



**ORGANIZACIÓN DE AVIACIÓN CIVIL INTERNACIONAL
OFICINA REGIONAL SUDAMERICANA**

**MANUAL GUÍA DE PLANIFICACIÓN DE ESPACIO AÉREO
DE LA REGIÓN SAM**

PARTE II: TÉCNICAS DE PLANIFICACIÓN

Draft 3.0

MANUAL GUÍA DE PLANIFICACIÓN DE ESPACIO AÉREO DE LA REGIÓN SAM

PARTE II: TÉCNICAS DE PLANIFICACIÓN

CONTROL DE CAMBIOS

Versión	Fecha	Cambio	Paginas
Draft 2.0	23 octubre 2023	Borrador presentado para proceso de validación / aprobación ante SAM/IG/30	Todas
Draft 2.1	Desde 12 diciembre 2023	Revisión Grupo Adhoc de SAMIG30	Todas
Draft 3.0	26 abril 2024	Para Presentar a SAMIG31	Todas
Draft 3.0	06 mayo 2024	Revisión Editorial	Todas

CONTENIDO

1	PREFACIO.....	5
2	DEFINICIONES Y ABREVIATURAS.....	5
3	TRAYECTORIAS: LLEGADAS, SALIDAS Y RUTAS.....	5
3.1	ESPECIFICACIONES DE NAVEGACIÓN	6
3.2	LLEGADAS Y SALIDAS	7
3.3	RUTAS.....	17
3.4	SEPARACIÓN ENTRE TRAYECTORIAS.....	21
4	ORGANIZACIÓN DEL ESPACIO AÉREO	27
4.1	CRITERIOS GENERALES	27
4.2	ORGANIZACIÓN DE TMA	28
4.3	ORGANIZACIÓN CTR.....	31
4.4	ESPERAS	31
4.5	ESPACIOS AÉREOS PARA USO ESPECIAL (SUA).....	33
5	SECTORIZACIÓN	36
5.1	CRITERIOS GENERALES	36
5.2	SECTORIZACIÓN DE TMA	41
5.3	SECTORIZACIÓN DE RUTAS.....	41
6	ESCENARIOS OPERACIONALES.....	49
6.1	DISPOSICIONES GENERALES	49
6.2	COMPARACIÓN DE ESCENARIOS.....	50
7	REFERENCIAS	51

1 PREFACIO

Nota: Ver Prefacio en Parte I del Manual

2 DEFINICIONES Y ABREVIATURAS

Nota: ver Definiciones y Abreviaturas en Parte I del manual

3 TRAYECTORIAS: LLEGADAS, SALIDAS Y RUTAS

- 3.0.1 El establecimiento de trayectorias es un proceso interactivo que está directamente relacionado, entre otros factores, con la sectorización, con los espacios aéreos y con los aeródromos involucrados.
- 3.0.2 Durante la fase de diseño, es necesario asegurarse que las trayectorias desarrolladas sean factibles y viables desde el punto de vista de la complejidad, especialmente en términos de interacción entre llegadas y salidas de uno o más aeropuertos.
- 3.0.3 Luego de la definición preliminar de las trayectorias de salida y llegada, considerando la complejidad, se iniciará la elaboración de la sectorización y el volumen del espacio aéreo (CTR y TMA). Dentro de la interacción antes mencionada, el proceso de elaboración de la sectorización puede llevar a la necesidad de cambiar las trayectorias de llegada y salida, hasta optimizar las trayectorias al máximo, dentro de un nivel de complejidad aceptable, lo que redundará en una adecuada sectorización.
- 3.0.4 Cuando el espacio aéreo se considere de alta complejidad debido a su estructura de rutas, entre otros factores, se puede realizar un análisis de factibilidad de su regionalización, a fin de permitir una mayor especialización de los controladores de tránsito aéreo (ATCO) en porciones más pequeñas del espacio aéreo y reducir el tiempo necesario para la capacitación.
- 3.0.5 El desarrollo de trayectorias debe considerar la información relacionada con el desempeño óptimo de la aeronave, la cual debe obtenerse de los diferentes segmentos de la aviación que operan en el espacio aéreo, identificando posibles diferencias en el desempeño en términos de velocidad y gradiente de ascenso o descenso a diferentes épocas del año.

Nota 1:— Cuando la operación del aeródromo involucra aeronaves con diferencias significativas en el rendimiento, puede ser útil diseñar trayectorias de llegada y salida para acomodar aeronaves de bajo rendimiento. Esta práctica también se puede utilizar por motivos de ruido aeronáutico.

Nota 2: Puede obtenerse información útil sobre el rendimiento de la aeronave también a través del sitio web de EUROCONTROL:

<https://contentzone.eurocontrol.int/aircraftperformance/default.aspx>

- 3.0.6 El desarrollo de trayectorias y el nuevo concepto de espacio aéreo deben cumplir con las premisas establecidas para el proyecto, basándose en las aeronaves con mejores capacidades de navegación, entre otros aspectos.
- 3.0.7 Los sistemas de automatización CNS/ATM implementados para ayudar al ATCO en la provisión de ATS deben tenerse en cuenta en la planificación del espacio aéreo.

- 3.0.8 Siempre que sea posible, las nuevas trayectorias deberán ser más eficientes en términos de emisiones de CO₂ que las anteriores, en particular, debido a los requisitos de compensación de los Estados establecidos por CORSIA, a partir de 2021.
- 3.0.9 La trayectoria más eficiente no siempre será la línea recta. Es necesario considerar el desempeño de las aeronaves que evolucionan en el espacio aéreo en estudio, el cual puede verse muy afectado si el perfil vertical de la trayectoria propuesta es desfavorable. Como premisa general, las trayectorias niveladas a baja altura tienden a consumir más combustible. En general, en un TMA, se prefiere un viraje de descenso constante a una línea recta a baja altitud que requiere un vuelo nivelado (a través de restricciones de altitud).

3.1 ESPECIFICACIONES DE NAVEGACIÓN

- 3.1.1 La especificación de navegación consiste en definir los requisitos de performance requeridos de los sistemas de navegación de a bordo dentro de un espacio aéreo determinado.
- 3.1.2 Una de las etapas del desarrollo de la trayectoria es la selección de las especificaciones de navegación que se utilizarán. Debe realizarse en función de las características del espacio aéreo y la capacidad de navegación de la flota de aeronaves.
- 3.1.3 La especificación de navegación incluye requisitos de funcionalidad (RNAV y RNP) y precisión para equipos de a bordo que están directamente relacionados con la separación entre trayectorias.

Nota 1: Considerando las diversas generaciones de aeronaves que pueden estar utilizando el espacio aéreo simultáneamente, se debe establecer la especificación de navegación para acomodar la mayoría de estas aeronaves, considerando la capacidad PBN de la flota.

Nota 2: La capacidad del espacio aéreo y la carga de trabajo del ATCO pueden verse afectadas por la decisión de acomodar diferentes aeronaves con diferentes capacidades de navegación en el mismo espacio aéreo.
- 3.1.4 La infraestructura de ayudas a la navegación aérea debe ser evaluada considerando la especificación de navegación elegida como facilitadora para la implementación del nuevo Concepto de Espacio Aéreo.
- 3.1.5 También se debe considerar la conveniencia de mantener algunas ayudas a la navegación aérea para explotadores no aprobados para la especificación de navegación elegida, o como respaldo, así como la infraestructura de ayudas a la navegación aérea existente.
- 3.1.6 Las especificaciones de navegación a ser utilizadas en el establecimiento de trayectorias que utilizan el concepto PBN se enumeran en la Tabla 3-1; en la Figura 3-1 se observan las especificaciones de navegación por fases de vuelo en espacio aéreo SAM

Tabla 3-1 Especificación de Navegación

Tipo de Trayectoria	Especificación de Navegación
Ruta	RNAV 10, RNAV 5, RNP 4, RNP 2 o A-RNP
Llegada	RNAV 1, RNP 1 o A-RNP
Salida	RNAV 1, RNP 1, A-RNP o RNP AR DP
Aproximación	RNP APCH o RNP AR APCH

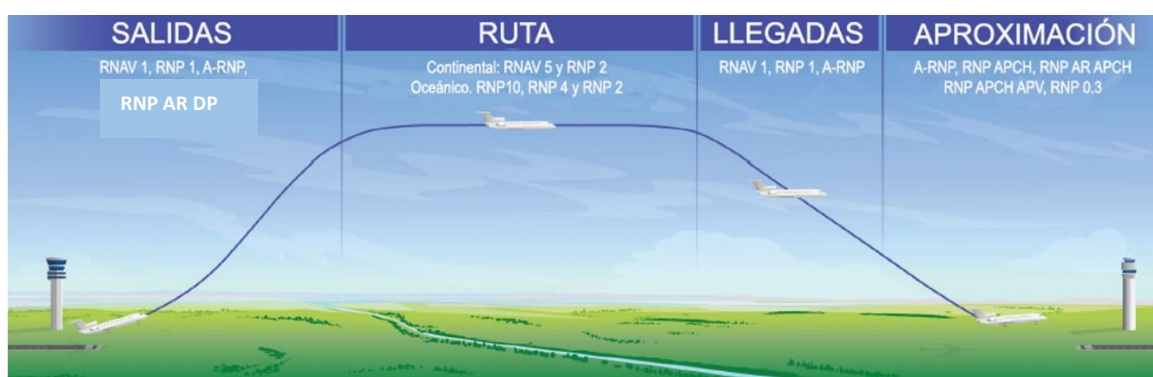


Figura 3-1 – Especificaciones de navegación por fases de vuelo en espacio aéreo SAM.

Nota 1: Ver Doc 9613 (Manual PBN) para más detalles de las especificaciones de navegación.

Nota 2: El uso de la especificación de navegación RNAV 1 (uso obligatorio de GNSS) en las trayectorias de llegada y salida no estará sujeto a la existencia de un sistema de vigilancia ATS.

Nota 3: En el caso de un procedimiento de aproximación ILS con Transición RNAV, la especificación de navegación del tramo RNAV será RNAV 1 o RNP 1.

Nota 4: Siempre que se utilice especificación de navegación con la posibilidad de utilizar un sistema DME/DME, se deberá insertar en la carta aeronáutica una indicación clara de la necesidad de un sistema de vigilancia ATS.

3.2 LLEGADAS Y SALIDAS

3.2.1 CRITERIOS GENERALES

3.2.1.1 A continuación, son presentados algunos principios para la implementación de trayectorias de llegada y de salida:

- Los cambios en la pista en uso en los aeródromos involucrados tendrán un impacto mínimo en la complejidad operacional;

- b) Evaluar, considerando el volumen de tránsito y la complejidad, los pros y los contras de aplicar separación lateral y vertical entre trayectorias;
- c) Proporcionar, considerando el criterio descrito en “b”, separación entre las trayectorias de llegada y salida IFR y VFR;
- d) Evitar áreas donde frecuentemente se conocen fenómenos meteorológicos asociados a turbulencia;
- e) Considerar posibles picos estacionales de tránsito aéreo;
- f) Conocer la infraestructura y medios CNS/ATM disponibles para los espacios aéreos involucrados y utilizarlos de manera óptima.

Nota: Aplicar separación lateral y vertical entre todas las trayectorias, especialmente donde el volumen de tránsito es bajo, puede no ser ventajoso. La resolución de conflictos a través de la circulación aérea reduce la carga de trabajo del ATC, por otro lado, puede perjudicar el desempeño de las aeronaves en términos de consumo. Es necesario evaluar la pertinencia de este tipo de solución. En ambientes donde el volumen de tránsito es alto, este tipo de separación puede generar un aumento en el número de aeronaves que se pueden controlar simultáneamente.

3.2.1.2 Una vez cumplidos los criterios establecidos en el numeral 3.4 (Separación entre trayectorias), el espejamiento (*mirroring*) de las trayectorias, como se ilustra en la Figura 3-2, se considera una buena práctica internacional para minimizar el impacto en la complejidad operacional resultante de un cambio de la pista en uso, por ejemplo.

Nota: La Figura 3-2 tiene fines ilustrativos únicamente. En este caso específico, la “X” representa solo un posible punto importante de conflicto y no una prohibición.

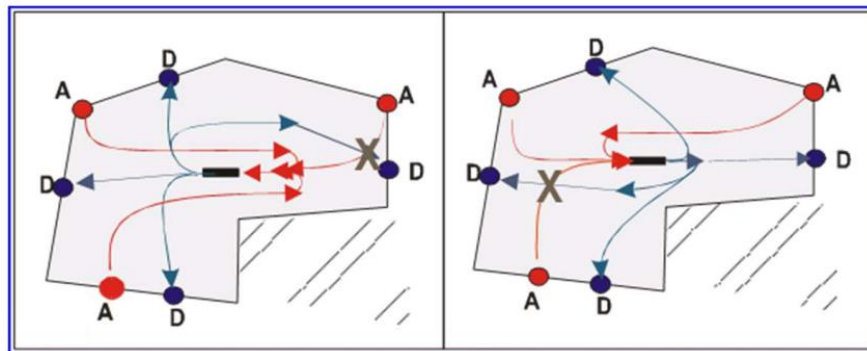


Figura 3-2 – Espejamiento (*Mirroring*) de trayectorias.

3.2.1.3 Las trayectorias de aproximación frustrada deberían estar separadas unas de otras y de los tramos iniciales de las trayectorias de salida, siempre que sea posible, para obtener el mayor beneficio en pistas con operaciones segregadas independientes o convergentes.

3.2.1.4 Las trayectorias de salida deben proporcionar separación lateral entre aeronaves lo más rápido posible, siempre que sea factible estar conectadas a la red de rutas ATS y ser compatibles con otras trayectorias de TMA adyacentes, independientemente de la pista en uso en el aeródromo.

Nota 1: Las rutas de salida VFR deben diseñarse para evitar, lo más rápido posible, el área inicial de las trayectorias de salida IFR.

Nota 2: Las salidas omnidireccionales son una excepción y no requieren conexión a rutas ATS.

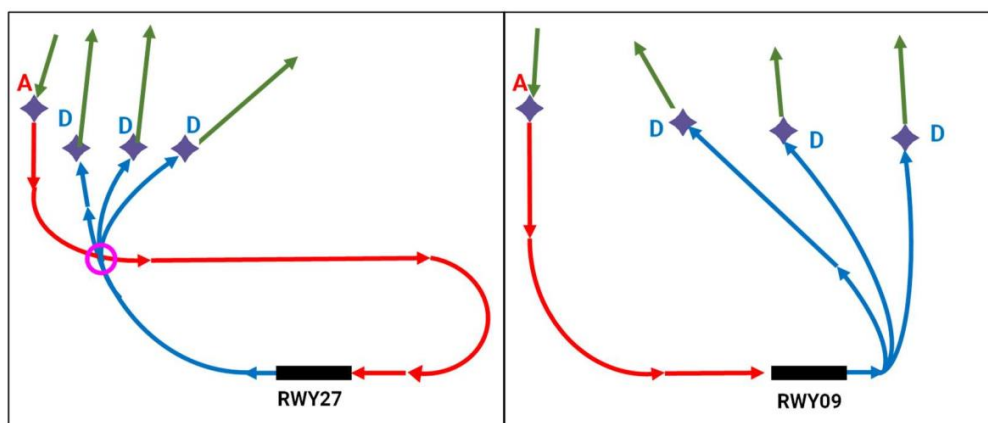


Figura 3-3 – Conexión entre trayectorias de salida con la red de rutas ATS

3.2.1.5 El diseño de las trayectorias de salida debe realizarse de manera que puedan ser acortadas por el controlador de tránsito aéreo tan pronto como se libere el tránsito conflictivo, de modo que se reduzca la carga de trabajo del sector y se pueda aumentar la capacidad ATC. De esta forma, en caso de ser necesario, las trayectorias de salida podrán alargarse, considerando que el controlador de tránsito aéreo podrá autorizar una trayectoria directa y más corta al siguiente *waypoint* de salida, si ya no se presentan conflictos de tránsito. Ver Figura 3-3

3.2.1.6 Las trayectorias de llegada deberán converger progresivamente, a medida que se acerquen al límite de la TMA, de modo que el número de puntos de entrada sea preferiblemente un máximo de cuatro, con excepción de los siguientes casos en los que no se recomienda la convergencia:

- Cuando exista un porcentaje significativo de aeronaves con performances diferentes;
- Cuando existan varios aeródromos principales;
- Cuando el volumen de tránsito sea bajo.

Nota 1: En estos casos, se deben establecer puntos/gates de entrada definidos en términos de performance o destino, entre otros criterios, para las cuales las trayectorias de llegada deben convergir.

Nota 2: En circunstancias excepcionales, puede ser necesario incluso dividir un flujo de llegada común dentro del espacio aéreo, para facilitar la gestión del flujo de aeronaves con diferentes performances.

Nota 3: ver Figura 3-4 y Figura 3-5 como ejemplo

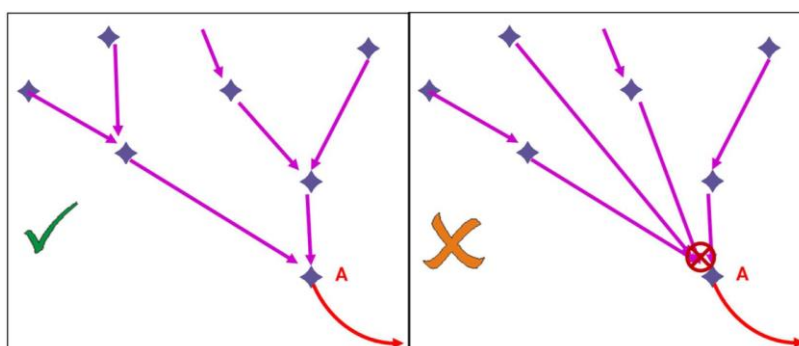


Figura 3-4 – Convergencia de las trayectorias de llegada (Ejemplo 1)

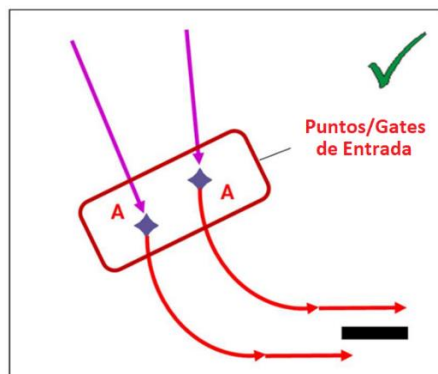


Figura 3-5 – Convergencia de las trayectorias de llegada (Ejemplo 2)

3.2.1.7 A diferencia de las trayectorias de salida, el diseño de las trayectorias de llegada debe realizarse de manera que su reducción no sea un estándar operativo, dado que tal medida normalmente no es beneficiosa para los operadores de aeronaves. De esta forma, la reducción de las trayectorias de llegada debería tener en cuenta el perfil promedio ideal de las aeronaves que operan el aquel espacio aéreo.

3.2.1.8 Existen numerosas técnicas que pueden ser utilizadas en un determinado concepto de espacio aéreo, tales como el concepto CCO/CDO, técnica *Four Corner*, STAR Abierta, STAR Cerrada, técnica Trombón y *Point Merge*, entre otras.

3.2.2 Operaciones de Descenso Continuo (CDO) y de Ascenso Continuo (CCO)

3.2.2.1 Al diseñar rutas de salida, de llegada y de aproximación, se debe tener en cuenta que tanto el diseño del espacio aéreo como el de los procedimientos son los habilitadores claves para CCO y CDO y que pueden proporcionar ahorros considerables de combustible, emisiones y reducción de ruido,.

3.2.2.2 Por lo tanto, CCO y CDO deben ser una parte integral del proceso de diseño del espacio aéreo/procedimiento. Cuando la situación local lo permita, el diseño del espacio aéreo/procedimiento debe permitir el uso de los conceptos de CCO y CDO en la mayor medida posible (idealmente, se proporciona CCO óptimo hasta la parte superior del ascenso y CDO desde la parte superior del descenso).

3.2.2.3 En general, teniendo en cuenta todo el vuelo y el hecho que se realizan más nivelaciones en la fase de descenso, CDO proporciona aproximadamente 10 veces el nivel de beneficios de ahorro de combustible/emisiones en comparación con CCO.

3.2.2.4 CDO se centra en el perfil vertical del tránsito entrante. La intención es permitir que las aeronaves desciendan sin interrupción desde su nivel de vuelo intermedio o de crucero hasta la aproximación final, interceptando la trayectoria de planeo según sea necesario. El descenso sin interrupción permite que la aeronave permanezca más tiempo en niveles de vuelo de crucero, más eficientes en combustible, en lugar de nivelaciones temporales en niveles inferiores menos eficientes en combustible. Esto solo puede funcionar si se puede dar una distancia exacta hasta el aterrizaje, ya sea adhiriéndose a un punto de STAR o recibiendo una distancia exacta a recorrer por parte del ATC.

3.2.2.5 Cuando un espacio aéreo cambia para habilitar CDO optimizado, hay una serie de buenas prácticas que deben tenerse en cuenta. Estas se relacionan con el espacio aéreo y el diseño de procedimientos, con la definición de Cartas de Acuerdo Operacional (LoAs) entre centros/sectores y con la designación de cualquier restricción de altitud o velocidad en el procedimiento de llegada. Las buenas prácticas incluyen lo siguiente:

- a) El diseño de cada ruta de llegada debe realizarse en estrecha colaboración entre el ANSP y los explotadores de aeronaves, ya que un diseño optimizado debe tener en cuenta tanto las limitaciones como los requisitos de cada parte;
- b) Las salidas (SID) y llegadas (STAR) deben diseñarse lateralmente segregadas tanto como sea posible. Al considerar entre la optimización de los perfiles verticales y laterales de las rutas de salida y llegada, cada caso tendrá una solución local. Sin embargo, al diseñar un procedimiento, debe tenerse en cuenta que cualquier segmento nivelado incluido en la trayectoria de descenso aumentará el consumo de combustible y las emisiones de cada llegada en una cantidad que depende del tipo de aeronave, la altitud del segmento nivelado y condiciones atmosféricas. Como regla general, si los segmentos nivelados son inevitables, deben tener lugar lo más alto posible en el procedimiento;
- c) También hay que tener en cuenta que no solo se debe considerar el peso de la aeronave y el consumo de combustible asociado. Para aeronaves similares, el rango específico (la cantidad de distancia recorrida por una unidad de consumo de combustible) diferencial entre un nivel de crucero (por ejemplo, FL350) y un nivel inferior intermedio (por ejemplo, FL100) para una aeronave más pesada (en ascenso) puede ser menor que para la misma aeronave cuando es más liviana (en descenso). Por lo tanto, las penalizaciones por combustible a FL más bajos son mayores cuando la aeronave es más liviana, es decir, al aterrizar. Las penalizaciones de combustible por volar a niveles de vuelo no óptimos son mucho menores cuando las aeronaves son pesadas, por lo que nivelar una aeronave en ascenso puede tener un menor impacto en el consumo de combustible en esa aeronave que cuando la aeronave es más liviana;
- d) LoAs, cuando se requiera/necesite, deben permitir perfiles de descenso óptimos (idealmente desde el *Top of Descent*) y donde se puedan habilitar los beneficios operacionales, diseñarse sobre una base flexible que se pueda adaptar a la dirección de la pista, períodos de demanda alta/baja, tránsito estacional, estándar de tránsito de semana/fin de semana y deben revisarse regularmente en base a restricciones individuales;
- e) LoAs puede beneficiarse de la creación de nuevos waypoints para habilitar un punto de *Top of Descent*, más óptimo y más alto, o un perfil de descenso más óptimo. Dichos cambios deben promoverse durante las revisiones periódicas de la LoA;
- f) El personal ATFM, siempre que sea posible y cuando la situación del tránsito lo permita, puede utilizar rutas DCT, sobre una base táctica, para permitir a las aeronaves mantener niveles de crucero más altos, niveles más óptimos y renunciar a las restricciones verticales para facilitar un mejor rendimiento;
- g) Para una CDO optimizada, las rutas de llegada deben definirse con una cantidad mínima de restricciones (los FMS pueden no ser capaces de manejar las restricciones ubicadas cerca), mientras se demuestre que un número reducido de *waypoint* aumenta el cumplimiento de las restricciones laterales y verticales;
- h) Aunque la implementación de restricciones de altitud se debería limitar tanto como sea posible, cualquier restricción debe publicarse exactamente en punto de descenso ideal para la mayoría de los tipos de aeronaves e incluir en ventanas de altitud con las siguientes instrucciones:
 - i) “a o por encima de”;
 - ii) “a o por debajo de”;
 - iii) “ventana” de altitud/nivel de vuelo.
- i) Las ventanas de nivel y velocidad de las rutas de llegada deben diseñarse para tener en cuenta los límites de performance de las aeronaves y deben ser lo suficientemente grandes como para dar cabida a perfiles de descenso de la flota específica de aeronaves que operan en cada aeródromo, pero no demasiado grandes como para bloquear demasiado el espacio aéreo;

- j) Desde la perspectiva del CDO, las restricciones de velocidad deben evitarse siempre que sea posible, aunque estas pueden ser necesarias en ciertos escenarios (por ejemplo, con *Point Merge*);
- k) Si se requieren restricciones/ajustes de velocidad, es preferible definir una velocidad de entrada en la llegada de CDO.

3.2.2.6 El concepto de CCO es sencillo: no se debería exigir a la aeronave que nivele el ascenso en ninguna etapa. La aeronave puede ascender desde el despegue hasta el nivel de crucero sin ninguna restricción.

3.2.2.7 Tanto CDO como CCO pueden considerarse extensiones verticales de procedimientos SID o STAR. Teniendo en cuenta los perfiles normales de ascenso y descenso, es posible colocar puntos de cruce de SID y STAR en un lugar donde los perfiles naturales no interactúen. Al hacerlo, ya no se requiere una nivelación obligatoria, pero es importante que el ATC siga monitoreando los puntos de cruce.

Nota: Los criterios detallados para la implementación de los conceptos CDO/CCO están contenidos en los Doc 9931 (Manual CDO) y Doc 9993 (Manual CCO) de la OACI.

3.2.3 TÉCNICA *FOUR CORNER*

3.2.3.1 El *Four Corner* es una técnica definida mediante un cuadrilátero ficticio, centrado en el aeródromo, orientado según la posición de las pistas, a partir del cual se desarrolla un sistema de trayectorias de llegada y salida que incrementa la eficiencia de los flujos de tránsito aéreo.

3.2.3.2 Esta técnica no requiere una aplicación rígida y simétrica. Dependiendo de las necesidades, configuración y características de los espacios aéreos involucrados, esta geometría del trazado de las trayectorias puede flexibilizarse cuando sea pertinente.

Nota: El *Four Corner* permite realizar cruces próximos al aeródromo de forma bien definida, facilitando la aplicación de técnicas CCO y CDO.

3.2.3.3 Las trayectorias de llegada se establecen desde los vértices del cuadrilátero y las trayectorias de salida desde los lados, como se ilustra en la Figura 3-6.

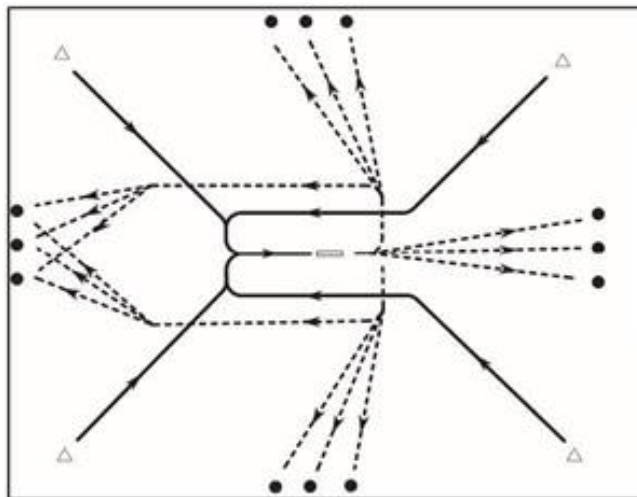


Figura 3-6 – Técnica *Four Corner*.

3.2.3.4 El *Four Corner* puede aplicarse parcialmente, a fin de evitar la interferencia entre las trayectorias de llegada y salida de los aeródromos cercanos.

Nota: En estos casos, se puede establecer la configuración de las trayectorias de llegada y salida para que los cruces se produzcan en puntos más alejados de los aeródromos involucrados, pero siempre considerando los perfiles óptimos de ascenso y descenso de la aeronave.

3.2.4 STAR ABIERTA

3.2.4.1 STAR Abierta es una técnica definida por medio de una trayectoria de llegada, generalmente paralela a la pista y en contra de la dirección de aterrizaje, hasta un determinado *waypoint* a partir del cual la aeronave esperará la guía vectorial para interceptar la aproximación final, como se muestra en la Figura 3-7.

3.2.4.2 La elección de aplicar el concepto de STAR Abierta debe considerar los siguientes puntos:

- a) cuanto mayor sea la extensión de la trayectoria aplicada por la unidad ATC, desde el último *waypoint*, mayor será la dificultad para que el sistema de navegación de la aeronave garantice un perfil de descenso continuo;
- b) su aplicación apoya el concepto de espacio aéreo en la reducción de guía vectorial, considerando que se puede aplicar básicamente en el tramo a favor del viento, evitando su aplicación en otras porciones del espacio aéreo;
- c) cuanto mayor sea la distancia lateral de la trayectoria con relación al eje de la pista, mayor será la flexibilidad para la guía vectorial por parte de la unidad ATC.

3.2.5 STAR CERRADA

3.2.5.1 STAR Cerrada es una técnica definida por medio de una trayectoria de llegada, generalmente paralela a la pista y contra la dirección de aterrizaje, hasta un *waypoint* coincidente con el IAF o IF, como se muestra en la Figura 3-7.

3.2.5.2 Una STAR Cerrada se puede utilizar como trayectoria alternativa, para ser aplicada tácticamente por la unidad ATC, utilizándose *waypoint* que pueden significar trayectorias más grandes o más pequeñas en asociación con un concepto de trombón.

Nota: Al igual que con la STAR Abierta, cuanto mayor sea la extensión de la trayectoria aplicada por la unidad ATC, desde el último *waypoint*, mayor será la dificultad para que el sistema de navegación de la aeronave garantice un perfil de descenso continuo.

3.2.5.3 También es posible aplicar los conceptos de STAR Abierta y Cerrada simultáneamente, insertando un *waypoint* coincidente entre el último punto de la STAR y el IAF de una IAC, así como considerando que el controlador pueda proporcionar guía vectorial después de este *waypoint*, en caso de necesidad de establecer una secuencia de aeronaves.

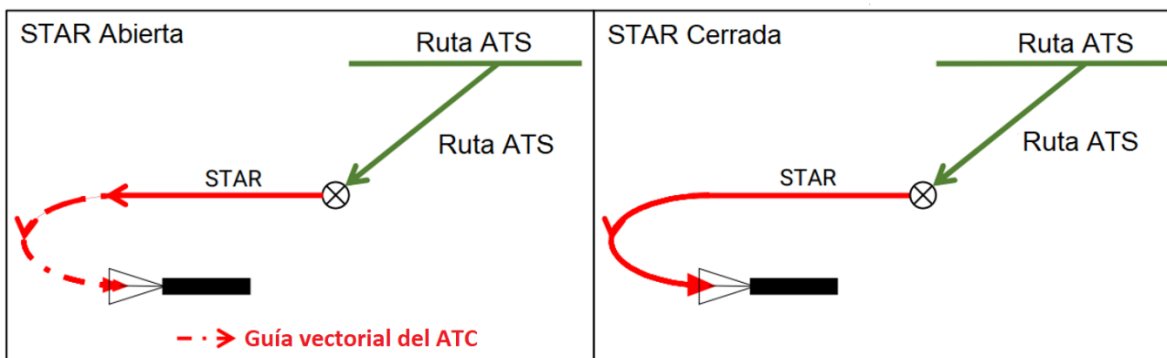


Figura 3-7 – STAR Abierta – STAR Cerrada

3.2.6 TÉCNICA TROMBÓN

3.2.6.1 El trombón es una técnica definida mediante el establecimiento de *waypoints* a intervalos fijos a lo largo de las trayectorias de llegada, con el fin de permitir la prolongación de estas trayectorias y facilitar el secuenciamiento de las aeronaves al entrar en el tramo a favor del viento para la aproximación final.

Nota: El trombón puede tener una o dos trayectorias paralelas al tramo a favor del viento, según la necesidad operacional.

3.2.6.2 En el trombón, las trayectorias de llegada están predefinidas, como se muestra en la Figura 3-8, y permiten una mejor predictibilidad por parte del ATCO y aumentan la capacidad de los sectores. Sin embargo, el aumento de las distancias voladas puede comprometer la eficiencia del vuelo.

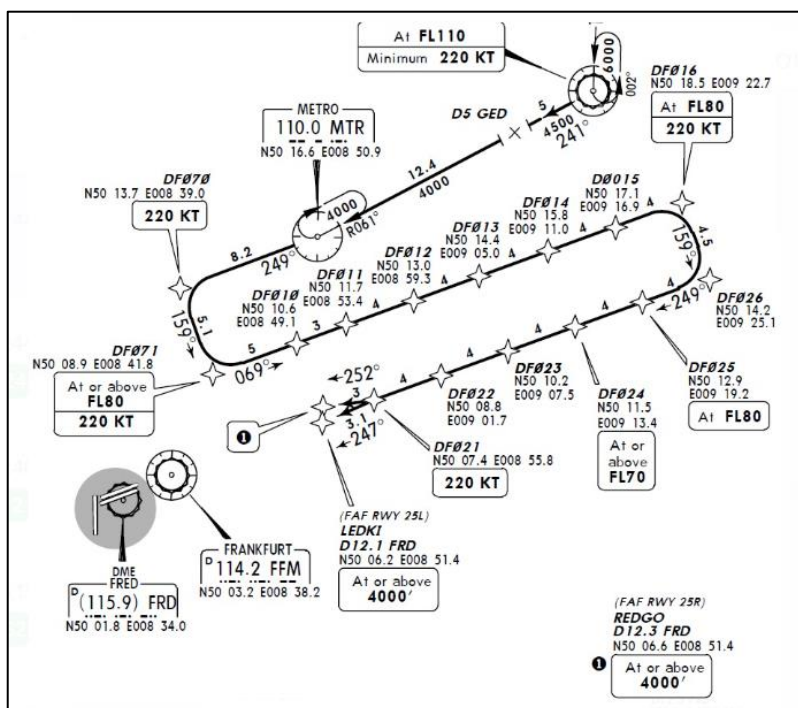


Figura 3-8 – Técnica Trombón

3.2.7 TÉCNICA MERGE POINT

3.2.7.1 El *Merge Point* es una técnica desarrollada para integrar flujos entrantes de alta densidad al fusionar los flujos entrantes en un solo punto, aumentando la conciencia situacional y reduciendo la carga de trabajo de las tripulaciones y de los controladores de tránsito aéreo.

3.2.7.2 Antes del *Merge Point*, se crea un *sequencing leg* (tramo de secuenciamiento) que funcionará como un *buffer*. Una aeronave llegando puede ser instruida a mantener el *sequencing leg*, lo que permitirá al controlador alargar la trayectoria manteniendo la aeronave en el *sequencing leg*, durante un cierto período de tiempo, antes de autorizar el vuelo directo al *Merge Point*. Alternativamente, el controlador puede acortar la trayectoria autorizando a la aeronave directamente al *Merge Point*, como se muestra en la Figura 3-9.

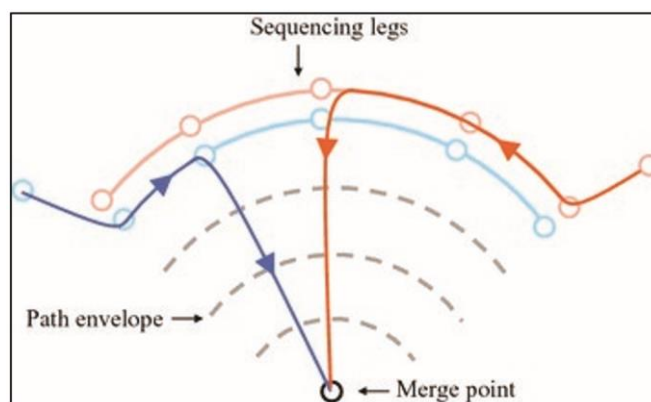


Figura 3-9 – Merge Point

3.2.7.3 Un *sequencing leg* debe estar aproximadamente a la misma distancia del *Merge Point* en toda su longitud, siendo similar a un arco con el *Merge Point* ubicado en su centro.

3.2.7.4 Cuando se crean varios *sequencing legs*, la distancia desde el *Merge Point* debe ser similar y se debe evitar la superposición exacta. El tramo más cercano al *Merge Point* debe tener la mayor altitud y el tramo más alejado debe tener la menor altitud, como se muestra en la Figura 3-10, para garantizar la separación vertical entre las aeronaves, dejando el tramo exterior para el *Merge Point* y los aviones que vuelan sobre el tramo interior.

Nota: Se deben crear líneas adicionales en la pantalla del radar para ayudar al controlador a determinar si dos aeronaves consecutivas han establecido la separación necesaria para el *sequencing leg*.

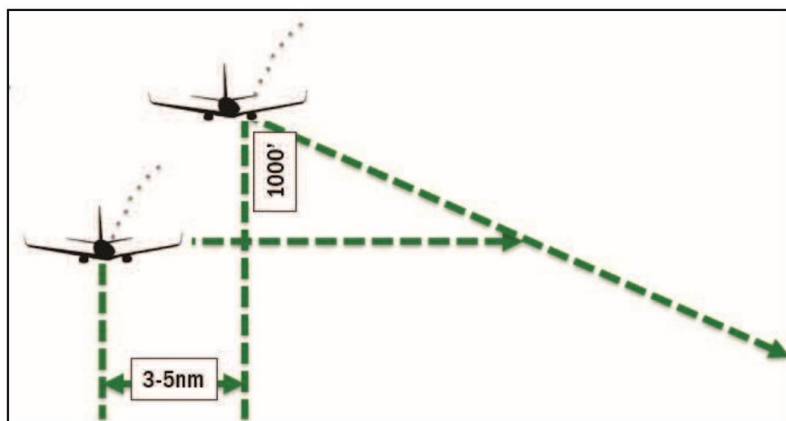


Figura 3-10 – Vista en perfil del *Merge Point*

3.2.7.5 Cuando una aeronave pasa la primera línea hacia el *Merge Point*, se establece la separación con todas las demás aeronaves aún en la(s) *sequencing leg(s)*, de modo que se pueda indicar a la siguiente aeronave que vuele directamente al *Merge Point*.

3.2.7.6 Parte del procedimiento es fijar la velocidad de la aeronave en las *sequencing legs* y en el *Merge Point*, a fin de mantener la separación longitudinal incluso después del *Merge Point*. El proceso de monitoreo de la aeronave a medida que pasa las líneas equidistantes y gira la siguiente aeronave hacia el *Merge Point* se repite constantemente. Así, es posible gestionar un gran volumen de tráfico aéreo de forma segura y eficiente.

3.2.7.7 Después del *Merge Point*, la aeronave seguirá un procedimiento de llegada y, en esta fase, se mantendrá la separación a través del control de velocidad.

3.2.7.8 Suposiciones para el uso de la técnica del *Merge Point*:

- Suponga que la aeronave llegará programada para ingresar a la *sequencing leg* y se le indicará que vuele al *Merge Point* lo antes posible;
- Direccione el flujo principal a la *sequencing leg*, ya que normalmente tendrá prioridad en *sequencing leg*;
- La aeronave que navegue en la *sequencing leg* exterior sólo tendrá preferencia si la del tramo interior tiene mayor distancia a recorrer;
- La distancia entre la *sequencing leg* interna y el *merge point* debe ser de al menos 15 NM; y
- Las *sequencing legs* deben estar separados por al menos 1000 pies verticalmente y entre 3 y 5 NM lateralmente.

3.2.8 RUIDO DE AERONAVES

3.2.8.1 En cuanto al ruido de aeronaves, es deseable que en el desarrollo de las trayectorias se tengan en cuenta, en la medida de lo posible, algunos indicadores relacionados, tales como:

- Densidad de población: las rutas de llegada y salida de las terminales deben, en la medida de lo posible, evitar las zonas densamente pobladas;
- Topografía: los lugares con elevaciones altas están más expuestos al ruido de las rutas de llegada y salida;
- Curvas de ruido alrededor de aeródromos: simulación de curvas de ruido teniendo en cuenta todas las llegadas y salidas propuestas al aeródromo.

Nota: Durante la implementación de proyectos de modificación del espacio aéreo en TMA, se recomienda solicitar a la autoridad competente un análisis de ruido de aeronaves.

3.2.8.2 Para mitigar el ruido en las trayectorias de llegada y salida, se pueden utilizar una o más de las siguientes soluciones:

- a) Procedimiento de Salida con Atenuación de Ruido (NADP);
- b) técnicas CCO y CDO;
- c) SID/STAR preferenciales de ruido;
- d) sistema preferencial de pistas;
- e) alternancia de pistas;
- f) desplazamiento de umbral;
- g) incrementos en VPA;
- h) múltiples trayectorias de salida para dispersar el ruido;
- i) restricción de velocidad en las salidas.

Nota: Los criterios para abordar el tema de ruido de aeronaves se encuentran en la Circular 351 (Participación de la comunidad en la gestión ambiental en la aviación), el Doc 8168, Vol. III PANS OPS, así como otros documentos de referencia de la OACI.

3.3 RUTAS

3.3.1 RED DE RUTAS FIJAS

3.3.1.1 Siempre que sea posible, la red de rutas fijas debe establecerse considerando:

- a) **versión de la red de rutas de la Región SAM** – los cambios en el espacio aéreo y la estructura de rutas pueden afectar la red de rutas de la Región SAM. De esta forma, se debe realizar una coordinación e intercambio de información previos con los actores internacionales, preferentemente a través de un foro multilateral;
- b) **problemas conocidos** – los esfuerzos para eliminar cuellos de botella específicos deben incluir, en un primer momento, un análisis profundo de los factores que causan la congestión, no permitiendo la transferencia del problema de un área a otra como solución;
- c) **pronósticos de demanda** – con base en estos pronósticos, se deben establecer nuevas trayectorias, así como la racionalización de las rutas actuales para eliminar aquellas rutas cuya demanda ya no se justifica;
- d) **los flujos principales** – deben definirse desde las áreas principales hacia las áreas periféricas, considerando las trayectorias más directas posibles entre los aeródromos de salida y llegada y la necesidad de interconectar un mayor número de áreas principales de llegada y salida;
- e) **requisitos de performance de las aeronaves** – para optimizar el uso del espacio aéreo y la capacidad de los aeródromos, el sistema de rutas debe diseñarse teniendo en cuenta las diferentes capacidades de performance de las aeronaves.

3.3.1.2 Cuando exista una demanda que lo justifique, y con el objetivo de ampliar la capacidad de los sectores, reducir la carga de trabajo y el número de cruces y aumentar la seguridad operacional, podrán utilizarse trayectorias paralelas y unidireccionales, con flujo dedicado, en particular donde la interacción entre el tránsito ascendente y descendente es un factor limitante.

Nota: Es importante señalar que las rutas unidireccionales pueden aumentar la distancia volada entre pares de ciudades y pueden no ser eficientes, en algunos casos, para ser aplicadas en espacios aéreos con baja densidad de tránsito aéreo.

3.3.1.3 Cuando se aplican caminos duales, unidireccionalmente, para flujos opuestos, se deben evitar los cruces tanto como sea posible, como se muestra en la Figura 3-11.

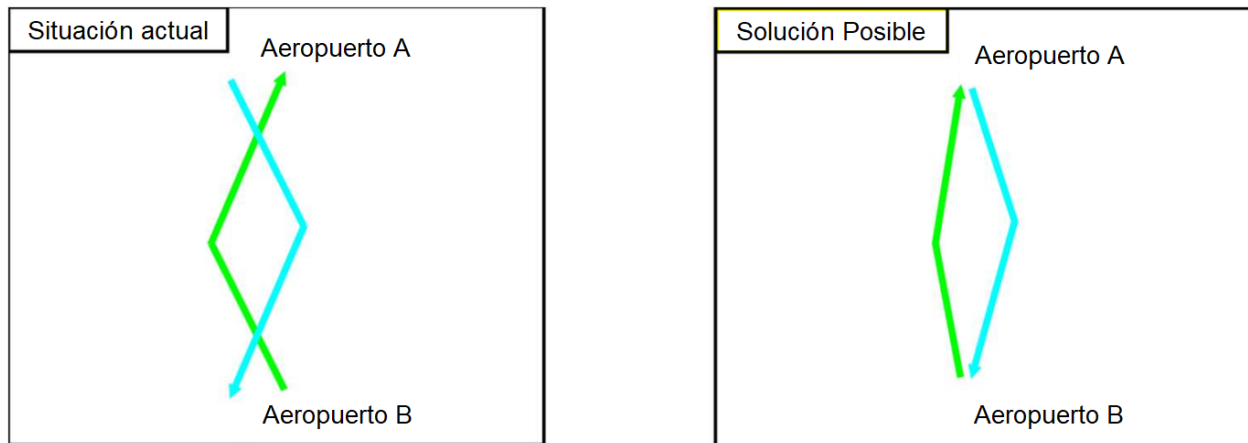


Figura 3-11 – Reducción de cruces en rutas unidireccionales con flujos opuestos

3.3.1.4 El concepto de espacio aéreo debe asegurar que la estructura de rutas no entre en conflicto con las trayectorias de ascenso y descenso de los aeropuertos principales, como se muestra en la Figura 3-12.

Nota; En estos casos, se debe buscar un equilibrio entre la reducción de distancia y la posibilidad de disminuir el número de cruces.

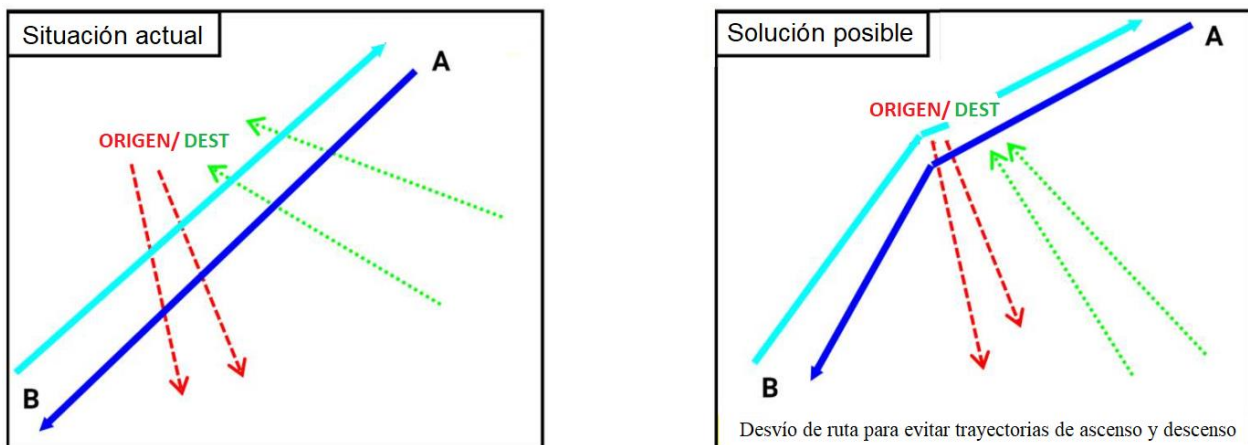


Figura 3-12 - Desvío de ruta para evitar trayectorias de ascenso y descenso

3.3.1.5 Cuando sea necesario cruzar, el área de cruce entre trayectorias debe ser lo más pequeña posible y en un ángulo apropiado, para resolver el conflicto rápidamente, como se muestra en la Figura 3-13.

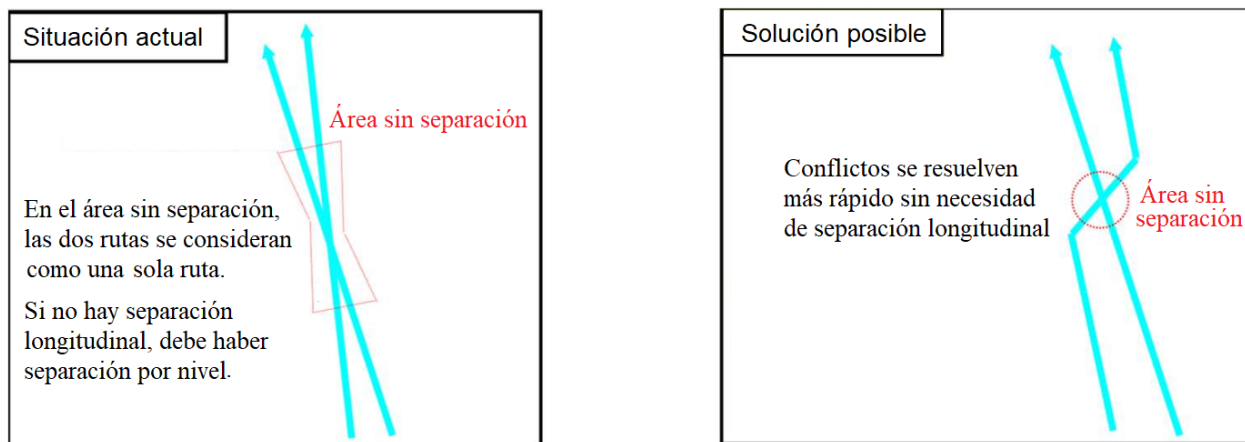


Figura 3-13 - Reducción de la extensión del área de cruce entre rutas

3.3.1.6 Con el objetivo de ampliar la capacidad de los sectores, se debe utilizar preferentemente un esquema de asignación de niveles de vuelo que resulte en una mejor organización de los puntos de cruce.

Nota 1: Se debe minimizar el uso del método tradicional de asignación de nivel de vuelo (tabla del Anexo 2 – Apéndice 3 – OACI).

Nota 2: En el caso de rutas cortas entre pares de ciudades, se deben implementar rutas dedicadas o asignación de niveles de vuelo específicos.

3.3.1.7 Las rutas principales deben estar integradas y compatibilizadas con las trayectorias de llegada y salida, como se muestra en la Figura 3-14.

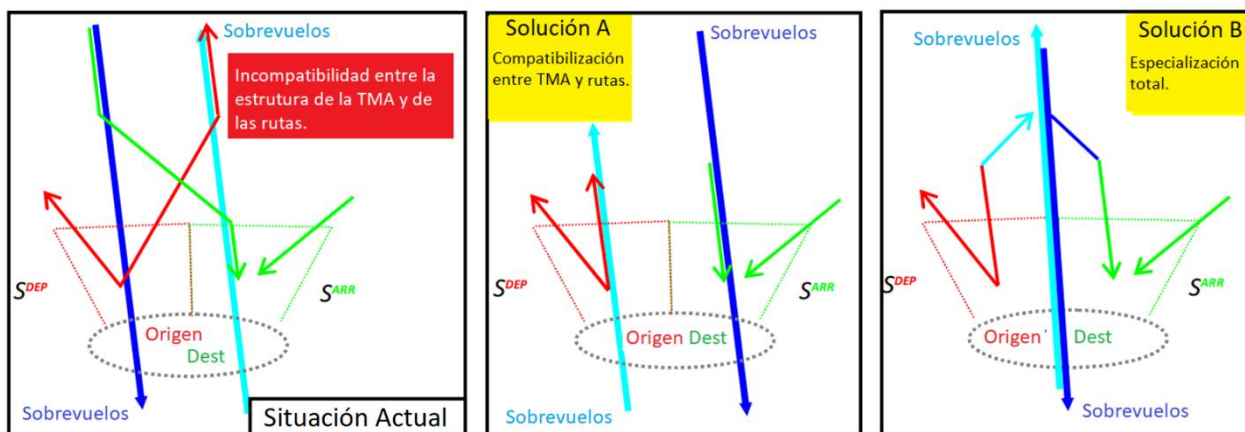


Figura 3-14 - Integración y compatibilización con trayectorias de llegada y salida.

3.3.2 RUTAS DCT

3.3.2.1 Según el Doc 9750 (*Global Air Navigation Plan*), en su elemento ASBU FRTO, las Rutas Directas (*Direct Routings*) se establecen con el objetivo de proporcionar a los usuarios del espacio aéreo opciones adicionales de rutas de planificación de vuelos, a mayor escala en las FIR, de modo que las distancias generales planificadas de los tramos se reduzcan en comparación con la red de rutas fijas.

3.3.2.2 Tomando como referencia la implantación que se ha llevado a cabo en Brasil, el uso del concepto de Rutas Directas (DCT), como alternativa a la red de rutas fijas, permite mayores opciones de planificación de vuelo y de selección de rutas para el FPL, lo que permite lograr importantes beneficios, especialmente en lo que se refiere a la reducción de la distancia nominal de vuelo, en comparación con la red de rutas fijas.

3.3.2.3 Una vez implementada, la Red de Rutas DCT se convierte en un escenario alternativo más dinámico y eficiente, que puede ser utilizado cumpliéndose ciertos requisitos y según lo permita la demanda del tránsito aéreo.

Nota: Los requisitos necesarios pueden establecerse en términos de puntos preestablecidos de entrada y salida, puntos intermedios y distancia máxima entre puntos en la ruta DCT, entre otros.

3.3.2.4 La red de rutas DCT debe, siempre que sea posible, establecerse considerando los siguientes criterios:

- a) **límite vertical inferior** – debe ser el más pequeño posible, teniendo en cuenta la complejidad del espacio aéreo y la demanda y asegurando la interconectividad con las demás redes de rutas adyacentes;
- b) **límites laterales** – deben basarse en requisitos operacionales, no necesariamente obedeciendo a los límites de FIR/UIR, sectores ATC o fronteras estatales. En las áreas donde la configuración de los límites laterales de los sectores FIR/UIR o ATC sea tal que las rutas directas puedan conducir al ingreso al espacio aéreo adyacente por un período corto, se deberá realizar la coordinación correspondiente con las unidades ATS o Estados adyacentes;
- c) **clase de espacio aéreo** – debe implantarse, en principio, en espacio aéreo clase “A”;
- d) tener flexibilidad de acuerdo a la demanda;
- e) el esquema de asignación de nivel de vuelo debe incluirse en las publicaciones de información aeronáutica.

3.3.2.5 La implementación de una red de rutas DCT debe hacerse de manera progresiva, comenzando con una implementación transitoria, durante períodos definidos, con el objetivo de identificar posibles problemas de transición entre la red de rutas ATS y la red de rutas DCT.

3.3.2.6 La red de rutas DCT debe ser integrada y compatible con la red de rutas ATS adyacentes y con las trayectorias de llegada y salida.

Nota 1: Cuando exista una red de rutas ATS por debajo de la red de rutas DCT, dicha red debe ajustarse en toda su extensión para permitir la operación en rutas DCT en el espacio aéreo superpuesto.

Nota 2: En caso de implantación de la red de rutas DCT por debajo del límite superior de una TMA, sus puntos de entrada y salida deberán ser preferentemente el último punto de una trayectoria de salida y el primer punto de una trayectoria de llegada, respectivamente.

3.3.2.7 La definición de puntos de entrada y salida de la red de rutas DCT debe permitir una transición estructurada entre los sectores operacionales.

3.3.2.8 La red de rutas DCT considerará las reservas de espacio aéreo, de manera que se pueda cruzar o evitar un determinado espacio aéreo reservado, según el grado de coordinación y el estado de actividad en el área.

Nota 1: En estos casos, se deben definir puntos intermedios en la red de rutas DCT para facilitar la planificación de vuelos, con el fin de liberar espacio aéreo reservado y asegurar una separación suficiente de actividades en el momento de la activación.

Nota 2: Los puntos intermedios y las condiciones específicas para su uso deben publicarse en las publicaciones de información aeronáutica.

3.4 SEPARACIÓN ENTRE TRAYECTORIAS

Nota: Los criterios específicos para separación de aeronaves se encuentran en el DOC 4444 - Procedimientos para los Servicios de Navegación Aérea.

3.4.1 CRITERIOS GENERALES

3.4.1.1 Habrá separación entre dos trayectorias cuando la distancia entre sus ejes sea igual o mayor a los valores siguientes:

- 13 km (7 NM) entre trayectorias RNAV 1; RNAV 1 y RNP 1; RNAV 1 y RNP APCH; RNAV 1 y RNP AR APCH;
- 9,3 km (5 NM) entre trayectorias RNP 1; RNP 1 y RNP APCH; RNP 1 y RNP AR APCH;
- En los demás casos, el ancho de las respectivas áreas de protección PANS-OPS, cuando no se superpongan.

Nota 1: La separación lateral mínima entre el tramo a favor del viento del radar y el eje de la pista debe establecerse en función de la performance de la aeronave, de manera que la aeronave más lenta realice el tramo a favor del viento más cerca de la pista.

Nota 2: Las mejores prácticas indican que la inercia de la aeronave más rápida hace impracticable establecer una separación lateral menor a 5NM entre el tramo del viento radar y el eje de la pista, ya que aumenta el riesgo de que la aeronave exceda la trayectoria predefinida (originando un *overshooting*) durante el viraje para interceptar el tramo de aproximación final.

Nota 3: Véase la Figura 3-15

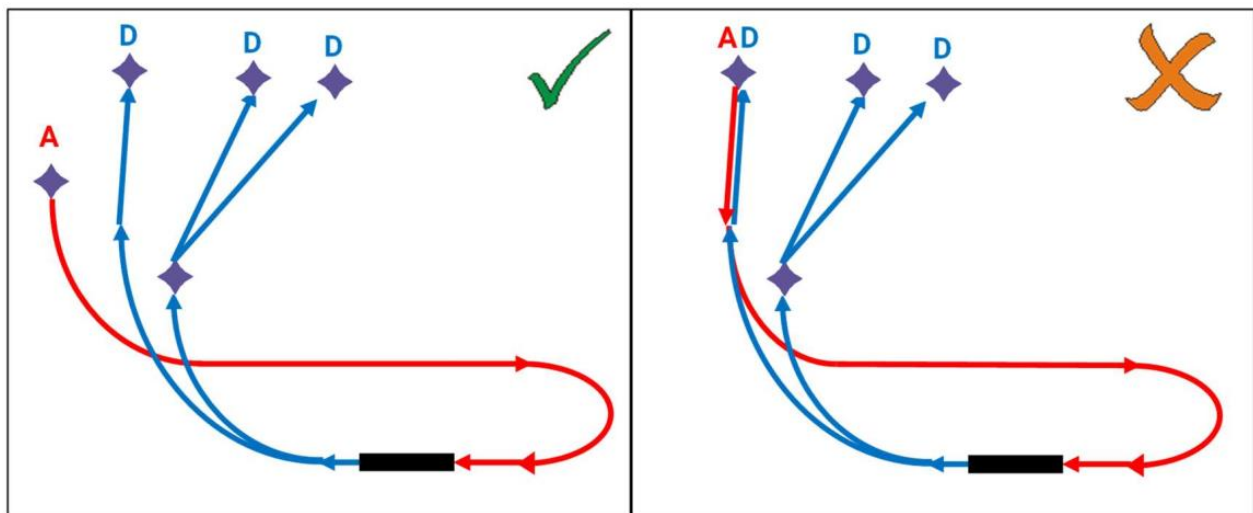


Figura 3-15 – Separación lateral entre trayectorias de salida (D) y llegada (A)

3.4.1.2 De manera similar a lo dispuesto en el numeral anterior, existirá separación lateral entre rutas oceánicas o continentales cuando se cumplan los valores establecidos en la Tabla 3-2.

TABLA 3-2 - Separación lateral entre trayectorias oceánicas y continentales.

Especificación de Navegación	Separación Lateral	Escenarios de Aplicación	Referencia
RNAV 10	50 NM	Trayectorias oceánicas e continentales remotas	DOC 9613, Parte B, Capítulo 1, nuream 1.2.3
RNP 4	30 NM	Trayectorias oceánicas con comunicación vía CPDLC o directa y vigilancia por ADS con contrato y desviación máxima de 9,3 km	DOC 9613, Vol. II, Anexo B, numeral 3.3)
RNAV 5	18 NM	Trayectorias paralelas (rutas/STAR)	DOC 9613, Parte B, Capítulo 2, numeral 2.2.3.3 (para virajes observar numeral 2.2.3.4)
RNAV 5	16,5 NM	Trayectorias paralelas (rutas/STAR) dedicadas	DOC 9613, Parte B, Capítulo 2, numeral 2.2.3.3 (para curvas observar numeral 2.2.3.4)
RNAV 5	10 NM	Trayectorias paralelas (rutas/STAR) dedicadas con vigilancia ATS	DOC 9613, Parte B, Capítulo 2, numeral 2.2.3.3 (para virajes observar numeral 2.2.3.4)
RNAV 2	15 NM	Trayectorias paralelas (rutas/STAR) dedicadas con vigilancia ATS, requerido GNSS y comunicación bilateral	DOC 4444, Tabla 5-2; e DOC 9613.
RNAV 2	8-9 NM	Trayectorias paralelas, comunicación VHF bilateral continua y vigilancia ATS	DOC 9613, Vol. II. Anexo B, numeral 4.4)
RNAV 2	7 NM	Durante cruces de trayectorias paralelas (Rotas/STAR) dedicadas con vigilancia ATS, requerido GNSS y comunicación bilateral	Mientras una aeronave cruza el nivel de otra (DOC 4444, Tabla 5-2)

Especificación de Navegación	Separación Lateral	Escenarios de Aplicación	Referencia
RNAV 1	TBD	En desarrollo	NIL
RNP 2	15 NM	Trayectorias paralelas (rutas/STAR) y comunicación bilateral	DOC 4444 Tabla 5-2
RNP 2	7 NM	Trayectorias paralelas (rutas/STAR) y comunicación bilateral	Mientras una aeronave cruza el nivel de otra (DOC 4444, Tabla 5-2)
A-RNP	TBD	En desarrollo	NIL

Nota: Los valores mínimos de separación lateral previstos en la Tabla 3-2 podrán ser reducidos, a criterio de la autoridad aeronáutica, observando los criterios previstos en el DOC 4444 - Procedimientos para los Servicios de Navegación Aérea - Gestión del Tránsito Aéreo o en el DOC 9689 - Manual sobre Metodología de Planificación del Espacio Aéreo para la Determinación de Mínimas de Separación.

3.4.1.3 La separación compuesta, que consiste en una combinación de separación vertical y una de las formas de separación horizontal (longitudinal o lateral), podrá ser aplicada considerándose valores de mínimos inferiores a los utilizados cuando se aplican individualmente, pero no inferiores a la mitad de estos mínimos.

Nota 1: Se recomienda utilizar la separación compuesta sólo cuando la complejidad de establecer trayectorias y circulación aérea así lo requiera, a fin de lograr los objetivos estratégicos definidos.

Nota 2: Cuando se utiliza, una buena práctica que se puede adoptar para los cruces de las trayectorias es:

- ✓ STAR pasando sobre SID: Vertical 1000 ft y longitudinal 3 NM después del punto de cruce;
- ✓ SID pasando sobre STAR: Vertical 1000 ft, longitudinal no menos de 5 NM antes del punto de cruce y pendiente de ascenso practicable, dependiendo de la combinación de aeronaves, para evitar que no se cumplan las restricciones.

3.4.1.4 Las condiciones especiales de operación en caso de contingencia, como la indisponibilidad del servicio de vigilancia ATS, deberán establecerse en el Plan de Degradación de la unidad ATC (Plan de Contingencia).

3.4.1.5 Los responsables de desarrollar el concepto de espacio aéreo deben informar, a las unidades ATC afectadas, los puntos en los que NO se cumplen los criterios de separación lateral entre trayectorias. Por tanto, será necesario aplicar otro tipo de separación entre las aeronaves.

3.4.1.6 Al determinar la separación vertical entre aeronaves en el punto de cruce, además de la performance de ascenso de la aeronave y las técnicas CCO y CDO, se deben tener en cuenta los siguientes factores:

- a) en determinados espacios aéreos, el establecimiento de valores superiores a 1.000 pies, considerando la posibilidad de variaciones en la altitud de vuelo al imponer restricciones verticales;
- b) datos estadísticos sobre la ocurrencia de violación de la restricción vertical en ascenso y descenso;
- c) datos estadísticos sobre la ocurrencia de alertas relacionadas con ACAS;
- d) existencia de altitudes de transición muy bajas, ya que la experiencia demuestra que cuando se solicita a las aeronaves que detengan su ascenso o descenso cerca o en la altitud de transición, puede aumentar la probabilidad del número de violaciones de las restricciones verticales establecidas.

3.4.1.7 El principal beneficio de aplicar las técnicas CCO y CDO es hacer que el perfil vertical de los vuelos sea ambientalmente sostenible, permitiendo que las aeronaves operen cerca de su régimen de performance óptimo y, en consecuencia, reduciendo las emisiones de CO₂ y el ruido aeronáutico.

Nota: Los estudios preliminares que comparan las técnicas CDO y CCO en términos de reducción de emisiones de CO₂ muestran ganancias similares en ambas técnicas.

3.4.1.8 La aplicación de la técnica CCO tiene por objeto permitir que las aeronaves asciendan sin interrupción desde el despegue hasta el nivel de crucero.

3.4.1.9 La aplicación de la técnica CDO tiene como objetivo permitir que la aeronave descienda sin interrupción desde el nivel de crucero hasta el IAF a una altitud compatible, teniendo en cuenta los perfiles de las aeronaves que utilizarán estos procedimientos.

3.4.1.10 En la situación ilustrada en la Figura 3-16, se puede observar que, en el punto de intersección entre las trayectorias de llegada y salida, considerando los perfiles verticales óptimos, la aeronave al despegar habría recorrido 7 NM del DER y estaría a 3.500 pies AMSL, mientras que una aeronave que llega estaría a 30 NM del aterrizaje entre 7.500 y 10.000 pies AMSL. Es decir, la aeronave estaría, en el punto más cercano, separada por al menos 4.000 pies, asegurando la aplicación de técnicas CCO y CDO.

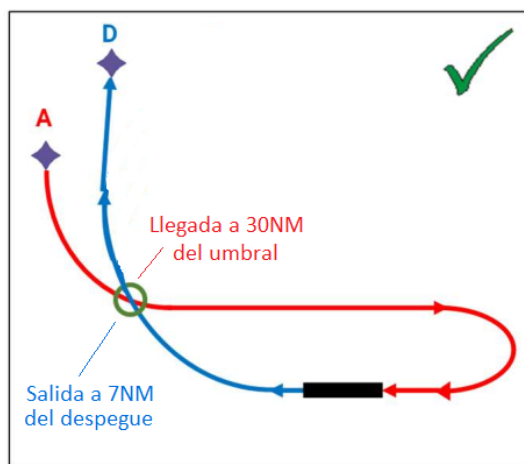


Figura 3-16 – Punto de Cruce (CP) ideal entre las trayectorias de salida y llegada.

3.4.1.11 En la situación ilustrada en la Figura 3-17, se puede observar que, en el punto de intersección entre las trayectorias de llegada y salida, considerando los perfiles verticales óptimos, la aeronave al despegar habría recorrido 22 NM del DER y estaría entre 7.600 pies y 11.000 pies AMSL, mientras que una aeronave que arriba estaría a 32 NM del aterrizaje entre 7.900 y 10.200 pies AMSL. Es decir, la aeronave podría estar, en el punto más cercano, con una separación menor a 1.000 pies, requiriendo la aplicación de restricciones por la unidad ATS y no garantizando la aplicación de las técnicas CCO y CDO.

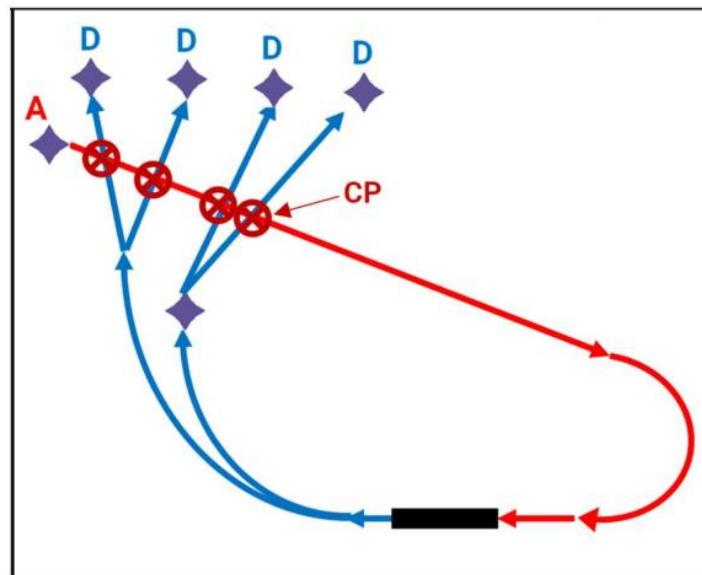


Figura 3-17 - Puntos de Cruce (CP) no deseados entre las trayectorias de salida y llegada.

3.4.2 RUTAS DE LLEGADA Y SALIDA

3.4.2.1 Para asegurar que los cruces se realicen sin posibilidad de violación simultánea de los mínimos de separación vertical y lateral, el establecimiento de restricciones verticales debe obedecer a una distancia anterior o posterior al punto de cruce nominal, calculada mediante la siguiente fórmula (referencia numeral 5.4.2.1 del Doc 4444):

$$d = \frac{(\text{Separación lateral reglamentaria})}{\sin(\alpha)}$$

- ❖ Donde “d” representa la distancia calculada, α es el ángulo de cruce y el numerador es el valor de la separación lateral reglamentaria practicada en el espacio aéreo.

Nota 1: Como se puede observar en la aplicación de la fórmula, una buena práctica sería establecer intersecciones cercanas a los 90° para evitar restricciones con distancias muy elevadas.

Nota 2: Una buena práctica para cruces SID sobre STAR sería aumentar la distancia desde el punto de cruce y establecer un gradiente de ascenso factible, dependiendo de la combinación de aeronaves, para evitar que no se cumplan las restricciones.

Nota 3: A criterio de la autoridad aeronáutica, en escenarios específicos, se pueden utilizar diferentes parámetros para establecer restricciones verticales. Ver los ejemplos en Figura 3-18 y Figura 3-19

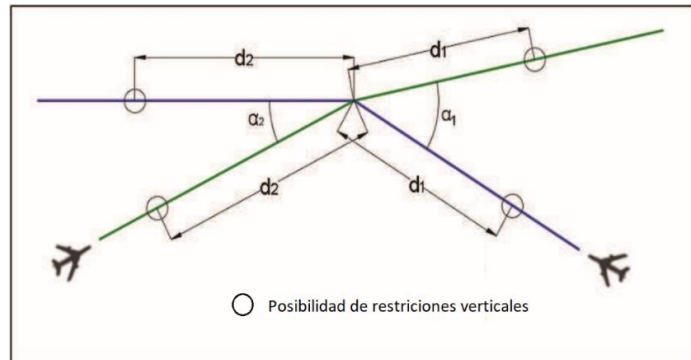


Figura 3-18 - Metodología para la asignación de restricciones verticales en intersecciones

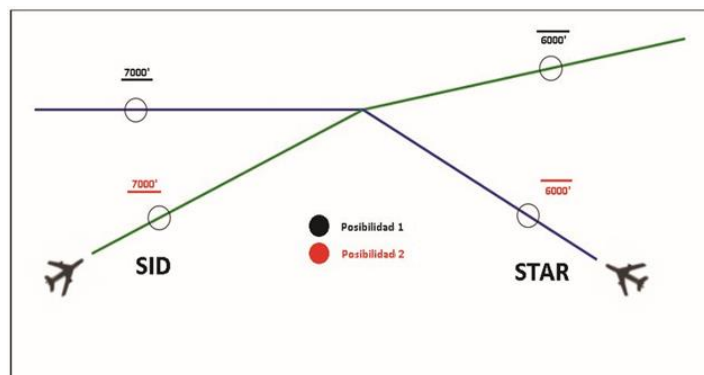


Figura 3-19 - Ejemplo de aplicación de restricciones verticales.

3.4.2.2 Cuando el ángulo de cruce sea igual a 90° , la distancia antes o después del punto de cruce nominal será igual al valor de separación lateral aplicado en el espacio aéreo. Ver Figura 3-20

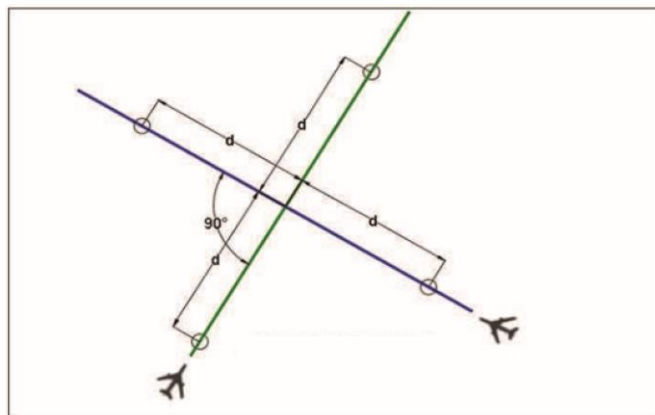


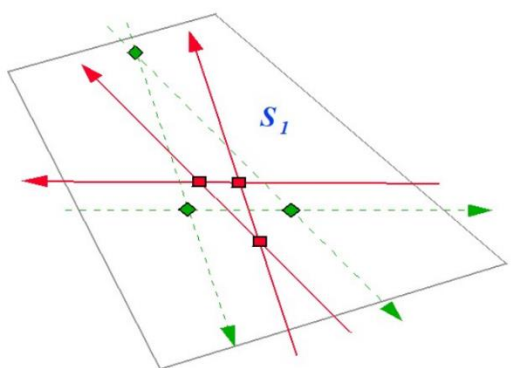
Figura 3-20 - Caso particular de un ángulo de cruce igual a 90° .

3.4.3 TRAYECTORIAS DE RUTA

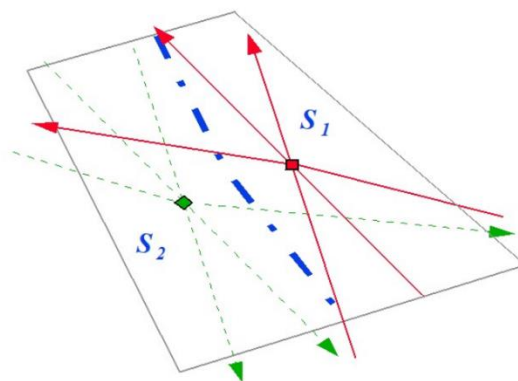
3.4.3.1 En el contexto de múltiples puntos de cruce, el concepto de *Roundabout* consiste en agrupar rutas unidireccionales de la misma serie de niveles de vuelo (pares e impares) en dos puntos diferentes, separados entre sí, a fin de permitir el establecimiento de dos sectores diferentes, la distribución de la carga de trabajo y la posibilidad de aumento de la capacidad de los sectores resultantes.

Nota 1: En algunos casos específicos, para cumplir con los sistemas ATC, puede ser necesario crear puntos límite para FIR/UIR, TMA, AWY o sectores.

Nota 2: Se debe aplicar el concepto de *Roundabout* para que las rutas se ajusten a una sectorización específica, además de permitir la división de múltiples intersecciones en diferentes sectores, como se muestra en la Figura 3-21.



Los puntos de cruce de nivel par (rombo verde) e impar (cuadrado rojo) son complejos y pueden resultar en un sector sobrecargado y que no se puede dividir (capacidad máxima limitada).



Rutas estructuradas con "Roundabout". La ubicación de los puntos de paso permite dividir el sector en dos, aumentando la capacidad máxima.

Figura 3-21 - Agrupamiento de rutas según el concepto *Roundabout*.

4 ORGANIZACIÓN DEL ESPACIO AÉREO

NOTA - En ese capítulo son presentados criterios para organizar y estructurar espacios aéreos. Sin embargo, destácase que los fundamentos de Organización de Espacio Aéreo están detallados en el Doc 9426 - *Air Traffic Services Planning Manual* de la OACI.

4.1 CRITERIOS GENERALES

4.1.1 A través de la organización del espacio aéreo se establecen estructuras adecuadas para cubrir los diferentes tipos de actividades aéreas, el volumen de tránsito existente y esperado, así como los diferentes niveles de servicios.

4.1.2 Durante el desarrollo de un Concepto de Espacio Aéreo, es deseable que el espacio aéreo esté organizado globalmente y no debe verse afectado por fronteras nacionales o por límites de FIR y/o sectores de control. Dichos límites deben ser transparentes para los usuarios del espacio aéreo (espacio aéreo continuo), sin por ello afectar la soberanía del país.

4.1.3 La organización de un determinado espacio aéreo debe realizarse de forma personalizada para el escenario operacional existente. Cualquier modificación en este escenario, por simple que sea, posiblemente implicará la necesidad de una reorganización, a fin de cumplir con los objetivos que generaron dicha modificación.

4.1.4 El contenido de este Manual servirá de base para el desarrollo de nuevos trabajos de modificación o creación de conceptos de espacio aéreo. Los conceptos de espacio aéreo ya implantados con anterioridad a la publicación de este Manual seguirán siendo válidos, aunque no hayan sido elaborados de acuerdo con todos los criterios aquí descritos.

4.1.5 En términos generales, el contenido aquí proporcionado reúne todos los conocimientos y buenas prácticas identificados en trabajos anteriores.

Nota: Los criterios para la organización de FIR se presentarán en el Capítulo 5 Sectorización.

4.2 ORGANIZACIÓN DE TMA

4.2.1 La organización de las dimensiones de una TMA debería realizarse de tal forma que la trayectoria nominal de los procedimientos y esperas de navegación aérea existentes esté contenida en el espacio aéreo controlado. Es posible considerar que parte del trayecto estará dentro del TMA y otra parte dentro del CTA, cubriendo totalmente las áreas de protección. Sus límites verticales y laterales pueden no ser uniformes, a fin de satisfacer las necesidades operacionales. Ver Figura 4-1

Nota: La organización de una TMA también debe asegurar que exista suficiente espacio para el secuenciamiento y separación del tránsito mediante guía vectorial.

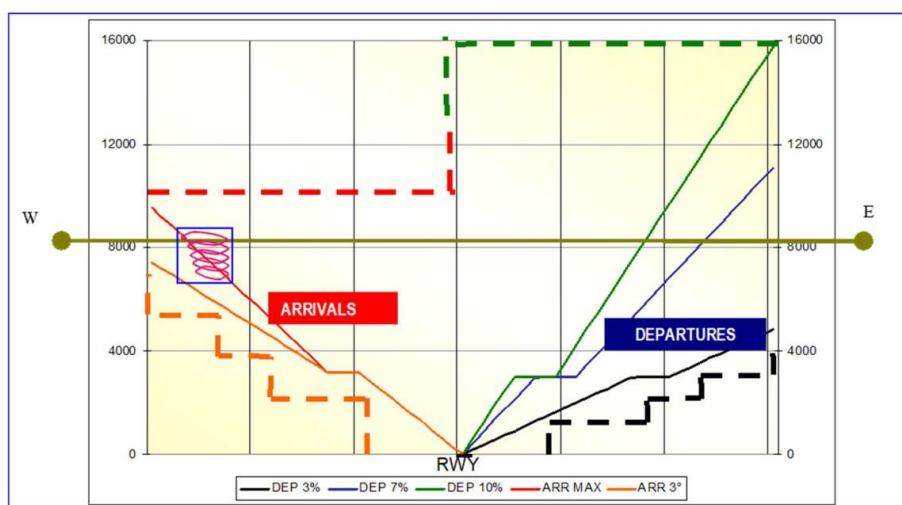


Figura 4-1 – Organización de TMA en función de las trayectorias de llegada y salida.

4.2.2 El límite superior de una TMA debe coincidir con el límite inferior del espacio aéreo controlado superpuesto para garantizar la protección continua de las trayectorias de llegada y salida IFR. En cada caso, se debe evaluar estratégicamente cuál será el mejor límite inferior que satisfaga las necesidades del TMA. Ver Figura 4-2 y Figura 4-3

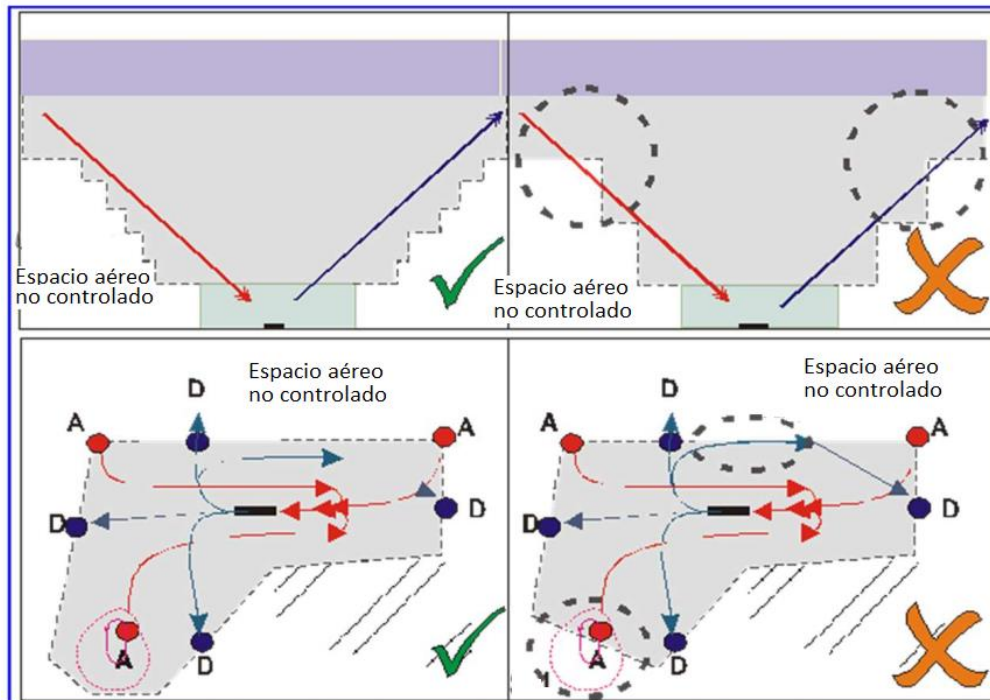


Figura 4-2 – Protección continua de las trayectorias.

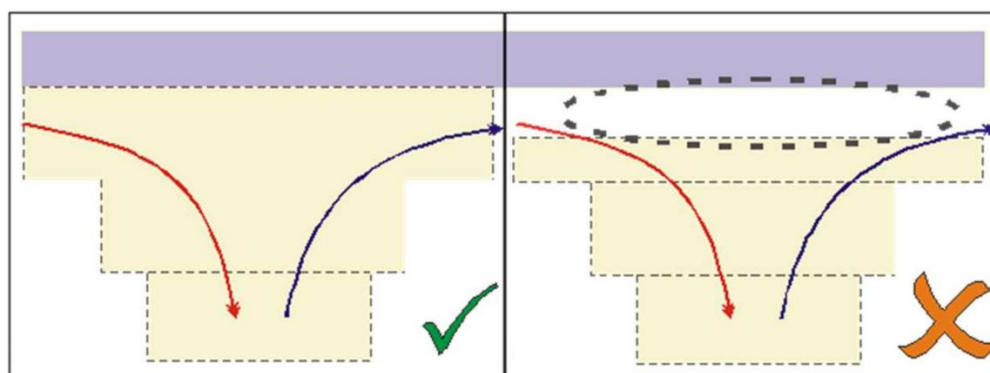


Figura 4-3 – Límites superiores de la TMA.

4.2.3 El límite inferior de una TMA debe considerar la necesidad de operar vuelos VFR en el espacio aéreo no controlado inmediatamente debajo de la TMA. Ver Figura 4-4

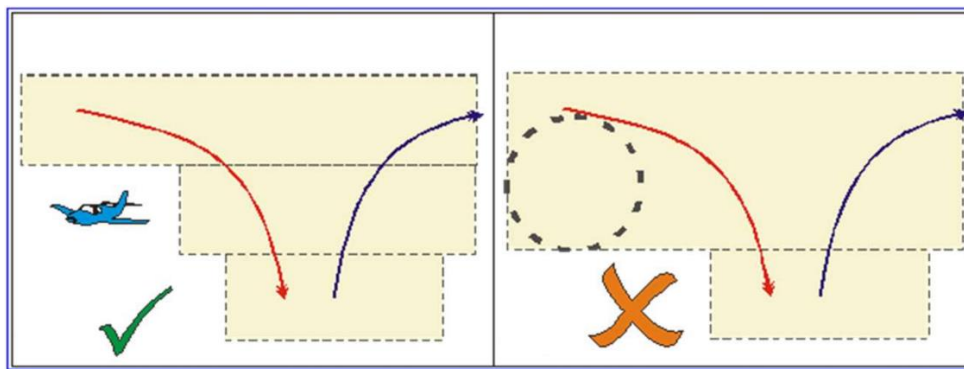


Figura 4-4 – Límites inferiores de la TMA.

4.2.4 Siempre que haya una ganancia operacional, las TMA adyacentes pueden unificarse para reducir la complejidad de las operaciones.

Nota: En los casos en que las TMA adyacentes tengan trayectorias interdependientes en la vecindad de sus límites laterales, se deben ajustar sus configuraciones para aumentar la eficiencia del espacio aéreo, como se muestra en la Figura 4-5.

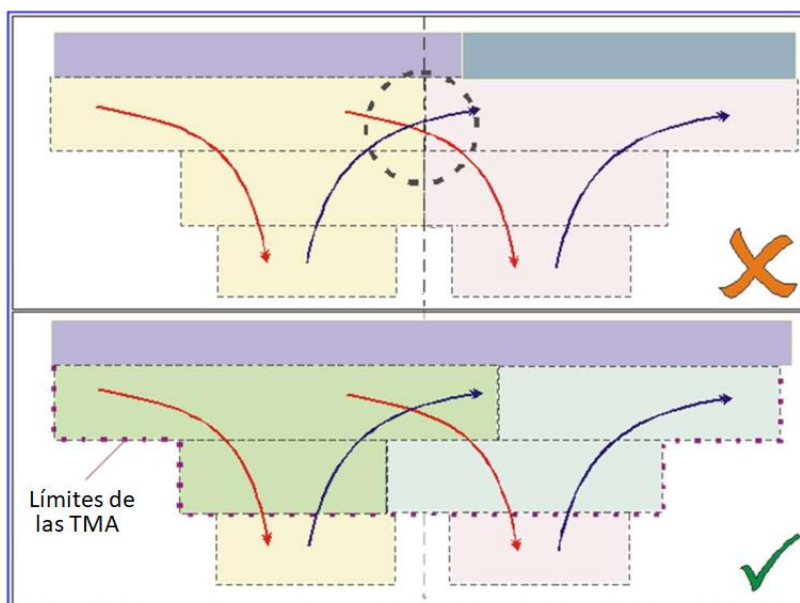


Figura 4-5 – Organización de TMA adyacentes.

4.2.5 En el diseño de la **ATCSMAC** se deberá observar los límites laterales y verticales del espacio aéreo controlado, así como, siempre que sea posible, se deberá establecer un Área de Vectorización de Aproximación Final (FAVA), a fin de permitir el establecimiento de altitudes menores en la aproximación final y, por lo tanto, una mayor flexibilidad para el secuenciamiento de llegadas.

4.3 ORGANIZACIÓN CTR

4.3.1 La organización de una CTR debe realizarse de la siguiente manera:

- longitudinalmente** - considerando la distancia desde el FAF hasta el umbral, en la aproximación, y la distancia desde el umbral hasta el primer viraje, u otra distancia en la que el tránsito aéreo tenga una altitud compatible con los demás elementos existentes en el despegue;
- lateralmente** – considerando la superficie de protección de vuelo visual, establecida según las categorías de aeronaves que operan en el aeródromo. Observe la Tabla D-5

Nota:– En ambas dimensiones también se deben considerar los flujos preexistentes como, por ejemplo, rutas especiales de aeronaves/helicópteros, entre otros, además de los espacios aéreos SUA y otras cuestiones que puedan influir en la CTR.

Tabla D-5 - Dimensiones de la Superficie de Protección de Vuelo Visual					
ÁREAS ⁽¹⁾	TODOS LOS TIPOS DE OPERACIÓN				
	Categoría de Desempeño de Aeronave ⁽²⁾				
ÁREA	HEL	A	B	C	D y E
Altura mínima en el circuito de tránsito (m)	H ⁽³⁾	H ⁽⁴⁾	H ⁽⁴⁾	H ⁽⁴⁾	457
Ancho (m)	2350	2350	2780	4170	7410
Buffer (m)	470	470	470	930	930
Longitud (m)	2350	2350	2780	4170	5560
Sección de Través					
Altura (m)	H - 76	H - 152	H - 152	H - 152	305

4.3.2 El límite superior de una CTR debería coincidir con el límite inferior del espacio aéreo controlado superpuesto para contener, cuando sea posible, las trayectorias de llegada y salida IFR.

4.3.3 La necesidad de crear una CTR debe tener en cuenta el tipo y volumen de tráfico, así como el grado de complejidad de las trayectorias.

4.4 ESPERAS

4.4.1 Se recomienda que la ubicación de las áreas de espera se defina de manera colaborativa entre los diferentes usuarios del espacio aéreo, como se muestra en la Figura 4-6, con el fin de:

- no aumentar la complejidad del espacio aéreo;
- establecer una interfaz colaborativa entre sectores adyacentes o entre el ambiente en ruta y el ambiente TMA, según sea el caso;
- permanecer igual, independientemente de la pista en uso.

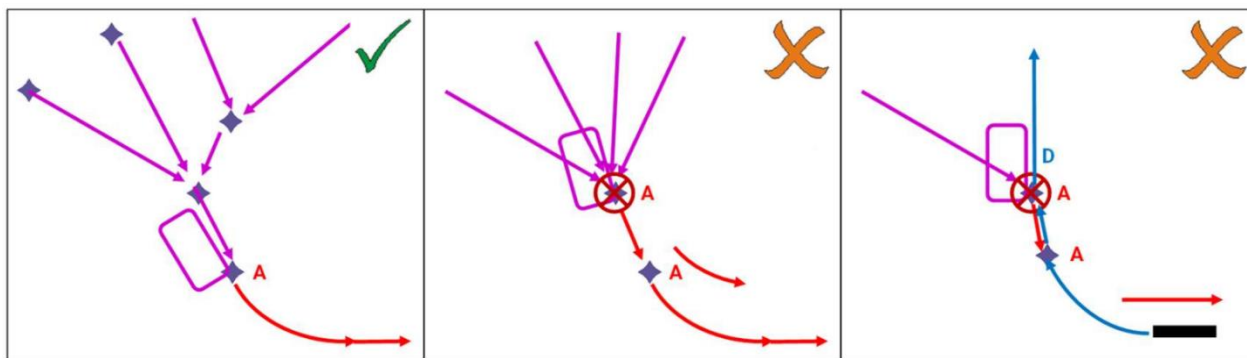


Figura 4-6 – Ubicación de las áreas de espera.

4.4.2 El establecimiento de áreas de espera en puntos estratégicos antes de ingresar al TMA tiene como objetivo mantener constante la carga de trabajo del ATCO, optimizando el uso del espacio aéreo ajustando el tránsito aéreo cercano al aterrizaje.

Nota: Las esperas deben diseñarse como una alternativa a la resolución de conflictos a nivel táctico, permitiendo los ajustes y secuenciamiento que requiere la situación del tránsito aéreo de momento.

4.4.3 En los espacios aéreos donde operan aeronaves de diferentes performances, las áreas de espera deben estar separadas para acomodar diferentes performances y simplificar el secuenciamiento de aeronaves.

4.4.4 El tramo de aproximación de las esperas debería, siempre que sea posible, estar alineado o desfasado en un ángulo máximo de 30° con respecto al eje de la trayectoria siguiente, a fin de evitar que la aeronave realice demasiados virajes al salir de la espera y correr el riesgo de *overshooting*. Figura 4-7.

Nota: Cuando sea inevitable un número excesivo de virajes, se puede incluir una restricción de velocidad para reducir el riesgo de *overshooting*.

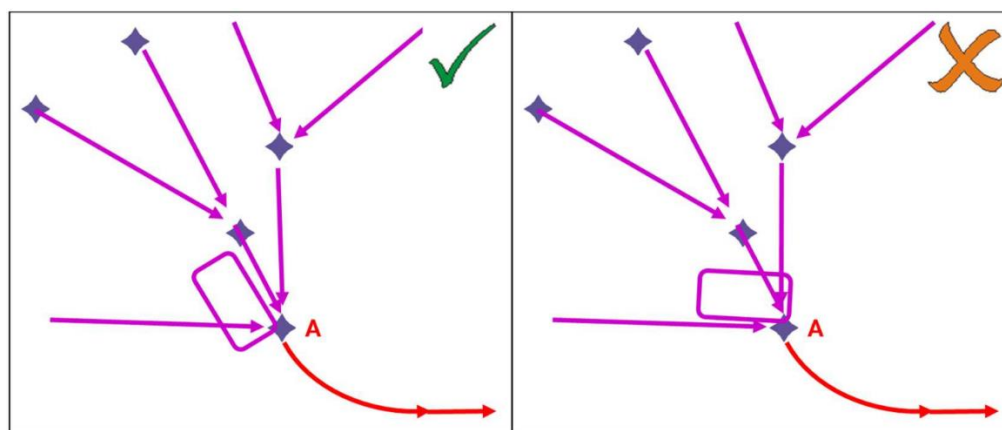


Figura 4-7 – Alineación de trayectoria de las esperas.

4.4.5 Las áreas de espera VFR generalmente requieren menos espacio aéreo que el requerido para las áreas de espera IFR y se establecen preferiblemente sobre referencias visuales en tierra y cerca de los aeródromos para facilitar el secuenciamiento entre aeronaves VFR e IFR.

Nota: La creación de dichas áreas de espera debe tener en cuenta la proximidad a trayectorias IFR, la proximidad a SUA, el uso de referencias visuales bien establecidas y fácilmente identificables y lugares menos propensos a reducciones significativas de visibilidad y efectos orográficos, entre otros aspectos.

4.5 ESPACIOS AÉREOS PARA USO ESPECIAL (SUA)

4.5.1 GENERALIDADES

4.5.1.1 El establecimiento de un SUA debe observar criterios de separación vertical y horizontal, los cuales deben considerar la búsqueda de eficiencia en el diseño y garantizar el establecimiento de operaciones que optimicen el uso del espacio aéreo.

4.5.1.2 Los criterios de separación deben observar:

- a) definición, si es necesario, de mínimas de separación específicas, dependiendo de las actividades realizadas en el espacio aéreo reservado, con la adición de un volumen de separación adecuado;
- b) establecimiento de LoA, si es necesario;
- c) inclusión en las rutas ATS de niveles IFR mínimos y máximos utilizables, respectivamente, por encima y por debajo de un determinado SUA.

4.5.1.3 Para brindar a los operadores la oportunidad de presentar planes de vuelo que no infrinjan el volumen de espacio aéreo asociado con un SUA activo, se deben publicar los volúmenes de dicho espacio aéreo, incluida la totalidad del espacio que deben evitar las aeronaves, a menos que esté autorizado por la unidad ATS apropiada.

4.5.1.4 El término “mínimas de separación” representa las distancias reglamentarias mínimas que deben observarse entre una aeronave y un peligro (generalmente otra aeronave) para mantener el riesgo de colisión asociado dentro de un nivel deseado de seguridad operacional.

4.5.1.5 El término “separación” se refiere a cualquier aplicación de distancia o tiempo entre una aeronave y un peligro (típicamente en el contexto de establecer la distancia necesaria entre rutas u otras estructuras del espacio aéreo), de valor igual o superior las mínimas de separación establecidas para mantener la seguridad operacional y el flujo de tránsito aéreo.

4.5.2 SEPARACIÓN DE SUA

4.5.2.1 La separación necesaria entre las aeronaves participantes dentro de un SUA deberá estar contenida en la definición general de la reserva o restricción del espacio aéreo, bajo la responsabilidad del concesionario. Observe un ejemplo en la Figura 4-8

4.5.2.2 La extensión de esta separación (y su *buffer*, si es necesario) se determinará de acuerdo con la naturaleza de la actividad que tendrá lugar en dichas partes del espacio aéreo. También influirá si la reserva o restricción es aplicable o no a la circulación de aeronaves, requiriendo, por ejemplo, la necesidad de coordinación de cruces en nivel táctico.

4.5.2.3 Se deben observar los siguientes criterios para determinar un SUA:

- a) La actividad que se desarrollará en el espacio aéreo;
- b) El volumen operacional, incluido el volumen de seguridad operacional necesario;
- c) Seleccionar la denominación adecuada, en función del grado de segregación (TRA, TSA, zonas D, R o P);

- d) Definir la descripción reglamentaria a través de la base normativa necesaria para el establecimiento del espacio aéreo considerado;
- e) Agregar volúmenes de separación (lateral, vertical, temporal), cuando se considere operacionalmente necesario;
- f) Si el espacio aéreo es demasiado limitado para soportar el volumen de un SUA proyectado en el escenario existente, definir un procedimiento de mitigación.

Nota 1:– Se entiende por volumen operacional la porción de espacio aéreo, en sus dimensiones vertical y horizontal, efectivamente necesaria para llevar a cabo la actividad que se pretenda realizar en un área determinada, incluyendo las adiciones necesarias para mantener la seguridad entre las aeronaves involucradas en la actividad (volumen de seguridad).

Nota 2:– También se considerarán volúmenes operacionales las porciones de espacio aéreo, en sus dimensiones vertical y horizontal, establecidas con el objetivo de: resaltar los obstáculos naturales y/o artificiales cuya delimitación se haya considerado operacionalmente necesaria; delimitar la región en la que se realizarán actividades que no impliquen el uso de aeronaves; y hacer cumplir la protección de las instalaciones sensibles o el medio ambiente.

Nota 3:– Por volumen de separación se entiende la porción de espacio aéreo, en sus dimensiones vertical y horizontal, que se suma al volumen operacional para proporcionar la separación necesaria entre las aeronaves participantes dentro de un SUA y las aeronaves no participantes que evolucionan cerca de sus límites.

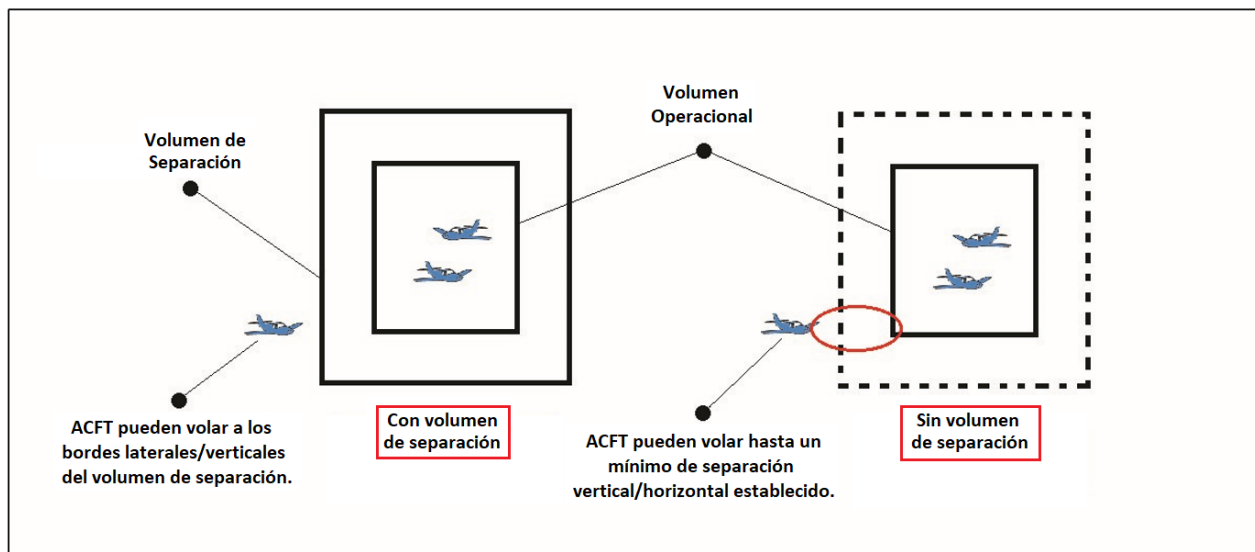


Figura 4-8 – Volumen de separación x volumen operacional.

4.5.2.4 Las separaciones entre los SUA con actividad aérea y las trayectorias PBN no deben ser menores a:

- a) Vertical: 1000 pies; o
- b) Longitudinal:
 - ✓ 3 NM, entre SUA y trayectoria RNP 1;
 - ✓ 6 NM, entre SUA y trayectoria RNP 2;

- ✓ 12 NM, entre SUA y trayectoria RNP 4;
- ✓ 3 NM o 5.5 NM, entre SUA y trayectoria RNAV 1, cuando la distancia desde el ARP sea, respectivamente, menor o mayor a 30 NM;
- ✓ 3.5 NM o 6 NM, entre SUA y trayectoria RNAV 2, cuando la distancia desde el ARP sea, respectivamente, menor o mayor a 30 NM;
- ✓ 8.5 NM, entre SUA y trayectoria RNAV 5;
- ✓ 25 NM, entre SUA y trayectoria RNAV 10.

Nota 1: A criterio de la autoridad aeronáutica, se podrán utilizar valores inferiores a la separación mínima reglamentaria entre SUA específicos con actividad aérea y trayectorias PBN.

Nota 2: Las condiciones especiales de operación en caso de degradación, como, por ejemplo, indisponibilidad del servicio de vigilancia ATS, deben estar definidas en el Plan de Degradación de la unidad ATC (Plan de Contingencia).

4.5.2.5 Las áreas destinadas a actividades sin utilización de aeronaves, la delimitación de grupos de obstáculos naturales o artificiales, y las destinadas a la protección del medio ambiente o instalaciones sensibles, no tendrán volúmenes de separación.

Nota: En tales casos, la aeronave podrá traspasar los límites establecidos por los respectivos volúmenes operacionales.

4.5.2.6 El impacto que genera el posicionamiento de un SUA en relación con las trayectorias de los procedimientos de navegación aérea (llegadas, aproximaciones y salidas por instrumentos) debe ser evaluado, con base en los criterios de diseño de procedimientos, observando los siguientes parámetros:

- a) Área destinada a actividad aérea, sin volumen de separación proporcionado: su volumen operacional, más las mínimas de separación aplicadas en el espacio aéreo de que se trate, debe tener el impacto de su posicionamiento verificado (no es necesario aplicar el MOC);
- b) Área destinada a la actividad aérea, con volumen de separación proporcionado: este volumen debe ser considerado como un obstáculo artificial y verificar el impacto de su posicionamiento (no es necesario aplicar el MOC);
- c) Área destinada a actividades sin uso de aeronaves, protección ambiental o instalaciones sensibles: su volumen operacional debe ser considerado como un obstáculo artificial y debe verificarse el impacto de su posicionamiento (aplicando el MOC correspondiente).

Nota 1: Solo se establecerá un SUA (o procedimiento de navegación aérea, si es posterior al espacio aéreo ya establecido), sin cumplir con los parámetros enumerados en este punto, cuando se considere operacionalmente aceptable que el procedimiento de navegación aérea no está disponible debido a la activación del SUA. En este caso, las acciones mitigadoras serán descritas en una publicación específica por parte de la unidad ATS.

Nota 2: En el análisis de impacto entre los SUA y los procedimientos de navegación aérea, también se debe verificar la posibilidad de alterar los SUA existentes y planificados, a fin de viabilizar el diseño de nuevos procedimientos de llegada, aproximación y salida por instrumentos.

4.5.2.7 Debe existir un estrecho intercambio de información entre los planificadores del espacio aéreo, los diseñadores de procedimientos de navegación aérea y los controladores de la unidad ATS involucrada, a fin de permitir la adecuada evaluación de los posibles impactos derivados de la presencia de un SUA en relación con los procedimientos de navegación aérea.

4.5.2.8 La delimitación de reservas o restricciones en el espacio aéreo superior debe armonizarse con los requisitos de tolerancia de navegación, de manera similar a lo que debe hacerse en el espacio aéreo inferior.

Sin embargo, puede haber diferencias entre los requisitos de tolerancia para la navegación en el espacio aéreo superior e inferior, así como en términos de regulación y diseño (por ejemplo, diferencias en la realización de vuelos en el espacio aéreo de clase C y clase G).

5 SECTORIZACIÓN

5.1 CRITERIOS GENERALES

5.1.1 La prestación del servicio de control de tránsito aéreo se basa en una subdivisión del espacio aéreo en sectores, con el objetivo principal de:

- a) cuantificar la tasa de transferencia de tránsito;
- b) racionalizar el número de rutas, intersecciones, puntos de conflicto y aeronaves en la misma frecuencia;
- c) equilibrar la carga de trabajo del ATCO;
- d) dedicación de flujos de salida y de llegada;
- e) aumentar la capacidad del espacio aéreo.

Nota: En determinadas circunstancias, para atender demandas específicas, tales como, por ejemplo, misiones militares, ejercicios, eventos y exhibiciones aéreas, entre otras, podrá establecerse la sectorización temporal en un determinado espacio aéreo, de conformidad con lo dispuesto en este Capítulo.

5.1.2 La sectorización es un recurso finito y podemos considerar que se llega a su límite cuando el beneficio de crear un nuevo sector se ve superado por otros factores, en particular el aumento de las tareas de coordinación.

Nota 1: La creación de una sectorización inadecuada puede generar problemas de capacidad, limitaciones del espacio aéreo y, en consecuencia, demoras y aumento de la carga de trabajo de los ATCO.

Nota 2: El aumento de la capacidad del espacio aéreo no es proporcional al aumento del número de sectores disponibles, lo que tiene un alto costo financiero en términos del número de ATCO necesarios y de infraestructura CNS.

Nota 3: Como solución menos costosa y alternativa a la creación de sectores adicionales, se debe evaluar la factibilidad de aumentar la capacidad de los sectores existentes.

5.1.3 La sectorización del espacio aéreo debe considerar:

- a) el tipo de servicio de tránsito aéreo que se va a proporcionar;
- b) medios CNS disponibles y necesarios, tales como frecuencias VHF, vigilancia ATS y ayudas a la navegación aérea, entre otros;
- c) priorización de la eficiencia y capacidad ATM en línea con aspectos de seguridad operacional, economía y medio ambiente;
- d) los objetivos estratégicos, que facilitan la adaptación a escenarios futuros.

5.1.4 Una vez identificada la necesidad de sectorización, el siguiente tema a analizar es su factibilidad, la cual está determinada por la disponibilidad de ATCO, la disponibilidad de puestos de trabajo y las capacidades de los sistemas ATM:

- a) determinar el número máximo de sectores ATC, teniendo en cuenta el número de personal, la disponibilidad de recursos CNS y la capacidad del sistema;
- b) definir la configuración óptima de los sectores para variaciones conocidas en los flujos de tránsito aéreo, tales como mañana versus noche y semana versus fin de semana, entre otros;
- c) definir los límites individuales de los sectores ATC;
- d) definir los bloques esenciales de espacio aéreo para permitir la sectorización modular y las configuraciones sectoriales requeridas;
- e) de ser necesario, en un ACC multisectorial, por ejemplo, definir una serie de grupos sectoriales, considerando habilitación ATCO versus escala, capacitación, operación de sectores saturados en periodos pico y gestión de frecuencias, entre otros.

5.1.5 El proceso de creación, modificación y validación de sectores debe considerar la protección de trayectorias y esperas, y la evaluación cualitativa de la factibilidad, a través de un software de modelado del espacio aéreo, de dichas trayectorias y esperas con la nueva sectorización, además de cumplir con los siguientes principios:

- a) necesidades operacionales;
- b) coordinación con APPs y ACCs adyacentes;
- c) nivel de la red de rutas ATS;
- d) eficiencia operacional, por ejemplo, maximizando la capacidad para acomodar la demanda;
- e) coherencia con la evolución de la red de rutas;
- f) coherencia con el uso del espacio aéreo (disponibilidad de Rutas DCT, FRA, FUA, Plan de Contingencia, etc.).

5.1.6 Hay dos tipos de sectorización:

- a) **sectorización geográfica** – el espacio aéreo se divide en sectores y un único ATCO es responsable del tráfico en cada uno de estos sectores;
- b) **sectorización funcional** – el espacio aéreo se divide en sectores según la fase de vuelo o destino, entre otros. El tipo más común de sectorización funcional ocurre cuando un ATCO es responsable de los vuelos de llegada, mientras que otro es responsable de los vuelos de salida. Otro ejemplo sería la llegada de aeronaves a diferentes aeródromos dentro de un mismo volumen de espacio aéreo, estando bajo la responsabilidad de diferentes ATCO, según el destino. Observe el ejemplo dado en la Figura 5-1

Nota 1: Normalmente, el término “sectorización” se asocia con la sectorización geográfica, siendo la sectorización funcional una especie de “sub-sectorización” de la sectorización geográfica.

Nota 2: La sectorización está directamente relacionada con el sistema ATC, el cual debe ser capaz de soportar el tipo de sectorización seleccionado, como por ejemplo tener condiciones de filtrado de tránsito que no están bajo el control del ATCO responsable del sector.

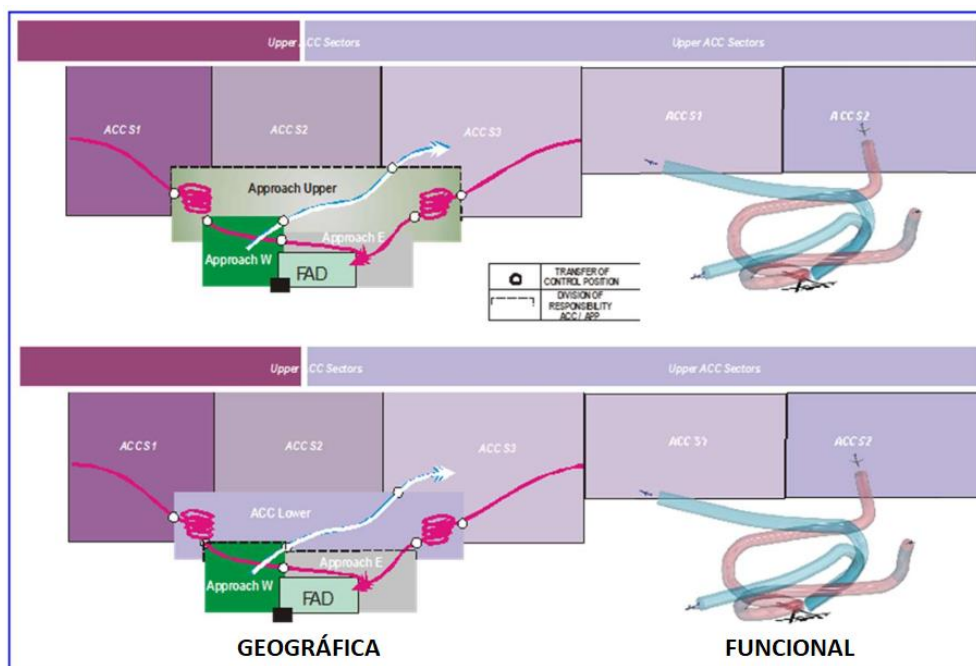


Figura 5-1 - Tipos de sectorización.

5.1.7 Las ventajas y desventajas de cada uno de los tipos de sectorización se resumen en la Tabla 5-1.

Tabla 5-1 - Ventajas y desventajas de los tipos de sectorización.

Sectorización	Ventaja	Desventaja
Geográfica	a. ATCO puede aprovechar al máximo el espacio disponible en el sector para definir los mejores niveles de vuelo para el tránsito y agilizar los ascensos y descensos sin necesidad de coordinación; b. La carga de trabajo se equilibra fácilmente entre sectores; c. Puede ser menos exigente en términos de visualización radar y sistemas ATC; d. Se pueden describir fácilmente las instrucciones operacionales para las áreas de responsabilidad del ATC.	a. ATCO tiene que lidiar con el tránsito que llega, sale y en tránsito; b. En los casos en que se produce una división de sector a lo largo de la proyección del eje de la pista, las aeronaves que parten en diferentes direcciones pueden ser controladas por diferentes ATCO después de sus despegues; c. Si una aeronave tiene que transitar por más de un sector de la TMA, la complejidad puede incrementarse debido a la coordinación adicional requerida.

Sectorización	Ventaja	Desventaja
Funcional	a. Los ATCO controlan solo un tipo de tránsito (llegadas o salidas), ya que el sector se define según la tarea; b. Generalmente, todos los aviones permanecen en la misma frecuencia después del despegue. En algunas configuraciones, existe una mayor flexibilidad de operaciones.	a. Los límites verticales y laterales pueden ser demasiado restrictivos. La sectorización vertical puede no ser suficiente para satisfacer todos los tipos de performance de las aeronaves; b. Dificultad para equilibrar la carga de trabajo entre sectores, especialmente cuando los picos de llegada y salida no coinciden; c. Puede exigir mucho del sistema de visualización radar y sistemas ATC; d. La descripción de la operación en áreas de responsabilidad puede ser difícil de formular.

5.1.8 La sectorización también debe ser flexible y dinámica, a fin de permitir la optimización del uso del espacio aéreo:

- a) **sectorización dinámica** - es una técnica para modificar los límites geográficos entre sectores, a fin de permitir la transferencia del flujo de un sector congestionado a otro sector adyacente que tiene capacidad disponible. Depende de una estructura física de un conjunto de sectores que permite un máximo de combinaciones posibles de agrupamiento y desagrupamiento, tanto horizontal como vertical, de porciones de estos sectores, lo que posibilita una operación que atiende a las diversas variaciones de los flujos de tránsito, reduciendo la complejidad y balanceando la carga de trabajo ATCO en todos los sectores;
- b) **sectorización flexible** - es una técnica considerada como etapa avanzada de sectorización dinámica, que permite:
 - i. tal variación de combinaciones entre sectores que satisface la gran mayoría o la totalidad de las necesidades operacionales del espacio aéreo en cuestión, permitiendo, por ejemplo, separación del tránsito según variaciones de flujos, verticales y horizontales, IFR y VFR, circulación aérea civil y militar, flujos entrantes y salientes, entre otros; y
 - ii. un cambio en la configuración de sectores que responda a las incertidumbres de la circulación aérea, tales como esperas, meteorología, impracticabilidad de la pista, degradaciones, entre otras.

5.1.9 La sectorización debe ser flexible, a fin de satisfacer las variaciones de la demanda y los cambios temporales en el flujo de tránsito aéreo (matutino, vespertino, semanal, de fin de semana), por ejemplo:

- a) diferentes agrupamientos de sectores o diferentes sectores para equilibrar las demandas variables, como se muestra en la Figura 5-2;

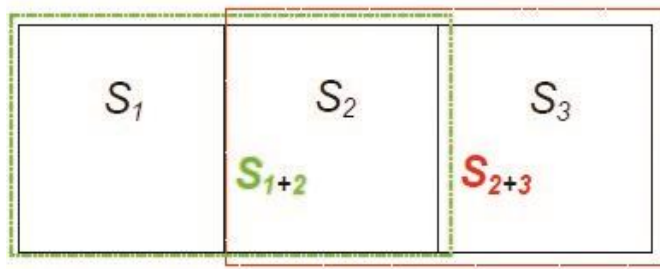


Figura 5-2 - Agrupamiento de sectores

- b) reconfiguración de los límites de los sectores mediante el uso de sectores dinámicos para atender adecuadamente los flujos de tránsito prevalecientes, como se muestra en la Figura 5-3.

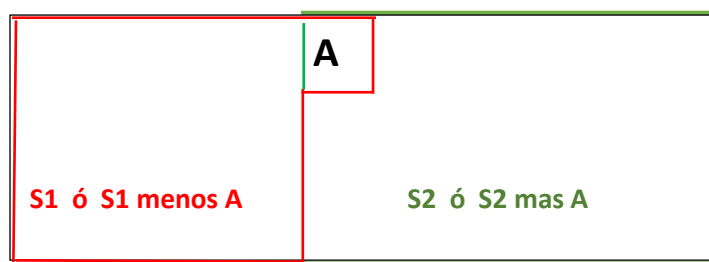


Figura 5-3 - Sectores 1 y 2 y Sector Dinámico “A”.

- c) construido para asegurar la continuidad operacional y procesal a través de las fronteras nacionales;
- d) diseñado, considerando los requisitos militares y los de otros usuarios del espacio aéreo;
- e) configurado para asegurar la utilización óptima de la red de rutas ATS (equilibrio sectorial);
- f) configurado para disminuir la carga de trabajo de coordinación;
- g) diseñados, en su caso, en función de la especialización de los servicios según la naturaleza del tránsito;
- h) diseñado, en general, para ser lateralmente más grande para los sectores del espacio aéreo superior, ya que los sectores del espacio aéreo inferior son normalmente más complejos y con un tránsito más cambiante;
- i) preparado de acuerdo con los siguientes factores:
 - ✓ volumen y densidad del tránsito, incluidos el historial de datos y la proyección para los próximos años;
 - ✓ complejidad del tránsito;
 - ✓ naturaleza del tránsito (ruta, ascenso o descenso);
 - ✓ capacidad de los sistemas ATC;
 - ✓ interfaz con el espacio aéreo adyacente.

5.2 SECTORIZACIÓN DE TMA

5.2.1 Las dimensiones laterales y verticales de los sectores deben diseñarse de manera que se eviten restricciones de nivel, especialmente en distancias cortas.

5.2.2 No es necesario que los límites verticales de los sectores sean uniformes, por ejemplo, fijos en un nivel superior y en un nivel inferior. Tampoco es necesario que los límites verticales de un sector coincidan con los límites verticales de sectores adyacentes.

5.2.3 Cuando se prevé la necesidad de guía vectorial en un sector, es recomendable que se dimensione de forma que minimice la necesidad de coordinación.

5.2.4 El concepto de espacio aéreo debería, en la medida de lo posible, prever la mayoría de los guías vectoriales fuera del sector final, utilizando, en condiciones normales de operación, el uso de esta técnica en los demás sectores de control. El objetivo es promover la reducción de la carga de trabajo, el tiempo de comunicación y, en consecuencia, aumentar la capacidad y fluidez en el sector final.

5.2.5 Las áreas de protección de esperas y trayectorias de TMA deben estar contenidas en un solo sector geográfico.

5.2.6 Para asegurar la menor complejidad operacional posible, un sector no debe prepararse aislado de los demás. Los puntos de cruce de las trayectorias no deben colocarse demasiado cerca de los límites del sector, lo que permite suficiente tiempo para la resolución del conflicto.

5.2.7 Se debe definir la configuración de sectores dentro de la TMA para responder de manera más realista a los cambios en la demanda de tránsito. Cualquier combinación de sectores debe garantizar que la complejidad operacional se mantenga al mínimo.

5.2.8 Los sectores entrantes deben estar diseñados para abarcar los principales flujos entrantes y hacer que estos flujos converjan y se secuencien hasta los sectores finales. A excepción de la aplicación de la técnica *Point Merge*, es deseable que el sector alimentador (*feeder*) se diseñe con espacio suficiente para realizar guía vectorial y ordenar el tránsito facilitando el trabajo del sector final.

5.2.9 En la medida de lo posible, la configuración de los sectores definidos geográficamente debe permanecer igual, independientemente de la pista en uso. Naturalmente, si hay un sector de aproximación final, debe modificarse al cambiar la pista en uso.

5.3 SECTORIZACIÓN DE RUTAS

5.3.1 RED DE RUTAS ATS

5.3.1.1 Los requisitos locales determinarán la pertinencia de aplicar criterios de sectorización en el espacio aéreo que contenga una red de rutas ATS. La aplicación de tales criterios o la solución de un problema local no debe afectar adversamente el espacio aéreo adyacente o la capacidad total de la red de rutas.

5.3.1.2 Un grupo de sector es un conjunto de sectores operacionales que interactúan fuertemente entre sí a través de una coordinación estrecha y compleja que se puede combinar en diferentes configuraciones.

Nota 1: La definición de grupos de sectores debe basarse en una red de rutas optimizada que soporte la sectorización, integrando rutas directas, opciones de rutas múltiples y alternativas asociadas. También debe considerar los requisitos operacionales militares. Se debe poner énfasis en la conectividad eficiente al espacio aéreo en TMA. “Grupos de sectores” deben contener sectores elementales con una interacción fuerte y compleja que requiere una estrecha coordinación entre los ATCO.

Nota 2: Los criterios para definir grupos de sectores son una combinación de densidad de tránsito, naturaleza del tránsito (ascendente/descendente) y topología de ruta (flujos de cruce, puntos de cruce cercanos). Dentro de un grupo de sector, son posibles varias combinaciones de sectores (configuraciones de sector) dependiendo de los flujos de tránsito.

5.3.1.3 El concepto de áreas fuertes y débiles de interacción puede ayudar a definir los límites de los sectores:

- a) Es más probable que se produzcan áreas de fuerte interacción en espacios aéreos donde la tarea del ATCO es más compleja debido a uno o más factores influyentes, incluida la alta densidad de tránsito, la naturaleza del tránsito, un número considerable de puntos de conflicto o puntos de cruce y restricciones del espacio aéreo, entre otros;
- b) Es más probable que ocurran áreas de interacción débil en espacios aéreos donde la tarea del ATCO es menos compleja debido a uno o más factores influyentes, que incluyen baja densidad de tránsito, pocos conflictos y vuelo nivelado, entre otros.

Nota: La interacción débil entre grupos de sectores identificará zonas de complejidad reducida, donde hay menos flujos en conflicto y menos tránsito en evolución. En áreas con alta densidad de tránsito y alta complejidad, donde no hay áreas obvias de interacción débil, puede ser necesario crear artificialmente estas zonas para permitir la definición de un grupo de sector donde corresponda, como se muestra en la Figura 5-4, como generalmente se realiza en los límites de las FIR para facilitar la coordinación entre los ACC.

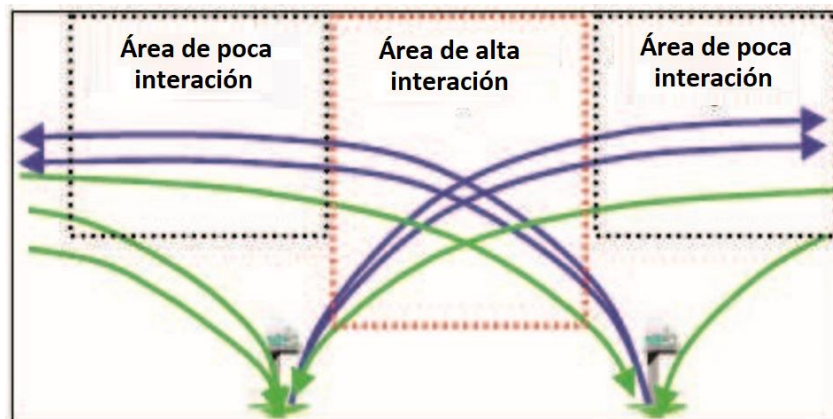


Figura 5-4 - Interacción entre sectores.

5.3.1.4 En cuanto al establecimiento de grupos de sectores, se deben considerar los siguientes criterios:

- a) Los límites deben basarse en los requisitos operacionales y no es necesario que coincidan verticalmente;
- b) Los límites verticales deben variar según su ubicación y el tipo de tránsito contenido en ellos;
- c) Las dimensiones deben definirse para permitir suficiente distancia para la resolución de conflictos en todas las opciones de ruta;
- d) La configuración debe establecerse para contener el tránsito por un tiempo que sea operacionalmente viable y permita una configuración flexible;
- e) La realización de los tránsitos deberá ser, en lo posible, de naturaleza análoga;

- f) Las rutas primarias y alternativas deberían, en general, estar contenidas dentro del mismo grupo de sector para aprovechar el potencial de una mayor flexibilidad de cambio de ruta. Sin embargo, no es un requisito esencial involucrar espacio aéreo segregado dentro de un grupo de sectores;
- g) Los puntos de conflicto situados muy cercanos deben estar contenidos en el mismo grupo de sector, pero idealmente no en el mismo sector;
- h) El número de sectores operacionalmente manejables debe ser de alrededor de 4 a 6 sectores en áreas congestionadas y alrededor de 6 a 8 sectores en otras áreas; y
- i) Los tiempos promedio de vuelo deben ser pequeños, para cumplir con lo establecido en los numerales anteriores.

5.3.1.5 La sectorización del espacio aéreo que contenga una red de rutas ATS deberá considerar los siguientes criterios:

- a) Mantenimiento del menor número posible de rutas ATS controladas en un mismo sector;
- b) Especialización de trayectorias, como, por ejemplo, el uso de trayectorias duales y la separación estratégica de trayectorias de llegada y salida, como se muestra en la Figura 5-5;

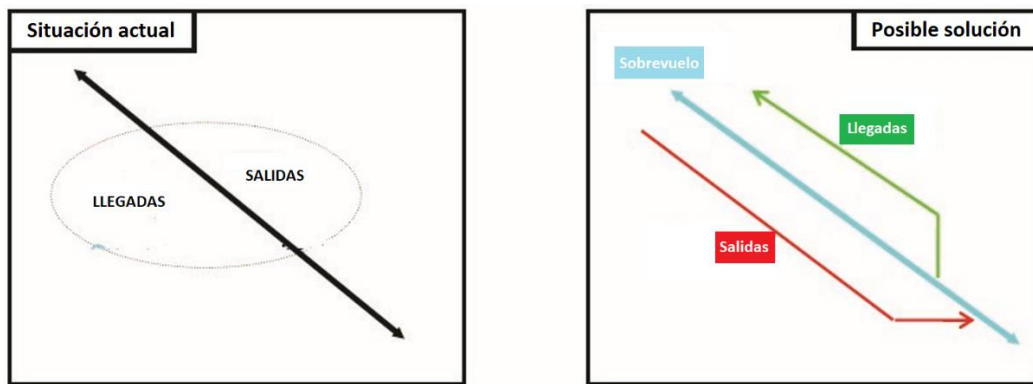


Figura 5-5 - Especialización de trayectorias.

- c) Eliminación de intersecciones y conflictos innecesarios, como se muestra en la Figura 5-6;

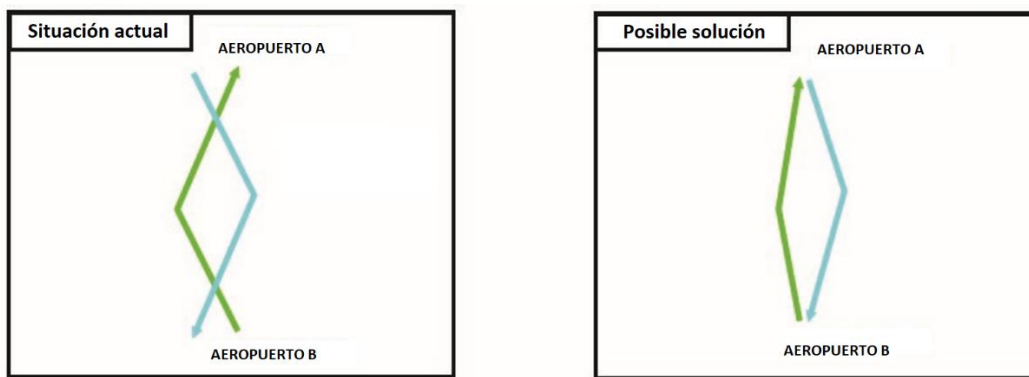


Figura 5-6 – Eliminación de cruces innecesarios.

- d) Organización de los principales flujos de tránsito aéreo, como, por ejemplo, segregación de dichos flujos, como se muestra en la Figura 5-7;

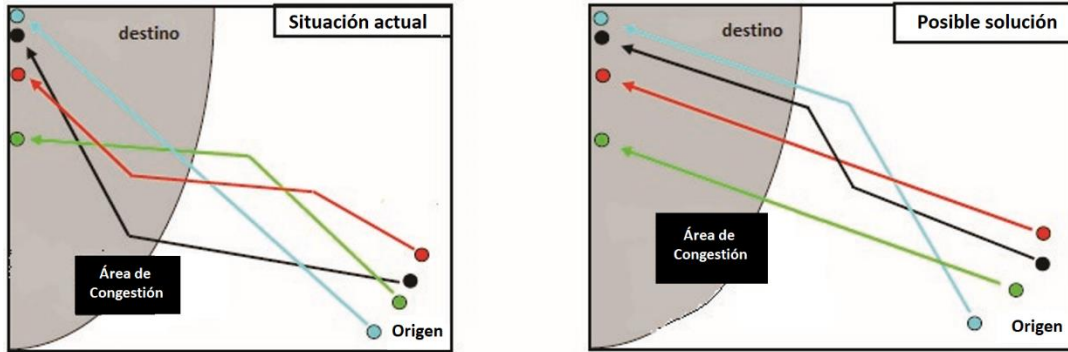


Figura 5-7 – Organización de los flujos de tránsito aéreo.

- e) Reasignación apropiada de puntos, como se muestra en la Figura 5-8;

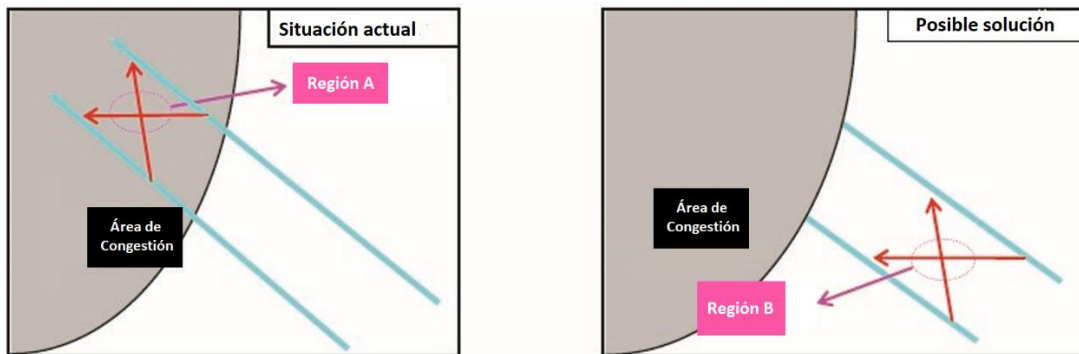


Figura 5-8 – Reasignación de puntos.

- f) Desalineación de los límites laterales entre sectores del espacio aéreo superior e inferior, a fin de permitir una reducción del número de sectores sobrevolados por tránsito descendente o ascendente y, en consecuencia, una reducción del número de coordinaciones, como se muestra en la Figura 5-9.

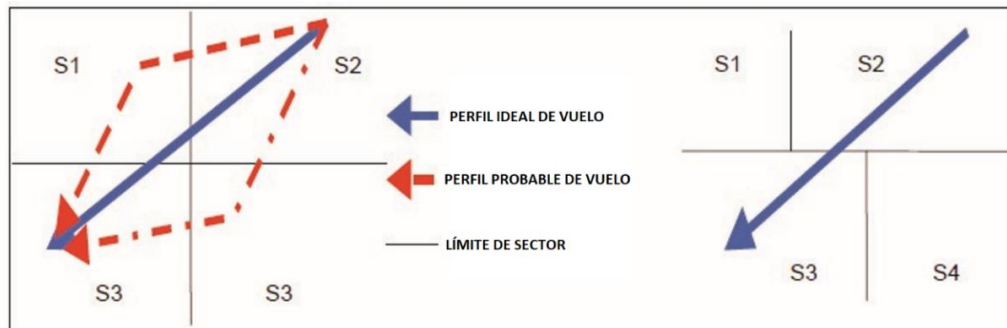


Figura 5-9 – Desalineación de los límites laterales.

5.3.1.6 En cuanto a los puntos de conflicto, se deben considerar los siguientes criterios:

- Limitar el número de puntos de conflicto en un mismo sector que involucren los principales flujos de tránsito aéreo, como se muestra en la Figura 5-10.

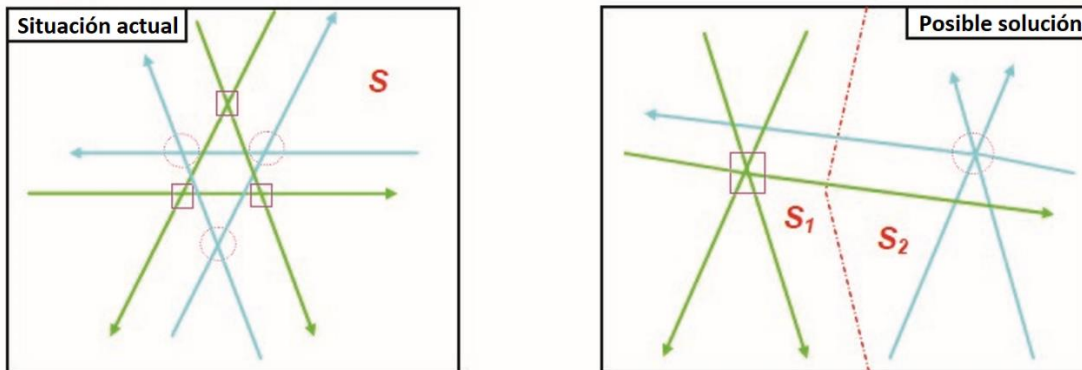


Figura 5-10 – Limitación del número de puntos de conflicto.

- La racionalización de los puntos de cruce, cuando sea posible;
- Evitar que diferentes sectores alimenten un mismo sector con tránsito convergente, lo que requiere separación, como se muestra en la Figura 5-11;

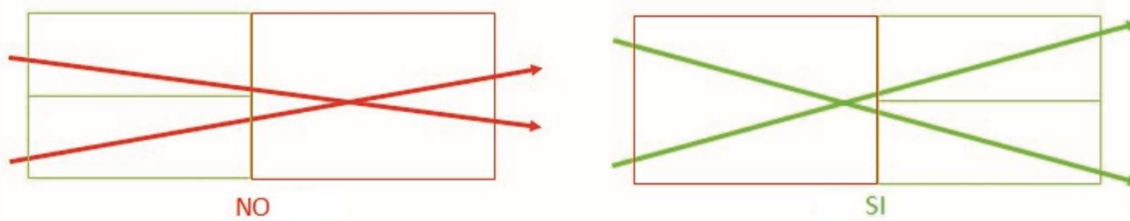


Figura 5-11 – Evitar sectores distintos alimentando el mismo sector.

- Evitar puntos de conflicto cercanos al límite del sector, debido al aumento de la carga de trabajo por exceso de coordinación e insuficiente tiempo de anticipación, como se muestra en la Figura 5-12.

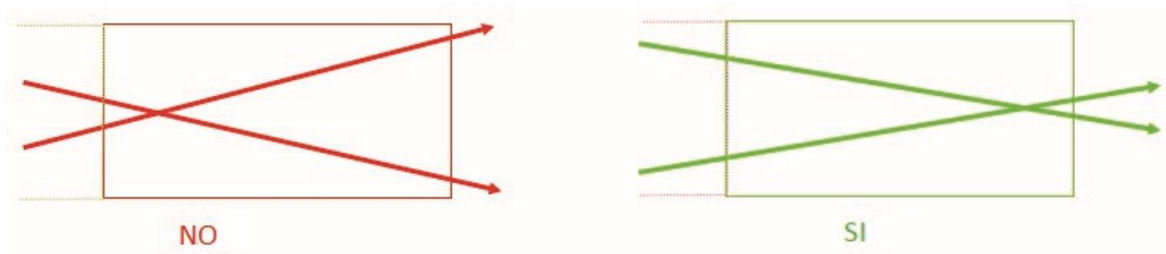


Figura 5-12 – Evitar puntos de conflicto cercanos al límite de sector.

5.3.1.7 En cuanto a la función de los sectores, se deben considerar los siguientes criterios:

- a) Minimizar el número de funciones diferentes (llegada, salida o ruta) realizadas por un mismo sector;
- b) Utilizar procedimientos de asignación de niveles de vuelo óptimos.

5.3.1.8 En cuanto a la dimensión, se deben considerar los siguientes criterios:

- a) Acomodar las funciones del sector;
- b) Permitir la anticipación y resolución de conflictos con un mínimo de coordinación;
- c) Equilibrar la carga de trabajo;
- d) Permitir, en la medida de lo posible, una función dedicada;
- e) Permitir un tiempo de tránsito razonable y picos de tránsito instantáneos de manera manejable;
- f) Permitir el establecimiento de esperas con mínima coordinación.

Nota: El tamaño óptimo de cada sector variará según la complejidad y densidad del tránsito. Un escenario con baja complejidad y densidad de tránsito permite escalar a sectores más grandes, pero a medida que aumentan la densidad y la complejidad, se requiere escalar a sectores más pequeños.

5.3.1.9 En cuanto al formato, se deben considerar los siguientes criterios:

- a) Basarse en requisitos operacionales y no en fronteras regionales o nacionales;
- b) Proporcionar flexibilidad general al sistema, combinando o dividiendo sectores según sea necesario y estableciendo rutas directas que sean eficientes en términos de economía de combustible;
- c) Reducir la coordinación y la carga de trabajo y facilitar la transferencia al siguiente sector;
- d) Evitar tiempos de tránsito muy cortos ajustando los límites de sector o delegando la provisión de ATS en el espacio aéreo en cuestión, como se muestra en las Figuras 5-13 y 5-14.

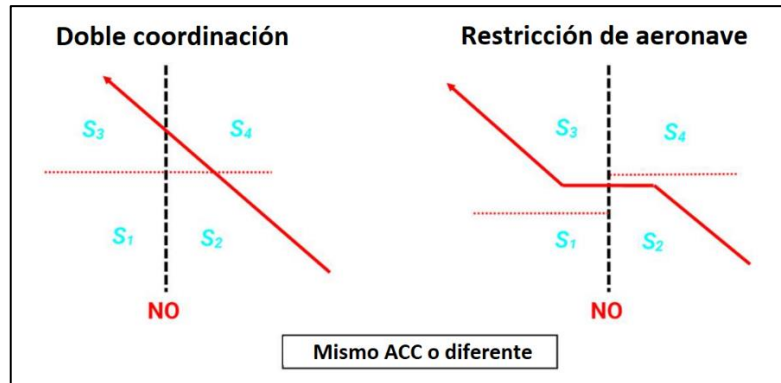


Figura 5-13 - Ejemplo 1 de límites de sector y delegación del ATC.

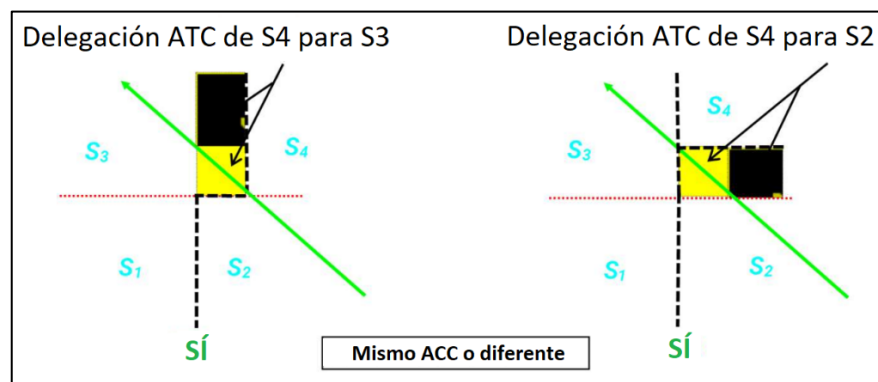


Figura 5-14 - Ejemplo 2 de límites de sector y delegación del ATC.

- e) Estar alineados con los principales flujos de tránsito aéreo;
- f) Considerar el perfil y performance ideal de la aeronave;
- g) Tener límites verticales variables, a fin de acomodar los flujos de tránsito aéreo local y la performance de las aeronaves, especialmente cuando la división entre el espacio aéreo superior e inferior no es suficiente;
- h) Definir divisiones horizontales de sectores si predomina el tránsito de sobrevuelo (segmentación de sectores);
- i) Definir divisiones geográficas de sectores, en caso de que predomine el tránsito ascendente y descendente, como se muestra en la Figura 5-15.

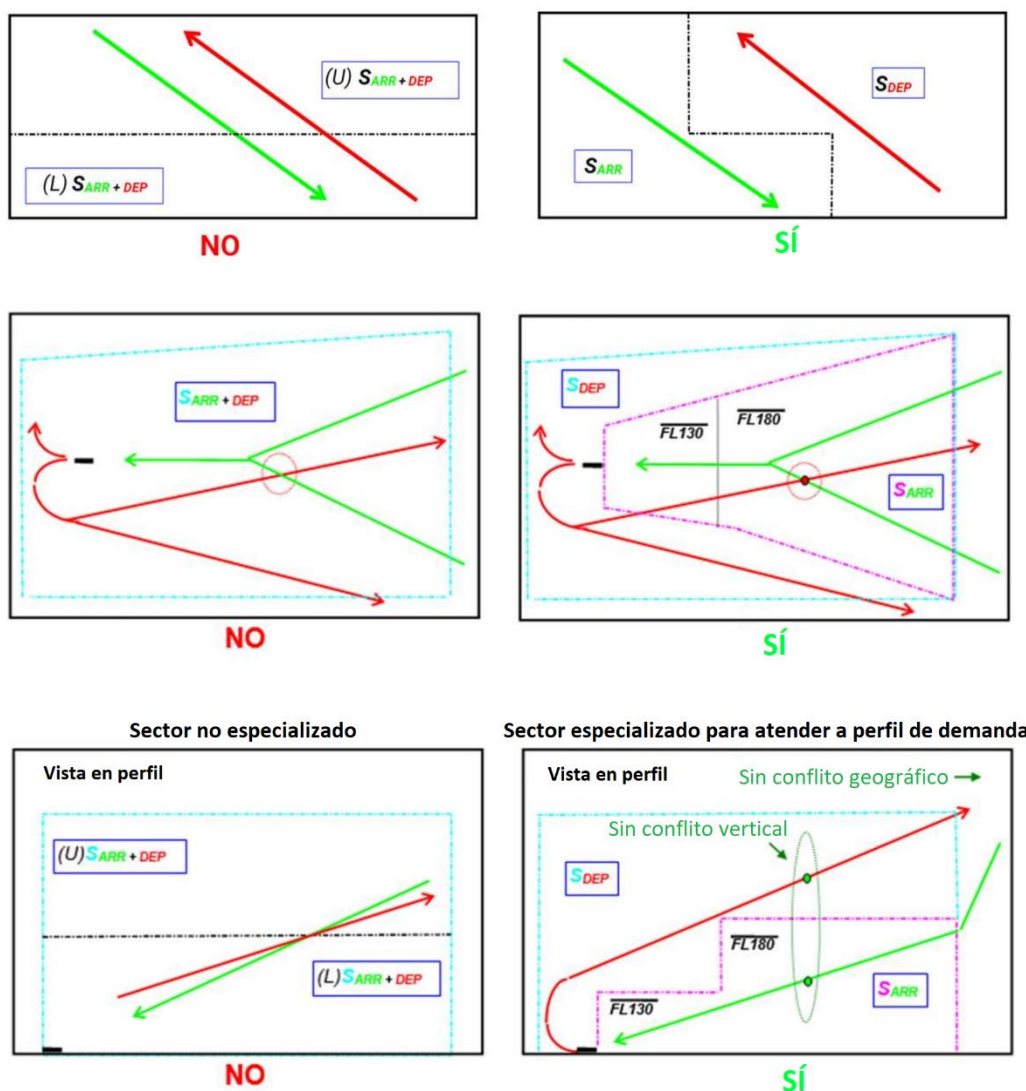


Figura 5-15 – Divisiones de sectores.

5.3.2 RED DE RUTAS DCT

5.3.2.1 Los criterios para la sectorización del espacio aéreo que contiene una red de rutas DCT deben observar ciertas particularidades, en especial, el hecho que no existe un flujo de tránsito estandarizado con puntos de cruce conocidos y que se puede utilizar todo el sector, para permitir mayor flexibilidad en función de las variaciones de la demanda.

5.3.2.2 La sectorización del espacio aéreo que contenga una red de rutas DCT deberá considerar los siguientes criterios:

- Principales flujos de tránsito y sus orientaciones;
- Minimizar los tránsitos cortos por los sectores;
- Minimizar el reingreso a sectores y FIR;
- Posicionamiento de los SUA;

- e) Coherencia con los sectores de la red de rutas ATS adyacentes, conectando rutas y trayectorias de llegada y salida;
- f) Coordinación civil y militar.

5.3.2.3 Los sectores deben ajustarse lo más posible para que se reduzca al mínimo el número de vuelos con tiempos de ocupación cortos (pasos cortos por el sector).

Nota: Cuando dicho ajuste no sea factible, se deben establecer las reglas apropiadas para ese contexto, a fin de evitar un impacto negativo en la capacidad ATC.

5.3.2.4 Al definir la capacidad del sector, se deben tener en cuenta las variaciones más dinámicas en los estándares del tránsito.

5.3.2.5 Se debería considerar la flexibilidad proporcionada por la sectorización dinámica para minimizar tránsitos cortos y evitar reingresos de vuelo en sectores ATC.

5.3.2.6 Es necesario establecer procedimientos para que el Centro ATFM tenga conocimiento en tiempo real de los cambios en la configuración de los sectores, incluyendo agrupamientos y desagrupamientos, y pueda administrar eficientemente la red de rutas DCT.

6 ESCENARIOS OPERACIONALES

6.1 DISPOSICIONES GENERALES

6.1.1 El escenario de referencia es fundamental en el proceso de desarrollo de un concepto de espacio aéreo, ya que en la fase de validación se utiliza como base de comparación para poder medir las mejoras reales y elegir un escenario final para la implementación.

Nota: El escenario de referencia también se puede utilizar en la fase de diseño como ayuda para la toma de decisiones sobre el establecimiento de escenarios alternativos o para evaluar situaciones específicas en un determinado escenario.

6.1.2 En términos generales, el escenario de referencia es el escenario actual y constituye el siguiente conjunto de información representado, pudiendo incluirse otra información que se considere pertinente:

- a) estándar de uso de las pistas de los aeródromos involucrados;
- b) demanda de tránsito actual y su distribución en el tiempo y el espacio;
- c) muestras de tránsito aéreo, incluyendo reglas de vuelo, performance mix, estándares operacionales de las aerolíneas y operaciones militares, entre otros;
- d) red de rutas ATS;
- e) procedimientos de navegación aérea;
- f) escenario de rutas DCT;
- g) áreas de espera;
- h) espacio SUA;
- i) estándares de guía vectorial;
- j) dimensiones de los espacios aéreos;
- k) sectorización;
- l) acuerdos operacionales;
- m) restricciones existentes;

n) infraestructura CNS.

Nota: La calidad de la información contenida en el escenario de referencia debe permitir la representación más realista posible de la estructura del espacio aéreo y sus prácticas operacionales.

6.1.3 El escenario de referencia también puede ser el escenario actual más modificaciones que ya hayan sido validadas y que se implementarán a corto plazo, antes de la implementación del nuevo concepto de espacio aéreo, como, por ejemplo, la implementación de una ruta ATS, la creación de sector, la publicación de una SID o STAR, entre otros.

6.1.4 El proceso de identificación de las características actuales de un determinado espacio aéreo, es decir, la construcción del escenario de referencia, permite descubrir fortalezas y debilidades, además de brindar la oportunidad de corregir inconsistencias, tales como:

- a) rutas ATS redundantes o no utilizadas, publicadas;
- b) rutas DCT no utilizadas;
- c) procedimientos de navegación aérea no utilizados o desactualizados;
- d) falla en la conexión de la estructura de rutas ATS con los procedimientos de navegación aérea;
- e) aplicación de restricciones verticales innecesarias o insuficientes;
- f) incorrecciones en la publicación de información aeronáutica;
- g) sub-utilización de SUA;
- h) puntos de conflicto, “cuellos de botella” y puntos de saturación.

6.1.5 Luego de su construcción, el escenario de referencia debe ser revisado críticamente, a través de un análisis cualitativo, que debe señalar:

- a) **condiciones futuras indefinidas** – que necesitan ser consideradas para la construcción del concepto de espacio aéreo y deben tomar en cuenta el escenario operacional que existirá al momento de la implementación, incluyendo, capacidad de navegación de la flota de aeronaves, infraestructura aeroportuaria disponible, principales flujos de tránsito aéreo, sistemas de comunicación y vigilancia disponibles y cuestiones ATC;
- b) **restricciones** – que sugieran la carencia o limitación de la infraestructura CNS, que no serán resueltas para la implantación del nuevo concepto de espacio aéreo. Las restricciones típicas incluyen restricciones a los recursos humanos, en particular a los controladores de tránsito aéreo, que impiden la activación de nuevos sectores, así como niveles de disponibilidad de rutas y requisitos para satisfacer las necesidades ambientales, entre otros. Es posible que se deban aceptar algunas restricciones porque no hay solución;
- c) **facilitadores** – se refiere a cualquier medio CNS necesario para la implementación de un determinado concepto de espacio aéreo, tales como equipos, sistemas, infraestructura de navegación y procedimientos, entre otros. Teniendo en cuenta los costos relacionados con la implementación de algunos **habilitadores**, es necesario un análisis de costo-beneficio para determinar si los beneficios superan los costos o si se deben buscar medidas de mitigación.

6.2 COMPARACIÓN DE ESCENARIOS

6.2.1 El escenario de referencia sirve como parámetro para medir el éxito de un nuevo concepto de espacio aéreo y es importante no cambiar muchos parámetros de un escenario a otro, para que se pueda evaluar el impacto de las modificaciones realizadas.

6.2.2 Las mejores prácticas apuntan a la necesidad de comparar el escenario de línea de base con al menos dos escenarios propuestos, los cuales, según el caso, pueden ser sólo un escenario inicial y una variación de este.

6.2.3 Es fundamental conocer las premisas del proyecto, para obtener no sólo una buena comprensión de los resultados, sino también confianza en ellos.

6.2.4 La elección del mejor escenario se lleva a cabo en la fase de validación, cuando se comparan indicadores y las premisas para cumplir con los objetivos estratégicos definidos en la fase de planificación, con el fin de identificar si se pueden cumplir después de la implementación del nuevo concepto de espacio aéreo.

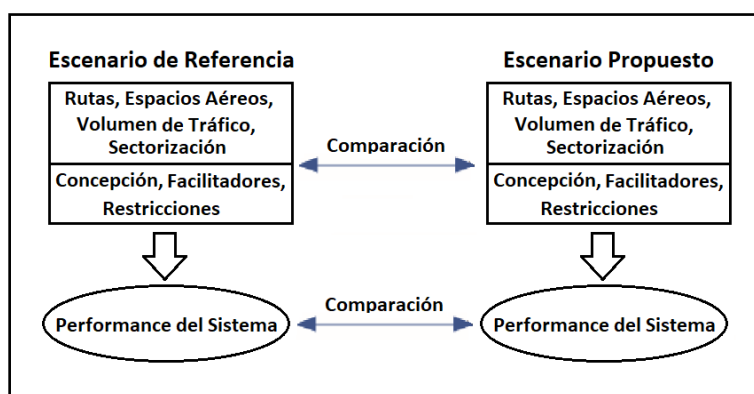


Figura 6-1 - Comparación de escenarios

7 REFERENCIAS

- ✓ International Civil Aviation Organization. Performance-Based Navigation (PBN) Manual. DOC 9613 AN/937. Fifth Edition. 2023.
- ✓ International Civil Aviation Organization. Continuous Climb Operations (CCO) Manual. DOC 9993 AN/495. First Edition. 2013.
- ✓ International Civil Aviation Organization. Continuous Descent Operations (CDO) Manual. DOC 9931 AN/476. First Edition. 2010.
- ✓ International Civil Aviation Organization. Manual on the Use of Performance Based Navigation (PBN) in Airspace Design. DOC 9992 AN/424. First Edition. 2013.
- ✓ International Civil Aviation Organization. Procedures for Air Navigation Services – Aircraft Operations (PANS-OPS). DOC 8168 OPS/611. First Edition. 2006.
- ✓ International Civil Aviation Organization. Global Air Traffic Management Operational Concept. DOC 9854 AN/458. First Edition. 2005.
- ✓ International Civil Aviation Organization. Global Air Navigation Plan 2016 – 2030. DOC 9750 AN/963. Fifth Edition. 2016.

- ✓ International Civil Aviation Organization. Air Traffic Services Planning Manual. DOC 9426 AN/924. First Edition. 1984.
- ✓ International Civil Aviation Organization. Manual on Civil-Military Cooperation. DOC 10088. First Edition. 2021
- ✓ EUROPEAN COMMISSION. EUROCONTROL. European Route Network Improvement Plan (ERNIP). Part 1 – Airspace Design Methodology Guidelines. Edition 2.6. 2022.
- ✓ U.S. Department of Transportation. Federal Aviation Administration. Terminal Instrument Procedures (TERPS). ORDER 8260.3C. 2016.
- ✓ U.S. Department of Transportation. Federal Aviation Administration. Airspace Management Handbook. Version 2.1. 2004.
- ✓ Departamento de Controle do Espaço Aéreo. Conceito de Espaço Aéreo: MCA 100-19. [Rio de Janeiro], 2021.