de áreas de control terminal (TMA). El modelo considera la necesidad de secuenciación de tráfico hacia un mismo aeródromo, incorporando analogías con el principio de continuidad en mecánica de fluidos, porcentajes históricos de utilización de trayectorias y factores como tiempos de vuelo medios y velocidades respecto al terreno (GS). Se diferencia de enfoques existentes al priorizar la formación de secuencias de llegada, permitiendo determinar la PIAC máxima y las separaciones longitudinales mínimas en puntos de entrada para evitar sobrecargas. La metodología fue aplicada en la TMA de Cancún (MMUN), los valores de capacidad instantánea por cada sector. Se propone su consideración para enriquecer las prácticas regionales en la Región CAR/SAM.

<b>Acción:</b>	Se invita a la Reunión a tomar nota de la metodología presentada, considerar su potencial integración en el Doc. 9971 de la OACI (Manual sobre Gestión del Tránsito Aéreo Colaborativo) y recomendar su evaluación para adopción en estudios de capacidad de TMAs en la Región CAR/SAM.
----------------	---

<b>Metas Estratégicas 2026-2050:</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Todos los vuelos son seguros y protegidos</li><li>• La Aviación es sostenible en términos medioambientales</li><li>• Movilidad fluida, accesible y confiable</li><li>• Ningún país se queda atrás</li><li>• Marco jurídico integral</li><li>• Desarrollo económico</li></ul>
--------------------------------------	--

<i>Referencias:</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Doc. 9883, <i>Manual sobre la actuación mundial del sistema de navegación aérea.</i></li> <li>• Doc. 9971, <i>Manual sobre Gestión del Tránsito Aéreo Colaborativo.</i></li> </ul>
---------------------	---

## 1. Introducción

1.1 La Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) enfatiza la importancia de una gestión efectiva del flujo de tránsito aéreo (ATFM) como habilitador clave para la eficiencia y seguridad en la gestión del tránsito aéreo (ATM). En este contexto, la determinación precisa de capacidades en espacios aéreos controlados, particularmente en áreas de control terminal (TMA), es fundamental para analizar pronósticos de flujo y evitar demoras innecesarias, como el uso excesivo de la guía vectorial táctica o circuitos de espera, que impactan el indicador de rendimiento KPI 08 ("Additional time in terminal airspace") del Doc. 9971<sup>2</sup>.

1.2 Si bien los métodos existentes, como los propuestos por la OACI y la Administración Federal de Aviación (FAA), abordan la capacidad de sectores en ruta mediante estimaciones de carga de trabajo del controlador (e.g., basados en tiempos de vuelo promedio y factores de disponibilidad), estos enfoques no incorporan adecuadamente necesidad de secuenciar tráficos hacia un mismo aeródromo en áreas terminales, donde el factor limitante radica en la longitud de las trayectorias IFR existentes<sup>3</sup>.

1.3 En respuesta a esta brecha, SENEAM ha desarrollado una metodología matemática para calcular la capacidad instantánea de aeronaves (PIAC), definida en el Doc. 9883 como el número máximo de vuelos IFR presentes simultáneamente en un sector en un instante dado<sup>1</sup>. Esta metodología integra el régimen de aceptación de llegadas (AAR) del aeródromo, así como porcentajes históricos de utilización de trayectorias, tiempos de vuelo medios y las variaciones de velocidad GS de las aeronaves, permitiendo también determinar las separaciones longitudinales necesarias en puntos de entrada para mantener flujos constantes sin sobrecargar la capacidad. El presente estudio detalla el desarrollo teórico y la aplicación práctica en la TMA de Cancún (MMUN), un espacio aéreo de alta complejidad con múltiples sectores y configuraciones de pista.

## 2. Antecedentes

2.1 Las metodologías actuales para capacidad de sectores, como la expuesta en el Doc. 9971, se centran en la carga de trabajo del controlador, utilizando fórmulas como:

$$C = \frac{T_f}{N_c \cdot T_m} \cdot (1 - D)$$

Donde  $T_f$  es el tiempo promedio de vuelo en el sector,  $N_c$  el número de comunicaciones por aeronave,  $T_m$  la duración media de cada mensaje y  $D$  el factor de disponibilidad del controlador<sup>2</sup>. Este enfoque determina el número máximo de aeronaves con las que se puede mantener control efectivo, pero omite la secuenciación requerida en TMAs, donde las aeronaves convergen hacia un destino común.

2.2 Similarmente, el método de la FAA, incorporado en el Doc. 9971, simplifica el cálculo multiplicando el tiempo de vuelo promedio por un factor de 1.6 para estimar aeronaves simultáneas, resultando en valores como 25.6 para un tiempo de 16 minutos en sectores de llegada<sup>2</sup>. Sin embargo, análisis documentales revelan que estos métodos subestiman el impacto de la secuenciación en áreas terminales, donde la capacidad está limitada por la reducción de múltiples flujos de entrada a una secuencia única por pista<sup>4</sup>.

2.3 Estudios alternativos, como los de la Civil Aviation Flight University of China, proponen modelos predictivos para capacidad horaria a partir de PIAC conocida, pero requieren datos previos no siempre disponibles en contextos operativos como las TMA's mexicanas<sup>5</sup>. Ante estas limitaciones, SENEAM desarrolló un modelo basado en principios físicos de continuidad de flujo.

### 3 Descripción de la Metodología

3.1 El modelo asume que, para no rebasar la capacidad de una TMA, el flujo de aeronaves (caudal,  $Q$ , en aeronaves por minuto) debe mantenerse constante entre entradas y salidas, análogo al principio de continuidad en mecánica de fluidos. El caudal máximo de salida se deriva del AAR de la pista:

$$Q_{max} = \frac{AAR}{60}$$

Donde el AAR se expresa en aeronaves por hora. Para un sector con múltiples trayectorias convergentes, la PIAC se calcula sumando las capacidades PIAC por cada trayectoria, “repartiendo” el AAR según los porcentajes históricos de utilización ( $p_i$ ):

$$PIAC = \sum_{i=1}^n \left( \frac{AAR \cdot p_i}{60} \cdot T_i \right)$$

donde  $T_i$  es el tiempo de vuelo medio (minutos) en la trayectoria  $i$ , y  $n$  el número de trayectorias en el sector.

3.2 Las separaciones longitudinales mínimas en puntos de entrada se determinan para mantener el valor de  $Q$  constante:

$$S_i = \frac{V_{GSi}}{AAR \cdot p_i}$$

donde  $V_{GSi}$  es la velocidad GS promedio (nudos) en el punto de entrada, y la separación en millas náuticas requerida en el punto de salida (o previo a la pista). Este enfoque incorpora los impactos de las desaceleraciones, así como los cambios de altitud y los distintos perfiles de descenso, permitiendo medir el efecto de guía vectorial táctica en la capacidad (e.g., los incrementos en KPI 08 al rebasar la capacidad PIAC).

3.3 La metodología se valida comparando la capacidad PIAC con los valores de carga de trabajo del controlador, seleccionando el valor mínimo como capacidad declarada, asegurando la alineación con los estándares de seguridad de la OACI.

### 4 Aplicación en la TMA de Cancún (MMUN)

4.1 La TMA de MMUN, que sirve a aeródromos como Cancún (MMUN), Cozumel (MMCZ) y Tulum (MRTL), se divide en diversos sectores denominados ARR, APP, FNL, DEP-N, DEP-S y DEP-W, con configuraciones distintas para pistas 12 y 30. Utilizando datos históricos de tiempos de vuelo medios y velocidades GS en los puntos de entrada del área terminal, y un AAR de 33 aeronaves/hora por pista, se calculó la capacidad PIAC por cada sector (**ver Apéndice A y Apéndice B**).

4.2 Los resultados indican que la capacidad por trayectorias es menor que por carga de trabajo, confirmando que la secuenciación funge como el factor limitante. La aplicación reveló que existen márgenes para optimizar el ATFM, reduciendo los tiempos adicionales en el área terminal Cancún y mejorando la eficiencia operativa de la zona.

## 5 Conclusiones

5.1 La metodología proporciona una herramienta analítica robusta para calcular PIAC y separaciones en TMAs, superando las limitaciones de los enfoques existentes al integrar el factor de la secuenciación y haciendo uso de datos operativos reales. Su aplicación en el área terminal de MMUN demuestra la viabilidad práctica de la metodología, con potencial para reducir demoras y mejorar la seguridad operacional.

## 6 Acciones sugeridas

6.1 La reunión está invitada a:

- a) Tomar nota de la información presentada;
- b) evaluar tanto la adopción regional de la metodología propuesta, como la posibilidad de integrarla en actualizaciones al Doc. 9971, y realizar estudios comparativos en otras áreas de control terminal de la región CAR/SAM; y
- c) Otras acciones que considere la reunión.

---

<sup>1</sup> Organización de Aviación Civil Internacional. (2009). Manual sobre la actuación mundial del sistema de navegación aérea (Doc. 9883). Primera edición.

<sup>2</sup> Organización de Aviación Civil Internacional. (2018). Manual sobre Gestión del Tránsito Aéreo Colaborativo (Doc. 9971). Tercera edición.

<sup>3</sup> Servicios a la Navegación en el Espacio Aéreo Mexicano (SENEAM). (2024). Estudio de Capacidad del Espacio Aéreo para Llegadas a la TMA MMUN. Incluido **en el apéndice A**.

<sup>4</sup> Administración Federal de Aviación (FAA). (2020). Air Traffic Control Procedures Manual.

<sup>5</sup> Civil Aviation Flight University of China. (2019). Predictive Models for Terminal Airspace Capacity. *Journal of Air Transport Management*, 78, 45-56.

<sup>6</sup> Organización de Aviación Civil Internacional. Portal GANP: KPI Overview. Disponible en: <https://www4.icao.int/ganportal/ASBU/KPI> (consultado el 18 de diciembre de 2025).

## APENDICE A.

### ESTUDIO DE CAPACIDAD DEL ESPACIO AÉREO PARA LLEGADAS A LA TMA MMUN

#### CAPÍTULO I – OBJETIVOS.

Determinar por medio de la aplicación de metodologías desarrolladas por ingenieros de SENEAM, y basadas en métodos recomendados por la organización de aviación civil internacional, la capacidad del espacio aéreo de cada uno de los sectores de llegada y aproximación en la TMA MMUN.

#### CAPÍTULO II – MARCO JURÍDICO Y NORMATIVO.

El presente Estudio es un documento está sustentado con base en la normatividad de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), así como a la normatividad Nacional emitida y aprobada por la Agencia Federal de Aviación Civil (AFAC).

Por otra parte, se tomaron como referencia los documentos de la Federal Aviation Administration (FAA) y EUROCONTROL, que a continuación se enlistan:

Marco Jurídico y Normativo aplicable.

Anexo 11 (OACI)	Servicios de tránsito aéreo
Doc 4444 (OACI)	ATM – Gestión del tránsito aéreo.
Doc 9971 (OACI)	Manual de gestión colaborativa de la afluencia del tránsito aéreo (ATFM).
MGTAM - SENEAM	Manual de Gestión de Tránsito Aéreo.

Documentos de referencia.

ICAO RLA/06/901	Guide for the application of a common methodology to estimate airport and atc sector capacity for the sam region.
Mou, Q.; Yang, Z.; Zhang, L. <a href="https://doi.org/10.3390/aerospace10100894">https://doi.org/10.3390/aerospace10100894</a>	A Methodology for Assessing Capacity of the Terminal Maneuvering Area Based on Service Resource Equilibrium
SAM/IG/6-IP/03	Methodology adopted by Brazil to calculate the control capacity of ACC of brazilian FIR

**CAPÍTULO III – ACRÓNIMOS**

AFAC	Agencia Federal de Aviación Civil.
AICM	Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México.
ATS	Air Traffic Services (Servicios de Tránsito Aéreo).
CFP	Calculo de capacidad física de pista.
FAA	Federal Aviation Administration (Administración Federal de Aviación USA).
IFR	Instruments Fligth Rules (Reglas de Vuelo por Instrumentos).
ILS	Instrument Landing System (Sistema de aterrizaje por instrumentos).
IMC	Instruments Meteorological Conditions (Condiciones meteorológicas por instrumentos).
KT	Knots (Nudos. 1 Nudo= 1 Milla Náutica/hora).
MATOP	Media aritmética de los tiempos de ocupación de pista aterrizaje/despegue
MSL	Mean sea level (Nivel medio del mar).
RNAV	Area Navigation (Navegación de Área)
RNP	Required Navigation Performance (Rendimiento de Navegación Requerida)
SAM	Región Sudamérica de OACI
SENEAM	Servicios a la Navegación en el Espacio Aéreo Mexicano.
SID	Standard Instruments Departure (Ruta de salida normalizada por instrumentos).
TDG	Taxiway Design Group (Grupo de diseño de calles de rodaje).
TMOP	Cálculo del Tiempo Medio de Ocupación de Pista.
TOPA	El tiempo de ocupación de pista durante el aterrizaje.
TOPD	Tiempo de ocupación de pista durante el despegue.
VFR	Visual Flight Rules (Reglas de Vuelo Visual).
VMC	Visual Meteorological Conditions (Condiciones meteorológicas de vuelo visual).

## CAPÍTULO IV – METODOLOGÍA.

Se llevó a cabo un análisis documental con el fin de identificar las metodologías aplicables para este estudio.

Se identificó que, tanto en la normatividad nacional e internacional, como en la bibliografía disponible sobre el tema, existe muy poca información sobre metodologías para calcular la capacidad de sector ATC en un área de control terminal, y nula información aplicable a capacidad cuando las aeronaves forman parte de una misma secuencia de llegada.

Las metodologías propuestas por la OACI para el cálculo de capacidad de sector, están enfocadas en estimar la carga de trabajo del controlador y su capacidad para expedir autorizaciones en función de la cantidad de aeronaves bajo su control<sup>12</sup>. Tales metodologías, no toman en cuenta la necesidad de establecer una secuencia para un aeropuerto en específico, dentro de sus cálculos, como se muestra en la siguiente fórmula:

$$N = \phi * T * (\eta * \tau_m)$$

Donde la capacidad de sector instantánea viene dada por el tiempo promedio de vuelo en el sector, así como el número de comunicaciones para cada aeronave en el sector, el tiempo medio de duración de cada mensaje, y un factor de disponibilidad del controlador, definido como el porcentaje de tiempo disponible para planificar los procedimientos de separación de aeronaves. Por lo tanto, la fórmula anterior está enfocada en determinar el número máximo de aeronaves con las que el controlador puede establecer comunicación y control efectivo, independientemente de si las aeronaves tienen el mismo destino y deben o no secuenciarse, el cual es el factor principal dentro de un área de control terminal

Por su parte, la metodología propuesta por la FAA y recogida en el documento 9971 de la OACI, es aún más simple, ya que para obtener la capacidad solo se emplea el tiempo de vuelo promedio en el sector, multiplicado por un factor igual a 1.6, para obtener la cantidad de aeronaves en vuelo simultáneo dentro del sector. Es sencillo desestimar el método de la FAA para su aplicación en áreas de control terminal, mediante un ejercicio rápido:

Suponiendo un tiempo de vuelo promedio en el área terminal únicamente para en los sectores de llegada de 16 minutos, la capacidad vendría dada por:

$$N = 16 * 1.6 = 25 \text{ aeronaves de llegada}$$

Los valores, aunque respaldados por OACI, evidentemente no resultan de utilidad para determinar la capacidad en un área terminal, y se puede comprobar que el factor limitante en la capacidad de sectores ATC en la TMA, viene dado por capacidad de la secuencia que se crea en dicho espacio aéreo.

En busca de un enfoque más realista de la capacidad de un área terminal, encontramos los estudios realizados por la Civil Aviation Flight University of China, nos encontramos con modelos predictivos para calcular la capacidad horaria a partir de una capacidad instantánea previamente conocida, por lo cual el método, a pesar de ser matemáticamente elegante, no resulta de utilidad para su aplicación en las terminales de México.

<sup>1</sup> OACI (2014). Manual on collaborative Air Traffic Flow Management (doc. 9971). Apéndice D.

<sup>2</sup> OACI (2009). Proyecto Regional RLA/06/901- GUÍA PARA LA APLICACIÓN DE UNA METODOLOGÍA COMÚN PARA EL CÁLCULO DE CAPACIDAD DE AEROPUERTO Y SECTORES ATC PARA LA REGIÓN SAM.

Por motivo de todo lo anterior, se desarrolló un método inédito para el cálculo de capacidad de sector ATC en el área terminal. Las generalidades del método se exponen a continuación.

La metodología toma como base el hecho de que para que la capacidad de un espacio aéreo terminal no se rebase, el flujo de aeronaves se debe mantener constante tanto a la entrada como a la salida, y ofrece valores que permiten medir la capacidad máxima instantánea, expresada en cantidad de aeronaves en vuelo simultáneamente, así como la capacidad expresada en términos cantidad de aeronaves que ingresan por unidad de tiempo.

Para la aplicación de esta metodología se toman como datos de entrada el tiempo de vuelo medio de las aeronaves en cada sector, combinado con la velocidad respecto al terreno de las aeronaves en los puntos de entrada y salida.

La utilización del tiempo de vuelo medio para el cálculo en lugar de segmentar las trayectorias en tramos de velocidad constante, permite incluir en el cálculo los tiempos de desaceleración producidos por modificación de la potencia de los motores en vuelo, así como los cambios de altitud de las aeronaves a lo largo de la trayectoria

La utilización de la velocidad respecto al terreno para los cálculos, permite incluir en el modelo las características de performance de las aeronaves y su impacto en la capacidad, así como los perfiles verticales preestablecidos en el diseño de las trayectorias de llegada y aproximación, lo anterior debido a que una aeronave que cambia de altitud, aun manteniendo su velocidad indicada constante, modifica su velocidad respecto al terreno.

La metodología define la capacidad máxima en función del tiempo mediante la siguiente formula:

$$AAR = \sum_{y=1}^m \Delta T * \varphi_y * \delta_{max} \quad (1)$$

Donde AAR es la relación de aceptación de llegadas declarada de la pista del aeródromo en cuestión,  $\varphi_y$  es el porcentaje de llegadas del total, que ingresan por la trayectoria "y" expresado como fracción, "m" es el numero de trayectorias o flujos de entrada en el área terminal,  $\delta_{max}$  es el flujo máximo de aeronaves a la salida, y  $\Delta T$  determina el intervalo de tiempo en el que se medirá la capacidad.

Así mismo, se puede obtener la capacidad máxima instantánea de un sector ATC, mediante la siguiente formula:

$$N = \sum_{y=1}^e \varepsilon_y * t_y \quad (2)$$

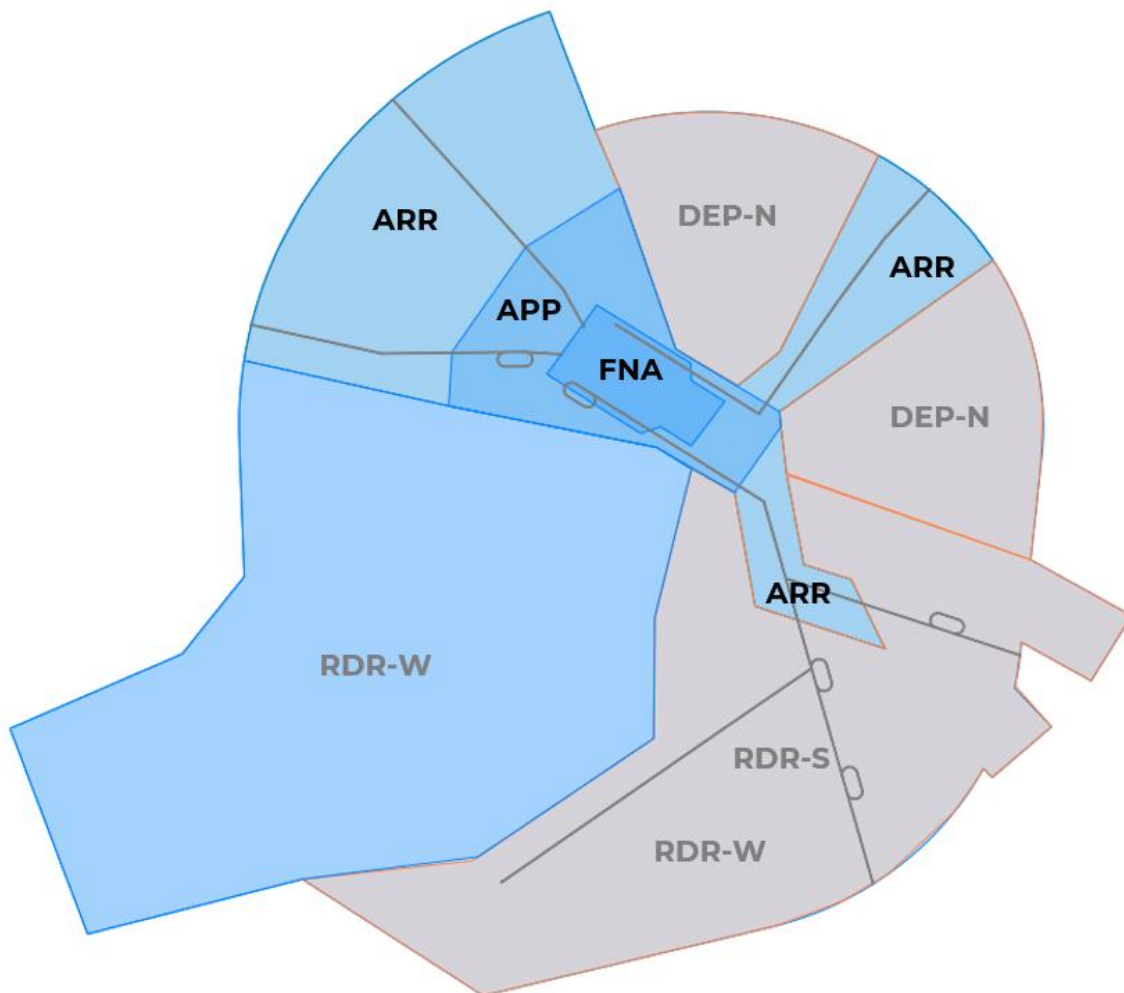
Donde  $\varepsilon_y$  es el flujo de entrada de la trayectoria y  $t_y$  es el tiempo de vuelo medio en el sector sobre la trayectoria "y".

La metodología permite desarrollar las fórmulas para obtener también una medición matemática del impacto de la capacidad debido a trayectorias extendidas mediante guía táctica, así como por modificaciones a la trayectoria producto de condiciones meteorológicas.

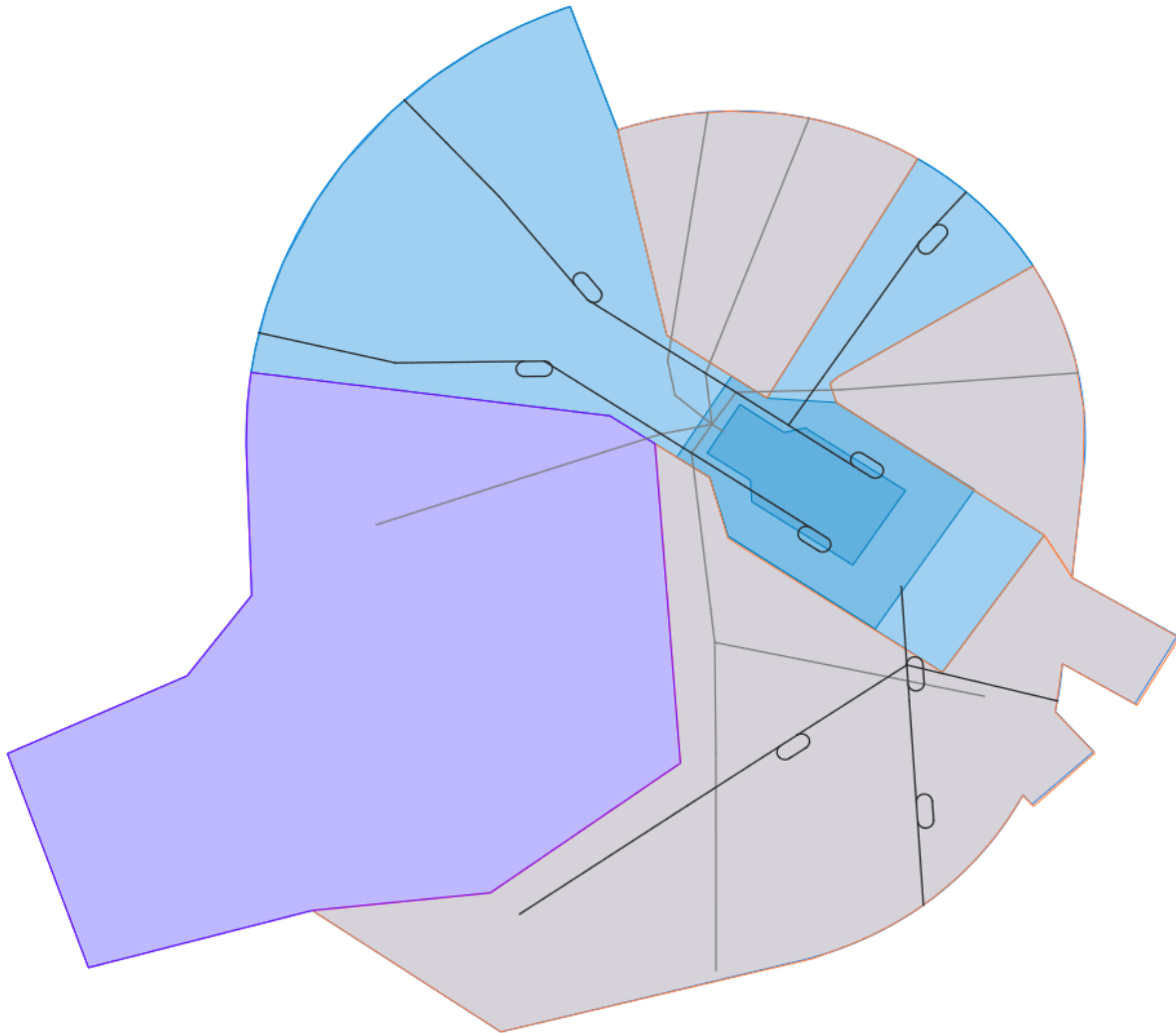
### CAPÍTULO V – CONDICIONES ACTUALES DEL AREA DE CONTROL TERMINAL MMUN.

La TMA MMUN se divide en distintos sectores dependiendo de la pista activa. Los sectores involucrados son LLEGADAS (ARR), APROXIMACIÓN (APP), APROXIMACIÓN FINAL (FNA), así como algunos sectores de salidas, como son RADAR SUR (RDR-S) y RADAR OESTE (RDR-W).

A continuación, se muestran los sectores que conforman la TMA MMUN en configuración para pistas 12 activas, así como los procedimientos de llegada y aproximación correspondientes.



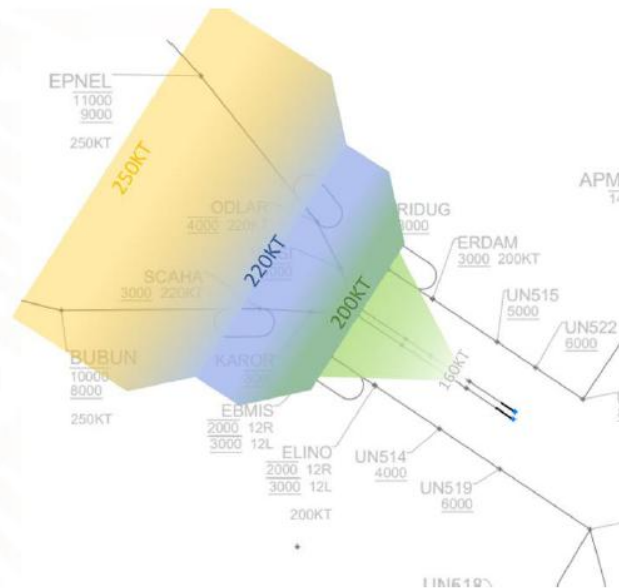
A continuación, se muestran los sectores que conforman la TMA MMUN en configuración para pistas 30 activas, así como los procedimientos de llegada y aproximación correspondientes.



Dentro de la TMA MMUN se tienen establecidas velocidades estandarizadas, las cuales pueden ser modificadas de acuerdo a las condiciones de tránsito o meteorológicas.

Para las pistas 30, las velocidades estandarizadas corresponden a las establecidas en los procedimientos de llegada y aproximación publicados.

Para las pistas 12, las velocidades estandarizadas corresponden a las de la siguiente figura:



Las transferencias de Ocontrol están establecidas de la siguiente manera:

#### De ARR a APP

- Entregará el tránsito a Aproximación en un flujo ordenado y a velocidades estandarizadas; para cumplir con el acuerdo con la Torre de Control de entregar el tránsito antes de FAP/FAF con separación de 4 MN, LLEGADAS proveerá de una separación longitudinal entre aeronaves consecutivas de 6 MN y 12 MN para intercalar,
- estas separaciones aplican a aeronaves con velocidad y categoría de turbulencia similares, debiéndose considerar una separación mayor cuando estén involucradas aeronaves de baja velocidad o categorías de turbulencia diferentes.
- Debidamente enrutado.
- Establecido en la STAR PBN o en trayectoria a interceptarla.
- Aeronaves sin aprobación PBN en un vector que emule la STAR PBN con velocidades estandarizadas y altitudes homologadas a los procedimientos PBN a fin de ordenarlos e integrarlos en la secuencia de aproximación. Se podrán asignar un procedimiento diferente previa coordinación entre los sectores involucrados.
- Aeronaves PBN bajo guía vectorial a velocidades estandarizadas y altitudes homologadas al procedimiento PBN a fin de ordenarlos e integrarlos en la secuencia de aproximación.
- Transferirá identificación y control del tránsito a APROXIMACIÓN (APP) en el orden en que definió la secuencia de aproximación.
- La transferencia se hará antes del límite común, considerando el equilibrio de las cargas de trabajo.

#### De ARR a RADAR OESTE (RDR-W)

- Procedente de VIGTU, antes del límite común, a menos que se coordine de otra forma.
- Procedente EMOSA sobre el VOR CUN, a menos que se coordine de otra forma.

## De APP a FINAL (FNA)

- Antes del límite de su sector.
- A los tránsitos en el downwind que se intercalaran antes del IAF, al cruzar los waypoints UN515 y UN514 para pistas 12, UN500 y UN608 en pistas 30.

## De RADAR OESTE a LLEGADAS (ARR)

- Transferir el tránsito con destino a MMUN después del VOR CZM libre de tránsito, a menos que se coordine de otra forma.

## De RADAR OESTE a RADAR SUR (RDR-S)

- Transferir antes del límite vertical de su jurisdicción al tránsito de salida de MMCZ cuya ruta penetre el espacio de RADAR SUR.

## De RADAR SUR (RDR-S) a LLEGADAS (ARR)

- Transferir el tránsito con destino a MMUN antes del límite de su jurisdicción y libre de tránsito, a menos que se coordine una manera diferente.
- Coordinar con el supervisor de flujo la separación y secuenciación de tránsitos.

## De RADAR SUR (RDR-S) a RADAR OESTE (RDR-W)

- Transferir el tránsito hacia MMCZ proveniente de PAULE, SIGMA e ILUBA antes del límite jurisdiccional lateral o vertical.

## CAPÍTULO VI – RECOLECCIÓN DE DATOS

De acuerdo a la metodología expuesta, el cálculo de la capacidad está en función de el régimen de aceptación de llegadas (AAR) potencial del aeropuerto.

Con base en lo anterior, se realizó un estudio específico para determinar dicho valor en el aeropuerto de MMUN, el cual se encuentra plasmado en el documento “ESTUDIO DE CAPACIDAD DEL ESPACIO AÉREO Y LADO AIRE DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL DE CANCUN (MMUN)”.

El estudio contiene una metodología basada en el Manual de cálculo de capacidad de pista y sector ATC-Versión 1, presentado por la OACI en el vigésimo cuarto taller/reunión del grupo de implantación SAM (SAM/IG/24)-Proyecto regional RLA/06/901, llevado a cabo del 4 al 8 de noviembre del 2019 en la ciudad de Lima, Perú, modificada para expresar el régimen de aceptación (AAR) en función de un porcentaje asociado de aproximaciones frustradas esperadas atribuibles al control de tránsito aéreo, donde se puede seleccionar un porcentaje aceptable para determinar el AAR potencial:

Valor propuesto de buffer	separación requerida en el FAF	TMOP (seg)	arr/h	% app. frustradas
1	5.616 NM	143.087056	25.2	0.9 %
0.9	5.3352 NM	135.932703	26.5	1 %
0.8	5.0544 NM	128.77835	28	1.1 %
0.7	4.7736 NM	121.623997	29.6	1.5 %
0.6	4.4928 NM	114.469645	31.4	2.2 %
0.5	4.212 NM	107.315292	33.5	2.6 %
0.425	4 NM	101.913857	35.3	3.9 %
0.4	3.9312 NM	100.160939	35.9	4.3 %
0.3	3.6504 NM	93.0065862	38.7	5.7 %
0.2	3.3696 NM	85.8522334	41.9	8.8 %
0.1	3.0888 NM	78.6978806	45.7	14.5 %
0	2.808 NM	71.5435278	50.3	26.3 %

Ejemplo de AAR potenciales en función del valor de buffer propuesto, para pista 12

De manera análoga, se puede obtener el régimen de salidas del aeropuerto (ADR) buscando un tiempo de ocupación de pista que abarque el 95% de los tiempos cronometrados en la operación real, arrojando el siguiente resultado:

$$TMOPDP = 106.31 \text{ seg}$$

Este valor tiene un nivel de confiabilidad asociado a la confiabilidad del tamaño de la muestra.

$$\text{no. de despegues} = \frac{3600}{TMOPDP}$$

$$\text{no. de despegues} = 33.86 \text{ aeronaves} \approx \mathbf{33 \text{ salidas por hora}}$$

Para el cálculo de la capacidad, fue necesario cronometrar los tiempos de vuelo en cada sector ATC del área de control terminal de MMUN, de acuerdo a los siguientes criterios:

- Para las aeronaves de llegada, los tiempos se tomaron a partir del primer fijo de entrada a la MMUN TMA, efectuando el procedimiento completo, de acuerdo con lo siguiente:
  - VOMARIA fijo: AGNIX
  - NOSATIB fijo: HACHO
  - ILUBAIF fijo: URVEN
  - SIGMA2H fijo: OVGED
  - PAULE2E fijo: UN530
  - XUDUNIA fijo: BEPOR
- Posteriormente al cruce del límite horizontal de cada sector (ARR, APP y FNA), en el caso de las llegadas del sur (ILUBA, SIGMA y PAULE) se agrega el tiempo de la posición DEP-S, que es donde se comunican inicialmente estas aeronaves, el último tiempo se tomó al cruce del FAP (o FAF).
- Para las aeronaves de salida, el tiempo se cronometra desde que se realizaba la transferencia entre TWR y el sector de salidas correspondiente (DEP-N, DEP-W o DEP-S), hasta que se realizaba la transferencia al ACC MMID.

Los datos recolectados se procesaron para obtener la media aritmética del tiempo de vuelo en cada sector ATC. Los resultados se muestran en las tablas a continuación:

TIEMPOS DE VUELO RWY 12 ARR-VOMAR			
	PROMEDIO	MAX	MIN
ARR	5.66872839	6.68316666	4.757
APP	3.77298148	5.683	2.717
FNL	5.71590432	7.63066667	3.89816666

TIEMPOS DE VUELO RWY 12 ARR -NOSAT			
	PROMEDIO	MAX	MIN
ARR	8.46976389	9.184	7.6335
APP	3.16525	4.48333333	2.26666667
FNL	7.08652778	10.15	4.38333334

TIEMPOS DE VUELO RWY 12 ARR -PAULE			
	PROMEDIO	MAX	MIN
DEP-S	4.67534615	10.0495	3.16683334
ARR	4.70892308	5.333	2.75
APP	4.1538718	6.95049999	3.34983333
FNL	6.99695454	9.71683334	4.55033333

TIEMPOS DE VUELO RWY 12 ARR -SIGMA			
	PROMEDIO	MAX	MIN
DEP-S	7.7225	8.4665	7.13333333
ARR	5.02861111	6.33333334	4.50033334
APP	3.64156944	4.14966666	3.26683333
FNL	7.11572727	9.8835	3.733

TIEMPOS DE VUELO RWY 12 DEP - TODAS LAS TRAYECTORIAS			
	PROMEDIO	MAX	MIN
DEP-S	9.50499702	11.7163333	6.51666666
DEP-W	9.59264103	12.2976667	7.38316667
DEP N	8.61663889	10.8661667	7.30083334

TIEMPOS DE VUELO RWY 30 ARR -SIGMA			
	PROMEDIO	MAX	MIN
DEP-S	6.11666667	6.11666667	6.11666667
ARR	3.88333333	3.88333333	3.88333333
APP	5.06666667	5.06666667	5.06666667
FNL	6.38333334	6.38333334	6.38333334

TIEMPOS DE VUELO RWY 30 ARR -PAULE			
	PROMEDIO	MAX	MIN
DEP-S	8.64285714	13.4166667	5.7
ARR	3.67380952	6.05	1.48333333
APP	2.65595238	3.41666667	2.03333334
FNL	5.08333333	7.18333333	2.5

TIEMPOS DE VUELO RWY 30 ARR - NOSAT			
	PROMEDIO	MAX	MIN
ARR	6.75648148	7.99999999	2.5
APP	2.80925926	4.23333334	1.41666667
FNL	4.77314815	8.11666667	2.16666667

TIEMPOS DE VUELO RWY 30 ARR - VOMAR			
	PROMEDIO	MAX	MIN
ARR	11.1267677	12.5	3.4
APP	3.69292929	11.4166667	2.26666667
FNL	5.51464647	8.96666667	2.68333333

### CALCULO DE CAPACIDAD INSTANTANEA DE SECTOR ATC

Con los datos obtenidos de forma estadística, se pudo aplicar la metodología propuesta para obtener la capacidad instantánea, expresada en número de aeronaves en vuelo simultaneo "N" en cada sector ATC. Los resultados se plasman a continuación.

Cabe mencionar que los resultados se expresan en decimal debido a que los redondeos pueden impactar significativamente la capacidad total

Se presentan valores para cuando el flujo se concentre en una sola trayectoria (100%), cuando existen trayectorias con igual flujo de aeronaves (50%), y, por último, cuando existe flujo en todas las trayectorias, con porcentajes correspondientes al promedio de tráfico proyectado durante un mes.

Lo anterior implica que los valores de "N" correspondientes a al 100% no se pueden sumar, ya que cada uno representa la capacidad total de sector para un escenario de "un solo flujo". Los valores de "N" en la columna del 50% se pueden sumar en pares, ya que representan valores de capacidad para escenarios de "dos flujos". Por último, los valores de la ultima columna si que se pueden sumar, ya que representan valores de capacidad para cada trayectoria en un escenario de "todos los flujos activos", y la capacidad total del sector es la suma de las capacidades de todas las trayectorias, como se indica en la formula a continuación:

$$N = \sum_{y=1}^e N_y$$

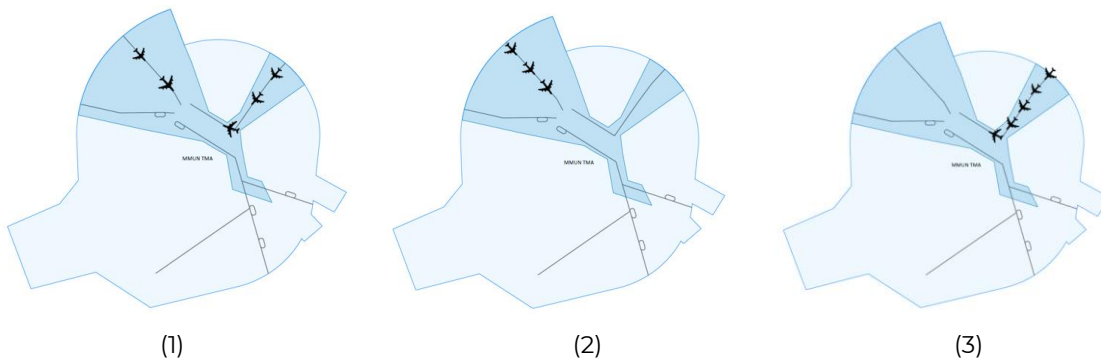
### CALCULO DE CAPACIDAD INSTANTANEA DEL SECTOR LLEGADAS (ARR) RWY 12

A continuación, se muestran los resultados de la capacidad instantánea de sector “LLEGADAS” (ARR) para la pista 12 de MMUN. Los valores de capacidad instantánea oscilan entre las 3.3 aeronaves, correspondiente al escenario donde el total del flujo se concentra en VOMAR, y las 4.9 aeronaves, correspondiente al escenario donde el total del flujo se concentra en NOSAT.

Para un escenario donde existen dos flujos provenientes de NOSAT y VOMAR, se obtiene una capacidad total de 4.12 aeronaves, que resulta de sumar los valores de “N” de la columna de 50%, correspondientes a NOSAT y a VOMAR.

Para el escenario de todos los flujos activos, la capacidad resulta en **3.67 aeronaves**.

CAPACIDAD DE SECTOR "ARR" RWY 12						
	%	N	%	N	%	N
VOMAR-XUDUN	100.00	3.30675823	50.00	1.65337912	44.06	1.45695768
NOSAT	100.00	4.9406956	50.00	2.4703478	30.53	1.50839437
PAULE	100.00	2.74687179	50.00	1.3734359	18.53	0.50899534
SIGMA	100.00	2.93335648	50.00	1.46667824	6.88	0.20181493
					<b>TOTAL</b>	<b>3.67616231</b>



La figura anterior muestra el sector ARR a su máxima capacidad en varios escenarios distintos: 1. Cuando el flujo de llegadas se distribuye entre NOSAT (50%) y VOMAR (50%), 2. Cuando todo el flujo se concentra por VOMAR (100%), y 3. Cuando el flujo se concentra por NOSAT (100%). Se puede apreciar que la capacidad de sector se encuentra en función de la trayectoria usada, así como de la cantidad de tráfico que llega por cada trayectoria.

*Nota. Los valores decimales del número “N” se representan como aeronaves que se encuentran abandonando el sector o que acaban de abandonarlo, para mantener congruencia con el concepto del flujo continuo de aeronaves.*

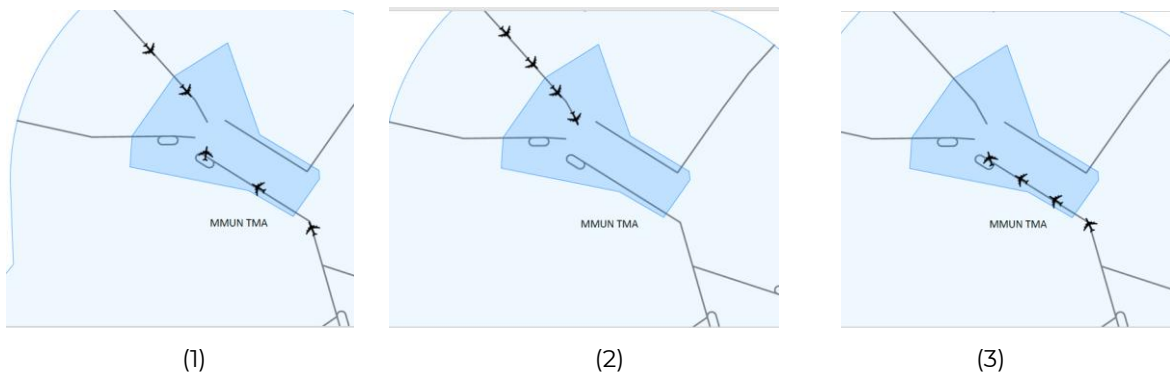
### CALCULO DE CAPACIDAD INSTANTANEA DEL SECTOR APROXIMACIÓN (APP) RWY 12

A continuación, se muestran los resultados de la capacidad instantánea de sector “APROXIMACIÓN” (APP) para la pista 12 de MMUN. Los valores de capacidad instantánea oscilan entre las 1.84 aeronaves, correspondiente al escenario donde el total del flujo se concentra en NOSAT, y las 2.42 aeronaves, correspondiente al escenario donde el total del flujo se concentra en PAULE.

Para un escenario donde existen dos flujos provenientes de PAULE y VOMAR, se obtiene una capacidad total de 2.3 aeronaves, que resulta de sumar los valores de “N” de la columna de 50%, correspondientes a PAULE y a VOMAR.

Para el escenario de todos los flujos activos, la capacidad resulta en **2.128 aeronaves**.

CAPACIDAD DE SECTOR "APP" RWY 12						
	%	N	%	N	%	N
VOMAR-XUDUN	100.00	2.20090586	50.00	1.10045293	44.06	0.969719124
NOSAT	100.00	1.84639583	50.00	0.92319792	30.53	0.563704648
PAULE	100.00	2.42309188	50.00	1.21154594	18.53	0.448998925
SIGMA	100.00	2.12424884	50.00	1.06212442	6.88	0.14614832
					<b>TOTAL</b>	<b>2.128571018</b>



La figura anterior muestra el sector APP a su máxima capacidad en varios escenarios distintos: 1. Cuando el flujo de llegadas se distribuye entre PAULE (50%) y VOMAR (50%), 2. Cuando todo el flujo se concentra por VOMAR (100%), y 3. Cuando el flujo se concentra por PAULE (100%). Se puede apreciar que la capacidad de sector se encuentra en función de la trayectoria usada, así como de la cantidad de tráfico que llega por cada trayectoria.

Cabe resaltar que se muestran aeronaves que están abandonando el sector, o que aún no ingresan a él, para mostrar el flujo continuo en toda la trayectoria.

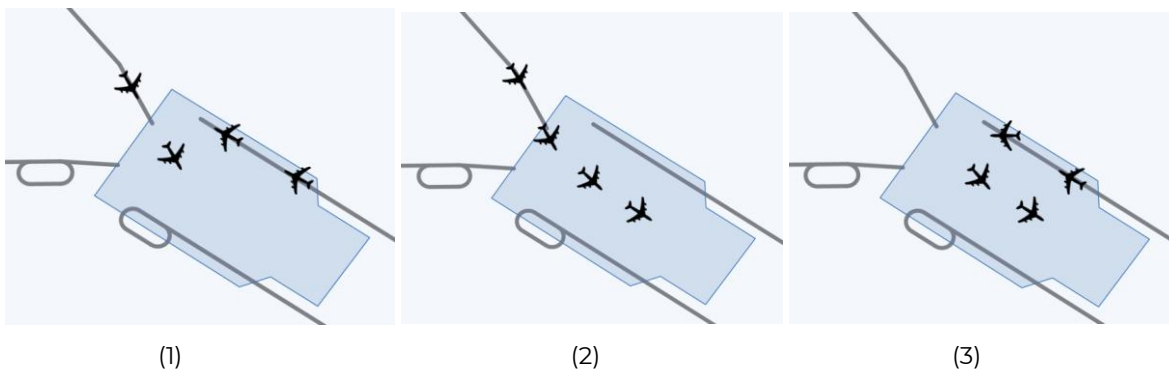
**CALCULO DE CAPACIDAD INSTANTANEA DEL SECTOR APROXIMACIÓN (FNA) RWY 12**

A continuación, se muestran los resultados de la capacidad instantánea de sector "FINAL" (FNA) para la pista 12 de MMUN. Los valores de capacidad instantánea oscilan entre las 3.33 aeronaves, correspondiente al escenario donde el total del flujo se concentra en VOMAR, y las 4.15 aeronaves, correspondiente al escenario donde el total del flujo se concentra en SIGMA. Cabe señalar que teóricamente la capacidad e las trayectorias NOSAT, PAULE y SIGMA deberían ser iguales (no se tiene registro de aeronaves ingresando por ILUBA), así que se pueden asumir como tal y promediarse.

Para un escenario donde existen dos flujos provenientes de NOSAT y VOMAR, se obtiene una capacidad total de 3.72 aeronaves, que resulta de sumar los valores de "N" de la columna de 50%, correspondientes a NOSAT y a VOMAR.

Para el escenario de todos los flujos activos, la capacidad resulta en **3.77 aeronaves**.

CAPACIDAD DE SECTOR "FNA" RWY 12						
	%	N	%	N	%	N
VOMAR-XUDUN	100.00	3.33427752	50.00	1.66713876	44.06	1.469082675
NOSAT	100.00	4.13380787	50.00	2.06690394	30.53	1.262051543
PAULE	100.00	4.08155682	50.00	2.04077841	18.53	0.756312478
SIGMA	100.00	4.15084091	50.00	2.07542045	6.88	0.285577855
					<b>TOTAL</b>	<b>3.773024551</b>



La figura anterior muestra el sector FNL a su máxima capacidad en varios escenarios distintos: 1. Cuando el flujo de llegadas se distribuye entre NOSAT (50%) y VOMAR (50%), 2. Cuando todo el flujo se concentra por VOMAR (100%), y 3. Cuando el flujo se concentra por NOSAT (100%). Se puede apreciar que la capacidad de sector se encuentra en función de la trayectoria usada, así como de la cantidad de tráfico que llega por cada trayectoria.

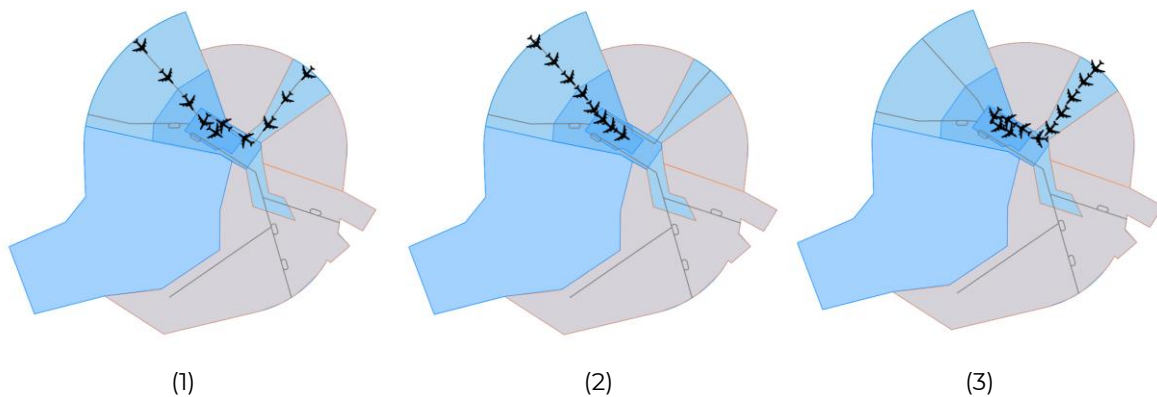
### CALCULO DE CAPACIDAD INSTANTANEA TOTAL DEL AREA TERMINAL (TMA) PARA LLEGADAS

Finalmente, se muestran los resultados de la capacidad instantánea del área de control terminal (TMA) para la pista 12 de MMUN para Llegadas. Los valores de capacidad instantánea oscilan entre las 8.84 aeronaves, correspondiente al escenario donde el total del flujo se concentra en VOMAR, y las 13.71 aeronaves, correspondiente al escenario donde el total del flujo se concentra en SIGMA.

Para un escenario donde existen dos flujos provenientes de NOSAT y VOMAR, se obtiene una capacidad total de 9.88 aeronaves, que resulta de sumar los valores de "N" de la columna de 50%, correspondientes a NOSAT y a VOMAR.

Para el escenario de todos los flujos activos, la capacidad resulta en **10.34 aeronaves**.

CAPACIDAD TOTAL TMA (ARR) RWY 12						
	%	N	%	N	%	N
VOMAR-XUDUN	100.00	8.84194161	50.00	4.42097081	44.06	3.89575948
NOSAT	100.00	10.9208993	50.00	5.46044965	30.53	3.33415056
PAULE	100.00	11.6768404	50.00	7.12623269	18.53	2.16371852
SIGMA	100.00	13.7132379	50.00	6.3882509	6.88	0.94347077
	0	0	0	0	0	10.3370993



La figura anterior muestra a la TMA a su máxima capacidad en varios escenarios distintos: 1. Cuando el flujo de llegadas se distribuye entre NOSAT (50%) y VOMAR (50%), 2. Cuando todo el flujo se concentra por VOMAR (100%), y 3. Cuando el flujo se concentra por NOSAT (100%). Se puede apreciar que la capacidad de sector se encuentra en función de la trayectoria usada, así como de la cantidad de tráfico que llega por cada trayectoria.

### CALCULO DE CAPACIDAD DEL AREA TERMINAL (TMA) PARA SALIDAS RWY 12 -TODOS LOS SECTORES

Debido a la separación entre de aeródromo que necesariamente se aplica entre dos salidas consecutivas, las aeronaves se entregan naturalmente secuenciadas a los sectores de salida de la TMA MMUN.

De acuerdo a la carta acuerdo entre MMUN APP y ACC MMID, la primera deberá entregar los tránsitos de salida que se encuentren sobre una misma aerovía, con una separación mínima de 10 NM.

De acuerdo a las fórmulas de la metodología, aplicando el factor de (des)compresión, se puede obtener la separación que tendrían dos aeronaves en el punto de transferencia con ACC MMID, a partir de la separación de pista aplicada por MMUN TWR:

$$Q_x = \frac{v_x}{S_x}$$

$$S_x = \frac{v_x}{Q_x} = \frac{6.6185 \text{ NM/min}}{.55} = 12.033 \text{ NM}$$

La separación obtenida es mayor a la mínima establecida por carta acuerdo, por lo cual esta separación teórica será la utilizada para el cálculo de capacidad de la TMA.

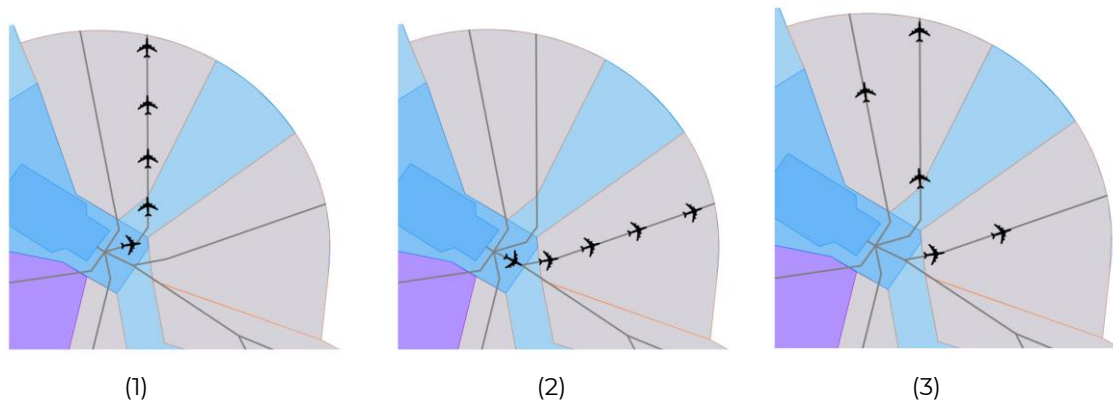
Debido a que todas las salidas provienen de la misma pista para este análisis, es imposible que los sectores de salida se encuentren simultáneamente a máxima capacidad. La capacidad máxima de cada sector de salida, por lo tanto, es bastante similar a la capacidad total de la TMA.

### CALCULO DE CAPACIDAD INSTANTANEA DEL SECTOR SALIDAS NORTE (DEP-N) PISTAS 12

A continuación, se muestran los resultados de la capacidad instantánea de sector DEP-N para las salidas de la pista 12 de MMUN. Los valores de capacidad instantánea oscilan entre las 4.77 aeronaves, correspondiente al escenario donde el total del flujo se canaliza por NUDAL, y las 5.36 aeronaves, correspondiente al escenario donde el total del flujo se concentra en OMSUK.

Para el escenario de todos los flujos activos, la capacidad resulta en **5.23 aeronaves**

CAPACIDAD DE SECTOR "DEP-N" RWY 12								
	%	N	%	N	%	N	%	N
ENEBA	100.00	5.27665417	50.00	2.63832708	33.333	1.75886713	32.14	1.69591665
NUDAL	100.00	4.76978333	50.00	2.38489167	33.333	1.58991188	17.86	0.8518833
OMSUK	100.00	5.35986786	50.00	2.67993393	33.333	1.78660475	50	2.67993393
							<b>TOTAL</b>	<b>5.22773388</b>



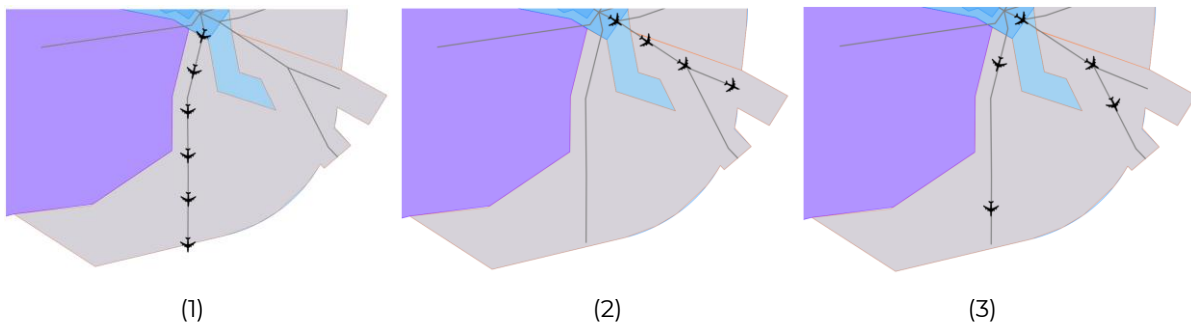
La figura anterior muestra el sector DEP-N a su máxima capacidad en varios escenarios distintos: 1. Cuando todo el flujo se concentra por OMSUK (100%), 2. Cuando todo el flujo se concentra por NUDAL (100%), y 3. Cuando el flujo se distribuye entre las 3 trayectorias. La capacidad de sector es bastante consistente, independientemente de las trayectorias usadas.

#### CALCULO DE CAPACIDAD INSTANTANEA DEL SECTOR SALIDAS SUR (DEP-S) PISTAS 12

A continuación, se muestran los resultados de la capacidad instantánea de sector DEP-S para las salidas de la pista 12 de MMUN. Los valores de capacidad instantánea oscilan entre las 4.015 aeronaves, correspondiente al escenario donde el total del flujo se canaliza por HECAT, y las 5.75 aeronaves, correspondiente al escenario donde el total del flujo se concentra en ALSUP.

Para el escenario de todos los flujos activos, la capacidad resulta en **5.08 aeronaves**

CAPACIDAD DEP S RWY 12								
	%	N	%	N	%	N	%	N
ALSUP	100.00	5.75119722	50.00	2.87559861	33.333	1.91704657	33.33	1.91687403
HECAT	100.00	4.01545834	50.00	2.00772917	33.333	1.33847273	11.11	0.44611742
TAKUX	100.00	4.88389	50.00	2.441945	33.333	1.62794705	55.56	2.71348928
							<b>TOTAL</b>	<b>5.07648074</b>

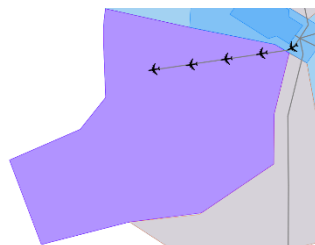


La figura anterior muestra el sector DEP-S a su máxima capacidad en varios escenarios distintos: 1. Cuando todo el flujo se concentra por ALSUP (100%), 2. Cuando todo el flujo se concentra por HECAT (100%), y 3. Cuando el flujo se distribuye entre las 3 trayectorias.

**CALCULO DE CAPACIDAD INSTANTANEA DEL SECTOR SALIDAS OESTE (DEP-W) PISTAS 12**

A continuación, se muestran los resultados de la capacidad instantánea de sector DEP-W para las salidas de la pista 12 de MMUN. Debido a que a este sector le corresponde únicamente una trayectoria de salida para la pista 12 de Cancún, la capacidad resulta en **5.28 aeronaves**

CAPACIDAD DEP W RWY 12		
	%	N
UDGUV	100.00	5.27595256
	<b>TOTAL</b>	<b>5.27595256</b>

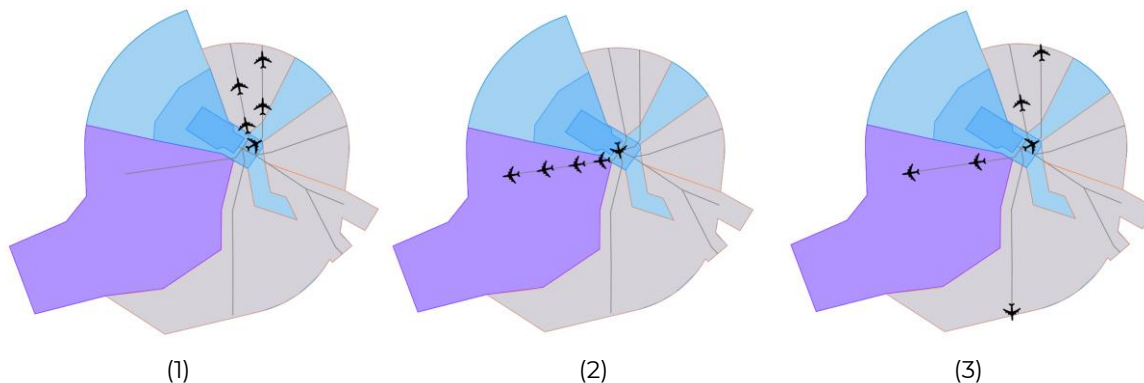


**CALCULO DE CAPACIDAD INSTANTANEA TOTAL DEL AREA TERMINAL (TMA) SALIDAS PISTA 12**

A continuación, se muestran los resultados de la capacidad instantánea del área de control terminal (TMA) para la pista 12 de MMUN para salidas. Los valores de capacidad instantánea oscilan entre las 4.74 aeronaves, correspondiente al escenario donde el total del flujo se canaliza por SALIDAS SUR (DEP-S), y las 5.276 aeronaves, correspondiente al escenario donde el total del flujo se canaliza por SALIDAS OESTE (DEP W).

Para el escenario de todos los flujos activos, la capacidad resulta en **5.23 aeronaves**.

CAPACIDAD TOTAL TMA (DEP) RWY 12								
	%	N	%	N	%	N	%	N
DEP-N	100.00	5.22774836	50.00	2.61387418	33.333	1.74256536	53.85	2.81514249
DEP-W	100.00	5.27595256	50.00	2.63797628	33.333	1.75863327	37.5	1.97848221
DEP-S	100.00	5.0765	50.00	2.53825	33.333	1.69214974	8.65	0.43911725
							<b>TOTAL</b>	<b>5.23274196</b>

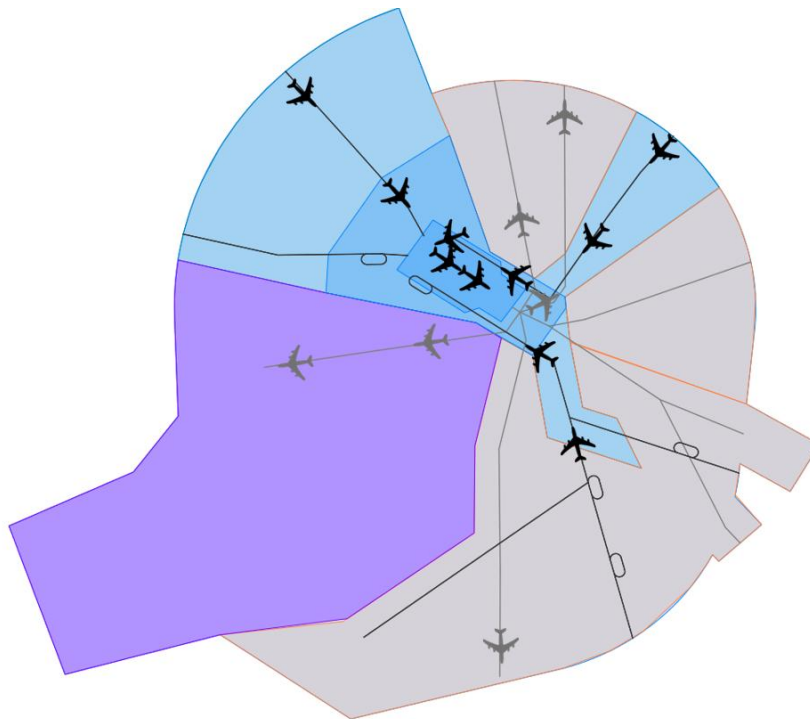


La figura anterior muestra a la TMA a su máxima capacidad en varios escenarios distintos: 1. Cuando todo el flujo se concentra por DEP-N (100%), 2. Cuando todo el flujo se concentra por DEP-W (100%), y 3. Cuando el flujo se distribuye entre los 3 sectores. La capacidad de la TMA es bastante consistente, independientemente de las trayectorias usadas.

### CALCULO DE CAPACIDAD INSTANTANEA TOTAL DEL AREA TERMINAL (TMA) PISTAS 12

A continuación, se muestran los resultados de la capacidad instantánea del área de control terminal (TMA) para las pistas 12 de MMUN. Debido a que existen muchos escenarios posibles, se muestra el valor correspondiente a un escenario donde las aeronaves se distribuyen en las trayectorias de acuerdo a su porcentaje de utilización histórico. También se muestran los valores máximos cuando las salidas y llegada se distribuyen en un solo flujo (todas las salidas por un sector y todas las llegadas por una trayectoria), así como cuando las salidas y llegadas se dividen en 2 trayectorias.

CAPACIDAD TOTAL TMA RWY 12						
	%	N	%	N	%	N
VOMAR-XUDUN	100.00	8.84194161	50.00	4.42097081	44.06	3.89575948
NOSAT	100.00	10.9208993	50.00	5.46044965	30.53	3.33415056
PAULE	100.00	11.6768404	50.00	7.12623269	18.53	2.16371852
SIGMA	100.00	13.7132379	50.00	6.3882509	6.88	0.94347077
DEP-N	100.00	5.22774836	50.00	2.61387418	53.85	2.81514249
DEP-W	100.00	5.27595256	50.00	2.63797628	37.5	1.97848221
DEP-S	100.00	4.73915139	50.00	2.36957569	8.65	0.43911725
	<b>Total Máx.</b>	18.9409863	<b>Total Máx.</b>	18.7663341	<b>TOTAL</b>	<b>15.5698413</b>



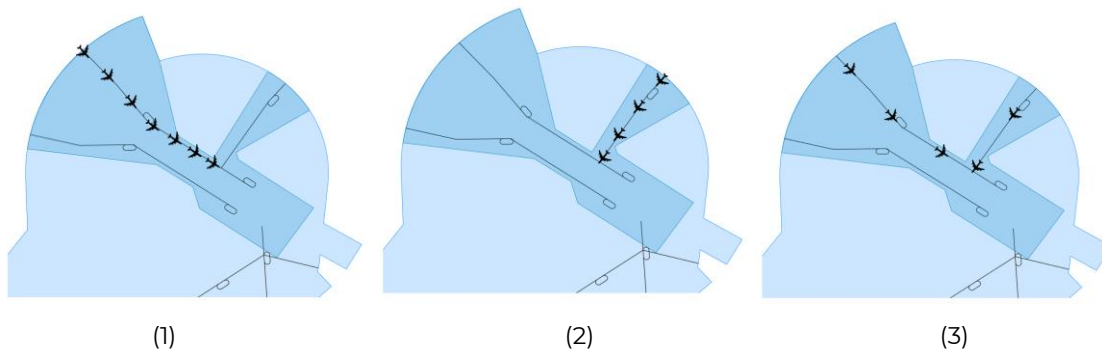
### CALCULO DE CAPACIDAD INSTANTANEA DEL SECTOR LLEGADAS (ARR) RWY 30

A continuación, se muestran los resultados de la capacidad instantánea de sector “LLEGADAS” (ARR) para la pista 30 de MMUN. Los valores de capacidad instantánea oscilan entre las 2.14 aeronaves, correspondiente al escenario donde el total del flujo se concentra en PAULE, y las 6.5 aeronaves, correspondiente al escenario donde el total del flujo se concentra en VOMAR.

Para un escenario donde existen dos flujos provenientes de NOSAT y VOMAR, se obtiene una capacidad total de 5.21 aeronaves, que resulta de sumar los valores de “N” de la columna de 50%, correspondientes a NOSAT y a VOMAR.

Para el escenario de todos los flujos activos, la capacidad resulta en **4.62 aeronaves**.

CAPACIDAD DE SECTOR "ARR" RWY 30								
	%	N	%	N	%	N	%	N
VOMAR-XUDUN	100.00	6.49061448	50.00	3.24530724	33.333	2.16351652	44.06	2.85976474
NOSAT	100.00	3.94128086	50.00	1.97064043	33.333	1.31374715	30.53	1.20327305
PAULE	100.00	2.14305556	50.00	1.07152778	33.333	0.71434471	18.53	0.39710819
SIGMA	100.00	2.26527778	50.00	1.13263889	33.333	0.75508504	6.88	0.15585111
							TOTAL	4.61599709



La figura anterior muestra a la TMA a su máxima capacidad en varios escenarios distintos: 1. Cuando todo el flujo se concentra por VOMAR (100%), 2. Cuando todo el flujo se concentra por NOSAT (100%), y 3. Cuando el flujo se distribuye entre VOMAR y NOSAT.

Se puede apreciar que la capacidad de sector se encuentra en función de la trayectoria usada, así como de la cantidad de tráfico que llega por cada trayectoria.

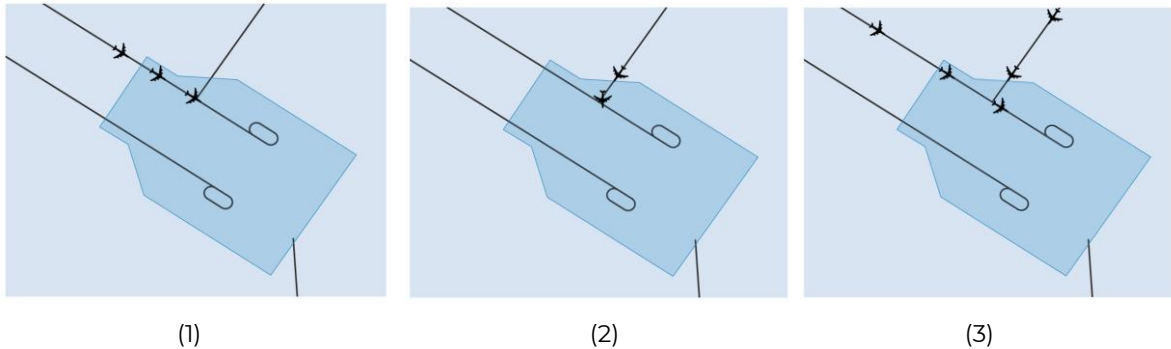
*Nota.* Los valores decimales del número “N” se representan como aeronaves que se encuentran abandonando el sector o que acaban de abandonarlo, para mantener congruencia con el concepto del flujo continuo de aeronaves.

**CALCULO DE CAPACIDAD INSTANTANEA DEL SECTOR APROXIMACIÓN (APP) RWY 30**

A continuación, se muestran los resultados de la capacidad instantánea de sector "APROXIMACIÓN" (APP) para la pista 30 de MMUN. Los valores de capacidad instantánea oscilan entre las 1.55 aeronaves, correspondiente al escenario donde el total del flujo se concentra en PAULE, y las 2.95 aeronaves, correspondiente al escenario donde el total del flujo se concentra en SIGMA.

Para el escenario de todos los flujos activos, la capacidad resulta en **1.94 aeronaves**.

CAPACIDAD DE SECTOR "APP" RWY 30								
	%	N	%	N	%	N	%	N
VOMAR-XUDUN	100.00	2.15420875	50.00	1.07710438	33.333	0.7180624	44.06	0.94914438
NOSAT	100.00	1.63873457	50.00	0.81936728	33.333	0.54623939	30.53	0.50030566
PAULE	100.00	1.54930556	50.00	0.77465278	33.333	0.51643002	18.53	0.28708632
SIGMA	100.00	2.95555556	50.00	1.47777778	33.333	0.98517533	6.88	0.20334222
							TOTAL	1.93987858



La figura anterior muestra el sector APP a su máxima capacidad en varios escenarios distintos: 1. Cuando el flujo de llegadas se distribuye entre PAULE (50%) y VOMAR (50%), 2. Cuando todo el flujo se concentra por VOMAR (100%), y 3. Cuando el flujo se concentra por PAULE (100%). Se puede apreciar que la capacidad de sector se encuentra en función de la trayectoria usada, así como de la cantidad de tráfico que llega por cada trayectoria.

Cabe resaltar que se muestran aeronaves que están abandonando el sector, o que aún no ingresan a él, para mostrar el flujo continuo en toda la trayectoria.

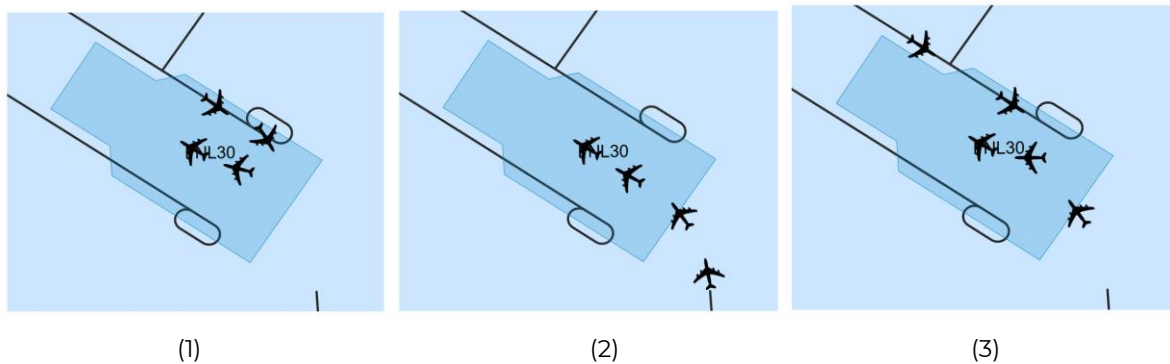
### CALCULO DE CAPACIDAD INSTANTANEA DEL SECTOR APROXIMACIÓN (FNA) RWY 30

A continuación, se muestran los resultados de la capacidad instantánea de sector "FINAL" (FNA) para la pista 30 de MMUN. Los valores de capacidad instantánea oscilan entre las 2.78 aeronaves, correspondiente al escenario donde el total del flujo se concentra en NOSAT, y las 3.72 aeronaves, correspondiente al escenario donde el total del flujo se concentra en VOMAR. Cabe señalar que teóricamente la capacidad de las trayectorias VOMAR y NOSAT, así como SIGMA y PAULE deberían ser iguales (no se tiene registro de aeronaves ingresando por ILUBA), así que se pueden asumir como tal y promediarse.

Para un escenario donde existen dos flujos provenientes de NOSAT y VOMAR, se obtiene una capacidad total de 3.01 aeronaves, que resulta de sumar los valores de "N" de la columna de 50%, correspondientes a NOSAT y a VOMAR.

Para el escenario de todos los flujos activos, la capacidad resulta en **3.07 aeronaves**.

CAPACIDAD DE SECTOR "FNA" RWY 30								
	%	N	%	N	%	N	%	N
VOMAR-XUDUN	100.00	3.2168771	50.00	1.60843855	33.333	1.07228165	44.06	1.41735605
NOSAT	100.00	2.78433642	50.00	1.39216821	33.333	0.92810286	30.53	0.85005791
PAULE	100.00	2.96527778	50.00	1.48263889	33.333	0.98841604	18.53	0.54946597
SIGMA	100.00	3.72361111	50.00	1.86180556	33.333	1.24119129	6.88	0.25618444
							<b>TOTAL</b>	<b>3.07306438</b>



La figura anterior muestra el sector FNA a su máxima capacidad en varios escenarios distintos: 1. Cuando todo el flujo se concentra por VOMAR (100%), 2. Cuando el flujo se concentra por SIGMA (100%). Y 3. Cuando el flujo de llegadas se distribuye entre SIGMA (50%) y VOMAR (50%). Se puede apreciar que la capacidad de sector se encuentra en función de la trayectoria usada, así como de la cantidad de tráfico que llega por cada trayectoria.

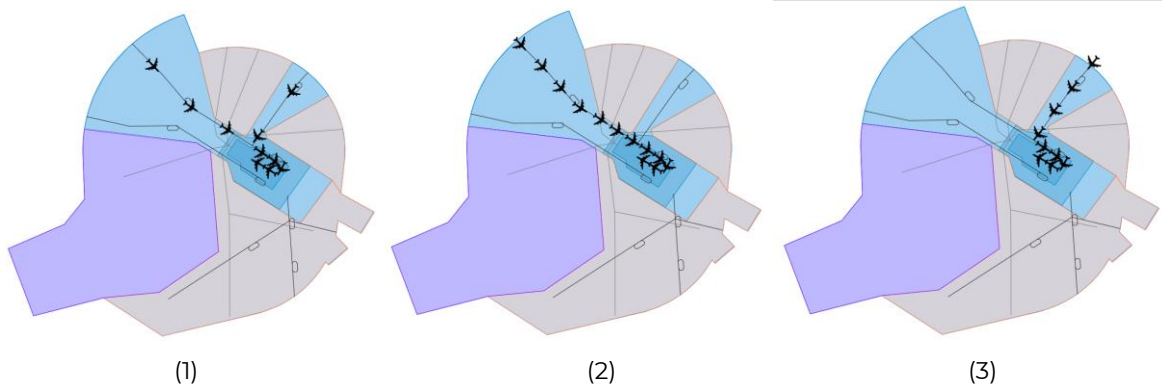
### CALCULO DE CAPACIDAD INSTANTANEA TOTAL DEL AREA TERMINAL (TMA) PARA LLEGADAS RWY 30

Finalmente, se muestran los resultados de la capacidad instantánea del área de control terminal (TMA) para la pista 30 de MMUN para llegadas. Los valores de capacidad instantánea oscilan entre las 8.364 aeronaves, correspondiente al escenario donde el total del flujo se concentra en NOSAT, y las 12.51 aeronaves, correspondiente al escenario donde el total del flujo se concentra en SIGMA.

Para un escenario donde existen dos flujos provenientes de NOSAT y VOMAR, se obtiene una capacidad total de 10.11 aeronaves, que resulta de sumar los valores de "N" de la columna de 50%, correspondientes a NOSAT y a VOMAR.

Para el escenario de todos los flujos activos, la capacidad resulta en **10.8 aeronaves**.

CAPACIDAD TOTAL TMA ARR RWY 30						
	%	N	%	N	%	N
VOMAR-XUDUN	100.00	11.8617003	50.00	5.93085017	44.06	5.22626517
NOSAT	100.00	8.36435185	50.00	4.18217593	30.53	2.55363662
PAULE	100.00	11.6993056	50.00	5.84965278	18.53	2.16788132
SIGMA	100.00	12.5125	50.00	6.25625	6.88	0.86086
					<b>TOTAL</b>	<b>10.8086431</b>



La figura anterior muestra a la TMA a su máxima capacidad en varios escenarios distintos: 1. Cuando el flujo de llegadas se distribuye entre NOSAT (50%) y VOMAR (50%), 2. Cuando todo el flujo se concentra por VOMAR (100%), y 3. Cuando el flujo se concentra por NOSAT (100%). Se puede apreciar que la capacidad de sector se encuentra en función de la trayectoria usada, así como de la cantidad de tráfico que llega por cada trayectoria.

### CALCULO DE CAPACIDAD DEL AREA TERMINAL (TMA) PARA SALIDAS RWY 30 -TODOS LOS SECTORES

Debido a la separación entre de aeródromo que necesariamente se aplica entre dos salidas consecutivas, las aeronaves se entregan naturalmente secuenciadas a los sectores de salida de la TMA MMUN.

De acuerdo a la carta acuerdo entre MMUN APP y ACC MMID, la primera deberá entregar los tránsitos de salida que se encuentren sobre una misma aerovía, con una separación mínima de 10 NM.

De acuerdo a las fórmulas de la metodología, aplicando el factor de (des)compresión, se puede obtener la separación que tendrían dos aeronaves en el punto de transferencia con ACC MMID, a partir de la separación de pista aplicada por MMUN TWR:

$$Q_x = \frac{v_x}{S_x}$$

$$S_x = \frac{v_x}{Q_x} = \frac{6.6185 \text{ NM/min}}{.55} = 12.033 \text{ NM}$$

La separación obtenida es mayor a la mínima establecida por carta acuerdo, por lo cual esta separación teórica será la utilizada para el cálculo de capacidad de la TMA.

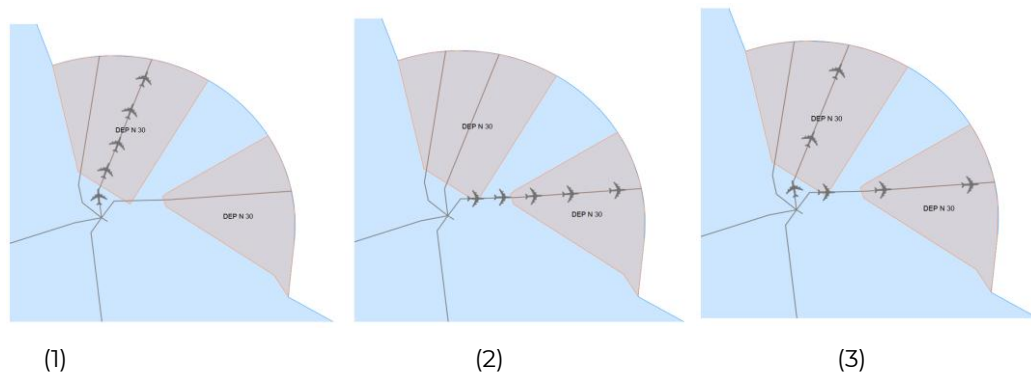
Debido a que todas las salidas provienen de la misma pista para este análisis, es imposible que los sectores de salida se encuentren simultáneamente a máxima capacidad. La capacidad máxima de cada sector de salida, por lo tanto, es bastante similar a la capacidad total de la TMA.

### CALCULO DE CAPACIDAD INSTANTANEA DEL SECTOR SALIDAS NORTE (DEP-N) PISTAS 30

A continuación, se muestran los resultados de la capacidad instantánea de sector DEP-N para las salidas de la pista 30 de MMUN. Los valores de capacidad instantánea oscilan entre las 5.39 aeronaves, correspondiente al escenario donde el total del flujo se canaliza por NOSUG, y las 6.23 aeronaves, correspondiente al escenario donde el total del flujo se concentra en DUGNI.

Para el escenario de todos los flujos activos, la capacidad resulta en **5.56 aeronaves**

CAPACIDAD DEP N								
	%	N	%	N	%	N	%	N
NOSUG	100.00	5.39883929	50.00	2.69941964	33.333	1.7995951	40.58	2.19084898
DUGNI	100.00	6.23416667	50.00	3.11708333	33.333	2.07803478	15.94	0.99372617
OMSUK	100.00	5.48594444	50.00	2.74297222	33.333	1.82862986	43.48	2.38528864
							<b>TOTAL</b>	<b>5.56986379</b>



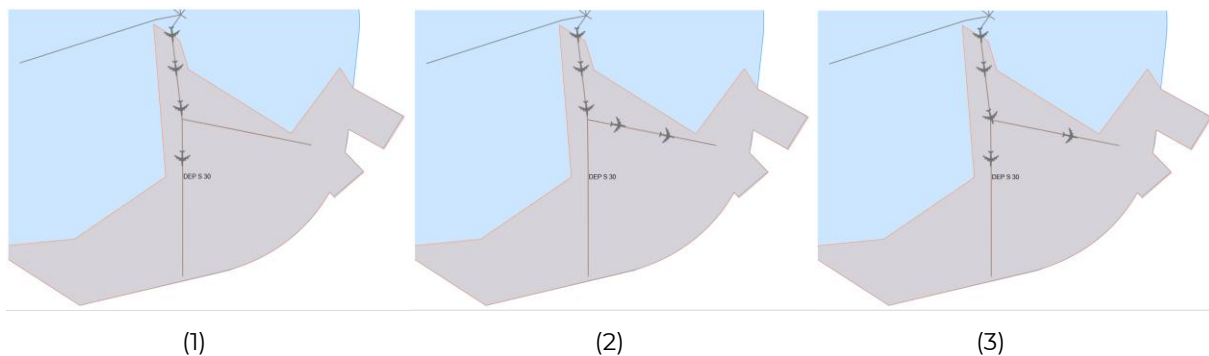
La figura anterior muestra el sector DEP-N a su máxima capacidad en varios escenarios distintos: 1. Cuando todo el flujo se concentra por OMSUK (100%), 2. Cuando todo el flujo se concentra por DUGNI (100%), y 3. Cuando el flujo se distribuye entre las 2 trayectorias anteriores.

#### CALCULO DE CAPACIDAD INSTANTANEA DEL SECTOR SALIDAS SUR (DEP-S) PISTAS 30

A continuación, se muestran los resultados de la capacidad instantánea de sector DEP-S para las salidas de la pista 30 de MMUN. Los valores de capacidad instantánea oscilan entre las 4.37 aeronaves, correspondiente al escenario donde el total del flujo se canaliza por ALSUP, y las 4.88 aeronaves, correspondiente al escenario donde el total del flujo se concentra en AVSEB.

Para el escenario de todos los flujos activos, la capacidad resulta en **4.71 aeronaves**

CAPACIDAD DEP S						
	%	N	%	N	%	N
ALSUP	100.00	4.37861111	50.00	2.18930556	33.33	1.45939108
AVSEB	100.00	4.88583333	50.00	2.44291667	66.67	3.25738508
					<b>TOTAL</b>	<b>4.71677617</b>

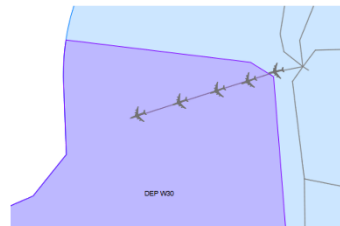


La figura anterior muestra el sector DEP-S a su máxima capacidad en varios escenarios distintos: 1. Cuando todo el flujo se concentra por ALSUP (100%), 2. Cuando todo el flujo se concentra por AVSEB (100%), y 3. Cuando el flujo se distribuye entre las 2 trayectorias anteriores. Cabe mencionar que, aunque horizontalmente es evidente que las trayectorias pueden captar un mayor número de aeronaves en vuelo simultáneo, verticalmente las aeronaves abandonan el espacio aéreo terminal antes del límite del procedimiento de salida, por lo cual la capacidad está determinada por el límite vertical de la TMA en el sector en cuestión.

**CALCULO DE CAPACIDAD INSTANTANEA DEL SECTOR SALIDAS OESTE (DEP-W) PISTAS 30**

A continuación, se muestran los resultados de la capacidad instantánea de sector DEP-W para las salidas de la pista 30 de MMUN. Debido a que a este sector le corresponde únicamente una trayectoria de salida para la pista 30 de Cancún, la capacidad resulta en **4.82 aeronaves**

CAPACIDAD DEP W		
	%	N
UDGUV	100.00	4.82836538
<b>TOTAL</b>		<b>4.82836538</b>

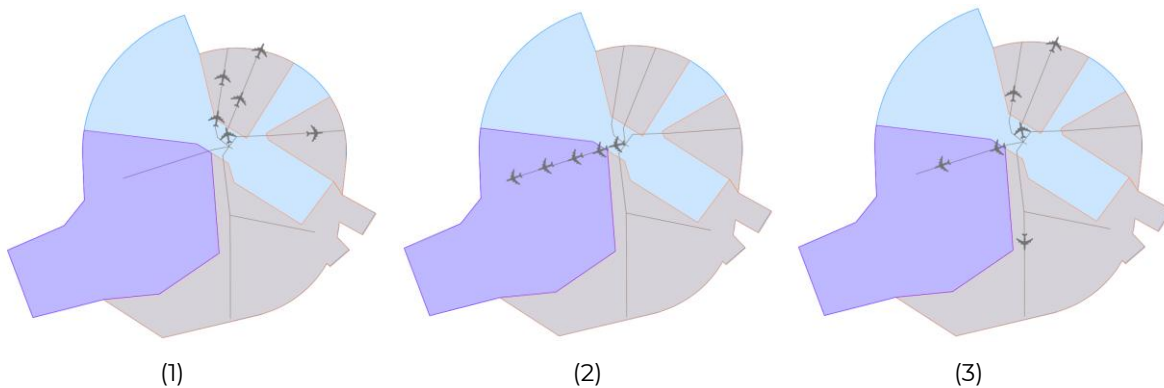


**CALCULO DE CAPACIDAD INSTANTANEA TOTAL DEL AREA TERMINAL (TMA) PARA SALIDAS PISTAS 30**

A continuación, se muestran los resultados de la capacidad instantánea del área de control terminal (TMA) para la pista 30 de MMUN para salidas. Los valores de capacidad instantánea oscilan entre las 4.71 aeronaves, correspondiente al escenario donde el total del flujo se canaliza por SALIDAS SUR (DEP-S), y las 5.56 aeronaves, correspondiente al escenario donde el total del flujo se canaliza por SALIDAS NORTE (DEP N).

Para el escenario de todos los flujos activos, la capacidad resulta en **5.307 aeronaves**.

CAPACIDAD TOTAL TMA								
	%	N	%	N	%	N	%	N
DEP-N	100.00	5.56416667	50.00	2.78208333	33.333	1.85470368	66.35	3.69182458
DEP-W	100.00	4.82836538	50.00	2.41418269	33.333	1.60943903	25	1.20709135
DEP-S	100.00	4.71675926	50.00	2.35837963	33.333	1.57223736	8.65	0.40799968
							<b>TOTAL</b>	<b>5.30691561</b>

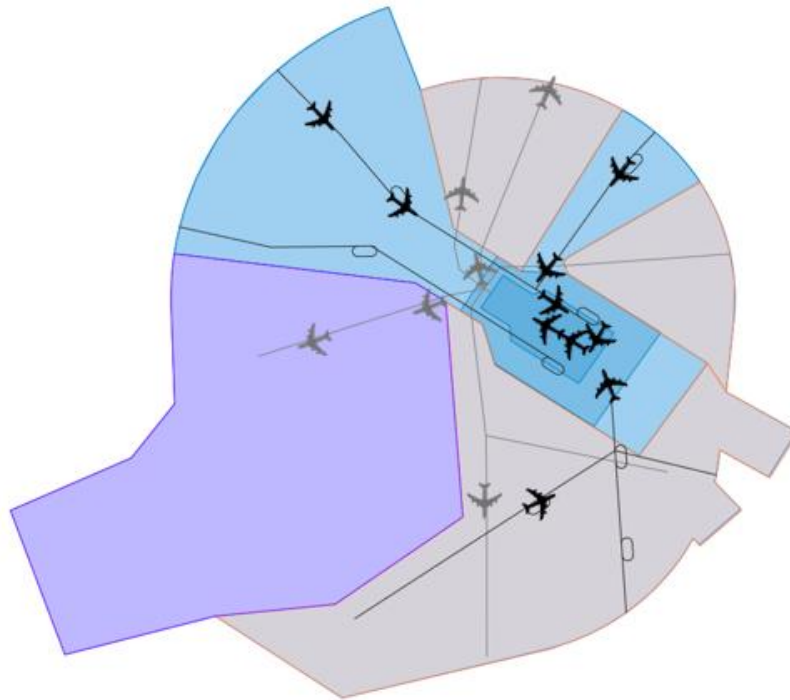


La figura anterior muestra a la TMA a su máxima capacidad en varios escenarios distintos: 1. Cuando todo el flujo se concentra por DEP-N (100%), 2. Cuando todo el flujo se concentra por DEP-W (100%), y 3. Cuando el flujo se distribuye entre los 3 sectores. La capacidad de la TMA es bastante consistente, independientemente de las trayectorias usadas.

### CALCULO DE CAPACIDAD INSTANTANEA TOTAL DEL AREA TERMINAL (TMA) PISTAS 30

A continuación, se muestran los resultados de la capacidad instantánea del área de control terminal (TMA) para las pistas 30 de MMUN. Debido a que existen muchos escenarios posibles, se muestra el valor correspondiente a un escenario donde las aeronaves se distribuyen en las trayectorias de acuerdo a su porcentaje de utilización histórico. También se muestran los valores máximos cuando las salidas y llegada se distribuyen en un solo flujo (todas las salidas por un sector y todas las llegadas por una trayectoria), así como cuando las salidas y llegadas se dividen en 2 trayectorias.

CAPACIDAD TOTAL TMA RWY 30						
	%	N	%	N	%	N
VOMAR-XUDUN	100.00	11.8617003	50.00	5.93085017	44.06	5.22626517
NOSAT	100.00	8.36435185	50.00	4.18217593	30.53	2.55363662
PAULE	100.00	11.6993056	50.00	5.84965278	18.53	2.16788132
SIGMA	100.00	12.5125	50.00	6.25625	6.88	0.86086
DEP-N	100.00	5.56416667	50.00	2.61387418	66.35	3.69182458
DEP-W	100.00	4.82836538	50.00	2.63797628	25	1.20709135
DEP-S	100.00	4.71675926	50.00	2.36957569	8.65	0.40799968
	<b>Total Máx.</b>	18.0766667	<b>Total Máx.</b>	17.4389506	<b>TOTAL</b>	<b>16.1155587</b>



**CALCULO DE CAPACIDADES INSTANTANEAS PARA MMCZ RWY 12**

A De conformidad con la metodología mostrada previamente, se realizaron los cálculos correspondientes para el aeropuerto de MMCZ para la pista 12, arrojando los siguientes resultados:

**Llegadas RWY 12:**

- Capacidad sector DEP-W: 1.89 aeronaves
- Capacidad sector ARR: 1.52 aeronaves
- Capacidad total TMA para ARR: 2.29

CAPACIDAD DE SECTOR "DEP-W" ARR CZM RWY 12								
	%	N	%	N	%	N	%	N
EMOSA	100.00	0.95	50.00	0.475	33.333	0.3166635	26.3157895	0.25
ULIPA	100.00	2.2287037	50.00	1.11435185	33.333	0.74289381	42.1052632	0.93840156
VIGTU	100.00	2.23819445	50.00	1.11909722	33.333	0.74605735	31.5789474	0.70679825
							<b>TOTAL</b>	<b>1.89519981</b>

CAPACIDAD DE SECTOR "ARR" ARR CZM RWY 12								
	%	N	%	N	%	N	%	N
EMOSA	100.00	1.52111111	50.00	0.76055556	33.333	0.50703197	26.3157895	0.4002924
							<b>TOTAL</b>	<b>1.52111111</b>

CAPACIDAD TOTAL TMA ARR CZM						
	%	N	%	N	%	N
EMOSA	100.00	2.47111111	50.00	1.23555556	44.06	0.6502924
ULIPA	100.00	2.2287037	50.00	1.11435185	30.53	0.93840156
VIGTU	100.00	2.23819445	50.00	1.11909722	18.53	0.70679825
						<b>2.2954922</b>

**Salidas RWY 12:**

- Capacidad sector DEP-S: 1.89 aeronaves
- Capacidad total TMA para ARR: 2.29

CAPACIDAD SECTOR "DEP-S" CZM RWY 12 DEP								
	%	N	%	N	%	N	%	N
DEP-N	100.00	1.55555556	50.00	0.77777778	33.333	0.51851333	53.85	0.83766667
DEP-W	100.00	0	50.00	0	33.333	0	37.5	0
DEP-S	100.00	0	50.00	0	33.333	0	8.65	0
							<b>TOTAL</b>	<b>1.55555556</b>

**CALCULO DE CAPACIDADES INSTANTANEAS PARA MMTL RWY 12**

A De conformidad con la metodología mostrada previamente, se realizaron los cálculos correspondientes para el aeropuerto de MMTL para la pista 12, arrojando los siguientes resultados:

**Llegadas RWY 12:**

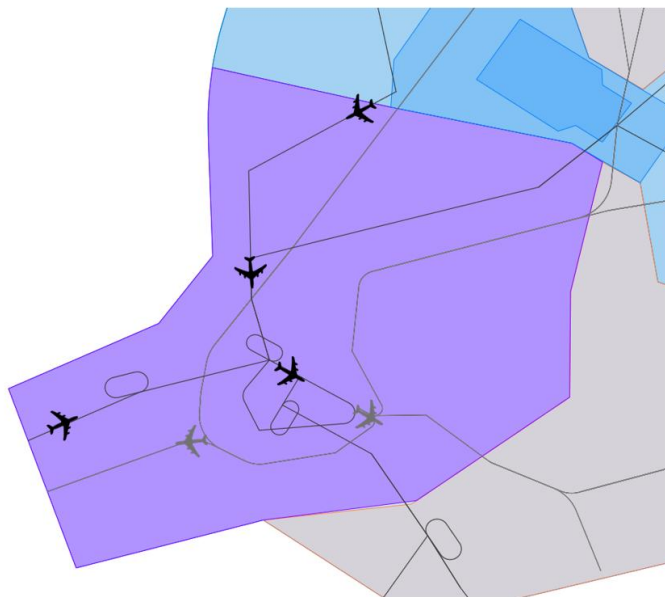
- Capacidad sector DEP-W: 3.6 aeronaves
- Capacidad total TMA para ARR: 3.6 aeronaves

CAPACIDAD DE SECTOR "DEP-W" ARR TQO RWY 12								
	%	N	%	N	%	N	%	N
EMOSA	100.00	4.15555555	50.00	2.07777778	33.333	1.38517133	8	0.33244444
VIGTU	100.00	3.27733333	50.00	1.78296296	33.333	1.18863009	72	2.56746667
VIVUS	100.00	3.58111111	50.00	1.79055556	33.333	1.19369177	20	0.71622222
							<b>TOTAL</b>	<b>3.61613333</b>

**Salidas RWY 12:**

- Capacidad sector DEP-W: 2.29 aeronaves
- Capacidad total TMA para DEP: 2.29 aeronaves

CAPACIDAD DE SECTOR "DEP-W" TQO RWY 12 DEP		
	%	N
DEP-W	100.00	2.29888889
<b>TOTAL</b>		<b>2.29888889</b>



**CALCULO DE CAPACIDADES INSTANTANEAS MAXIMAS PARA CADA SECTOR DE LA TMA MMUN-  
RWY 12**

De acuerdo a la información presentada anteriormente en el presente documento, se puede sintetizar las capacidades máximas instantáneas de cada sector de la TMA MMUN para cada aeropuerto, de acuerdo a las siguientes tablas:

**Capacidad instantánea máxima independiente** (de acuerdo a capacidad de las trayectorias, pero sin considerar una única secuencia para cada aeropuerto):

SECTOR	ARR	APP	FNA	DEP-S	DEP-W	DEP-N
CUN ARR 12	4.9406956	2.4230918	4.1508409	3.004215		
CUN DEP 12				5.076481	5.275953	5.227734
CZM ARR 12	1.521111				1.8952	
CZM DEP 12				1.55555556		
TQO ARR 12					3.616133	
TQO DEP 12					2.298889	
<b>TOTAL</b>	<b>6.461807</b>	<b>2.423092</b>	<b>4.150841</b>	<b>9.636252</b>	<b>13.08617</b>	<b>5.227734</b>

**Capacidad instantánea máxima dependiente** (de acuerdo a capacidad de las trayectorias, y considerando una única secuencia para cada aeropuerto):

SECTOR	ARR	APP	FNA	DEP-S	DEP-W	DEP-N
CUN ARR 12	3.676162	2.128571	3.773025	0.766887		
CUN DEP 12				0.439117	1.978482	2.815142
CZM ARR 12	0.400292				1.8952	
CZM DEP 12				1.55555556		
TQO ARR 12					3.616133	
TQO DEP 12					2.298889	
<b>TOTAL</b>	<b>4.076455</b>	<b>2.128571</b>	<b>3.773025</b>	<b>2.76156</b>	<b>9.788704</b>	<b>2.815142</b>
<b>TOTAL GENERAL</b>	<b>25.343457</b>					

Los valores de capacidad máxima instantánea dependientes, se pueden sumar para obtener la capacidad máxima instantánea de la TMA. Las aeronaves se distribuyen en los sectores de acuerdo a los porcentajes históricos de flujo.

**Capacidad en función de la carga de trabajo del controlador.**

De manera análoga a las tablas anteriores, se puede obtener la capacidad de cada sector tomando en consideración la carga de trabajo del controlador, en función del tiempo de vuelo medio en cada sector. Los tiempos de vuelo se presentan en la siguiente tabla:

SECTOR	ARR	APP	FNA	DEP-S	DEP-W	DEP-N
CUN ARR 12	6.009818	3.625155	6.728778	5.975		
CUN DEP 12				9.23	9.592641	9.504997
CZM ARR 12	5.7				8.982014	
CZM DEP 12				9.333333		
TQO ARR 12					14.2413333	
TQO DEP 12					8.620833	
PROM. TOTAL	<b>5.854909</b>	<b>3.625155</b>	<b>6.728778</b>	<b>8.179444</b>	<b>10.35921</b>	<b>9.504997</b>

A partir de los tiempos anteriores, es posible calcular, utilizando la fórmula expuesta en el capítulo IV, la capacidad de cada sector tomando en cuenta únicamente la carga de trabajo del controlador:

SECTOR	ARR	APP	FNA	DEP-S	DEP-W	DEP-N
T PROM.	5.854909	3.625155	6.728778	8.179444	10.35921	9.504997
Capacidad	<b>9.75818167</b>	<b>6.041925</b>	<b>11.21463</b>	<b>13.6324067</b>	<b>17.26535</b>	<b>15.8416617</b>

Por lo cual, se puede establecer como la capacidad instantánea máxima, al menor de los valores de capacidad instantánea obtenida, ya sea por capacidad de trayectorias, o por carga de trabajo

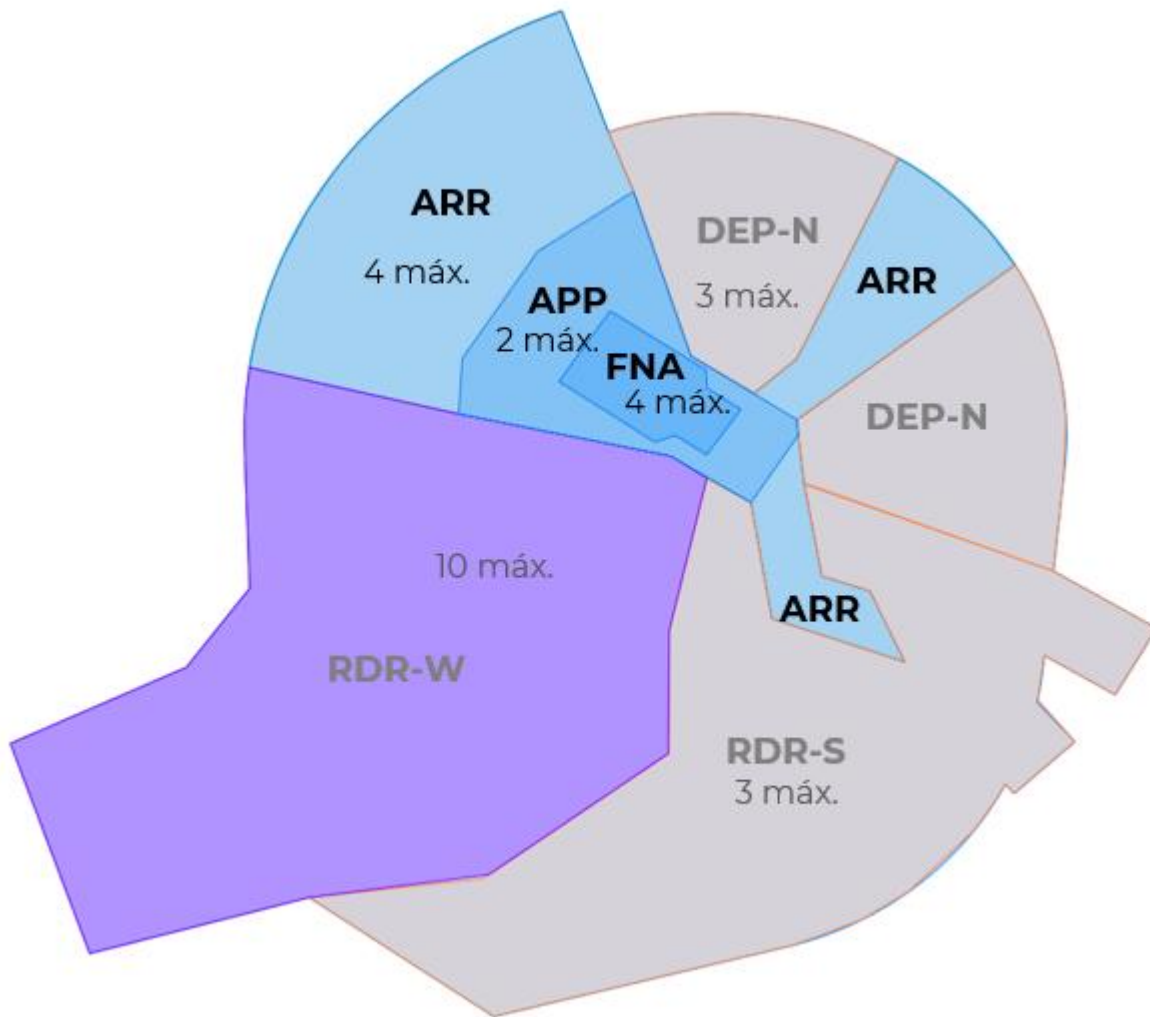
Capacidad	ARR	APP	FNA	DEP-S	DEP-W	DEP-N
Carga trabajo ATC	9.75818167	6.041925	11.21463	13.6324067	17.26535	15.8416617
independiente	6.461807	2.423092	4.150841	9.636252	13.08617	5.227734
dependiente	4.076455	2.128571	3.773025	2.76156	9.788704	2.815142
declarada	<b>4.076455</b>	<b>2.128571</b>	<b>3.773025</b>	<b>2.76156</b>	<b>9.788704</b>	<b>2.815142</b>

Se puede observar que, en todos los casos, la capacidad por trayectorias es menor a la determinada por la carga de trabajo del ATC, por lo cual la primera se toma como definitiva para establecer la capacidad declarada.

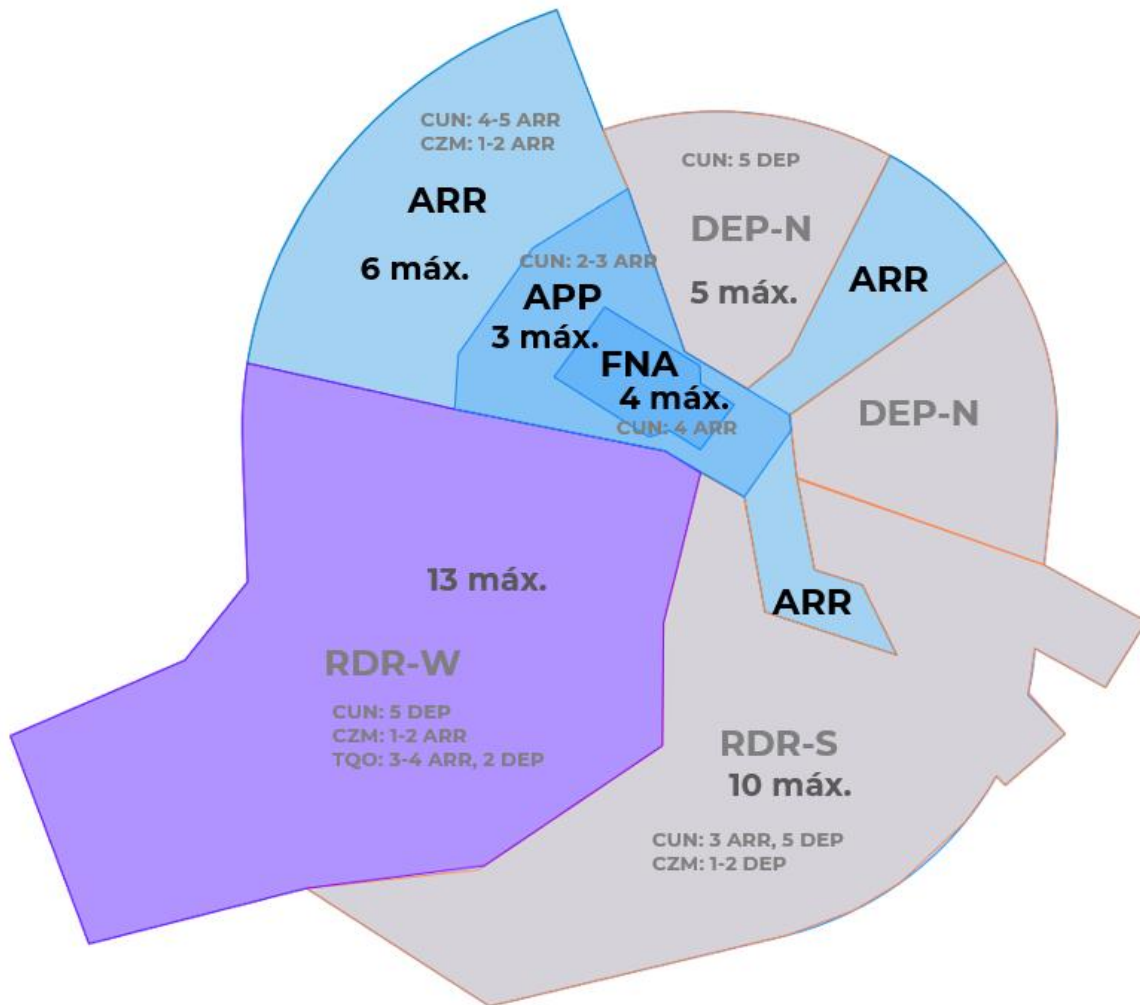
## CAPÍTULO VI – CAPACIDAD INSTANTANEA DECLARADA DE SECTOR ATC

A continuación, se muestran los valores de capacidad instantánea Máxima declarada para cada sector terminal de la TMA MMUN, para configuración RWY 12 activas.

**Para todos los flujos Activos:**



Los valores aquí mostrados corresponden a la capacidad de sector máxima en un escenario de todos los flujos activos. En este caso, no todos los sectores se encuentran a su máxima capacidad real, es decir, sus trayectorias no están a su máxima saturadas, pero este “margen” de capacidad es necesario para que sea posible secuenciar a los tráficos de todas las trayectorias y reducirlas a únicamente 3 flujos de llegada (uno para cada aeropuerto).

**capacidad máxima absoluta:**

Los valores mostrados en el diagrama anterior corresponden a la capacidad máxima simultánea de las trayectorias presentes en cada sector terminal de la TMA MMUN. Cabe señalar que dichas capacidades únicamente pueden ser alcanzadas cuando la totalidad de algún flujo de llegada o salida de un aeropuerto se concentra en un solo sector, por lo cual es físicamente imposible que estos valores se alcancen de *forma simultánea*.

Dicho de otra forma, si en algún momento se alcanza la capacidad máxima de, por ejemplo, el sector RDR-W, esto implica que el sector DEP-N prácticamente no tiene aeronaves en vuelo (debido a que todo el flujo de salidas se de CUN se estaría canalizando al sector RDR-W vía UDGV), y viceversa, cuando el sector DEP-N se encuentre a su máxima capacidad absoluta, esto implicaría que el sector RDR-W no rebasaría las 7 aeronaves en vuelo simultaneo (que corresponde al tráfico de CZM y TQO, pero ninguno de CUN).

## CAPÍTULO VI – CÁLCULO DE SEPARACIONES

A partir de los resultados obtenidos previamente, se pueden determinar las separaciones longitudinales necesarias entre tránsitos que vuelen sobre una misma trayectoria, de acuerdo a las fórmulas establecidas en la metodología, y la velocidad respecto al terreno (GS) indicada en los muestreos correspondientes.

### Separaciones longitudinales para MMUN- RWY 12

trayectoria	UN SOLO FLUJO	2 FLUJOS	3 FLUJOS
VOMAR	11.3727608	22.7455215	34.1182823
NOSAT	11.3727608	22.7455215	34.1182823
PAULE	12.1994222	24.3988444	36.5982666
SIGMA	11.3727608	22.7455215	34.1182823
ILUBA	11.3727608	22.7455215	34.1182823

### Separaciones longitudinales para MMUN- RWY 30

trayectoria	UN SOLO FLUJO	2 FLUJOS	3 FLUJOS
VOMAR-AGNIX	12.5323	25.0645999	37.596899
NOSAT	11.3727608	22.7455215	34.1182823
PAULE	11.5715251	23.1430502	34.7145753
SIGMA	11.3727608	22.7455215	34.1182823
ILUBA	11.3727608	22.7455215	34.1182823

### SEPARACIONES ESTANDARIZADAS PROPUESTAS PARA MMUN- AMBAS PISTAS

Considerando los resultados anteriores, se proponen las siguientes separaciones estandarizadas, para su uso práctico por las dependencias de control involucradas. Estas separaciones consideran el incremento de capacidad del espacio aéreo terminal atribuible a la guía vectorial táctica necesaria para secuenciar los tránsitos que llegan por distintas trayectorias, e integrarlos en un solo flujo hacia la pista.

Se manejan las trayectorias de PAULE, SIGMA e ILUBA como dependientes y se integran en un único flujo.

trayectoria	UN SOLO FLUJO	2 FLUJOS	3 FLUJOS
VOMAR	12 NM	20 NM	22 NM
NOSAT	12 NM	20 NM	22 NM
PAULE/SIGMA/ILUBA	N/A	N/A	30 NM

Cabe señalar que no se establecen valores de separación mínima para el flujo proveniente del sur (PAULE/SIGMA/ILUBA), debido a que estadísticamente este flujo solo se presenta en la práctica junto con los flujos de NOSAT y VOMAR.

Las separaciones anteriores reducen en un margen aceptable para la seguridad operacional los valores obtenidos por calculo, pero requieren la intervención del controlador de tránsito aéreo, y por ello, no garantizan la permanencia del tránsito en la trayectoria lateral y el perfil vertical del

procedimiento. Mayores separaciones son necesarias para garantizar la máxima eficiencia de las operaciones dentro del área terminal MMUN.

— FIN —

**APÉNDICE B**  
**EJEMPLO DE APLICACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO EN UN SECTOR ATC DE UN ÁREA DE CONTROL**  
**TERMINAL FICTICIA.**

Se busca obtener la capacidad de sector ATC de “LLEGADAS W”, de un área de control terminal que sirve a un aeródromo de una sola pista

La pista del aeródromo tiene un AAR de 40 aeronaves por hora para configuración RWY 09. Existen 4 trayectorias de llegada, denominadas a,b,c y d. en el diagrama se indican los porcentajes de tráfico para cada trayectoria en una hora.

Las trayectorias “a” y “b” son las únicas que atraviesan el sector ATC de “LLEGADAS W”. Las velocidades publicadas de entrada a la terminal son 280 nudos indicados, que equivalen a 390 nudos respecto al terreno.

Los tiempos de vuelo promedio para las trayectorias “a” y “b” dentro del sector, son  $t_a = 14 \text{ min}$  y  $t_b = 12 \text{ min}$ .

La velocidad promedio de las aeronaves en el segmento de aproximación final es de 120 nudos.

Se tienen los siguientes datos:

$$AAR = 40 \text{ acft/h}$$

$$v_f = 130 \text{ kts (120 IAS)}$$

Para las trayectorias de entrada:

$$p_a = .50$$

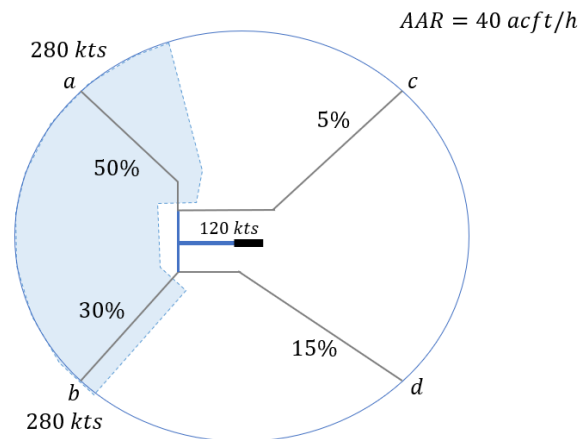
$$p_b = .30$$

$$p_c = .15$$

$$p_d = .05$$

$$v_a = v_b = 390 \text{ kts (280 IAS)}$$

$$T_a = 14 \text{ min}, T_b = 12 \text{ min}$$



*Procedimiento.*

A partir del AAR, los porcentajes de llegada de las trayectorias “a” y “b” (que son las trayectorias que atraviesan el sector en cuestión), y el tiempo de vuelo promedio de cada trayectoria, podemos calcular la capacidad de cada trayectoria dentro del sector:

$$n_a = \frac{AAR \cdot p_a}{60} \cdot T_a$$

$$n_a = \left( \frac{40 \frac{acft}{h} \cdot (.5)}{60} \right) \cdot (14 \text{ min}) = 4.666 \text{ acft}$$

$$n_b = \left( \frac{40 \frac{acft}{h} \cdot (.3)}{60} \right) \cdot (12 \text{ min}) = 2.4 \text{ acft}$$

Y obtenemos la capacidad total:

$$PIAC = \sum_{y=1}^e n_y = n_a + n_b$$

$$PIAC = 7.066 \text{ acfts} \approx 7 \text{ aeronaves}$$

También, a partir de los valores de velocidad en los puntos de entrada, se pueden calcular las separaciones necesarias en dichos puntos para poder secuenciar las aeronaves:

$$S_a = \frac{V_{GSa}}{AAR * p_a}$$

$$S_a = \frac{280 \text{ kts}}{40 \frac{acft}{h} \cdot (.5)}$$

$$S_a = 14 \text{ NM}$$

$$S_b = \frac{280 \text{ kts}}{40 \frac{acft}{h} \cdot (.3)}$$

$$S_b = 23 \text{ NM}$$

-----