



# NAVEGACIÓN AÉREA

NAVEGACIÓN CON AYUDAS RADIOELÉCTRICAS

V 2.0

**Antonio de Castro**  
**ALZ150**

Antonio

INDICE

CAPITULO 1.- INTRODUCCIÓN .....	6
CAPITULO 2.- GENERALIDADES.....	8
Altitudes mínimas de vuelo.....	8
MSA (Minimun Sector Altitud) .....	8
MEA (minimun En-route Altitude) .....	8
MOCA (Minimun Obstacle clearance).....	9
MORA (Minimun off route altitudes).....	9
MCA (minimun crossing altitude).....	10
MRA (Minimun Reception Altitud).....	10
MRVA (Minimun Radar Vectoring Altitud).....	10
MHA (Minimun Holding Altitud) .....	10
Altitud, Nivel y Capa de Transición.....	10
Altitud de Transición (TA).....	10
Nivel de Transición (TL) .....	11
Capa de Transición .....	11
Hay unas definiciones que debemos refrescar:.....	11
Respecto a la altura:.....	11
Respecto a las presiones:.....	12
Tipos de navegación:.....	12
Observada .....	12
A la estima.....	12
Navegación Radioeléctrica.....	12
Sistema de posicionamiento global .....	12
CAPITULO 3.- NAVEGACIÓN: RADIOAYUDAS E INSTRUMENTOS DE NAVEGACIÓN.....	14
El zenit, cenit, zenith o cénit .....	14
El acimut.....	14
¿Qué diferencias hay entre Norte magnético, Norte geográfico y Norte Lambert? .....	15
¿Cómo se expresan los grados? .....	16
Rosa de los vientos o Rosa de los rumbos. ....	17
Radioayudas .....	18
Instrumentación a bordo .....	18
Concepto de cono de confusión o silencio: .....	18
Controlando el avión.....	19

Control and Performance.....	19
Primary and Support .....	20
La regla de las 6 T .....	21
CAPITULO 4.- PUNTO FIJO (NDB).....	24
NDB.....	24
Tipos de NDB .....	24
ADF .....	25
EQUIPO ADF .....	25
CAPITULO 5.- DIRECCIONAL-AZIMUTAL (VOR).....	28
VOR.....	28
Funcionamiento del VOR: .....	29
Generaciones de VOR.....	29
Tipos de VOR .....	30
OBI.....	31
Componentes del OBI .....	31
CAPITULO 6.- DME.....	35
DME.....	35
Funcionamiento DME.....	35
Pantalla DME a bordo .....	36
CAPITULO 7.- INDICADOR ELECTRONICO DE SITUACION HORIZONTAL (EHSI).....	39
CAPITULO 8.- RADIO MAGNETIC INDICATOR (RMI).....	40
RMI .....	40
Componentes del RMI.....	40
El código Q.....	40
CAPITULO 9.- ACUERDO DE USO DE TÉRMINOS .....	43
CAPITULO 10.- INFLUENCIA DEL VIENTO EN LA NAVEGACION AEREA: .....	44
¿Qué es el viento?.....	44
Concepto de TURBULENCIA y TURBONADA.....	45
Turbulencias .....	45
TURBONADA.....	46
Efecto de Coriolis.....	47
Movimientos de la tierra .....	47
RUMBO, RUTA (CURSO) y DERROTA .....	50
Cálculo del ángulo de Deriva.....	50
Ejemplo práctico para corregir la deriva:.....	52
CAPITULO 11.- ESCENARIO DE EJERCICIOS.....	55

CAPITULO 12.- VUELO DIRECTO ESTACION:.....	56
VUELO DIRECTO A NDB: .....	56
VUELO DIRECTO A VOR .....	58
CAPITULO 13.- ACERCAMIENTO POR UN RADIAL (MARCACION) ESPECIFICO:..	60
MANIOBRAS DE ACERCAMIENTO DIRECTO .....	60
ACERCAMIENTO DESEADA – CABEZA – 30.....	61
DOBLE DIFERENCIA.....	63
VIRAJES EN SENTIDO HORARIO:.....	64
VIRAJES EN SENTIDO ANTIHORARIO: .....	65
EJEMPLO DE ACERCAMIENTO DIRECTO CON RUMBO DIFERENTE A 30º .....	65
MANIOBRAS DE ACERCAMIENTO EN RUTA PASADA .....	66
TECNICA PARA HACER UN ACERCAMIENTO EN RUTA PASADA: .....	66
¿Qué significa estar “ABEAM”? .....	66
EJEMPLO PRACTICO DE RUTA PASADA: .....	67
CAPITULO 14.- ALEJAMIENTOS DE UNA RADIOAYUDA .....	69
ALEJAMIENTO INMEDIATAMENTE DESPUES DE PASAR LA ESTACION .....	69
ALEJAMIENTO EN RUTA DIRECTA.....	71
ACERCAMIENTO COLA – DESEADA – 45º (C-D-45).....	71
DOBLE DIFERENCIA.....	72
EJEMPLO DE ALEJAMIENTO CON RUMBO DIFERENTE A 45º .....	73
ALEJAMIENTO EN RUTA PASADA .....	74
CAPITULO 15.- ASPECTOS PRACTICOS DE LA NAVEGACION CON RADIALES ..	77
Estándar instrumental departure (SID).....	77
Esperas e hipódromos de aproximación.....	79
Diferencias entre ESPERA E HIPODROMO DE APROXIMACIÓN .....	79
Tramos ESPERA/HIPODROMO .....	79
Entrada en la espera o el hipódromo.....	80
NAVEGACION PUNTO A PUNTO .....	82
METODO DIRECTO.....	83
METODO DE LA BISECTRIZ.....	84
OTROS METODOS PARA VOLAR A UN FIJO .....	86
ALEJAMIENTO/ACERCAMIENTO CON VOR/DME .....	86
ACERCAMIENTO/ALEJAMIENTO CON DOS RADIOAYUDAS SIN DME.....	87
PROCEDIMIENTOS DE INVERSION DE RUMBO.....	87
VIRAJE DE PROCEDIMIENTO.....	88
Viraje reglamentario 45º/180º NDB. ....	88

Viraje reglamentario 45º/180º VOR.....	88
Viraje reglamentario 45º/225º.....	89
Viraje reglamentario 80º/260º NDB. ....	90
Viraje reglamentario 80º/260º VOR.....	90
VIRAJE DE BASE .....	90
Viraje de procedimientos de gota de 30º NDB .....	91
Viraje de procedimientos de gota de 210º NDB .....	91
Viraje de procedimientos de gota de 30º VOR .....	91
Viraje de procedimientos de gota de 210º VOR .....	91
HIPODROMO: .....	92
ARCOS DME .....	92
ARCOS EN SALIDA.....	94
ENTRADA del ARCO .....	94
SALIDA del ARCO .....	95
ARCO EN LLEGADA .....	96
ENTRADA EN EL ARCO .....	96
SALIDA DEL ARCO .....	96
MANTENER EL ARCO .....	96
Estándar terminal arrival route (STAR) .....	97
APROXIMACIONES.....	99
APROXIMACION de NO Precisión.....	99
APROXIMACION de Precisión.....	101
CAPITULO 16.- LECTURAS RECOMENDADAS.....	108

## CAPITULO 1.- INTRODUCCIÓN

La navegación aérea usando radioayudas; tales como los VORs y/o NDB (ADF) es una asignatura pendiente en muchos pilotos virtuales. Lo he titulado Navegación aérea v 2.0, seguimiento de radiales o marcaciones porque es una nueva versión del trabajo antiguo hecho para Al-Ándalus llamado Navegación avanzada.

Manuales y explicaciones sobre el tema hay muchos, pero en este tutorial he querido diferenciarlo de los demás. Espero haber logrado el objetivo propuesto.

Todos sabemos (o deberíamos saber) ir a un VOR o a un NDB directamente, pero ¿sabemos buscar un radial/marcación específico y llegar a la estación deseada por dicho radial/marcación?



Algunos, los menos, al disponer de una buena orientación espacial son capaces de hacerlo intuitivamente. Los demás, la mayoría, debemos aprender las técnicas precisas.

En estas páginas vamos a estudiar situaciones claves y fundamentales en la navegación aérea, sin disponer o sin necesitar usar dispositivos como FMC, FMS o MCDU y mucho menos el FSNavigator, FSCommander, PLAN G o ALZMAP (es cierto que, para facilitar las explicaciones, en ocasiones se pondrán imágenes de alguno de estos programas.

No es excesivamente complicado; ahora bien, precisa de práctica (como todo en esta vida) para llegar a ser capaces de movernos con soltura en este mundo de la navegación aérea. Saber en qué radial volamos y conseguir interceptar y volar un radial concreto. ¿Precisamos algún avión concreto? No, se puede hacer con la cessna172, con la Pilatus, o con un gran reactor.



Por ello, he decidido hacer el esfuerzo de plasmar en esquemas las técnicas de navegación avanzada. Merece la pena.

Ahora surge una pregunta ¿Realmente merece la pena dedicarle este esfuerzo a navegar entre radiales? La respuesta vendrá al final; especialmente cuando estudiemos los supuestos prácticos.

cos.

La primera versión de este trabajo estuvo dedicada a un compañero de la compañía, hoy mantengo la misma dedicatoria a esa persona con mucho cariño y la hago extensible a todos los compañeros alezeteros y pilotos virtuales ; ya sean de la red que sean

(IVA0, VATSIM o de alguna que desconozca) cuya única ambición es querer aprender a navegar por los cielos virtuales.

No olvidéis que, para conseguir resultados, deberéis practicar a solas muchas horas.

Así que comenzamos.

Antonio de Castro

## CAPITULO 2.- GENERALIDADES

¿Cómo podemos definir la navegación aérea? La navegación aérea puede definirse como el conjunto de técnicas utilizadas para desplazarse entre un par de puntos conocidos, llamados origen y destino, siguiendo una trayectoria también conocida.

Cuando estamos volando instrumental – IFR - (por el momento excluyo el vuelo visual - VFR, el cual se rige por otras reglas; aunque en ese tipo de vuelo VFR no es ningún error disponer a bordo de instrumentación adecuada para recibir señales de radioayudas y podernos orientar) deberíamos saber en todo momento y con la mayor exactitud en donde estamos, hacia donde nos dirigimos, que rumbo se debe llevar para llegar a destino y cuál es el tiempo estimado para llegar a dónde vamos.

En primer lugar, vamos a repasar algunos conceptos que nos ayudaran a entender todo lo que sigue a continuación.

### Altitudes mínimas de vuelo

Aunque este apartado exceda un poco el tema que se está tratando, nunca está de más conocer algo sobre las altitudes mínimas de vuelo.

Las altitudes mínimas de vuelo se establecen, por las autoridades aeronáuticas de cada país, para garantizar la seguridad de un vuelo libre de obstáculos y la recepción adecuada de las ayudas de radionavegación. Para los pilotos, su absoluto respeto es obligatorio; ya que garantizan las operaciones de vuelo.

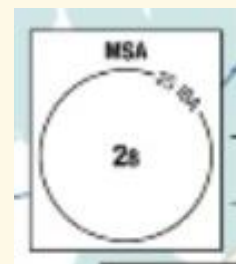
Los pilotos deben ser conscientes del significado de "Altitud o altura"; lo cual podemos definir como la elevación de un punto de referencia desde la tierra. Al mismo tiempo, hay varios tipos de altitudes que los pilotos deben estar familiarizado con:

- Altitud indicada: La altitud que el piloto es capaz de leer el altímetro.
- Altitud verdadera: la altitud expresada en términos por encima del nivel del mar.
- Altura: la altura en términos de distancia por encima de un cierto punto.

Debemos conocer a que se refieren diferentes términos

#### MSA (Minimun Sector Altitud)

Altitud mínima de sector llamado MSA es la altitud más baja que se puede usar en un sector determinado y que proporcionará una distancia mínima de 300 m (~ 1000 pies) por encima de todos los objetos situados en el área de dicho sector en un círculo de 46 km (25 nm) de radio centrado en una radioayuda para la navegación. El MSA se puede ver en las cartas IFR. En la imagen se ve el MSA del VOR IBA.



#### MEA (minimun En-route Altitude)

Es la Altitud mínima en ruta para un segmento determinado que proporciona una altitud adecuada para la recepción de las señales de navegación y un espacio libre de obstáculos.

Los pilotos deben saber que la MEA garantiza:

- Recepción adecuada de ayudas a la navegación.





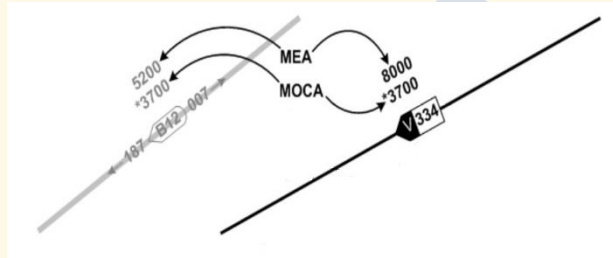
- La comunicación bidireccional con el ATC.
- La distancia de seguridad o margen de obstáculos.

En la imagen se pueden ver señaladas por el círculo diferentes MEAs.

**MOCA (Minimun Obstacle clearance)**

Es la altitud mínima para que un segmento definido proporcionando el espacio libre de obstáculos requerido. El MOCA se determina y publica para cada tramo de la ruta. Las cartas proporcionarán la separación horizontal y vertical adecuada en aquellas áreas donde la existencia de obstáculos podría ser un factor determinante para la seguridad de los vuelos.

El MOCA especificará la separación vertical mínima de 1000 pies (300 m) desde el suelo o puntos de referencia. Los pilotos que vuelan en el EE.UU. deben saber que el MOCA asegura también 22nm alcance de recepción VOR. Al mismo tiempo, ciertos aspectos podrían afectar a este valor, factores como zonas de terreno o montañas, podrían cambiar este valor de acuerdo a las siguientes circunstancias.



El MOCA especificará la separación vertical mínima:

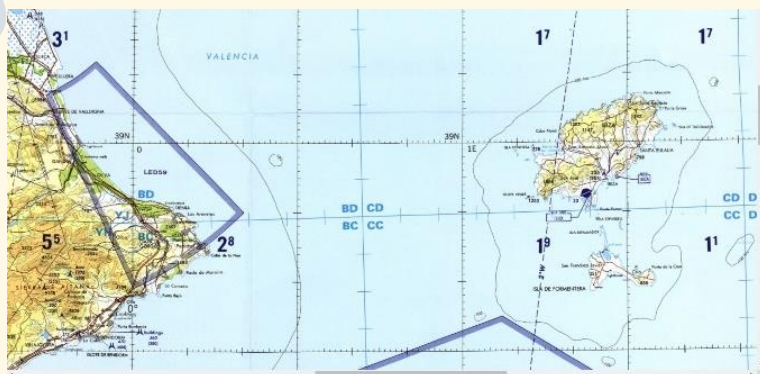
- 1000 pies (300 m) de separación cuando las elevaciones de obstáculos están por debajo de 3000 pies (900 m).
- 1500 pies (450 m) de separación cuando las elevaciones de obstáculos están entre 3000 pies (900 metros) y 5.000 pies (1500).
- son mayores de 5.000 pies (1.500 metros o más).

El MOCA siempre está relacionada con un MEA.

**MORA (Minimun off route altitudes)**

El piloto debe ser consciente de la existencia de dos variaciones en esta categoría: la Mora y la MORA DE CUADRICULA.

El mínimo de altitud de ruta, denominado **MORA**, es una altitud que proporciona 2.000 pies de espacio libre en el terreno de zonas montañosas y 1.000 pies en las regiones no montañosas; al mismo tiempo que proporciona una referencia de espacio de 10 nm desde el eje de la ruta.



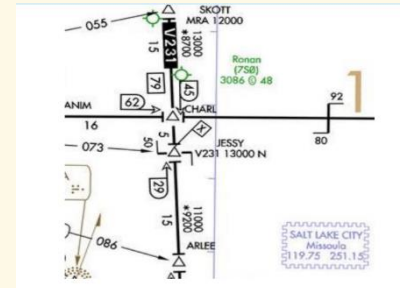
**EI MORA DE CUADRICULA** ofrece la altura sobre el terreno y/o cualquier estructura hecha por el hombre dentro de la sección se indica por la latitud y las líneas de longitud.

Por el contrario, el valor de MORA borra todas las estructuras del terreno y artificiales por encima de 1000 pies en las zonas donde las elevaciones más altas son 5.000 pies MSL o inferior y por encima de 2.000 pies en las zonas donde las elevaciones más altas MSL son 5001ft o superior.

El MORA DE CUADRÍCULA es un buen valor para determinar espacio libre de obstáculos cada vez que el piloto tiene que, o le gustaría a separarse de la vía aérea, por ejemplo, durante un descenso de emergencia o cuando se vuela directo a un punto de distancia de una aerovía. Se presentan en cientos de pies (pies con la omisión de los dos últimos dígitos; por ejemplo: se le da 7.600 pies como 76).

**MCA (minimun crossing altitude)**

Es la altitud más baja que permitirá a las aeronaves cruzar un fijo para entrar o continuar a lo largo de una aerovía; permitiendo evitar todos los obstáculos mientras se lleva a cabo un ascenso hasta la mínima requerida en una ruta (MEA). El MCA está relacionada con la recepción de la señal y el espacio libre de obstáculos; esto se indica mediante una marca en [X] en las cartas Jepsesen como un número de la vía aérea y la altitud. El piloto debe subir a la MCA antes de llegar a la intersección; de esa manera, no se violará el MCA.



Por ejemplo, cuando en una carta nos encontramos A552 12000S significa que la aerovía A552 debe ser volada a 12000 pies cuando se va hacia el sur.

MCA JESSY 13000N (marcado con X) = 13000ft mínimo en dirección norte a JESSY

**MRA (Minimun Reception Altitud)**

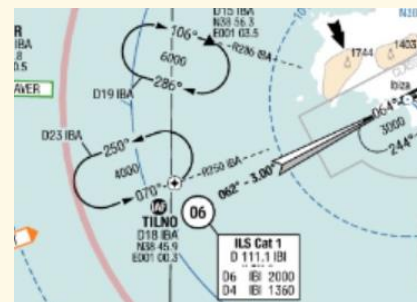
Es la altitud más baja en un segmento de la vía aérea en la que un avión puede estar seguro de recibir señales de ayudas a la navegación como VOR o NDB. Típicamente, cuanto mayor es la distancia entre ayudas a la navegación, mayor es la MRA.

**MRVA (Minimun Radar Vectoring Altitud)**

Realmente para nuestro tema no tiene importancia. Se trata de la altitud más baja, expresado en pies AMSL, a la que un controlador puede emitir autorizaciones altitud de la aeronave durante la vectorización.

**MHA (Minimun Holding Altitud)**

Es la altitud más baja ha sido dispuesta para volar un patrón de espera; asegurándose que la cobertura de la señal de las radioayudas y comunicaciones y satisfaciendo los requisitos de franqueamiento de obstáculos. Los pilotos deben ser conscientes de la MHA al entrar o iniciar un procedimiento de espera en todo momento con el fin de cumplir con los requisitos de seguridad.



**Altitud, Nivel y Capa de Transición**

**Altitud de Transición (TA)**

Es fija la pone las autoridades aeronáuticas para todos los aeropuertos de un país. Normalmente determina 2000 pies por encima del punto montañoso más alto. En España

está fijada en 6000 ft; exceptuando Granada (7000 pies) y Madrid (13000 pies). De todos modos, en las cartas de todos los aeropuertos podéis encontrar las TA específicas.

### ***Nivel de Transición (TL)***

También conocida como Transition Level, es la altitud en donde se empiezan a usar los **NIVELES DE VUELO**. Al alcanzar este nivel ya está disponible el primer nivel de vuelo sobre la altitud de transición. Desde este punto todas las aeronaves en ese espacio aéreo deberán usar el altímetro estándar 1013 hPa o 29.92 Hg. Después del Nivel de Transición todas las altitudes deberán ser denominadas como niveles de vuelo. Ej. FL200.

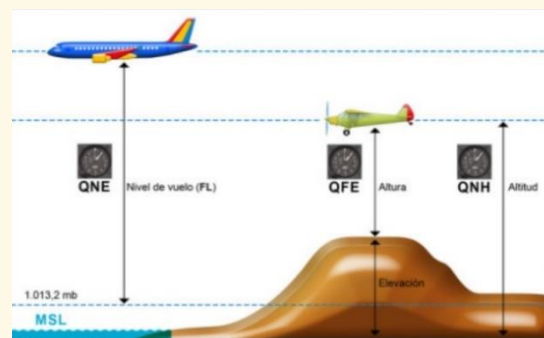
La presión atmosférica puede registrarse y reportarse en muchas unidades diferentes. Un barómetro mercurial hace medidas en pulgadas de mercurio (en Hg). Generalmente, esta unidad es de uso general en la aviación en de los E.E.U.U. y algunos aviones. Libras por pulgada cuadrada (psi) es común en el sistema de unidades inglesas, y el PASCAL (Pa), es el estándar en el sistema métrico (SI). En la página siguiente podréis abrir un convertidor entre hPa y HG:

<http://www.convertworld.com/es/presion/pulgadas-de-mercurio.html>

### ***Capa de Transición***

Se le denomina capa de transición a una franja ficticia entre la Altitud de Transición y el Nivel de Transición, dentro de esta capa no pueden existir vuelos a excepción de que sea menor a 1000 ft en cuyo caso todo el tráfico deberá contar con separación horizontal.

En operaciones de despegue primero pasas la altitud de transición entras en la capa de transición que su grosor en altura es cambiante y luego pasamos el nivel de transición. En cuanto al descenso el proceso es el inverso, primero el nivel de transición, luego entras en la capa de transición y luego libras por la altitud de transición.



**Hay unas definiciones que debemos refrescar:**

### ***Respecto a la altura:***

**Altitud:** distancia vertical entre el nivel del mar y nivel, punto, u objeto considerado

**Altura:** distancia vertical entre el suelo o referencia especificada y nivel, punto, u objeto considerado.

**Elevación:** distancia entre en terreno o suelo y el nivel medio del mar.

**capa o nivel:** 29,92 Hg o 1013,2 hPa. Es el punto de referencia 0 para los niveles de vuelo, la distancia entre este nivel y cualquier otro nivel de la tabla se llama altitud.

### ***Respecto a las presiones:***

**QNH:** presión atmosférica reducida al nivel del mar. Un altímetro nos dará la elevación del aeropuerto (o cualquier otro punto) sobre el nivel medio del mar y que comprobando con la carta veremos si hay o no error de altímetro.

**QFE:** presión atmosférica en un punto de la corteza terrestre. No utilizada en la práctica, al menos en España. Si se cala el altímetro con la presión QFE para que dé un aeródromo, éste marcará 0 al despegar o aterrizar en el mismo.

**QNE:** es el valor presión estándar (en hPa o Hg).

### **Tipos de navegación:**

Los pilotos; tanto reales o virtuales, deben conocer los diferentes tipos de navegación

#### ***Observada***

Es el método de navegar de un sitio a otro por medio de la observación de puntos visibles en el terreno, tales como vías férreas, pueblos, caminos, ríos, etc., y luego ubicar dichos puntos sobre una carta aeronáutica. Este tipo de navegación se encuentra limitada por las condiciones de visibilidad.

#### ***A la estima***

Es el método de determinar la posición actual mediante la dirección y la distancia desde la otra posición anterior conocida. Se utiliza este método para determinar donde se encuentra la aeronave, o donde se encontrará, basando los cálculos en el viento, rumbo geográfico y velocidad verdadera (TAS) a partir de la última posición conocida.

#### ***Navegación Radioeléctrica***

Este tipo de navegación es el que se va tratar de manera exclusiva en el presente manual. Es un método de orientación sin necesidad de disponer de referencias terrestres visuales. Se trata de señales radioeléctricas emitidas por equipos especiales situados sobre la superficie de la tierra y captadas a bordo del avión mediante los instrumentos adecuados.

#### ***Sistema de posicionamiento global***

Es un sistema de ayuda a la navegación usando un computador, sensores de movimiento (acelerómetros) y sensores de rotación giroscópicos para calcular continuamente mediante estima la posición, orientación, y velocidad (dirección y rapidez de movimiento) de un objeto en movimiento sin necesidad de referencias externas. Consiste en el posicionamiento de la aeronave incluyendo sistema de posicionamiento global (GPS), el Air Data Computer, que facilita la velocidad relativa, la altitud y la velocidad vertical de la aeronave, los IRS (Inertial Reference Systems), que constituyen los principales sensores de movimiento y navegación de la célula utilizados por un gran número de sistemas de aviónica, los ADIRS/ ADIRU (Air Data Inertial Reference Systems/Air Data Inertial Reference System).

Obviamente, no está de más reseñar los diferentes sistemas de navegación, pero a partir de este punto solo hablaremos de navegación radioeléctrica.

Antonio de Castro

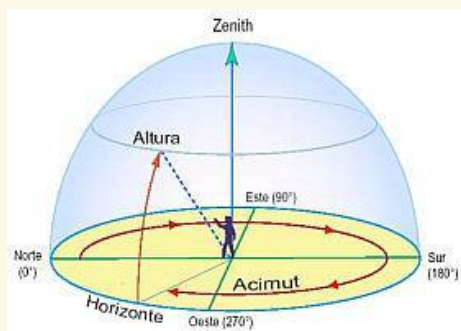
## CAPITULO 3.- NAVEGACIÓN: RADIOAYUDAS E INSTRUMENTOS DE NAVEGACIÓN

La navegación radioeléctrica consta de dos elementos imprescindibles. Uno, las estaciones en tierra (a partir de ahora las llamaremos genéricamente radioayudas; salvo en casos específicos que las llamaremos por su nombre concreto) y, dos, los dispositivos a bordo del avión (generalmente situados en el panel antideslumbrante) para poder recibir y descifrar las señales recibidas de las diferentes radioayudas.

Aunque creo que la respuesta es obvia alguien se puede hacer la pregunta ¿es posible poner una radioayuda en el mar? La respuesta es NO. Allá donde no puedas tener una antena fija (y en el mar no se puede), no puedes tener una radioayuda.

Otro punto de discusión que se debe aclarar ahora son conceptos que usaremos más adelante (Cenit y Azimut).

**El zenit, cenit, zenith o cénit** es la intersección de la vertical de un lugar y la esfera celeste. Es el punto más alto en el cielo con relación al observador y se encuentra justo sobre la cabeza de éste (90°). El punto diametralmente opuesto al zenit es el nadir. Aunque la explicación es algo rebuscada, realmente nos estamos refiriendo simplemente a la altura.



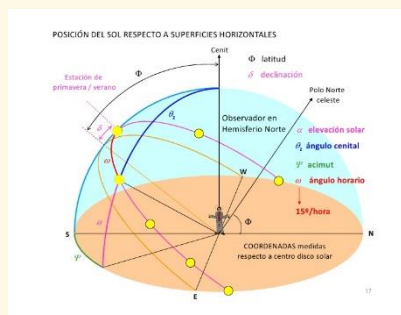
### El acimut

El acimut es el ángulo o longitud de arco medido sobre el horizonte celeste que forman el punto cardinal Sur y la proyección vertical del astro sobre el horizonte del observador situado en alguna latitud. En navegación (extraído de conceptos de náutica) se mide desde el punto cardinal norte en sentido horario de 0° a 360° y se llama acimut verdadero (Azv) o real. El acimut podrá ser magnético, si se mide respecto al norte magnético

(Azm) o acimut brújula (Azc), en inglés brújula es compass (de ahí la c), si se mide desde el punto norte de la brújula. En el caso de las cartas de navegación aéreas, en las que se usa el acimut magnético, se le denomina rumbo.

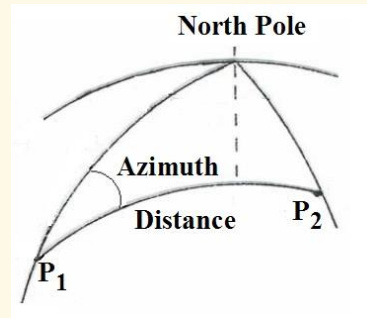
Para convertir un rumbo a un Acimut es necesario primero conocer la declinación magnética. De esta forma si la declinación magnética es al Este, entonces el Acimut va a ser el rumbo más la declinación magnética ( $Az = Rm + Dm$ ), en cambio, si la declinación magnética es al Oeste entonces el Acimut es igual al rumbo menos la declinación magnética ( $Az = Rm - Dm$ ). Para facilitar las ecuaciones y que se utilice una sola, se usa la ecuación donde el Acimut es el rumbo más la declinación magnética teniendo en cuenta la convención de signos donde Este es positivo y Oeste es negativo.

Ejemplo: necesito encontrar el acimut en un punto donde el rumbo es de 60° y la declinación magnética es de 5° Oeste (-5°). Utilizando la fórmula:  $Az = Rm + Dm = 60° + (-5°) = 55°$



La dirección azimutal se usa para definir direcciones con respecto a los puntos cardinales; por ejemplo, azimut 0 es el norte, azimut 90 es el este, azimut 180 es el sur y así podemos indicar una dirección de 0 a 360 grados.

Resaltando el concepto, Azimut es el ángulo de una radioayuda, contado en el sentido de las agujas del reloj (horario) o en sentido contrario a las agujas del reloj (anti-horario, en este caso el ángulo será negativos) respecto al Norte Geográfico. En la imagen está representado usando proyecciones ortodrómicas.



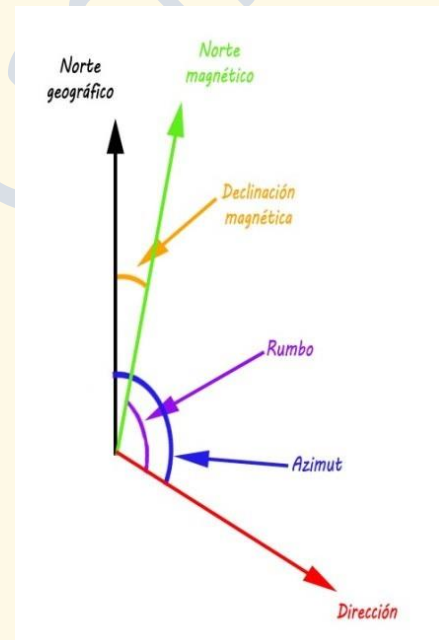
El acimut de un punto hacia el este es de 90 grados y hacia el oeste de 270 o -90 grados sexagesimales (dependiendo del sentido de las agujas del reloj - horario o anti-horario). De 180 o -180 grados, nos encamina hacia el sur. El término acimut sólo se usa cuando se trata del norte geográfico. Cuando se empieza a contar a partir del norte magnético, se suele denominar rumbo o acimut magnético.

Sigamos haciendo unas pequeñas digresiones para facilitar la comprensión del texto mediante recordatorios de definiciones.

**¿Qué diferencias hay entre Norte magnético, Norte geográfico y Norte Lambert?**

Norte Magnético es el Norte que encontramos con más facilidad. Una simple brújula nos lo puede facilitar, la aguja se alinea con las líneas de fuerza del campo magnético de la tierra, este campo magnético no está en un lugar estable, su ubicación diaria puede variar en varios cientos de metros, anualmente se le da una ubicación, los exploradores polares que quieren alcanzar el polo norte magnético han de saber dónde se encuentra cada año.

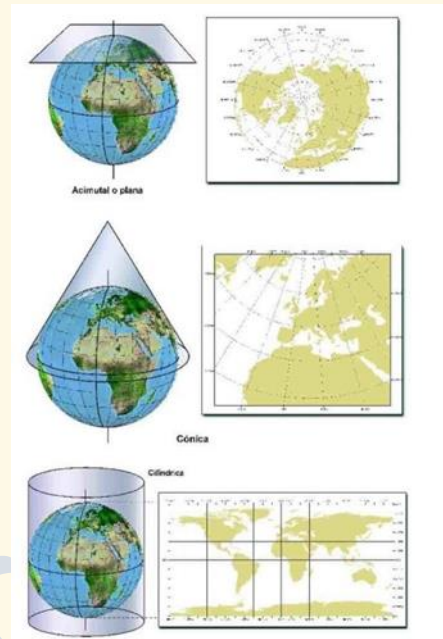
Norte Geográfico: También se le llama Norte Verdadero. Es el Norte que usa la Tierra como eje de giro, como vemos, este no coincide con el Norte Magnético.



Declinación magnética: Es la diferencia en grados entre el Norte Geográfico y Norte Magnético, esta declinación es Este u Oeste dependiendo de donde nos encontremos, cada lugar de la tierra tiene una declinación distinta, en general por áreas o mapas es la misma y en algunos casos es despreciable, cuando usamos medios de orientación básicos como brújula y mapas este ángulo no es determinante, a esto hemos de añadir que el Norte Magnético es cambiante, con lo que este dato todavía es más variable y difícil de saber con exactitud.

Azimut: Los grados respecto del Norte Geográfico a nuestra dirección es el azimut.

Norte Lambert, Norte de la Cuadrícula o Norte UTM: Es el usado en navegación aérea. Son las líneas paralelas que marcan los meridianos dirección norte que vemos en los mapas; sin embargo, estas líneas no son paralelas realmente, pues convergen en Norte Geográfico.



Cuando queremos proyectar una superficie esférica sobre una superficie plana es inevitable que existen ciertas deformaciones, para estas proyecciones se emplean diferentes métodos, los principales son: Plana o acimutal, cónica y cilíndrica.

## ¿Cómo se expresan los grados?

Es frecuente que en la cartografía y, especialmente, la topografía los acimuts se expresen en grados centesimales en lugar de utilizar los grados sexagesimales. ¿Qué diferencias hay entre unos y otros?

El grado centesimal o gon —también llamado gradián (plural: gradianes) y gonio— es una unidad de medida de ángulos planos, alternativa al grado sexagesimal y, como este, no perteneciente al Sistema Internacional de Unidades, cuyo valor se define como el ángulo central subtendido por un arco cuya longitud es igual a 1/400 de la circunferencia. La circunferencia se divide, por tanto, en 400 gon y un ángulo recto en cien gon, lo que permite determinar que un grado centesimal equivale a nueve décimas partes del grado sexagesimal. Su símbolo es una "g" minúscula en superíndice colocada tras la cifra (por ejemplo, 12,4574g).

La denominación de gon suele restringirse a los ámbitos especializados de la topografía y la ingeniería civil, donde es muy utilizada esta unidad de medida para definir el valor de los ángulos. La denominación de gradián se emplea en las calculadoras, en las que suele representarse con la abreviatura grad.

El grado sexagesimal (utilizado normalmente en aviación), como unidad del sistema de medida de ángulos sexagesimal, está definido partiendo de que un ángulo recto tiene 90° (90 grados sexagesimales), y sus divisores: el minuto sexagesimal y el segundo sexagesimal, están definidos del siguiente modo:

- 1 ángulo recto = 90° (grados sexagesimales).
- 1 grado sexagesimal = 60' (minutos sexagesimales).
- 1 minuto sexagesimal = 60" (segundos sexagesimales).



Esta notación sexagesimal tiene su origen en Mesopotamia, donde los astrónomos y matemáticos usaron para sus cálculos frecuentemente números en sistema sexagesimal lo cual facilitaba sus cálculos (ya que 60 tiene un gran número de divisores). Equivalencia entre grados sexagesimales y centesimales es:

**0° = 0g    90° = 100g    180° = 200g    270° = 300g    360° = 400g**

Como curiosidad, en la tabla de abajo se pueden ver los Acimuts medidos desde el norte verdadero:

Desde el Norte			
Norte	0° o 360°	Sur	180°
Nornoreste	22,5°	Sursuroeste	202,5°
Noreste	45°	Suroeste	225°
Estenoreste	67,5°	Oestesuroeste	247,5°
Este	90°	Oeste	270°
Estesureste	112,5°	Oestenoroeste	292,5°
Sureste	135°	Noroeste	315°
Sursureste	157,5°	Nornoroeste	337,5°

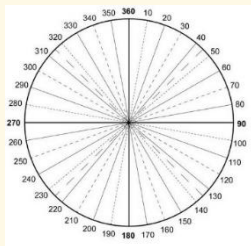
En la navegación aérea influyen muchos factores. Uno de ellos es la componente del viento. (lo veremos en un capítulo aparte).

- La acción del viento, si no está alineada con la velocidad del avión, lo saca de su curso deseado (Desired Track - DTK).
- Por otra parte, si el viento está alineado con el vector velocidad del avión, pero en contra, causará una sobre-estimación (overshoot) de la posición (se estimará que la aeronave está más allá de donde realmente está).
- Si está a favor causará una sub-estimación (undershoot) de la posición.

Ello nos obligará a estar pendiente de los controles del avión para corregir la influencia del factor viento ya sea en navegación con NDB o con VOR.

## Rosa de los vientos o Rosa de los rumbos.

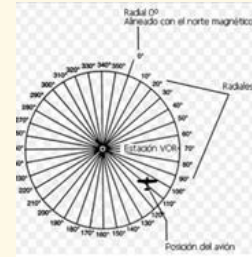
¿Cómo se va a presentar toda la información de navegación en los controles del avión? Para poderlo explicar de un modo simple tenemos que considerar la situación de nuestro avión, de manera artificial, en un plano bidimensional (realmente el vuelo está en tres dimensiones). Para ubicar el avión deberemos usar una representación gráfica denominada **Rosa de los Vientos** (figura de la izquierda). La rosa de los vientos es un símbolo en forma de circunferencia que tiene marcados alrededor de su borde todos los rumbos en que se divide la circunferencia. Prácticamente, todos los instrumentos de navegación a bordo presentan los datos mediante una Rosa de los Vientos.



Su invención se atribuye al mallorquín Raimundo Lulio; aunque la descripción pormenorizada que da Plinio el viejo en libro II podría haber sido su referencia básica (Wikipedia).

Si situamos el avión sobre este diagrama, podremos obtener mucha información.

En la imagen de la derecha, podemos ver la posición del avión, en relación con la radioayuda. En el centro, está la radioayuda; en este caso una estación VOR, y en la periferia, los radiales/marcaciones (si lo pensáis un poco, disponemos de 360 radiales o marcaciones).



Empecemos a desarrollar todos estos conceptos.

### Radioayudas

¿Cuáles son las radioayudas disponibles?

Disponemos de cuatro tipos de radioayudas:

- Dirección a un punto fijo: este tipo de ayudas simplemente indica, mediante una aguja, la dirección en la que tendría que volar el piloto para llegar a un punto de referencia dado. A este tipo pertenece el sistema ADF/NDB.
- Azimutales: el azimut es el ángulo horizontal formado entre un eje de referencia (por ejemplo, el vector radioayuda-norte magnético), y el vector radioayuda-aeronave. En esta clasificación entran, entre otros, el VOR y el ILS/LLZ. Usar una radioayuda azimutal a menudo se denomina navegación theta ( $\theta$ ), por la notación que recibe habitualmente el ángulo proporcionado (azimut).
- Cenitales: en este caso se proporciona el ángulo vertical entre el eje de referencia radioayuda-horizonte y el vector radioayuda-aeronave. El ILS/GS es el ejemplo típico.
- De distancia: este tipo de ayudas proporcionan la distancia entre radioayuda y aeronave. Como esta distancia a menudo se denota como "rho", se habla entonces de navegación rho. A esta categoría pertenece el DME.

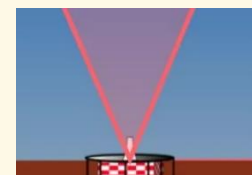
### Instrumentación a bordo

Y ¿Qué instrumentos a bordo no permiten recibir e interpretar las señales? Estamos hablando de los instrumentos de navegación en el avión.

- Brújula.
- Indicador de rumbos o HI (heading indicator).
- ADF (automatic Direction Finder).
- DME (Distance measuring equipment).
- CDI (Course Deviation Indicator).
- RMI (Radio Magnetic Indicator).
- ILS (Instrumental Landing System).

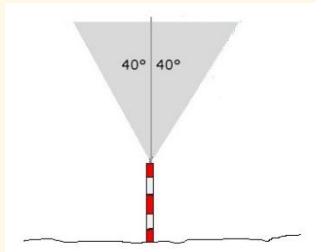
### Concepto de cono de confusión o silencio:

Directamente sobre la radioayuda hay un área donde no se oye ninguna señal. Esta área se denomina cono de silencio o cono de confusión y es pequeña en altitudes bajas, pero su tamaño se incrementa en altitudes más elevadas.

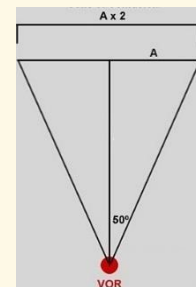


Se trata un volumen en forma de cono del espacio aéreo, con el vértice invertido, directamente sobre una estación (VOR o NDB) donde no se recibe ninguna señal, haciendo que las agujas del ADF o OBI fluctúen.

El tamaño de la base del cono va a depender de la altura del avión. Recordar que la base del cono es una circunferencia. Cuanta mayor altura mayor es el diámetro del cono y más se tarda en superarlo.



Para entender la afirmación anterior volvamos a la geometría. El cono de silencio se puede equiparar a un triángulo isósceles, con el vértice sobre la radioayuda y la base a la altura del avión. Como bien sabéis, el triángulo isósceles se caracteriza por tener dos lados y dos ángulos iguales. Este triángulo se puede descomponer en dos triángulos rectángulos; uno de sus catetos es el radio del cono (A) y el otro es la altura a la que vuela el avión. Para determinar la hipotenusa se ha establecido que el ángulo entre la altura y la hipotenusa sea de 50° (en los VORs) y 40° (en los NDBs). Si el radio del cono es A, la circunferencia de la base del cono será el doble de A (A X 2).



Ahora apliquemos la siguiente fórmula:

Para VORs:

$$2 \times \tan(50^\circ) \times H = \text{diámetro del cono VOR}$$

Para NDBs:

$$2 \times \tan(40^\circ) \times H = \text{diámetro del cono NDB}$$

En donde tan es tangente y H altura

Obtenemos los resultados en pies, para transformarlos en millas náuticas usaremos un factor de conversión (FC = 0.000164578833693 millas náuticas).

### Controlando el avión

La regla primera es que **EN TODO MOMENTO** el piloto tiene la obligación de controlar que el avión vuela de un modo seguro y confiable.

La segunda regla es aprender a dividir nuestra atención para procesar toda la información instrumento por instrumento. A este proceso se le llama "SCAN". Disponemos de varias opciones, pero las dos más conocidas, provenientes de la aviación general americana, son las llamadas "Primary and Support" y "Control and Performance". Intentaré dar unas pinceladas para que todo el mundo lo entienda.

#### ***Control and Performance***

Vamos a aplicar un input (según el diccionario de la RAE: dato o información; algún otro significado tiene, lo menciono por los “puristas”, pero que irrelevante para nuestros propósitos) en la posición del morro del avión y otro input en el empuje. De esa manera obtenemos la performance del avión (la performance corresponde a la capacidad de lograr el resultado deseado con eficacia; real-



mente quiere decir actuación del avión).

Básicamente, lo que queremos hacer es aplicar unos datos conocidos (actitud morro y/o RPM de motor) para que el avión tenga una actuación concreta. Cuando se está acostumbrado a un avión concreto, esta complicidad entre piloto y avión pronto se establece: yo uso mis inputs y solo tengo que esperar la performance. Aunque parezca algo complicadillo no lo es tanto. Por ejemplo, en la Pilatus, para vuelo de crucero, ajustar las RPM entre 90% y 93% y ajustar la actitud de morro entre 0 y 2º up; esto es suficiente para volar en crucero entre 200 y 210 nudos.

Regla básica: **Conocer el avión**. Deberás tener en la cabeza, para los olvidadizos apuntárselo, cuales son los inputs de morro y potencia para ascenso, crucero, virajes, descenso y aproximación (al principio se puede hacer una chuletila). Eso nos permite, especialmente en aviones rápidos, ir por delante y, en vez de perseguir los parámetros de actuación, que ellos nos persigan a nosotros. Una vez conocido los inputs necesarios para cada situación, solo serán necesarias pequeñas correcciones. Como ejemplo, olvidemos por un rato los pilotos automáticos y otras casillas de automatización y volemos en manual. Conociendo esos dos datos fundamentales podremos volar con facilidad. Este sistema es el utilizado en los reactores.

### ***Primary and Support***

Consiste en usar unos instrumentos del panel como principales y los demás como soporte. Esta es la técnica más empleada entre los pilotos americanos.

El PFD (Primary Flight Display) es nuestro instrumento principal. Allí introduciremos el input de actitud de morro (obviamente, usando el joystick o yoke o la herramienta que se use) y nos permite controlar de una sola mirada ciertos datos del vuelo (actitud, alabeo, etc.).



Y como instrumentos principales, además del PFD, usaremos el anemómetro, VSI (Vertical Speed Indicator), HSI (Horizontal Situation Indicator), RMI (Radio Magnetic Indicator) e indicador de altitud. En cada avión deberemos ajustarlo al diseño de cada panel. En la Pilatus PC 12 el orden que yo uso es (ver figura de abajo):

PFD ANEMÓMETRO PFD  
PFD ALTÍMETRO PFD  
PFD RMI PFD  
PFD HSI PFD  
PFD VSI PFD

Hay que pensar que, si mantenemos constante la posición del morro el horizonte alineado con las alas del avión, deberíamos estar en un vuelo recto y nivelado. Cualquier cambio en el PFD debería ser indicado en instrumento correspondiente.

### ***La regla de las 6 T***

La verdad es que esto de pilotar el avión se empieza a complicar. Conocer los inputs, la performance, instrumentos primarios y soporte y, ahora, navegar (seguir radiales, aerovías), cronometrar en los casos necesarios, ajustar el HSI, seleccionar frecuencia de radioayuda (VOR y/o NDB), configurar el avión para cada situación, hablar por la radio en vuelo online con controlador y un larguísimo etc. Es muy estresante, especialmente al principio, y enseguida te das cuenta que estas incumpliendo una regla básica de aviación: ir siempre por delante del avión.

Para solucionarlo deberemos aplicar dos principios fundamentales:

1. Anticipación: hay que acostumbrarse a pensar en lo que tenemos que hacer antes de que tengamos que hacerlo. Cuanto más rápido es el avión más antelación.  
Aunque parezca broma, tener siempre en la cabeza el pensamiento: si estoy volando y no estoy pensando en lo siguiente que tengo que hacer... estoy olvidando algo.
2. Aplicar la regla de la T: Se trata de una técnica nemotécnica, por supuesto ideada por los americanos, para organizarnos en el vuelo, sigamos un orden lógico y no tengamos que pensar (repetamos como "monos" las 6 palabras hasta memorizarlas):

## TURN, TIME, TWIST, THROTTLE, TIRES, TALK

Diremos las 6 palabras cada vez que ejecutemos cualquier maniobra (viraje, ascenso, descenso, interceptemos un radial, seguir un ILS, etc.). Aunque en casa piensen que estamos locos, hay que decirlo de manera autónoma, sin pensar (no quiero decir que siempre lo digáis en voz alta, faltaría más, pero si decirlo mentalmente).

Estas palabras ¿Qué significan?

**TURN:** Virar. En el caso que la maniobra lleve implicada un viraje, lo primero iniciar el viraje, luego haremos lo demás. Obviamente se deberán ajustar los inputs de viraje y hacemos las referencias cruzadas en el panel principal.

**TIME:** Significa tiempo. Hay maniobras que precisan ser cronometradas. Ese cronometraje empieza justo después del viraje. Para cronometrar puedes usar el reloj que lleva el avión, tu reloj de pulsera o ese gran reloj de cocina que lleva un hermoso segundero.

**TWIST:** Esta palabra se refiere a mover el selector del HSI y/o cambiar frecuencias de radio.

**THROTTLE:** Ahora es el momento de corregir las Rpm.

**TIRES:** La traducción literal es ruedas. Se refiere a, si es necesario, bajar el tren de aterrizaje en algún punto concreto y, siempre, antes de la toma. En los aviones de "pago" (expresión fea, pero útil para diferenciarlos de aviones freeware) existe una alarma sonora que, en una configuración dada, salta si no se ha bajado el tren. El ejemplo que más se aproxima a ello es la alarma que se instala en muchos coches para los ocupantes de los asientos delanteros: Si no te pones el cinturón, durante todo el viaje te acompaña un ruido desesperante (acabas poniéndote el cinturón).

**TALK:** Hablar. Se refiere a comunicar por radio (controlador, Unicom) no a hablar con el vecino. Como se puede ver, se trata de la última prioridad.

Veamos un ejemplo práctico:

Estamos para virar a final en una aproximación ILS. El controlador nos ha dicho que comuniquemos establecidos en final. La carta dice que durante el viraje descendas a 2.500 pies. Nosotros empezamos a cantar la "canción del mono"

**TURN:** iniciamos el viraje.

**TIME:** En este caso no hay que cronometrar; así que no hacemos nada.

**TWIST:** Ajustamos en el HSI el curso final en el ILS y en la radio comprobamos que tenemos bien sintonizada (o la sintonizamos en ese momento si no estaba hecho ya).

**THROTTLE:** Cortamos gases para iniciar descenso a 2500 pies.

**TIRES:** Por procedimiento bajar tren y configuramos el avión para la toma (ir sacando FLAPS, armar SPOILER y ajustar autobrakes (si no lo pusimos durante el descenso)).

TALK: Comunicamos al ATC que nos estamos estableciendo en final.

Antonio de Castro

## CAPITULO 4.- PUNTO FIJO (NDB)

### NDB

Cuando hablamos de radioayudas de punto fijo nos estamos refiriéndonos a una **Baliza**



**No Direccional** (en inglés Non-Directional Beacon, de ahí provienen sus siglas NDB). Se trata de un radiotransmisor localizado en un lugar conocido, usado como una ayuda para la navegación aérea o marítima a modo de radiofaro. Se trata de una instalación de suelo que consiste en un transmisor de LF (frecuencias bajas de 30 a 300 KHz) y MF (Frecuencias medias de 300 a 3000 KHz) que transmite señales de radio polarizadas verticalmente de forma continua y en todas las direcciones.

Este sistema de navegación de radio se utiliza principalmente para vuelos con reglas de vuelo instrumental (IFR). Sin embargo, durante los vuelos VFR que puede ser muy útil para comprobar la posición de la aeronave.

Voy a contaros una anécdota. Un compañero de Alandalus es piloto privado y, haciendo un vuelo por la comunidad de Madrid y Castilla la Mancha se desorientó solo veía árboles y colinas, ningún sitio apropiado para aterrizar. Tuvo la suerte que el avión estaba equipado con un ADF (lo estudiaremos enseguida). Sintonizó una emisora (que resulto ser Radio Cuenca) y así se orientó. Voló a Cuenca capital y desde allí siguió la carretera hasta Madrid aterrizando felizmente en Cuatro Vientos.

Este sistema es un conjunto bastante antiguo de radioayudas que está siendo sustituida lentamente con los sistemas más modernos y precisos, tales como VOR o incluso sistemas GPS.

Tal como su nombre indica; la señal transmitida no incluye información direccional inherente.

### Tipos de NDB

Hay dos tipos de NDB, con respecto a la finalidad para la que se han instalado:

1. **Localizador NDB (L):** Estos son los NDB de baja potencia, situados cerca de un aeródromo. Son útiles para el diseño simples procedimientos de aproximación instrumentales para este aeropuerto, o como faro de referencia de llegada o salida. Pueden ser también empleados con marcadores del sistema ILS, que generalmente proporcionan la distancia a la toma de contacto cuando no hay DME está asociado con el ILS. El rango de este tipo de NDB varía entre 10 y 25 NM.
2. **NDB en ruta:** Estos NDB de mayor potencia que proporcionan un mayor rango de señal. Se puedan usar de dos tipos (en función del uso que se propone)
  - **De energía baja:** se utiliza para procedimientos IFR no tan cerca de un aeropuerto, como un centro de detención o en ruta estación, proporcionando un alcance de hasta 50 NM.
  - **De alta potencia:** se utiliza sólo para la navegación en ruta con rangos de más de 50 NM.

Los NDB, además, pueden transmitir otra información para la información de las aeronaves como:

- ✚ ATIS: Servicio automático de información terminal.
- ✚ AWIS: Servicio de Información Meteorológica Automática.
- ✚ AWOS: Sistema automatizado de observación meteorológica.
- ✚ ASOS: Sistema Automatizado de Observación de superficie.
- ✚ VOLMET: Información meteorológica para aeronaves en vuelo.

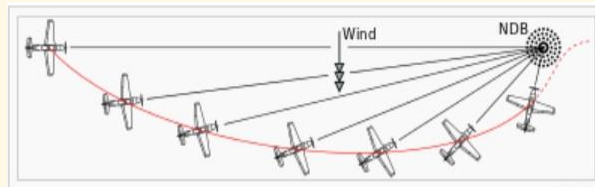


- ✚ TWEB: Difusión Meteorológica transcrita (de la expresión inglesa Transcribed Weather Broadcast).

## ADF

Para poder recibir las señales de los NDBs en el avión se precisa de un equipo específico a bordo denominado radiogoniómetro automático (ADF por sus siglas en inglés Automatic Direction Finder). Cuando se selecciona una frecuencia de un NDB concreto, el ADF determina el rumbo relativo (BR) desde el avión a la baliza del suelo.

El rumbo relativo (BR) es el número de grados medidos en sentido horario entre la trayectoria de la aeronave y la dirección de donde se toma el rumbo. La dirección relativa debe ser corregido con la variación de posiciones de las aeronaves, la influencia del viento y la partida para obtener el rumbo magnético (MB -magnetic bearing-, la variación es la diferencia entre el norte verdadero y el norte magnético).



## EQUIPO ADF

El equipo ADF tiene sus propios controles:

1. Instrumento indicador (imagen 1): el instrumento, donde la información se presenta a los pilotos. Como se puede ver los datos se presentan dentro de una rosa de los vientos. Se ve (flecha amarilla) la situación del NDB respecto a la aeronave. Normalmente no tienen ningún tipo de sistema de aviso de fallo; como una bandera; por lo que, al navegar con este instrumento, para estar seguros que estamos recibiendo la señal autentica, deberemos escuchar el código morse asociado a esta señal. En el instrumento indicador se puede visualizar la antena NDB como el punto desde el cual parten 360 líneas de dirección, a las que se les llama "marcaciones"
2. La dirección al NDB con respecto a la aeronave, también puede ser mostrada en un indicador de dirección relativa (RBI, por sus siglas en idioma inglés).
3. Receptor (en la imagen el número 2): la unidad de control, que normalmente se encuentra junto a los paneles de radio. Allí está el



- ✚ Selector de frecuencia: permite seleccionar la frecuencia NDB. Puede ser digital o analógico, dependiendo del equipo. Las frecuencias se sintonizan girando una perilla (puede ser necesario, en algunos aviones, girar el anillo interior y/o el exterior) hasta que se obtiene la frecuencia deseada. Dependiendo del equipo, en el selector de frecuencia se pueden tener sintonizadas dos frecuencias (activa y en espera). En este tipo de unidades de control, la frecuencia se selecciona por primera vez en la pantalla de frecuencia EN ESPERA y luego se pasa a la frecuencia activa mediante el interruptor de transferencia (XFR) situado normalmente entre las pantallas.

- 4. BFO (oscilador de frecuencia): tiene que estar activada la función de identificación auditiva.
- 5. 2 antenas:
  - ✚ Sentido aéreo: es la antena no direccional que recibe señales desde todas las direcciones.
  - ✚ antena de cuadro: es la antena giratoria que permite recibir señales de sólo dos direcciones.



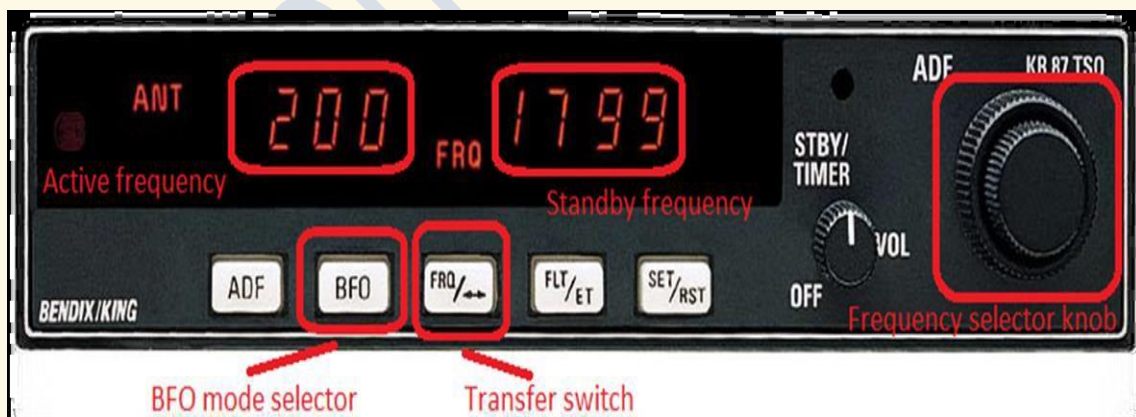
La precisión del equipo NDB-ADF es  $\pm 5^\circ$ .

De una manera muy visual podemos ver como ubicar el avión respecto a la radioayuda. El NDB está en el medio de la imagen. El avión ocupa cuatro posiciones (puntos cardinales; aunque podría ocupar 360, por razones obvias nos restringimos a estas cuatro).



Esta imagen está tomada de la web de la web de foros de escuadrón 69.

Los formatos del receptor de ADF son variados y siempre dependiendo del avión que se utilice. A continuación, se pueden ver algunos formatos.





Las señales de las NDB se transmiten tanto por tierra como por aire (siguen la curvatura terrestre, de modo que pueden ser recibidas a distancias mucho más grandes a menores altitudes; dependiendo de la frecuencia y potencia de emisión, la distancia de recepción puede variar de 30 a 400 nm). Eso supone una gran ventaja sobre el VOR (solo se transmite por el aire y a volando a altitudes bajas, puede no ser detectado). Sin embargo, las señales de las NDB son también más afectadas por las condiciones atmosféricas, terrenos montañosos, refracción costera, tormentas eléctricas, particularmente en grandes distancias, congestión de frecuencias, efecto noche por cambios en la ionosfera (se reduce la señal por la noche) y error de sentido por antena monofilamento

(hilo único, de un solo cable).

El símbolo de los NDB en las cartas puede ser parecido a estos:



Asociado a la figura del NDB se puede encontrar información adicional:

- ✓ Nombre claro completo del NDB.
- ✓ Frecuencia en kHz.
- ✓ 2 o 3 letras de llamada de la NDB.
- ✓ El código Morse de la señal de llamada.



## CAPITULO 5.- DIRECCIONAL-AZIMUTAL (VOR)

Para ayudar a la exposición he dejado fuera el tema de ILS/LLZ (lo trataremos específicamente al hablar de ILS).

### VOR

La navegación direccional o azimutal se basa en el sistema VOR (“Very High Frequency Omnidirectional Range” o Radiofaro Omnidireccional de VHF). Se trata de una radioayuda a la navegación que utilizan las aeronaves para seguir en vuelo una ruta preestablecida. Fue desarrollado en EE.UU. y puesto por primera vez en servicio en 1949.

El VOR determina el ángulo  $\theta$  entre la dirección que une la aeronave con la estación VOR y la dirección del Norte Magnético. Conocido el ángulo de VOR y la distancia a éste (por ej., mediante la radioayuda DME), es posible calcular la distancia lateral (o Cross Track Error, XTE) entre el avión y la aerovía. La radiofrecuencia emitida por un VOR contiene (está modulada) por tres señales: Las otras dos son ondas senoidales de 30 Hz cuyas fases varían entre sí:

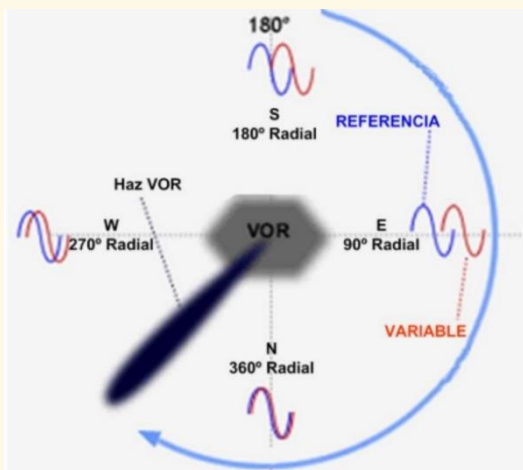
1. La identificación de la estación en código Morse, que permite al piloto identificar la estación.
2. Una señal de referencia omnidireccional de 30 Hz que mantiene siempre su fase constante.
3. Una señal variable con la dirección (o rotatoria) de 30 Hz. La fase de esta señal depende de la dirección en que se encuentre el receptor.

Hay estaciones VOR en muchos aeropuertos y en la ruta aérea que se va a seguir. Además, existen otros puntos en la ruta, que se denominan fijos, que, como veremos más adelante, están definidos por un radial y una distancia de un VOR concreto: Pero, señores, no adelantemos acontecimientos.

La antena VOR de la estación emite una señal de radiofrecuencia VHF en todas direcciones, que es recibida por el equipo VOR de cualquier aeronave que se encuentre dentro del rango de alcance (máx. unos 320 km, aproximadamente unas 200 nm y una altitud de hasta 37 500 pies -11 430 m- sobre la estación) y tenga sintonizada la frecuencia de dicha estación (que puede variar de 108.00 a 117.95 MHz modulada en AM).

**Funcionamiento del VOR:**

¿Cómo funciona esta radioayuda? Hemos hablado que la radiofrecuencia emitida por un VOR está modulada por tres señales. Una es la **identificación** de la estación en código Morse algo que permite al piloto identificar la estación. Las otras dos son ondas senoidales de 30 Hz cuyas fases varían entre sí. Se les llama **señal de referencia y señal variable** respectivamente. La señal de referencia mantiene siempre su fase constante, mientras que la variable cambia su fase según la dirección en la que sea emitida. Dicha dirección se mide como un azimut (recordar las explicaciones previas); es decir, se divide en 360 grados alrededor de la antena VOR contando en sentido horario a partir del norte magnético terrestre, punto en el cual la señal de referencia y la variable tienen fase idéntica. De esta manera se puede visualizar una antena VOR como el punto desde el cual parten 360 líneas de dirección, a las que se les llama **“radiales”**.



Para intentar facilitar la comprensión del funcionamiento de VOR, vamos a ver una analogía con un faro marítimo. Supongamos un faro para la navegación marítima, el cual emite un haz de luz giratorio a una velocidad angular constante " $\omega$ " [rad/s] conocida. Además, cada vez que dicho haz pasa por una dirección de referencia; por ejemplo, el norte magnético, el faro emite un destello en todas las direcciones de forma que tanto el haz como el destello son identificables por separado. Un barco que desea conocer su dirección relativa respecto al faro, no tiene más que medir el tiempo " $t$ " que transcurre entre el destello y el paso del haz por su posición. Así pues, el ángulo (en radianes) que forma la recta que une un barco y faro con la dirección de referencia (esto es, el "radial" en el que se encuentra el barco) es:  $\alpha = \omega \cdot t$

**Generaciones de VOR**

Existen dos generaciones de VOR. La primera generación de VORs fueron los CVOR o VOR convencional. Es la emisora VOR más sencilla. genera la modulación espacial mediante tres antenas: un par de dipolos cruzados (ortogonales entre sí) y una antena de bucle omnidireccional.



El DVOR o VOR Doppler es la segunda generación de VOR, proporcionando una mejora de calidad de la señal y la precisión. En este tipo de VOR, la señal de REFERENCIA se modula en la amplitud, mientras que la señal VARIABLE es modulada en la frecuencia. Esto significa que las modulaciones son opuestas en comparación con los VOR convencionales. La señal de frecuencia modulada está menos sujeta a la interferencia que la señal de amplitud modulada y por lo tanto

las señales recibidas en el avión proporcionan un rumbo más preciso. En el DVOR se sustituye la modulación espacial por el efecto Doppler obtenido desde una antena giratoria (electrónicamente). Este «girado electrónico hará que la frecuencia aumente a medida que la señal se hace girar hacia el observador y se reduzca a medida que se separa del mismo. Esto tiene como consecuencia una FM efectiva de 30 Hz. Un

receptor situado a cierta distancia en el campo de radiación supervisa continuamente el transmisor.

Como dato curioso, el receptor VOR que está montado a bordo del avión no sabe si recibe la señal de un CVOR o un DVOR y el piloto trata a ambos tipos de información de la misma manera. El cambio de FM y AM para las señales REFERENCIA y VARIABLE, en comparación con el CVOR, se compensa por tener ser el patrón de giro de la antena DVOR en sentido contrario al CVOR.

La precisión VOR exigida por la OACI es de  $\pm 2^\circ$  (para CVOR o VOR Convencional); aunque la precisión predecible de un VOR es  $\pm 1,4^\circ$ . Sin embargo, datos de prueba indican que el 99,94% del tiempo con un sistema VOR tiene menos que  $\pm 0,35^\circ$  de error. Los sistemas VOR son internamente monitorizados y comunican cualquier error de la estación que exceda  $1,0^\circ$ . La norma ARINC 711-10 del 30 de enero de 2002 establece que la precisión del receptor debería estar dentro de  $0,4^\circ$  con una probabilidad estadística del 95% bajo varias condiciones. La precisión con el VOR Doppler o DVOR, con menos de  $0,5^\circ$  de error. El DVOR es un sistema compatible con el CVOR ya que usa el mismo receptor;

**Tipos de VOR**

Los VOR se clasifican de acuerdo a su alcance y a su función en:

Tipo VOR	Altura	Distancia (en nm)
Terminal (T)	desde 1,000 pies AGL hasta e incluyendo 12,000 AGL.	25
Baja Altitud (L)	desde 1,000 pies AGL hasta e incluyendo 18,000 AGL pies.	40
Alta Altitud (H)	desde 1,000 pies AGL hasta e incluyendo 14,500 AGL.	40
	desde 14,500 AGL hasta e incluyendo 60,000 AGL.	100
	Desde 18,000 AGL hasta 45,000 AGL.	130

La normativa OACI (Anexo 10) establece una cobertura óptima de VOR para estaciones distanciadas unos 200 km. con potencias de emisión de 200 W para el VOR-N (VOR en ruta) y de 50 W para el VOR-T (VOR Terminal, que sirve de ayuda a la navegación y a la aproximación). El radiofaro VOR-N funciona en la banda de frecuencias de 112 a 118 MHz. La frecuencia asignada a cada estación VOR se llama canal (120 en total). La separación entre canales adyacentes es de por lo menos 50 KHz. VOR-T opera en la banda de 108 a 112 MHz, con 80 canales separados por 50 KHz. A estas frecuencias la propagación es prácticamente en línea recta (de ahí el nombre de "radial" o "línea de visión" la emisora debe "verse" debe el avión), lo que limita el alcance debido a la curvatura de la tierra en función de la altura del avión.

Dentro de este capítulo, quiero señalar (solo señalar) que existen otro tipo de radioayudas: El sistema TACAN ("Tactical Aid to Navigation") es una radioayuda de navegación militar, aunque puede usarse por la navegación civil. Es compatible con el DME, por lo que puede usarse conjuntamente.

El TACAN utiliza la polarización vertical y no es compatible por lo tanto por el VOR, aunque se puede instalar junto a un VOR para formar una estación conjunta VOR/TACAN (VORTAC), en cuya instalación se coloca la antena del TACAN sobre la del VOR. De esta forma conjunta TACAN, DME y VOR, la estación puede usarse por los aviones equipados con TACAN (en general los militares) y los equipados con VOR/DME (civiles y militares).

En esencia el TACAN es un DME modulado en modulación espacial (con diagrama giratorio) para obtener la señal variable espacialmente del VOR, y cuya señal de referencia se emite en forma de impulsos codificados.

Por si alguien lee o escucha la palabra RSBN que sepa que es equivalente ruso al sistema TACAM (se trata de un sistema de radionavegación de corto alcance UHF). Son equivalentes, pero no compatibles. Creo que en el simulador no está implementado; por lo cual, no vamos a seguir con ello.

En el avión se encuentran instalados los receptores de la señal. Normalmente, se encontrarán dos equipos señalados con la sigla "NAV", ellos son los encargados de sintonizar las transmisiones de la estación de tierra. Se presentan como dos equipos independientes (pues suele haber instalados dos equipos VOR); uno primario (NAV 1) y principal y uno secundario (NAV 2).



## OBI

En los aviones, el instrumento que mostrara al piloto los radiales es el OBI, siglas que provienen de Omni Bearing Selector (selector de rumbo omnidireccional). La señal del VOR se recibe en el avión mediante uno o dos equipos receptores y demodula sus tres señales. Para entendernos; demodulación es el término opuesto a modulación. Así, en cualquier telecomunicación electrónica normalmente existirá, al menos, una pareja modulador-demodulador (módem), uno en cada extremo de la comunicación (Estación – Avión). El OBI compara la señal de referencia con la señal variable y determina la diferencia de fase entre las dos. De esta manera puede conocerse en qué radial, del VOR sintonizado, se encuentra la aeronave con respecto al norte magnético terrestre. También se dispone en la mayoría de los aviones de un instrumento llamado HSI o ND.

Otra manera de verlo es que el radial obtenido por el equipo VOR de la aeronave, es el ángulo (acimut) de desplazamiento entre el norte magnético y la aeronave, medido desde la antena de la estación terrestre VOR.

Los VOR suelen ir acompañados de otra radioayuda llamada DME (Distance Measurement Equipment), que ayuda al piloto a conocer la distancia que hay entre la aeronave y la estación VOR-DME (enseguida lo estudiaremos).

## Componentes del OBI

Si estudiamos el OBI, veremos que se compone de varias partes:

1. **El indicador de desviación de rumbo o CDI (Course Deviation Indicator)**, se trata de una aguja que se desvía según la ubicación del radial seleccionado, es decir que si se desvía a izquierda el radial estará a la izquierda como en la figura, si lo hace a derecha el radial estará a la derecha siempre y cuando se esté volando hacia la estación VOR. Si el CDI se encuentra centrado se está volando sobre el radial seleccionado. Justo en el centro del CDI (en el límite entre el semiplano TO y el semiplano FROM) hay unos puntos (normalmente blancos). Puede



haber dos, tres o cuatro. Representan una escala de desviación lateral. El más exterior representa 10°. Si solo hay dos, el siguiente punto será 5°. Es importante señalar esto porque le ofrece, al piloto, información de la desviación lateral fina.

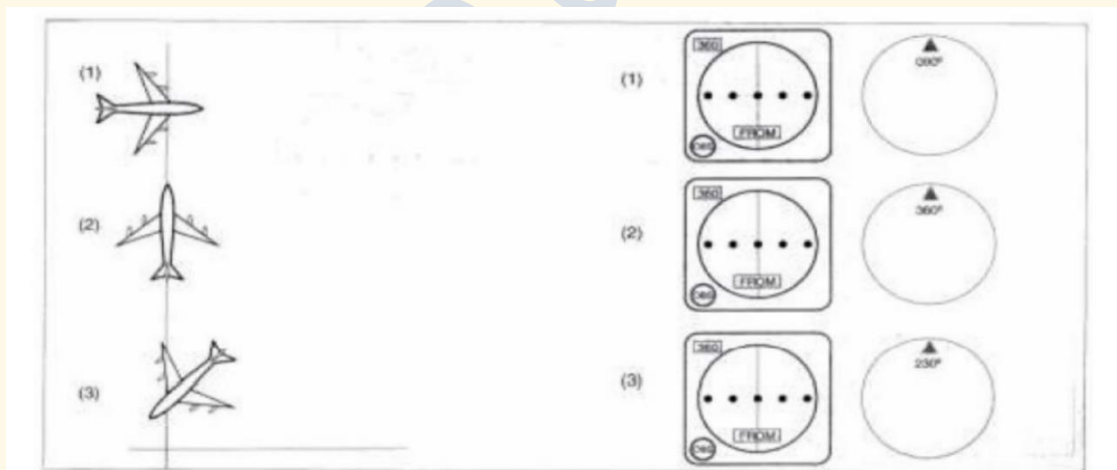
**2. La bandera o indicador TO-FROM (Hacia-Desde).**

Se puede presentar de dos formas, una directamente con carteles de TO (hacia) y FROM (desde) según se vuela hacia el VOR o desde el mismo, o mediante flechas. Si la flecha está apuntando hacia arriba indica que se vuela hacia el VOR mientras que si lo hace hacia abajo se está volando desde la estación.



En ciertos momentos del vuelo, cuando no se recibe señal, hay un fallo en el equipo receptor o en la estación en tierra o cuando se pasa sobre la estación el instrumento no puede distinguir si se vuela hacia o desde la estación en ese caso la indicación es nula (OFF) representándose con una banda blanca con rayas rojas en el indicador TO-FROM.

La bandera TO-FROM me dice en donde se encuentra la estación respecto al avión, pero no me dice en qué dirección está mirando el morro de mi avión. El rumbo del avión no influye en la indicación del instrumento. Los aviones (1), (2) y (3) de la figura de abajo todos tendrán la misma indicación VOR.



Esto es importante a la hora de leer el CDI: si estoy mirando hacia el VOR y el CDI se encuentra a la izquierda de la vertical debo girar a la izquierda para situarme sobre el



radial indicado en el OBS, momento en el cual el CDI se encuentra vertical, y a la derecha si el CDI está a la derecha. Sin embargo, si tengo al VOR de espaldas (es decir, estoy haciendo un alejamiento) habré de girar a la derecha en el primer caso y a la izquierda en el segundo. Es conveniente, pues, averiguar, con la ayuda de la





brújula o del HSI - por Horizontal Situation Indicator- este particular.

¿Qué es el HSI? El indicador de situación horizontal (comúnmente llamado el HSI o ND) es un instrumento de navegación está, normalmente, montado debajo o al lado del horizonte artificial en lugar de un indicador de rumbo convencional. Combina un indicador de rumbo con una pantalla VOR/ILS. Esto reduce la carga de trabajo del piloto, al reducir el número de elementos en el instrumento del piloto para escanear los seis instrumentos básicos de vuelo. Entre otras ventajas, el HSI evita la confusión de volar en sentido inverso en un sistema localizador de aterrizaje por instrumentos. Su apariencia va a depender del tipo de avión donde vaya montado.

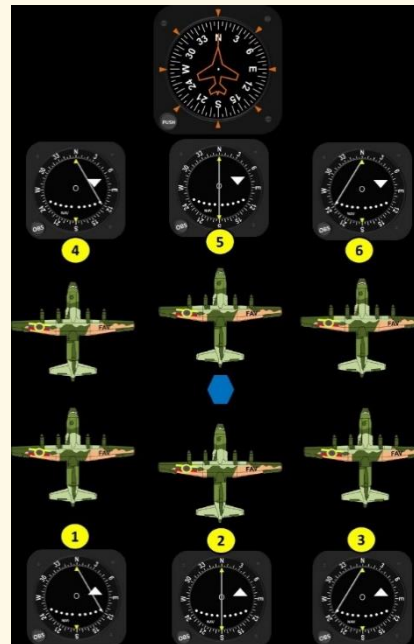
3. **Dos indicadores de rumbo** señalan, el superior el rumbo seleccionado y el inferior el rumbo inverso (también llamado recíproco).

4. **Mando OBS** Consta de una rosa de rumbos donde se selecciona el curso o radial deseado desde o hacia una estación VOR por medio de la perilla selectora del OBS, la rosa sólo se mueve cuando usted la mueve. Así que debe girar el botón OBS para seleccionar un radial VOR, que puede ver encima de la flecha indicadora de curso. Puede elegir entre 360 opciones. Normalmente, las aeronaves equipadas con sistema receptor VOR en OBS, están acompañadas de un giróscopo direccional para determinar el rumbo del avión.

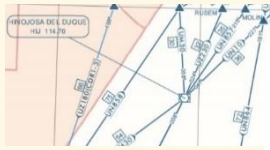


Veamos un ejemplo en la figura adyacente. La ruta o curso seleccionado es 360, Con rumbo 360°, proyecta un semiplano de cuatro cuadrantes, los dos cuadrantes superiores corresponden a TO y los cuadrantes inferiores corresponden a FROM. Tenemos 6 posibilidades:

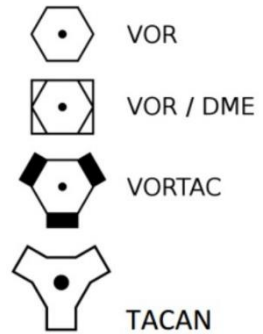
1. La ruta se encuentra del lado derecho y hacia la estación (TO).
2. Centrado en la ruta seleccionada y hacia la estación (TO).
3. La ruta seleccionada, se encuentra del lado izquierdo y hacia la estación (TO),
4. La ruta seleccionada, se encuentra del lado derecho y desde la estación (FROM).
5. Centrado en la ruta seleccionada y desde la estación (FROM).
6. La ruta seleccionada, se encuentra del lado izquierdo y desde la estación. (FROM).



¿Cómo se ve representados estas radioayudas en las cartas?



VORTAC/VORDME  
VOR (VHF Omnidirectional Range)  
TACAN (Tactical Air Navigation) o  
DME (Distance Measuring Equipment)

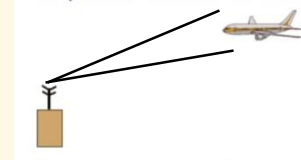


Curiosamente,  
pueden coexistir juntos un NDB y un VOR

## CAPITULO 6.- DME

### DME

El DME (“Distance Measurement Equipment”) es un sistema de radar con respuesta activa (secundario), usado para medir la distancia entre el interrogador y un respondedor (transponder). Como uso secundario, el receptor DME también da una indicación de velocidad respecto al suelo (a partir de la tasa de cambio de la distancia medida) y de tiempo de vuelo hasta la estación transpondedor (a partir de la distancia oblicua y la velocidad del avión). El interrogador es el equipo embarcado en el avión y el respondedor es la ayuda a la navegación en tierra. El alcance de un transpondedor DME típico coincide con la cobertura de un VOR, ~200 nm.

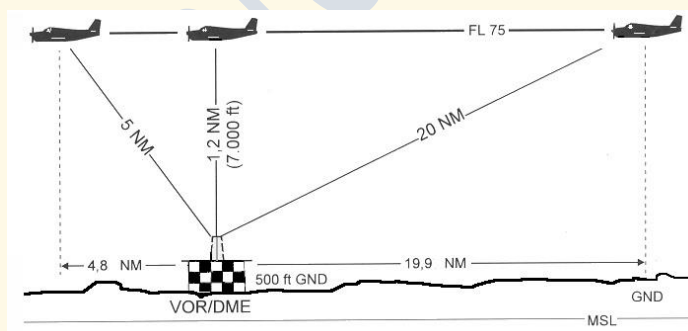


Los DME, aunque mayormente están instalados en la misma caseta que el VOR y comparten una misma instalación de antena (la del DME puesta directamente encima de la del VOR), son equipos completamente independientes del sistema VOR (a excepción de la señal de identificación, que se intercala en la del VOR). Al sintonizar el piloto la frecuencia de algún VOR en particular, automáticamente también se sintonizará la frecuencia de su DME asociado, y ambos compartirán la misma identificación en código Morse.

### Funcionamiento DME

¿Cómo funciona el DME? El avión interroga con una secuencia de pares de pulsos separados 12  $\mu$ s. El equipo de tierra que recibe esta señal la retransmite de nuevo con un retardo de 50  $\mu$ s. El equipo del avión calcula el tiempo transcurrido desde que preguntó, le descuenta 50  $\mu$ s y lo divide entre 2. Este tiempo se multiplica por la velocidad de la luz (300 m/ $\mu$ s), dando la distancia al equipo de tierra.

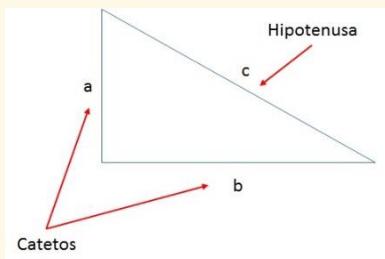
Obviamente, no hay que olvidar que la distancia medida por el DME es la distancia real en línea recta entre el avión y la estación, que variará dependiendo de la altitud a la que nos encontremos. Para hacernos una idea (en la figura de la derecha está muy bien explicado), aunque nos encontremos sobrevolando en DME, no indicará cero, sino que



nos dará una lectura en millas náuticas de la altitud a la que nos encontramos.

Para obtener la distancia real sobre el suelo, que es la que nos interesará a la hora de planificar el vuelo, habrá que aplicar el teorema de Pitágoras. A muchos les sonará, a otros quizá no tanto. Vamos a hacer un pequeño recuerdo: Pitágoras de

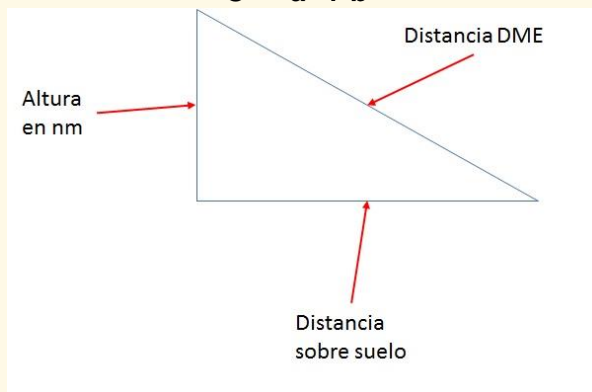
Samos (en fue un filósofo y matemático griego considerado el primer matemático puro. La escuela de Pitágoras fue la primera que enunció una demostración formal (ya usados, sin demostración formal, por matemáticos indios y babilónicos) del famoso teorema en los ELEMENTOS DE EUCLIDES:



Se denomina triángulo rectángulo a cualquier triángulo, uno de cuyos ángulos es recto, es decir, un ángulo de 90 grados. Es una figura geométrica que consta de tres lados; el mayor se llama hipotenusa y los otros dos catetos. En todo triángulo rectángulo se cumple que: **el cuadrado de la hipotenusa es igual a la suma de los cuadrados de los catetos.**

$$C^2 = a^2 + b^2$$

En la figura de la izquierda tenemos la altura del avión (expresada en pies) y la distancia sobre el suelo (expresada en nm). Primero debemos cambiar la medida de la altura de pies a nm. Para ello simplemente deberemos hacer una multiplicación de la altitud en pies por un factor de conversión (FC = 0.000164578833693 millas náuticas). Luego aplicar la fórmula:



$$DME^2 = Distancia^2 + Altura^2$$

Para finalizar (se puede hacer con cualquier calculadora) la raíz cuadrada de  $DME^2$  para conocer la DME. Sin embargo; no nos asustemos antes de tiempo. Ese cálculo lo hace ese aparato que llevamos a bordo.

A cada frecuencia VOR le corresponde un canal DME determinado, por lo que el piloto sólo tiene que seleccionar una frecuencia VOR y el receptor DME, automáticamente seleccionará el canal DME asociado (modo de sintonía remota o RMT, Remote Tuning). El transpondedor DME de tierra se identifica a si mismo con una señal de identificación cada 30 segundos. La señal de identificación sirve para localizar en el mapa a cada estación transpondedora DME. El equipo puede disponer de la posibilidad del cálculo de la ground speed (GS) o del tiempo estimado (ETE) para llegar a la estación habrá que saber que el equipo lo calcula según la velocidad a la que nos acercamos a la estación y que por lo tanto sólo será una medida fiable si nos dirigimos a ella directamente.

### Pantalla DME a bordo

No vamos a olvidarnos de un detalle importante, cada avión presenta estos datos de manera diferente. Veamos unos ejemplos: En la 58 se puede ver el DME situado en el panel de radio. Solo marca las millas que quedan hasta la estación DME y la velocidad sobre el terreno; seleccionando que estación queremos tener activa (NAV1 o NAV2).



Si estudiamos el panel del De Havilland Canada DHC-6 Twin Otter, podemos observar que también se encuentra situado en el panel de radio. Pero, a diferencia del ejemplo anterior, la pantalla KN62A DME, se mostrará la distancia, velocidad respecto al suelo y la hora en referencia a la radio NAV2 sintonizado.

Vemos que la pantalla tiene tres posiciones: RMT, FREQ y GS/T. Con el interruptor de modo en RMT se muestra la distancia, velocidad sobre el suelo y tiempo estimado hasta la estación. Con



el interruptor de modo en FREQ se puede ver la distancia y la frecuencia sintonizada NAV2. El modo de GS / T muestra los mismos datos que RMT (realmente en el simulador esta posición es inoperativa) ya que en la simulación (FSX o P3D) solo hay dos radios NAV disponibles. En el equipo real RMT significa sintonizar la estación VOR solicitada con la radio NAV. G / T significa sintonizar la estación VOR solicitada con la incorporada en el receptor de la NAV KN62A (pequeña disquisición

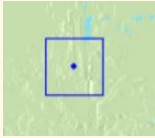
que no nos lleva a ningún lado; solo saber que el receptor DME en este avión tiene dos posiciones). Otra peculiaridad es donde sintonizar NAV1 y NAV2. En la imagen de la izquierda se puede ver al completo el panel de radio de la DHC 6. Se puede ver que está compuesto de dos elementos claramente diferenciados. Arriba, GARMIN GNS530 GPS en donde se puede sintonizar tanto COM1 como NAV1 la distancia al VOR y radial que estamos volando. Abajo un sintonizador de radio para COM2 y NAV2 y dos BENDIX KING (uno para ADF y el otro para DME de NAV2)

Para no eternizar el tema, deberéis mirar los manuales de vuestros aviones para ver dónde están las diferentes radios y como se utilizan (aquí he puesto dos ejemplos, Uno, un avión por defecto de P3D y el otro un "avión de pago" - DHC TWIN OTTER de AE-ROSOFT).

Aclaremos que la velocidad indicada por este instrumento es respecto a tierra (GS) pues este sistema no se ve influenciado por el viento, a diferencia de lo que ocurre con el anemómetro. Si bien el instrumento es confiable y facilita el trabajo evitando tener que tomar tiempos y realizar cálculos, hay que tener en consideración ciertos factores de error del instrumento. Principalmente los valores de velocidad y tiempo son confiables en la medida que se esté volando sobre un radial emitido por la estación VOR. En lo que respecta a la distancia, hay que considerar que el instrumento mide la distancia en línea recta entre el morro del avión y la estación de tierra por lo que se ve afectada por el nivel de vuelo o altitud. Este es el motivo por el cual cerca de la estación el error es importante, mientras que lejos de la estación o volando a baja altitud el error disminuye. El error se hace despreciable si se está a más de 1 nm por cada 1000 ft de altura sobre la elevación de la estación VOR/DME.

¿Cómo se ve representados esta radioayuda en las cartas? Ya lo hemos visto más arriba, pero...

Si estamos hablando de un VOR con DME (VOR/DME) el símbolo es el que



Si solo se dispone de DME la imagen será la que podemos ver en la imagen de la izquierda, normalmente con la información de la estación (derecha).



```
HURLBURT (MARY ESTHER) (HRT)
Type: DME
Class: Terminal
Frequency: 118.80 MHz
Morse: . . . . . - - -
```

Antonio de Castro

## CAPITULO 7.- INDICADOR ELECTRONICO DE SITUACION HORIZONTAL (EHSI)

A medida que volamos aviones más complejos dispondremos de instrumentos más sofisticados (realmente son paneles en donde se incorporan varios instrumentos para reducir el trabajo del piloto).




Uno de los más utilizados es el HSI (INDICADOR DE SITUACION HORIZONTAL) o el EHSI (INDICADOR ELECTRONICO DE SITUACIÓN HORIZONTAL). Se trata de un giróscopo direccional que incorpora varias funciones:

- OBI.
- DME.
- ADF.

Lo primero que puede apreciarse es el giróscopo direccional, en el que la marcación en color violeta es el rumbo seleccionado y la indicación en el recuadro superior es el rumbo magnético.



Las diferentes funciones del mismo se ven en la imagen inferior

Una función incorporada es la de un ADF, en donde el NDB es señalado por una flecha indicadora de color celeste.

Al sintonizar una emisora VOR, el instrumento mostrará una imagen similar a la que se arriba, es decir que se sumara la función del OBI. Lo primero que puede observarse es la aparición de una barra móvil correspondiente al CDI, la que se centrara o desplazará lateralmente de acuerdo con la posición del radial seleccionado en el OBS. La bandera o indicador TO-FROM aquí, es un triángulo o punta de flecha que señala si se vuela hacia la estación o desde ella. Además estará presente la información del VOR seleccionado en el ejemplo San Fernando (FDO), pudiendo en algunos casos mostrar también la frecuencia de sintonización. En el ángulo inferior izquierdo tras la abreviatura CRS aparece el radial seleccionado en el OBS. Si el VOR cuenta con DME, la información del mismo, es decir la distancia a la estación, tras la sigla DME en el ángulo superior izquierdo, y la velocidad en el derecho,

Creo que a estas alturas no hacen falta más explicaciones sobre este tema

## CAPITULO 8.- RADIO MAGNETIC INDICATOR (RMI)

He dejado para el final la explicación del RMI, antes de meternos de lleno en la segunda parte del trabajo (interceptación de radiales).

### RMI

¿Qué es el indicador radio-magnético (RMI)? La respuesta es simple: es una combinación de un giróscopo direccional combinado con dos agujas, una de ellas de un ADF y la otra de un VOR, la rosa rotativa del RMI, normalmente está esclavizada al giro direccional del avión, por lo que el rumbo del avión puede ser leído directamente en el índice superior del instrumento. De este modo, las agujas muestran el rumbo magnético a la estación en tierra continuamente. El indicador de radio magnético (RMI) es una solución a las deficiencias del ADF. El RMI combina tres componentes: una brújula de inducción magnética (es un dispositivo electromagnético simple que emplea dos o más pequeñas bobinas de alambre alrededor de un núcleo de material magnético altamente permeable, para detectar directamente la dirección de la componente horizontal del campo magnético de la tierra.



Las ventajas de este mecanismo a través de una brújula magnética son que la lectura es en forma electrónica y puede ser digitalizada y transmitida con facilidad, está representada de forma remota, y usada por un piloto automático electrónico para la corrección del rumbo), un indicador de rumbo, y un indicador de dirección relativa.

### Componentes del RMI

Los componentes de un RMI típico son:

1. Índice Superior.
2. Giro Compas.
3. Flecha indicadora del ADF.
4. Flecha indicadora de VOR.
5. Banderola de advertencia del giro compas.

En algunos instrumentos, las agujas pueden conectarse indistintamente al VOR o ADF. Normalmente una de las agujas es fina, y conectada al ADF y la otra gruesa o doble, conectada al VOR; salvo aquellos casos en los que se puede conectar ambas agujas a VORs o NDBs.

Las agujas tienen dos partes:

Cabeza: Es la punta de la flecha. Señala el rumbo.

Cola: Es el extremo opuesto de la aguja. Señala el radial/marcación.



### El código Q.

El código Q se usa en radiotelefonía para dar a conocer datos sobre radionavegación.



1. QDM: Es la ruta magnética que debe seguir el avión para llegar a la estación. Es la marcación magnética de la estación desde el avión. También llamado MB (Magnetic Bearing).
2. QDR: Es la marcación magnética del avión desde la estación. Es la línea de situación magnética o RADIAL (MARCACION en caso de NDB), del avión con respecto a la estación.
3. QTE: Es la marcación geográfica del avión desde la estación. Es la Línea de situación geográfica del avión con respecto a la estación.
4. QUJ: Es la ruta geográfica o verdadera, que debe seguir el avión para llegar a la estación.

La cabeza de la aguja nos dará rumbo a la estación (QDM), y la cola de la aguja la marcación o radial con respecto a la estación (QDR). Su función es indicarme hacia donde se encuentra la estación o donde la señal de la radio ayuda es de mayor intensidad.

No quiero dejar pasar la ocasión para resaltar que, en todos los dispositivos receptores de señal de las radioayuda (ADF, OBI, HSI, RMI) que presentan los datos recibidos en forma de flechas, la terminología y uso es la misma (cabeza – rumbo y cola – radial /marcación)



En este ejemplo, el rumbo magnético del avión es 210°. La punta de la flecha amarilla indica el curso a seguir para volar hacia la estación NDB, (QDM 210°). La marcación magnética con referencia a la estación NDB es indicada en la cola de la flecha amarilla (QDR 030°). La punta de la flecha verde, indica el curso a seguir para volar hacia la estación VOR, (QDM 155°). El radial con referencia al VOR es indicada en la cola de la flecha verde (QDR 345°).

Recordar que QDM se refiere a rumbo magnético y QDR se refiere a radial.

Algunos RMIs tienen dos agujas como el que se muestra en esta página. Cada aguja señala a una radioayuda (VOR y NDB). Es el caso; entre otros, de la Barón58. En otros aviones solo se dispone de una aguja y habrá que seleccionar la radioayuda deseada. Por último, nos podemos encontrar con RMI con dos agujas y cada una se puede usar para determinar VOR o NDB como es el caso de la Pilatus PC12 de Carenado. El RMI se puede utilizar para la navegación VOR, así como la navegación ADF. La mayoría de las IGR de una sola aguja tienen un interruptor que permite al piloto para seleccionar un ADF o estación VOR a la que la aguja puede apuntar.

Como iba diciendo, en cada avión varia la presentación del RMI, pero en todos ellos, su uso es similar.

Veamos unos ejemplos:



Airbus 320



Boeing 767



Boeing 737



Cessna citation



Baron 58



Pilatus PC 12

## CAPITULO 9.- ACUERDO DE USO DE TÉRMINOS

Vamos a tratar de un modo más específico el tema que nos ocupa; esto es la interceptación y seguimiento de radiales/marcaciones.

En primer lugar, ¿interceptación o intercepción? ¿Cuál es la palabra correcta? Pues la verdad es que son sinónimos (diccionarios de sinónimos de la lengua española). Visto lo visto, usaremos ambas palabras indistintamente durante toda la exposición.

He visto en muchos manuales que cuando se habla de acercamiento a un VOR se habla de arribada en unos manuales, en otros, de acercamiento. ¿Es correcto? Vayamos de nuevo al diccionario de la RAE y consultemos su significado en español. Tenemos tres entradas de “arribada” (no hay que olvidar que en otros idiomas; por ejemplo, en el catalán, arribada significa llegada en nuestro idioma):

1. f. Mar. Acción de arribar (llegar la nave a un puerto).
2. f. Mar. Acción de fondear la nave en un puerto por un peligro, una necesidad, etc.
3. f. Mar. Bordada que da un buque, dejándose ir con el viento.

¿Qué pasa con la palabra “acercamiento”? Volvamos al diccionario de la RAE y solamente encontramos una acepción:

1. m. Acción y efecto de acercar.

Obviamente, a partir de ahora, emplearemos el termino de **acercamiento** cuando volemos hacia un VOR o NDB y **alejamiento** cuando nos alejemos de la estación.

Otros términos que pueden generar confusión entre los lectores, por la discrepancia de términos, son los referidos a la ruta a seguir para acercarse o alejarse de la radioayuda.

Para facilitar la comprensión de estos términos vamos a definirlos:

Ruta directa (posible o no pasado en otros manuales sobre el tema): La diferencia entre la ruta actual y la ruta deseada no supera los 90°.

Ruta pasada (aquí hay consenso general): La diferencia entre la ruta actual y la ruta deseada supera los 90°.

### En este manual

**ACERCAMIENTO**

**ALEJAMIENTO**

**RUTA DIRECTA**

**RUTA PASADA**

### En otros manuales

**ARRIBADA**

**ALEJAMIENTO**

**RUTA POSIBLE**

**RUTA PASADA**

## CAPITULO 10.- INFLUENCIA DEL VIENTO EN LA NAVEGACION AEREA:

Antes de entrar de lleno en este capítulo hay que dar un primer paso y determinar el significado del término atmósfera. Etimológicamente proviene del griego: "Atmos", que puede traducirse como "vapor" y "Sphaira", que es sinónimo de "esfera".

El término de atmosfera en nuestro idioma se utiliza para nombrar al manto gaseoso que se encuentra rodeando un planeta u otro tipo de objeto astronómico.

El uso más habitual del concepto está vinculado a la **atmósfera terrestre**, es decir, a la capa de gases que está alrededor de la Tierra. Los gases que forman una atmósfera son atraídos por el cuerpo celeste por causa de la ley de gravedad. En el caso de la atmósfera de la Tierra, mide más de un centenar de kilómetros. La mayor parte de su masa, de todas formas, se encuentra en los diez kilómetros más cercanos a la superficie del planeta. Entre los gases que forman la atmósfera, se encuentran el oxígeno, el nitrógeno, el metano, el helio y el dióxido de carbono. Ahora, para facilitar la comprensión del resto del texto, llamaremos a la atmosfera **AIRE**.

Como acabamos de decir; el aire está formado por moléculas en estado gaseoso con diferentes proporciones (ya sabéis que el aire es una combinación de gases en proporciones ligeramente variables, compuesto por nitrógeno (78 %), oxígeno (21 %), y otras sustancias (1 %), como ozono, dióxido de carbono, hidrógeno y gases nobles (como kriptón y argón)).

En un avión hay un componente que nos va afectar de manera importante: **EI VIENTO**. Es uno de los agentes meteorológicos que más han influido en la aviación desde sus inicios; este fenómeno meteorológico es y seguirá siendo uno de los principales datos que debemos de verificar antes de iniciar un vuelo y tenerlo en cuenta durante todo el desarrollo del mismo. Aunque parezca una perogrullada.

### ¿Qué es el viento?

El viento es el movimiento horizontal y vertical del aire como consecuencia de los cambios de temperatura que se producen en las moléculas que componen el aire debido al calentamiento y/o enfriamiento de la superficie de la tierra como resultado de la radiación de los rayos del sol en las diferentes zonas que componen nuestro planeta. En este tutorial solo nos interés los desplazamientos horizontales del aire; dejaremos para otro momento los desplazamientos verticales.

Como bien podéis suponer, este enfriamiento/calentamiento no es uniforme, va a depender del tipo de superficie en donde inciden estas radiaciones y de la capacidad que tenga la superficie en cuestión de calentarse más o menos que otras (como ejemplo, la arena es más receptiva, los bosques menos y la superficie del mar mucho menos). Estos cambios térmicos hacen que al calentarse las moléculas de aire se expandan y por lo tanto aumenten su presión, como ocurre en todo fluido, las partículas que tienen mayor presión siempre trataran de moverse hacia aquella zona de menor presión (esto es; la zona más fría, provocando un movimiento horizontal, que en el caso que nos ocupa le llamamos viento.

Si bien es cierto, (aunque no es el momento de tratarlo en profundidad) el desplazamiento horizontal de la masa de aire no es el único movimiento que estas partículas

experimentan, ya que también presenta un movimiento vertical o convectivo y otro que es inestable al cual llamamos turbulento.

## Concepto de TURBULENCIA y TURBONADA

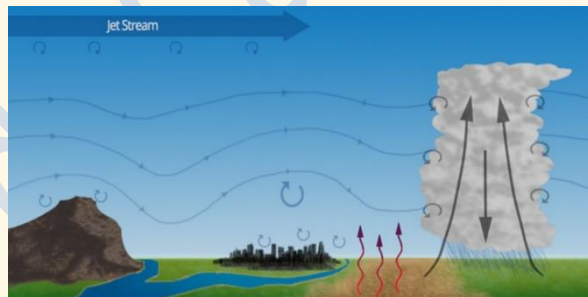
Cuando miramos el cielo nos puede dar la impresión que el aire está quieto. Sin embargo, aunque no seamos conscientes de ello, el aire está en continuo movimiento. Unas veces será con un flujo laminar. Se llama flujo laminar o corriente laminar, al movimiento de un fluido cuando éste es ordenado, estratificado, suave. En un flujo laminar el fluido se mueve en láminas paralelas sin entremezclarse y cada partícula de fluido sigue una trayectoria suave, llamada línea de corriente.

### *Turbulencias*

En algunas zonas se producen perturbaciones de ese flujo laminar y el flujo se da de forma caótica y las partículas se mueven desordenadamente con trayectorias que generan pequeños remolinos periódicos. Este tipo de flujo de aire se llama **TURBULENCIA**.

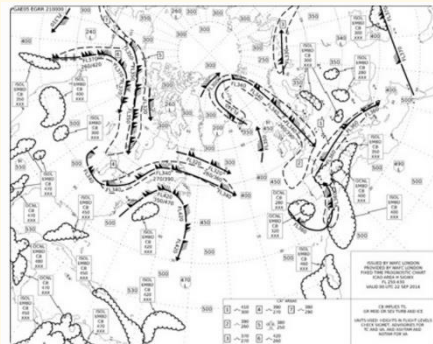
Estas turbulencias se producen por diferentes causas:

- **Turbulencia mecánica:** Debido al rozamiento del aire con el suelo o con obstáculos sobre el mismo.
- **Turbulencia térmica:** Son consecuencia de corrientes de aire ascendentes (aire caliente) y descendentes (aire frío). Si las condiciones son propicias pueden dar lugar a nubes de desarrollo vertical y tormentas.
- **Ondas de montaña:** Es el caso de una masa de aire es obligada a ascender (por ejemplo, una montaña) al descender puede ocasionar ondas que se extiendan durante muchos kilómetros.
- **Turbulencia en aire claro:** Es un fenómeno que se produce a gran altitud, generalmente sin nubes. Se suele producir en los límites de dos masas de aire que se desplazan a velocidades muy diferentes, como en los bordes de las corrientes en chorro (jet streams)



Al mismo tiempo, estas turbulencias se perciben de modo diferente:

- **Turbulencia ligera:** Se siente una ligera presión del abdomen contra los cinturones. El servicio a bordo se puede llevar a cabo con normalidad y apenas hay dificultad para moverse por el pasillo.
- **Turbulencia moderada:** Mayor presión contra los cinturones. Servicio a bordo y andar por el pasillo es complicado.
- **Turbulencia severa:** Si no se está atado, se corre el riesgo de salir despedido del asiento. Servicio a bordo y andar por los pasillos se vuelve imposible.



La turbulencia más probable es la ligera y la más improbable es la severa.

## TURBONADA

El concepto de **TURBONADA** se refiere a un aumento repentino y fuerte de la velocidad del viento que suele ser asociada a tempestades, tales como lluvias, tronadas o nevascas. Las turbonadas se refieren a un aumento sostenido del viento durante un intervalo breve de tiempo, dado que puede haber rachas mayores durante el transcurso de una turbonada. Este fenómeno suele ocurrir en regiones con fuertes caídas de alturas de medio nivel, o enfriamientos troposféricos de nivel medio, que fuerzan fuertes movimientos ascendentes en el límite de la región de enfriamiento, que luego inducen movimientos descendentes locales a su paso.

Por definición, para hablar de Turbonada es necesario que se cumplan tres requisitos:

1. El incremento de la velocidad del viento debe ser de al menos 8 m/s (16 nudos).
2. Debe alcanzar una velocidad mínima de 11 m/s (22 nudos).
3. Debe durar, como mínimo, un minuto.

Datos a tener en cuenta con una turbonada:

- ✚ **Formación:** La mayor fuerza conductora tras la creación turbonada lineal se atribuye al proceso de relleno de múltiples tormentas y/o una única área de tormentas expandiéndose hacia fuera dentro del espacio que lidera un frente frío.
- ✚ **Corrientes ascendentes:** El área que lidera una turbonada lineal está compuesta principalmente por múltiples corrientes ascendentes, o una única región con corrientes ascendentes, subiendo desde el suelo hasta las partes más altas de la troposfera, condensando agua y oscureciendo la estructura, pasando de nubes ominosas a un tipo con rebasamiento en la cima y forma de yunque. Debido a la naturaleza caótica de las corrientes ascendentes y descendentes, las perturbaciones de presión son importantes.
- ✚ **Perturbaciones de presión:** Las perturbaciones de presión dentro de la extensión de una tormenta son notorias. Con corrientes descendentes trayendo aire frío de niveles medios, chocando con el suelo y propagándose en todas direcciones, las altas presiones pueden encontrarse de forma salvaje al nivel del suelo, normalmente indicando fuertes (y potencialmente dañinos) vientos.
- ✚ **Cizalladura:** La cizalladura es un aspecto importante para medir el potencial de gravedad y duración de una turbonada lineal. En condiciones de baja o media cizalladura, las tormentas maduras contribuirán con cierta cantidad de corrientes descendentes, suficientes para crear una sustentación - el frente de rachas.
- ✚ **Signos en el cielo:** Plataformas de nubes y nubes con forma de rodillo suelen ser vistas arriba de la cima de la turbonada, también conocidas como tormentas del frente de racha. A partir de que estas nubes bajas aparecen en el cielo, se puede esperar un incremento repentino del viento en menos de 15 minutos.



### **Efecto de Coriolis.**

Una entre otras razones que justifican el fenómeno del viento es el llamado **Efecto de Coriolis**. ¿Qué es eso del Efecto de CORIOLIS? En la primera mitad del siglo XIX fue descrito por Gaspard-Gustave Coriolis, y consiste en el efecto que se observa en un sistema de referencia en rotación cuando un cuerpo se encuentra en movimiento respecto de dicho sistema de referencia.

Este efecto consiste en la existencia de una aceleración relativa del cuerpo en dicho sistema en rotación. Esta aceleración es siempre perpendicular al eje de rotación del sistema y a la velocidad del cuerpo.

### ***Movimientos de la tierra***

Dicho en otras palabras; el sistema de referencia del cual estamos hablando es la tierra, la cual tiene cuatro movimientos:

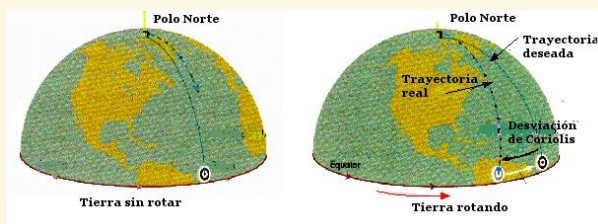
- **Movimiento de translación:** Es el movimiento por el cual el planeta Tierra gira en una órbita alrededor del Sol. En 365 días con 6 horas, esas 6 horas se acumulan cada año, transcurridos 4 años, se convierte en 24 horas (1 día). Cada cuatro años hay un año que tiene 366 días, al que se denomina año bisiesto. La causa de este movimiento es la acción de la gravedad, y origina una serie de cambios que, al igual que el día, permiten la medición del tiempo. Tomando como referencia el Sol, resulta lo que se denomina año tropical, lapso necesario para que se repitan las estaciones del año. Dura 365 días, 5 horas, 48 minutos y 45 segundos. El movimiento que describe es una trayectoria elíptica de 930 millones de kilómetros, a una distancia media del Sol de prácticamente 150 millones de kilómetros. De esto se deduce que la Tierra se desplaza a una velocidad media de 106 200 km/h (29,5 km/s). La trayectoria u órbita terrestre es elíptica. El Sol ocupa uno de los focos de la elipse y, debido a la excentricidad de la órbita, la distancia entre el Sol y la Tierra varía a lo largo del año. En los primeros días de enero se alcanza la máxima proximidad al Sol, produciéndose el perihelio, donde la distancia es de 147,5 millones de kilómetros, mientras que en los primeros días de julio se alcanza la máxima lejanía, denominado afelio, donde la distancia es de 152,6 millones de kilómetros.
- ✓ **Movimiento de rotación:** Este tipo de movimiento es fundamental para entender todo lo que viene a continuación, pero sin olvidar el movimiento de translación es responsable de algunos desajustes; como puede ser la diferencia de unos tres minutos entre día sideral y día solar. Es un movimiento que efectúa la Tierra girando sobre un eje imaginario denominado eje terrestre que pasa por sus polos. Una vuelta completa, tomando como referencia a las estrellas, dura 23 horas con 56 minutos 4 segundos y se denomina día sideral. Si tomamos como referencia al Sol, el mismo meridiano pasa frente a nuestra estrella cada 24 horas, llamado día solar. Los 3 minutos y 56 segundos de diferencia se deben a que en ese plazo de tiempo la Tierra ha avanzado en su órbita y debe girar algo más que un día sideral para completar un día solar. La primera referencia tomada por el hombre fue el Sol, cuyo movimiento aparente, originado en la rotación de la Tierra, determina el día y la noche, dando la impresión que el cielo gira alrededor del planeta (geocentrismo vs heliocentrismo). En el uso coloquial

del lenguaje se utiliza la palabra día para designar este fenómeno, que en astronomía se refiere como día solar y se corresponde con el tiempo solar

- ✓ **Movimiento de precesión:** La precesión de los equinoccios (el cambio lento y gradual en la orientación del eje de rotación de la Tierra) se debe al movimiento de precesión de la Tierra causado por el momento de fuerza ejercido por el sistema Tierra-Sol en función de la inclinación del eje de rotación terrestre con respecto al Sol (alrededor de  $23,43^\circ$ ). La inclinación del eje terrestre varia de  $23^\circ$  a  $27^\circ$ , ya que depende (entre otras causas) de los movimientos telúricos. Debido a lo anterior, la duración de una vuelta completa de precesión nunca es exacta; no obstante, los científicos la han estimado en un rango aproximado de entre 25 700 y 25 900 años. A este ciclo se le denomina año platónico.
  
- ✓ **Movimiento de nutación:** La precesión se acompaña de una oscilación del eje de rotación hacia abajo y hacia arriba, que recibe el nombre de nutación. La precesión es aún más compleja si consideramos un cuarto movimiento: la nutación. Esto sucede con cualquier cuerpo simétrico o esferoide girando sobre su eje; un trompo (peonza) es un buen ejemplo, pues cuando cae comienza la precesión. Como consecuencia del movimiento de caída, la púa del trompo se apoya en el suelo con más fuerza, de modo que aumenta la fuerza de reacción vertical, que finalmente llegará a ser mayor que el peso. Cuando esto sucede, el centro de masa del trompo comienza a acelerar hacia arriba. El proceso se repite, y el movimiento se compone de una precesión acompañada de una oscilación del eje de rotación hacia abajo y hacia arriba, que recibe el nombre de nutación. Para el caso de la Tierra, la nutación es la oscilación periódica del polo de la Tierra alrededor de su posición media en la esfera celeste, debido a las fuerzas externas de atracción gravitatoria entre la Luna y el Sol con la Tierra. Esta oscilación es similar al movimiento de una peonza (trompo) cuando pierde fuerza y está a punto de caerse. La Tierra se desplaza unos nueve segundos de arco cada 18,6 años, lo que supone que, en una vuelta completa de precesión, la Tierra habrá realizado 1385 bucles.

Por ahora, solo nos vamos a ocupar de la rotación de la tierra. Esta rotación sobre el eje virtual es la responsable del llamado **Efecto Coriolis**; el cual hace que un objeto que se mueve sobre el radio de un disco en rotación tienda a acelerarse con respecto a ese disco según si el movimiento es o no contrario al eje de eje de giro.

Por el mismo principio, en el caso de una esfera en rotación, el movimiento de un objeto sobre los meridianos también presenta este efecto, ya que dicho movimiento reduce o incrementa la distancia respecto al eje de giro de la esfera.



En pocas palabras; cuando un objeto inicia un movimiento apuntando en una dirección en el Hemisferio Norte, sea cual sea esa dirección, la trayectoria real resulta curvada hacia la derecha respecto a la dirección inicial. Esto es debido a que la Tierra gira de Oeste a



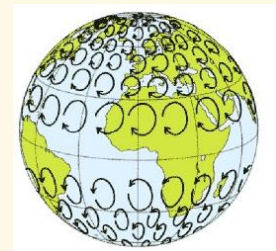
Este. En la imagen podemos ver dos ejemplos. Si realizamos un disparo desde el polo norte, si no existiera rotación, el disparo no se desviaría. Si, por el contrario, hacemos el disparo en condiciones reales, vemos como se produce esa desviación.

Debido a que el objeto sufre una aceleración desde el punto de vista del observador en rotación, es como si para éste existiera una fuerza sobre el objeto que lo acelera. A esta fuerza se le llama **fuerza de Coriolis**, y no es una fuerza real en el sentido de que no hay nada que la produzca. Se trata pues de una fuerza inercial o ficticia, que se introduce para explicar, desde el punto de vista del sistema en rotación, la aceleración del cuerpo, cuyo origen está en realidad, en el hecho de que el sistema de observación está rotando.

Para explicar todo esto y que sea entendible pondremos un ejemplo: Un individuo está situado en el centro de un tiovivo junto al eje de rotación. Si trata de caminar hacia la periferia, percibirá una fuerza que le empuja en el sentido contrario a la rotación: es la fuerza de Coriolis. Se trata, por consiguiente, de una aceleración lateral 4,6 veces más pequeña que la gravedad, pero que, para una persona de 70 kg, eso corresponde a una fuerza lateral igual al peso de 15 kg., que es perfectamente percibida.

En la tierra, la aceleración de Coriolis es mucho menor, obviamente un cuerpo que se desplaza norte sur; la influencia de la fuerza experimentada cuando se acerca o se aleja del eje de la tierra va a depender de la latitud. Si se trata de un avión cuya velocidad es 900 km/h (250 m/s), la aceleración será 250 veces mayor. El efecto de Coriolis supondrá al avión una trayectoria circular de 4850 km de diámetro (a una latitud de 45°). Por supuesto, el piloto corregirá esta desviación, pero no parece posible que pueda distinguirla de los efectos del viento o de los errores de reglaje de la posición neutra de los alerones de dirección y de profundidad.

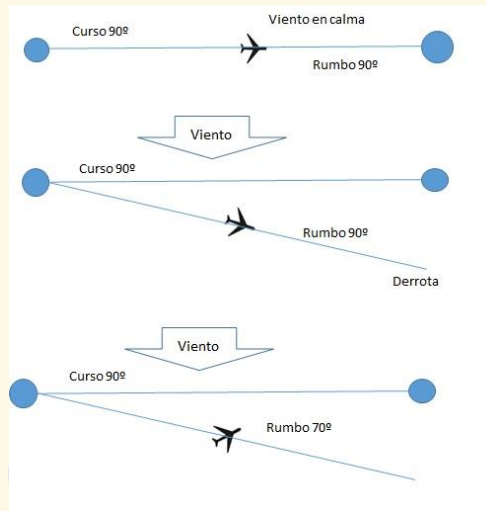
Cuando consideramos el tema del viento, la tendencia de giro varía según el hemisferio considerado. El efecto Coriolis curva la dirección inicial de los vientos que se mueven entre dos puntos de alta y baja presión desviándolos, en el Hemisferio Norte, hacia la derecha de su dirección de avance y en el Hemisferio Sur, hacia la izquierda. La ilustración muestra el patrón para los anticiclones. Las borrascas giran en sentido opuesto.



Después de esta pequeña información sobre la generación del viento, volvamos a nuestro asunto.

## RUMBO, RUTA (CURSO) y DERROTA

Primero vamos a volver a repetir (lo explico en todos los tutoriales) los conceptos de RUMBO, CURSO y DERROTA. Rumbo (“Heading” en Ingles) se refiere a la dirección (magnética) a la cual “apunta” la proa de la aeronave. Generalmente, el instrumento en el panel de la aeronave que provee esta información al piloto, es la brújula. También se usa mucho el DG (Directional Gyro en Ingles) que es el giroscopio direccional. Curso (“Course” en Ingles) es la línea dibujada en un mapa con la dirección que queremos seguir del “Punto A” al “Punto B”. Esta línea es medida del Norte Verdadero (True North en Ingles). Derrota (“Track” en Ingles) es la trayectoria de la nave sobre la superficie de la tierra. En la planificación y posterior desarrollo del vuelo hay un factor importante que se debe considerar, y este es el viento. El viento no afecta al CURSO de nuestra ruta, pero si afectara al RUMBO que se debe tomar.



En un día con condiciones de meteorológicas buenas con viento en calma, o muy suave, la Ruta generalmente coincide con el Rumbo. Lo normal es que exista una diferencia entre la ruta proyectada y el rumbo que tendremos que mantener para volar esa ruta, porque casi siempre existe viento y por poco que sea, afectará a nuestro Avión. ¿Se puede ir variando con alabeo de vez en cuando el rumbo para mantenernos sobre la ruta? ¡Si! Pero es una manera incorrecta de hacerlo (en aeronáutica se llama “la curva del perro”). Mucho más recomendable establecer un ángulo de Corrección de Deriva para no tener que estar corrigiendo constantemente. De este modo volaremos más cómodos y mantendremos mejor el control de la navegación.

### Cálculo del ángulo de Deriva

Ya hemos hablado de los dos movimientos posibles de aire: Vertical y horizontal. A partir de ahora solo vamos a hablar del movimiento horizontal.

El vector viento tiene una magnitud, la intensidad del viento, y una dirección, desde donde sopla. Por ejemplo, en Madrid, un día cualquiera, a FL 090 pies el viento es 127/11; significa que sopla desde el sureste hacia el noroeste (127°) con una magnitud de 11 nudos. En otro ejemplo; SBRB a FL 080 pies tenemos 105/6.

Nuestro trabajo va a consistir en descomponer el vector viento en sus componentes principales:

- Viento de frente
- Viento de cola
- Viento cruzado de derecha
- Viento cruzado de izquierda

Aunque el lector es inteligente y ya lo habrá deducido, solo tendremos dos fuerzas: una perpendicular y otra lateral.

Las dos primeras afectarán a la velocidad de la aeronave y no así a la dirección en la que el avión se desplaza y las dos últimas a la dirección y no a la velocidad. A cada una de estas supuestas componentes les daremos 10° a cada lado para considerarlas francas, esto significa que un viento de frente de 10 Nudos, disminuirá la velocidad verdadera en el 100% de la velocidad del viento; o sea, 10 Nudos.

Veamos un ejemplo: Supongamos que una aeronave se desplaza a una velocidad verdadera de 120 Nudos (KTAS 120), con un viento de frente de 10 Nudos, por lo que su Velocidad sobre el terreno (GS) será de 110 nudos.

Lo mismo sucede con un viento de cola, con la diferencia de que ahora el viento aumentará la velocidad sobre el terreno en lugar de disminuirla.

Este cálculo debemos de realizarlo constantemente, ya que esto determinará los tiempos estimados en los diferentes puntos de la ruta y el cálculo del combustible que por obvias razones no es menos importante.

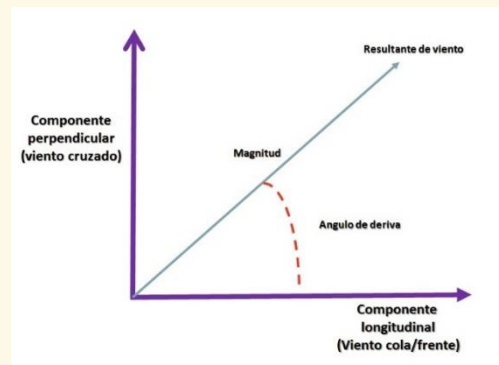
Conociendo el rumbo se puede calcular el ángulo que el vector en relación a una dirección de referencia, nos referimos al ángulo de deriva.

Para calcular la deriva esperada y el ángulo de deriva podemos usar instrumentos de navegación como los plotters cuyo precio oscila de unos pocos euros hasta cantidades sorprendentemente elevadas. Si alguien afortunado dispone de ellos y está interesado en su uso; en concreto el CR3, en la dirección de abajo se puede bajar un manual, en inglés, de 32 páginas:

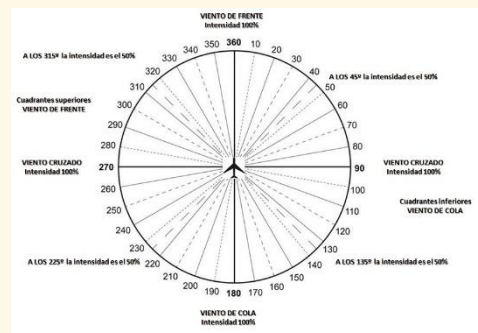
<http://www.jepesen.com/download/misc/crinstructions.pdf>

Los demás somos más modestos y lo vamos a hacer a mano.

Hemos dicho que conociendo rumbo y dirección del viento podemos calcular como se descomponen los dos elementos del vector; un elemento relacionado con el eje longitudinal del avión (viento frente o de cola) y otro elemento relacionado con el eje perpendicular del avión (viento a derecha o a izquierda).



Si miramos la Rosa de los Rumbos vamos a descubrir algunos aspectos muy interesantes. En primer lugar, si la dividimos en cuatro cuadrantes, dos superiores y dos inferiores, podemos deducir que, el viento que provenga de los cuadrantes superiores tendrá un componente longitudinal de viento de cara. Si la dirección proviene de los cuadrantes inferiores, la componente longitudinal corresponderá a viento en cola.



En segundo lugar, si la dirección del viento sopla completamente en sentido longitudinal al curso del avión el componente de viento cola /cara será del 100%. Si, por el contrario, el viento sopla a 90° del curso que llevamos el componente

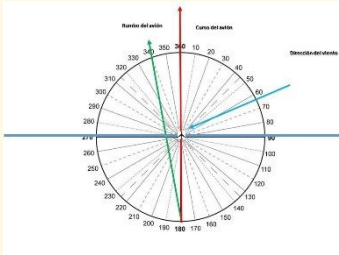
de viento cruzado será del 100%. En el caso que el viento a 45° de nuestro curso, el componente de viento en cola/de cara y viento cruzado se reparte entre ambos al 50%.

En la tabla siguiente podéis ver cómo se puede descomponer el vector viento según la orientación del mismo respecto a nuestro avión

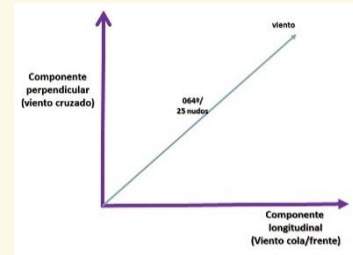
<b>Orientación Viento (en grados)</b>	<b>Componente longitudinal Cara/cola (porcentaje)</b>	<b>Componente perpendicular Cruzado (porcentaje)</b>
<b>000</b>	<b>100</b>	<b>0</b>
<b>009</b>	<b>90</b>	<b>10</b>
<b>018</b>	<b>80</b>	<b>20</b>
<b>027</b>	<b>70</b>	<b>30</b>
<b>036</b>	<b>60</b>	<b>40</b>
<b>045</b>	<b>50</b>	<b>50</b>
<b>054</b>	<b>40</b>	<b>60</b>
<b>063</b>	<b>30</b>	<b>70</b>
<b>072</b>	<b>20</b>	<b>80</b>
<b>081</b>	<b>10</b>	<b>90</b>
<b>090</b>	<b>0</b>	<b>100</b>
<b>099</b>	<b>10</b>	<b>90</b>
<b>108</b>	<b>20</b>	<b>80</b>
<b>117</b>	<b>30</b>	<b>70</b>
<b>126</b>	<b>40</b>	<b>60</b>
<b>135</b>	<b>50</b>	<b>50</b>
<b>144</b>	<b>60</b>	<b>40</b>
<b>153</b>	<b>70</b>	<b>30</b>
<b>162</b>	<b>80</b>	<b>20</b>
<b>171</b>	<b>90</b>	<b>10</b>
<b>180</b>	<b>100</b>	<b>0</b>

Ni que decir tiene que los datos son los mismos cuando se empieza por 360, 350, hasta 180.

**Ejemplo práctico para corregir la deriva:**



Quiero exponer un ejemplo práctico para facilitar las explicaciones. Supongamos un avión a 5000 pies AGL, en curso Sur-Norte (180 - 360. Hay viento de noreste a suroeste (063°) de intensidad 25 nudos. El rumbo del avión será desviado hacia la izquierda (realmente el avión volaría de 180 a 340 (esto es un ejemplo).



Para corregir la deriva deberemos conocer; en primer lugar, las dos fuerzas perpendiculares en las que se descompone la magnitud (intensidad) del viento.

Si miramos en la tabla anterior veremos que el viento que sopla a 063° le corresponde 30% de viento en cara y 70% de viento cruzado:

- ✓ Viento en cara 7.5 nudos
- ✓ Viento cruzado 17.5 nudos

En segundo lugar, necesitamos conocer la TAS (true airspeed). La TAS es la velocidad del avión dentro de la masa de aire en la que se encuentra, cualquiera que sea la densidad de esta masa de aire. Durante el vuelo se puede calcular sabiendo la IAS

La TAS es una velocidad que se utiliza para los planes de vuelo y la navegación, que permite el cálculo de desviaciones o de la hora estimada de llegada.

Cuando se expresa en nudos (lo más normal), la TAS se escribe KTAS.

Relación entre TAS y IAS:

- ✓ Para IAS entre 240 y 400 nudos y FL entre 50 y 250, un cálculo aproximado es

$$TAS = IAS + FL/2$$

Si volásemos un reactor a 380 nudos y FL 240, aplicamos la formula

$$TAS = 380 + (240/2) = 380 + 120 = 500 \text{ nudos}$$

- ✓ Para IAS inferiores a 240 kt

$$TAS = IAS + (1.5\% \text{ IAS} \times \text{altitud}) \text{ (altitud expresada en miles de pies).}$$

Sin embargo, recuerde que cuanto más bajo y más lento vuela el avión, más cercana está la IAS de la TAS.

Si el avión está volando a 8000 pies con una velocidad indicada de 200 nudos, aplicando la formula veremos que la TAS es 224.

$$TAS = 200 + ((1.5\% \times 200) \times 8) \text{ (el 8 proviene de 8000 pies dividido por 1000, si volásemos a 1500, sería 1.5 y a 15000 tendríamos 15).}$$

$$TAS = 200 + (1.5 \times 200 / 100) \times 8 = 200 + (300/100) \times 8 = 200 + (3 \times 8) = 224$$

En nuestro ejemplo, ya disponemos de los datos necesario para calcular el ángulo de corrección de la deriva.

Viento cruzado de 17.5 nudos por la derecha.

TAS 224 nudos.

Ahora aplicamos la fórmula

$$\text{ANGULO DE CORRECCION DE DERIVA} = \frac{60 \times \text{INTENSIDAD DEL VIENTO CRUZADO}}{\text{TAS}}$$

Angulo de corrección deriva =  $(60 \times 17.5) / 224 = 1050 / 224 = 4,6875$

Redondeamos a  $5^\circ$  (si el resultado hubiera sido  $4.4 - 4.0$ , redondearíamos a  $4^\circ$ ). Como el viento nos viene por la derecha, aplicaremos al heading del avión  $5^\circ$  a la derecha (estaríamos con HDG de 0 antes de hacer la corrección de viento, ahora volaríamos con un HDG de  $005^\circ$ ). Esto no presupone que ya nos podemos olvidar del tema. Cada cierto tiempo hay que chequear el viento y los instrumentos del avión para comprobar que volamos en la dirección correcta.

Parece complicado, pero no lo es. Es cuestión de acostumbrarse a hacerlo de cabeza. También es posible disponer, al principio, de una calculadora simple (sirve la de Windows).

Ahora os voy a pedir un pequeño esfuerzo, estimados lectores. Hasta ahora hemos planteado los ejemplos con el avión en curso sur-norte, pero eso no es siempre igual. Si

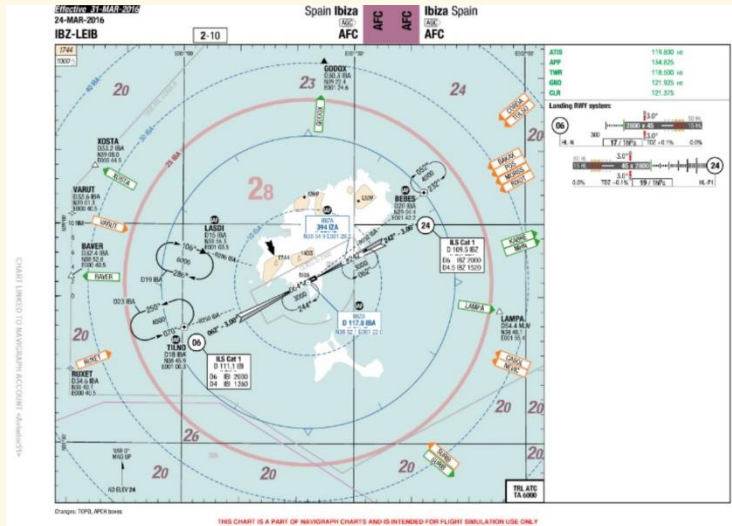


nos fijamos en la imagen de la izquierda veremos que nuestro curso es  $195^\circ$ . El esfuerzo será que os imaginéis la Rosa de los Vientos en diferentes circunstancias y hagáis los cálculos oportunos para diferentes velocidades y vientos. Y comprobar que los mismos son correctos.

## CAPITULO 11.- ESCENARIO DE EJERCICIOS

En los próximos capítulos vamos a explicar todos los ejercicios necesarios para conocer en profundidad la navegación aérea con radioayudas.

La zona de prácticas va a ser la isla de IBIZA. La decisión de usar esta zona en concreto de nuestro país para realizar todos los ejercicios propuestos; a saber, maniobras sobre NDB, utilización de VORs, navegación punto a punto, empleo de arcos DME y adiestramiento en la aproximación ha sido hecha en base a que disponemos de todas las ayudas e información que precisamos. Si os fijáis, el MSA a 25 millas del VOR IBA es 2.8; eso significa que en esa zona no se debe bajar de esa altitud; salvo que se tenga contacto con el terreno.



A nosotros no nos afecta ya que haremos todas las maniobras a FL 090 pies. Si nos fijamos con mayor detalle, veremos que más allá de las 25 millas la MORA de CUADRICULA es diferente

Las radioayudas que dispondremos serán:

- **IBA:** es el VOR de Ibiza del tipo DVOR su frecuencia es 117.8 MHz. Tiene asociado un DME, por eso se llama VOR/DME. Es de los llamados ALTA ALTITUD (recordar la clasificación de los VORs) y su alcance son 195.1 millas.
- **IZA:** Es uno de los NDB de Ibiza (el otro es el NDB Z, OUTOFORDER, que está fuera de servicio y no le prestaremos más atención). Es un NDB tipo LE con un alcance de 112.5 millas. Su frecuencia es 394 KHz. Se usa como IAF en las aproximaciones ILS para las dos pistas.

- **ILS 06, ILS 24:** Los estudiaremos más adelante.

En la imagen podemos ver gráficamente en el círculo exterior más azulado el alcance del VOR (IBA). El círculo interior (más verdoso) representa el alcance del NDB (IZA).

El seguimiento de los radiales (marcaciones en caso de NDB) se puede hacer en acercamiento (poner un rumbo para acercarse a la radioayuda) o en alejamiento (volar alejándose de la radioayuda).

Es importante recordar tres cosas (se repetirán hasta que os aburráis):

- En alejamiento, ruta y radial coinciden.
- En acercamiento, ruta y radial son recíprocos.
- En los dos casos, la cola del RMI sube y la cabeza baja.

## CAPITULO 12.- VUELO DIRECTO ESTACION:

Con este capítulo iniciamos una serie de prácticas sobre la navegación aérea con radioayudas.

Por razones operativas, dado que el desarrollo de estas prácticas no va a ser el mismo día, en cada uno de ellas, al comienzo, pondremos la información de viento al principio de la práctica.

### VUELO DIRECTO A NDB:

Viento: 180° a 26 nudos

Lo repetiré en todas las prácticas: Antes de hacer ninguna maniobra tenemos que saber dos cosas

- **Donde estamos respecto a la estación y, por ende,**
- **Donde está la estación respecto a nosotros.**

Para ello disponemos del RMI (recuerdo que solo me referiré al RMI; salvo en contadas ocasiones, en las cuales precise otra herramienta).

Si vemos el panel del avión, lo primero que tenemos que confirmar es que en el panel de frecuencias del ADF tenemos sintonizada la frecuencia apropiada del NDB. En nuestro caso es IZA, frecuencia 394.0. Absolutamente correcto.



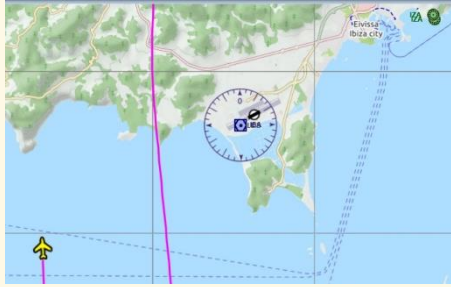
El siguiente paso es comprobar en que marcación (recordar, cuando trabajamos con NDBs hablamos de marcaciones y no de radiales) estamos y donde está la estación. Aunque os pueda parecer iterativo, esta parte de la explicación es fundamental. Primero ubicarse. Como paso previo hemos seleccionado ADF en la aguja verde fina del RMI. La línea roja divide el RMI en dos pantallas. La superior representa la zona del TO que podemos encontrar en el OBI. La zona inferior representa el FROM del OBI.

En una parte anterior del tutorial hemos comentado que las agujas del RMI tienen dos partes importantes. La punta en flecha se llama cabeza; indicando, siempre, hacia donde hay que volar para llegar a la estación; es decir, marca el QDM. La parte opuesta se llama cola y está en la marcación que estamos volando (QDR).

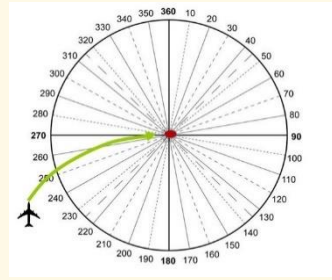
Otra cosa que hay que indicar es que en acercamientos; ya sean directos, como es este caso, o por una marcación determinada, la cabeza siempre marca la ruta magnética y la cola la marcación, que es el recíproco de la ruta. Como ejemplo, si estamos volando a una estación en rumbo 360°, la marcación o el radial (según sea NDB o VOR) siempre será el contrario (180°).



En nuestro caso estamos volando por la marcación 240. La estación está a la derecha

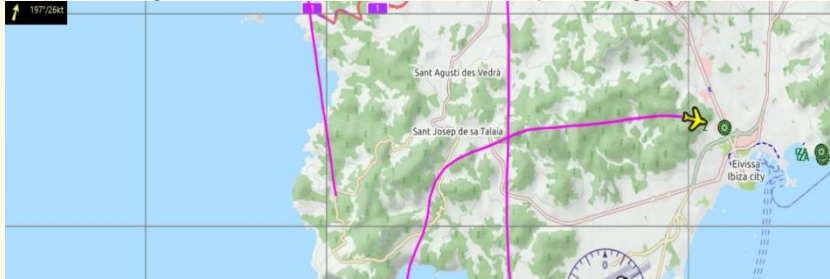


(al noreste). Por lo cual, tal como se ve en ambas imágenes, deberemos virar a nuestra derecha. Una premisa fundamental, siempre virar por lado más corto (en nuestro



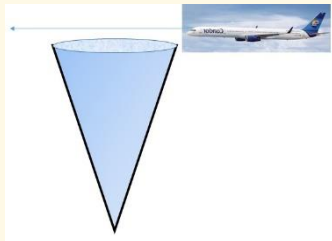
caso hacia la derecha. Obviamente, aunque el RMI marque la estación en rumbo 060°, cuando acabemos el viraje nos encontraremos que el rumbo de llegada deberá estar proximo a 095°. Para evitar el error de arrastre, empezar a salir del viraje (dependiendo de la velocidad, obviamente) aproximadamente entre 8° y 10° antes de llegar al rumbo previsto.

El punto siguiente es calcular la deriva y el ángulo que deberemos



poner para corregirla. En este ejemplo es facil, prácticamente, el 100% del viento va a ser cruzado.

Aplicamos la formula y nos dá 6.6 (redonderemos a 7) Con lo cual, debremos seguir un rumbo de 102° para corregir la deriva producida por el viento. En la imagen se ve que al avión ya vuela directo al NDB. Objetivo conseguido.



Ahora tenemos que hablar del cono de silencio en algunos tutoriales denominados "cono de confusión". En páginas anteriores se ha aclarado este concepto, así como de sus diferentes denominaciones. En el caso que nos ocupa, el diametro del cono de silencio del NDB de IZA a



9000 pies de altitud es de 2.5 millas. Al llegar a las proximidades del NDB, la aguja del RMI empieza a moverse hasta marcar el rumbo opuesto; lo cual indica que hemos sobrepasado la estación y nos alejamos de ella.

VUELO DIRECTO A VOR

Viento 243° a 23 nudos

Primero, antes de hacer ninguna operación, deberemos ubicar nuestro avión respecto a la estación VOR. Volvemos a mirar el panel. Ahora lo veremos con más detalle, pero



fijaros. Este avión está equipado con anemómetro, pantalla primaria de vuelo (PFD), altímetro, RMI, HSI y dos GARMINs (Garmin es como se conoce familiarmente a la empresa que desarrolla y fabrica dispositivos de GPS para el ámbito civil, principalmente para tránsito terrestre, aunque también naval y aéreo). La Pilatus PC12 lleva incorporado dos Garmin GNS 530. Dejando aparte

toda la información que recoge, el interesado puede leerse el manual del dispositivo (en inglés) disponible en este enlace:

<http://www.manualslib.com/manual/302091/Garmin-Gns-530.html?page=11#manual>

Pero lo que quiero resaltar es que en columna de la izquierda tenemos la información de COM y NAV y la posibilidad de cambiar las frecuencias. En este avión has dos dispositivos Garmin situados en el centro del panel. El de arriba se encarga de COM1 y NAV1. En la imagen se puede ver que está sintonizada la frecuencia del VOR IBA (la 117.8) La frecuencia que hay justo abajo, es una frecuencia en standby (la que se ve resaltada en esta imagen). Aquí recibimos una información crítica para nuestros ejercicios. El nombre del VOR (eso nos permite saber que estamos sintonizando la estación correcta), el radial (ahora si hablamos de radiales y no de marcaciones) que estamos volando (no nos da ningún dato de rumbo; podemos volar hacia, desde o a través de la estación – como es nuestro caso-, para saberlo disponemos de otras herramientas) y, por último, un DME (en la imagen se ve que en el Garmin lo llaman DIS – distancia) que nos informa de la distancia del avión a la estación, nosotros estamos a 8.7 millas. En otros VORs sin DME, la información de DIS queda en blanco (con guiones).



En la imagen podemos ver el HSI y el RMI. En el primero, además del rumbo (ya explicado con anterioridad) en la esquina superior izquierda nos da la dirección e intensidad del viento. En la esquina superior derecha tenemos datos de la estación; distancia, frecuencia y EET. En la esquina inferior derecha el rumbo actual (representado digitalmente).



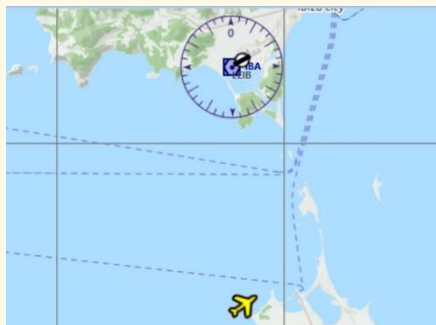
En el RMI hemos cambiado el indicador (flecha fina verde) de ADF a VOR (esquina inferior izquierda).

Quizá en algún momento ponga abreviaturas que los lectores ignoren y a mí se me olvide explicarlas. Para solucionarlo, aquí hay una página con abreviaturas aeronáuticas:

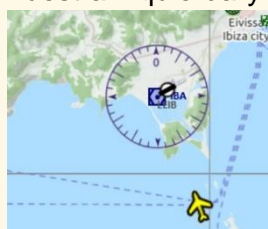
<http://www.telcom.es/~gacias/rincon/abrevaz.html>

La aguja del RMI que ahora señala al VOR1 nos indica que la estación se encuentra a nuestra izquierda como se puede ver en la imagen de la derecha.

El procedimiento es similar al descrito para ir directamente al NDB. Viramos por el camino más corto hacia el VOR, en este caso hacia la izquierda, hasta que el rumbo del avión coincida con la aguja que marca la dirección del VOR.



Por supuesto no hay que olvidar hacer la corrección de viento; este sopla desde oeste a este; es decir a nuestra izquierda y prácticamente todo cruzado, con lo cual, la corrección es 6° a la izquierda. Una vez puesto el rumbo correcto, esperar y vigilar el rumbo hasta llegar al VOR.



Alcanzado este punto quiero resaltar un detalle: El cono de silencio tiene un diámetro mayor que el corresponde al NDB. ¿Recordáis la fórmula?



$$2 \times \tan(50^\circ) \times H = \text{diámetro del cono VOR}$$

En este caso, el cono, a 9000 pies de altura, tiene un diámetro de 3.5 millas (una más que en el caso del NDB); es decir, alcanzando 1.75 millas de la estación, la aguja del RMI va moviéndose desde TO hasta FROM.

## CAPITULO 13.- ACERCAMIENTO POR UN RADIAL (MARCACION) ESPECIFICO:

A partir de ahora, en aras de reducir las explicaciones a su justa medida, se explicarán las maniobras solo para una radioayuda; dando las instrucciones concretas cuando en algo difieran los ejercicios sobre VOR o NDB.

### MANIOBRAS DE ACERCAMIENTO DIRECTO

Ya hemos tratado sobre los conceptos QDM y QDR (si alguien no lo recuerda ir al capítulo concreto). En algunos manuales se indica que en acercamiento usemos QDM, en otros se mantiene QDR. Eso va a gusto del consumidor. A mí, personalmente, me gusta más trabajar sobre radiales (QDR) tanto en acercamiento como en alejamiento; la cola os marca el radial que estáis volando y la cabeza el curso.

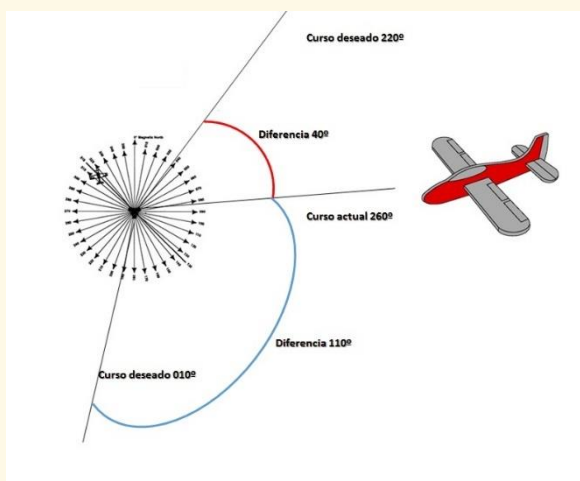
**IMPORTANTE, NO OLVIDAR: Cuando se vuela en acercamiento al VOR/NDB, el CURSO es el recíproco (contrario) al RADIAL/MARCACION.**

Otra idea que no se debe olvidar nunca es: **EN EL RMI (o en el HSI) LA CABEZA BAJA Y LA COLA SUBE.** Si no ocurre así, has hecho algo mal.

Aunque ya se ha comentado algo en la sección de uso de términos, vamos a refrescar los conceptos:

Ruta directa en acercamiento es aquella en la que la diferencia entre el curso actual y el deseado es igual o menor a  $90^\circ$ . Ejemplo, curso actual  $260^\circ$ , curso deseado  $220^\circ$ . Diferencia  $40^\circ$ .

Ruta pasada en acercamiento es aquella en la que la diferencia entre el curso actual y el deseado es mayor a  $90^\circ$ . Curso actual  $260^\circ$ , curso deseado  $010^\circ$ , diferencia entre ambos  $110^\circ$



Viento 240 a 25 nudos

¿Dónde estamos? Miramos la aguja del RMI o del HSI, La cabeza marca al norte (exactamente rumbo  $350^\circ$ ); eso significa que estamos al sur de la estación volando hacia ella.



En el HSI obtenemos una información adicional: Distancia al VOR 17 millas y EET de 3



minutos. Para comprobar la veracidad de los datos expuestos miremos la imagen del plan G. La distancia es ahora menor, porque el avión ha seguido volando y acercándose al VOR. Se puede comprobar que estamos al sur de la radioayuda. La línea magenta representa el radial 170.

A partir de ahora, la orientación espacial es fundamental para entender los procedimientos de interceptación. Si sois capaces de hacer la abstracción mental necesaria para ubicarse, perfecto. Los menos afortunados en la capacidad de orientación espacial, podrán disponer de algunos trucos; por ejemplo, el uso del Plan G o el FScommader, para asegurar esa capacidad necesaria a todos los pilotos: ORIENTACION PARA SABER DONDE ESTAS Y A DONDE DEBES DE IR.

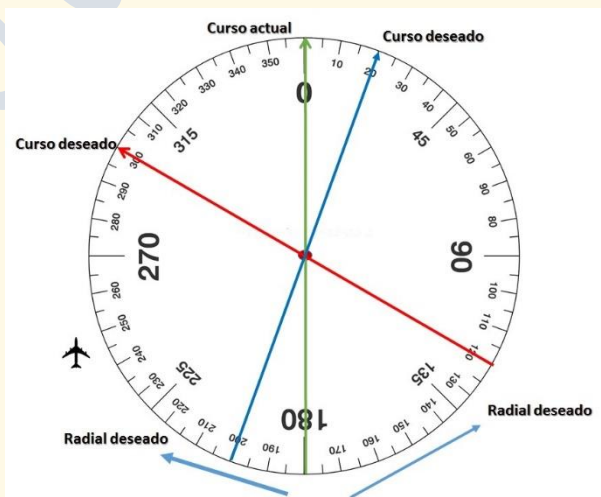
Para hacer los acercamientos a un VOR/NDB (recordar, se hacen igual tanto el VOR como el NDB) podremos usar dos técnicas:

- DESEADA-CABEZA-30 (DC3).
- DOBLE DIFERENCIA.

### ACERCAMIENTO DESEADA – CABEZA – 30

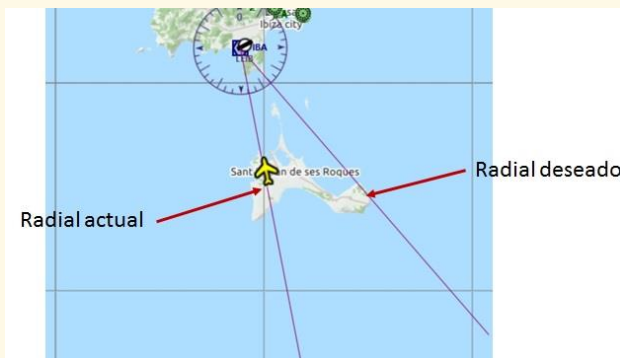
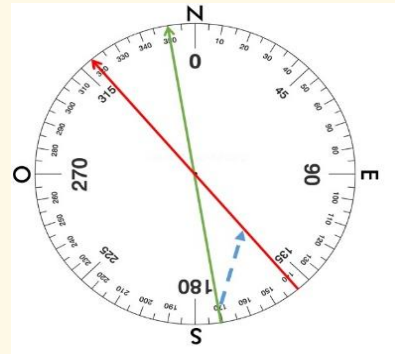
Como regla nemotécnica usaremos la palabra DC3. Para utilizar esta técnica, deberemos tener claras algunas pequeñas cosas.

1. Determinar el curso de la cabeza. Es decir, el curso que estamos volando en ese momento. NO es necesario estar volando en el curso hacia el VOR... Recordar que para el VOR somos una "pelota".
2. Localizar visualmente en el RMI cuál es la dirección del curso de la cabeza (para facilitar la operación lo haremos siguiendo un radial en acercamiento).
3. En la imagen el radial actual es 180 y el curso 360 (recíprocos).
4. Para poner un rumbo de interceptación deberemos sumar/restar  $30^\circ$  al curso deseado.
5. Analizamos si el radial objetivo está a la derecha o a la izquierda para saber si hay que sumar o restar.
6. En todas las operaciones en las que los radiales deseados queden a nuestra derecha (lógicamente las cabezas quedarán a la izquierda), habrá que sumar  $30^\circ$  a la cabeza actual.
7. Por el contrario, si los radiales quedan a la izquierda, la operación será la opuesta: restar  $30^\circ$



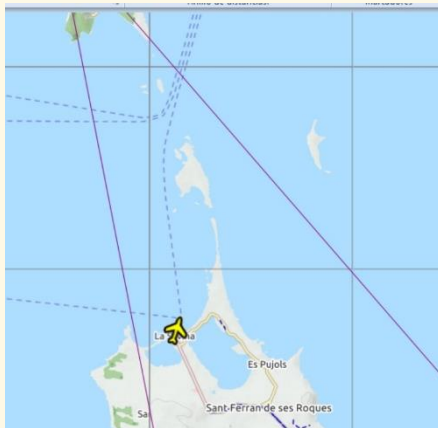
8. El rumbo estándar será de  $30^\circ$ , pero si son mucho radiales o es necesario hacerlo en poco tiempo, se pueden usar rumbos de  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $75^\circ$  o  $90^\circ$  (es el límite máximo)
9. Por supuesto, siempre virar al rumbo de interceptación por el camino más corto.
10. Unos pocos grados antes de llegar al nuevo curso, iremos ajustando el heading para no pasarnos del nuevo curso.

Veamos un ejemplo, estamos volando al VOR de Ibiza por el radial 170 (curso 350), nuestra intención es alcanzar el VOR por el radial 140 (es decir, a nuestra derecha). Entonces, al curso actual le sumamos  $30^\circ$  y vemos que nos un heading de  $020^\circ$ . Simplemente viramos el avión a curso  $020^\circ$  y esperamos hasta interceptar el nuevo radial (140).

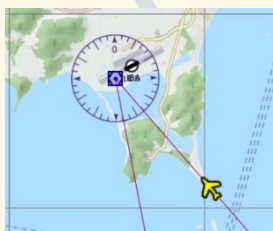


En la imagen de la izquierda se puede ver el avión volando por el radial 170, a nuestra derecha el radial deseado (140).

Pondremos un heading de  $20^\circ$  (Cabeza actual + 30 ( $350+30 = 20$ )) para interceptar el nuevo radial. En las imágenes de la derecha podemos ver al

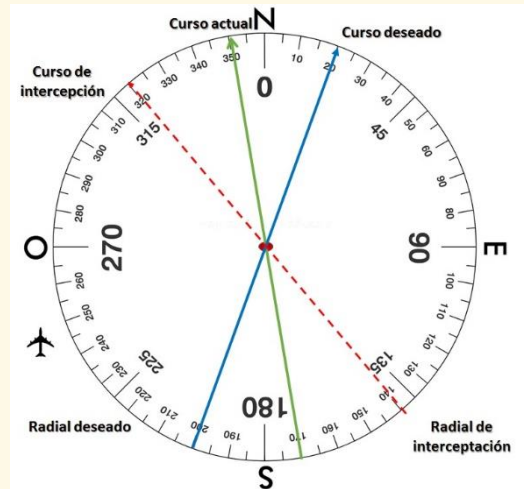


avión volando hacia el nuevo curso. Después de unos minutos hemos conseguido el objetivo propuesto (ver imágenes de la derecha).



Ni que decir tiene que si deseáramos interceptar el curso 20° (radial 200) deberemos hacer las maniobras inversas; esto es, restar 30° al radial 170 (para facilitar las cosas, se puede hacer con el curso; 350 menos 30, da como resultado curso 320, lo cual corresponde al radial 140).

Sin olvidarnos de aplicar la corrección de la deriva que sea necesaria en cada caso



### DOBLE DIFERENCIA

Es otro método para calcular lo mismo: ¿Cuántos grados deberemos virar para conseguir un rumbo que nos permita ir al nuevo curso/radial?

Esta técnica a mí me gusta hacerla usando los cursos y no los radiales.

Para poder aplicarlo, el curso objetivo debe diferir menos de 45° con el curso actual

Consiste en virar a un rumbo de interceptación que sea el actual más/menos el doble de la diferencia en grados del curso actual con el objetivo. ¿Y por qué el doble? Porque si giramos "la diferencia", lo que haremos será volar paralelo al curso objetivo, ¡no interceptarlo! Al girar "el doble de la diferencia" nos aseguramos de interceptar el curso objetivo.

Para ello se determina cual es la diferencia entre el curso actual y el nuevo curso (curso deseado).

En el ejemplo que hemos visto antes; usando la técnica de DC3, estamos volando el curso de 350, sobre el radial 170, y queremos acercarnos al VOR por el curso 320, sobre el radial 140. La diferencia entre ambos es de 30°.

Las condiciones de viento son las mismas que en el apartado anterior y según la información obtenida del RMI o el HSI, nos encontramos al sur del VOR, a unas 20 millas.

Ahora, si solo virásemos esos 30° a la derecha (aquí se mantiene la regla de radiales a la derecha suman y radiales a la izquierda) volaríamos paralelos al radial. Si viramos el doble de la diferencia nos aseguramos de interceptar el mismo.

Curso deseado + el doble de la diferencia de los dos cursos. Si superamos los 360° (en la rosa de los vientos solo hay 360°) restamos al valor obtenido 360 y así sabemos los que rumbo hay que poner para interceptar (20°). El mismo que nos ha salido con el método anterior.

Vamos a ver detalladamente los pasos a seguir:

$$350 - 320 = 30$$

$$30 \times 2 = 60$$

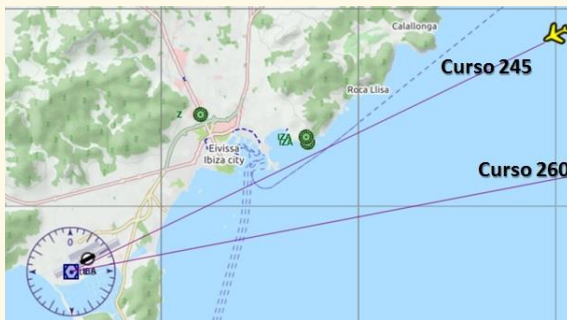
$$320 + 60 = 380$$

$$380 - 360 = 20$$

¿Ha quedado claro?

Veamos algún ejemplo más de este método de la doble diferencia (he procurado poner los ejemplos usando RMI y HSI):

Estamos volando un curso de 245 (radial 065) y queremos llegar al VOR por el curso 260 (radial 080).



$$245 - 260 = -15$$

$$-15 \times 2 = -30$$

$$245 + (-30) = 215$$

Al querer seguir un curso que está a la derecha del actual, el radial que debemos interceptar queda a la izquierda, de ahí el número negativo cuando calculamos la di-



ferencia de los dos cursos, así evitamos el tener que acordarnos de si hay que sumar o restar. Según este resultado deberemos virar a la izquierda para volar curso 215 (aunque no os lo repita; es imprescindible que hagáis la corrección de la deriva, tal como se explicó más arriba).

Finalmente, hemos llegado al curso deseado.

Para facilitar las cosas y tener claro cuáles son los cursos de interceptación, os podéis plantear estas normas para establecer los cursos respectivos:



#### VIRAJES EN SENTIDO HORARIO:

- Si la diferencia entre curso actual y curso deseado es 30° o inferior: Restar 30 del curso deseado.
- Si la diferencia entre curso actual y curso deseado esta entre 31° y 60°: Restar 60 del curso deseado.



- Si la diferencia entre curso actual y curso deseado es superior a  $60^\circ$  e inferior a  $90^\circ$ :
- $90^\circ$ : Restar  $90$  del curso deseado.

**VIRAJES EN SENTIDO ANTIHORARIO:**

- Si la diferencia entre curso actual y curso deseado es  $30^\circ$  o inferior: Sumar  $30$  del curso deseado.
- Si la diferencia entre curso actual y curso deseado esta entre  $31^\circ$  y  $60^\circ$ : Sumar  $60$  del curso deseado.
- Si la diferencia entre curso actual y curso deseado es superior a  $60^\circ$  e inferior a  $90^\circ$ : Sumar  $90$  del curso deseado.

**EJEMPLO DE ACERCAMIENTO DIRECTO CON RUMBO DIFERENTE A  $30^\circ$**

He querido dejar para el final del acercamiento por rutas directa una situación particular que merece un trato especial. ¿Qué ocurre si estamos haciendo una interceptación en acercamiento en ruta directa y el curso de interceptación supera los  $90^\circ$ ?

Veamos un ejemplo:

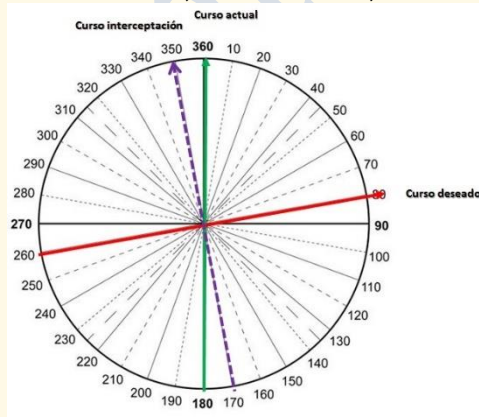
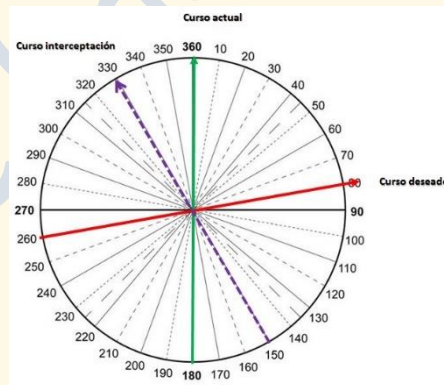
Estamos llegando a un VOR por el curso 360 (OBS 360 seleccionado, aguja centrada en el OBI, rumbo 360 y sobre el radial 180). Por lo tanto, nuestra cabeza es 360.

Nuestro curso deseado es el curso 080.

Como podemos comprobar, en este ejemplo NO existe una diferencia de  $90^\circ$  o más entre el curso objetivo y curso actual, por lo tanto, NO estamos en presencia de una ruta pasada.

Aplicamos la fórmula DC30.

Deseada: 080, Cabeza 360, viraremos  $30^\circ$  hacia la izquierda hasta 330 (el nuevo radial queda la derecha del avión).



Pero ya sabemos que no debemos pasarnos de los  $90^\circ$ . Si observamos la Rosa de los Vientos, podemos ver que, aunque no tenemos  $90^\circ$  entre la cabeza y el curso deseado, al hacer el cálculo de los  $30^\circ$  grados, superamos los  $90^\circ$  (exactamente  $110^\circ$ ). Por lo tanto, como dijimos anteriormente, deberemos ajustar el rumbo de interceptación lo preciso para no pasarnos de  $90^\circ$ . Como podemos ver, nos pasamos en  $20^\circ$ ; ello quiere decir que deberemos aplicar la fórmula

de DC30 con la corrección adecuada (restemos  $20$  a los  $30$  y nos dará el máximo curso de interceptación posible; es decir,  $10^\circ$ ).

Por lo tanto, al aplicar la fórmula, el rumbo de interceptación será  $350^\circ$ . El procedimiento a aplicar a partir de obtener este rumbo es el mismo que en una interceptación normal.

## MANIOBRAS DE ACERCAMIENTO EN RUTA PASADA

Seguiremos avanzando con los procedimientos de acercamiento a la radioayuda. Ahora nos toca explicar cómo acercarnos en ruta pasada.

Para facilitar la explicación y que la gente no tenga que andar recorriendo arriba abajo el texto, se define ruta pasada aquella en la que la diferencia de los cursos actual y deseado es superior a 90°.

### TECNICA PARA HACER UN ACERCAMIENTO EN RUTA PASADA:

La técnica para realizar un acercamiento en ruta pasada se puede resumir en unas pocas frases:

1. Deberemos virar por el lado más corto para volar paralelo al radial que queremos interceptar hasta situar el avión ABEAM.
2. Al llegar a ABEAM, mantener durante **UN MINUTO** el curso actual y luego virar 90° hacia el radial deseado.
3. Corregir el curso aproximadamente unos 5° - 10° antes de llegar al radial objetivo.
4. En ese momento estaremos a un minuto, volando por el curso correcto.

#### ¿Qué significa estar "ABEAM"?

El término inglés "Abeam" significa "estar al través" de una estación o un punto, es decir, encontrarnos perpendiculares al mismo. Como es una palabra de uso frecuente en aviación, la mantendremos como es en inglés; pero he considerado necesario aclarar su concepto.

Consideramos el abeam de una estación de forma diferente, dependiendo si se trata de un VOR o de un NDB:

- Decimos que estamos al Abeam de un VOR cuando la estación "nos ha dado el paso" (que una estación nos dé el paso significa que la bandera cambia de FROM a TO o viceversa, es decir, hemos cambiado de semiplano). Un VOR nos da el paso dependiendo únicamente del radial que tengamos seleccionado en el OBS. Le da igual el rumbo que llevamos, nos da una indicación exclusivamente del radial sobre el que nos encontramos. Si miramos solo el RMI, veremos que ocurra algo similar al NDB
- Si se trata de un NDB, el rumbo sí importa. Estamos al abeam de un NDB cuando nuestro rumbo es el adecuado y en el ADF vemos tenemos la cabeza de la flecha del ADF o del RMI completamente horizontal

ABEAM significa estar tangencial al VOR (la aguja del RMI esta horizontal)



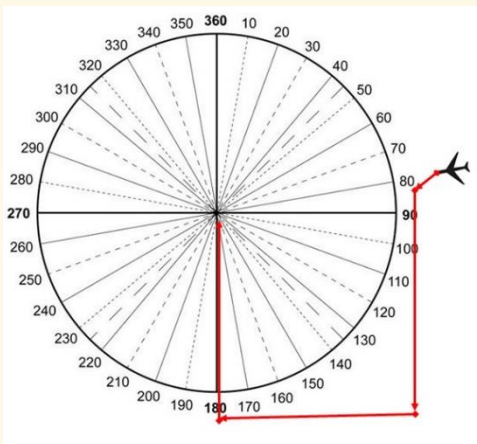
**EJEMPLO PRACTICO DE RUTA PASADA:**

Viento 281° a 9 nudos.

Estamos volando por el radial 080 (curso 260) hacia el VOR de IBA. Hemos recibido la instrucción de incorporarnos a la estación por el radial 180 (curso 360). Analicemos la situación:



- ✓ El radial 180 supera los 90° de límite para poderlo considerar un acercamiento directo (nos encontramos en una RUTA PASADA).
- ✓ Para realizar el viraje debemos plantearnos hacerlo por el lado más corto.



En las imágenes, vemos que el viraje puede ser a la derecha o la izquierda. Pero si lo hacemos por la derecha tenemos que virar 260°; mientras que por la izquierda solo 100°. La respuesta es obvia viraje a la izquierda para poner curso 180° (paralelo al radial que deseamos interceptar).

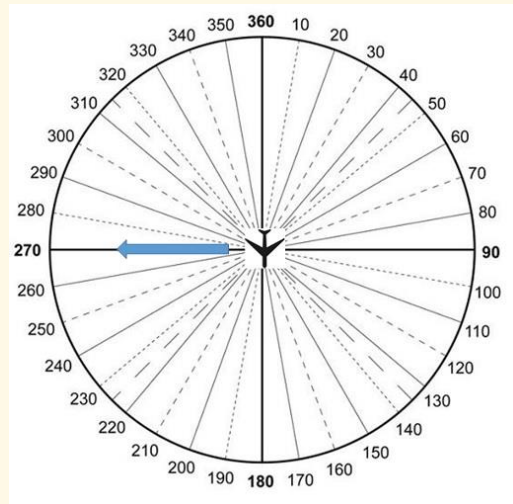
✓ Mantendremos es curso hasta que la aguja del RMI esté completamente horizontal; lo cual nos indica que estamos ABEAM a la estación. En este caso concreto, la cabeza de la aguja del RMI, nos señala hacia la derecha; eso quiere decir que, todos los virajes desde el momento que hemos pasado el ABEAM se realizaran a nuestra derecha.

- ✓ Después de volar un minuto más, procederemos a un viraje la derecha hasta quedar perpendicular (a 90°) del radial que queremos volar.
- ✓ Dependiendo de la velocidad entre 5 o 10 radiales antes de llegar a nuestro objetivo, empezaremos a corregir nuestro rumbo, para instalarnos correctamente en el radial objetivo (en nuestro caso radial 180 y curso 360).
- ✓ No olvidar las correcciones de viento que sean precisas.
- ✓ Si la maniobra la hemos hecho bien, deberíamos estar más/menos a un minuto del VOR.



Iniciamos viraje a nuestra izquierda para volar paralelos al radial que deseamos interceptar. Al alcanzar la posición de ABEAM empezamos a contar un minuto.

En la imagen de la izquierda vemos el RMI, vamos curso SUR y la cabeza de la aguja del RMI marca hacia OESTE. Aquí nos vendría bien disfrutar de un poco de orientación espacial. Esto es como el GPS del coche o un mapa que siempre marcan al norte. Si vamos al Sur, tendremos que, mentalmente, rehacer la posición de los objetos, si tu objetivo está a la derecha del mapa, en la realidad tendrás que ir a la izquierda. Para los menos afortunados he hecho un pequeño dibujo para explicarlo. El avión va hacia el sur, pero la Rosa de los Vientos está orientada al norte. Todos los radiales que van desde el 359 al 181 están a la derecha del avión. Los radiales incluidos entre el 179 y 001 están a la izquierda.



En la imagen podemos ver al avión volando hacia el sur y dejando a su derecha la estación.



Transcurrido un minuto desde la posición de ABEAM iniciaremos el viraje a derechas para ponernos perpendiculares al radial que deseamos interceptar; en nuestro caso el 180.



Poco antes de llegar al mismo, iniciaremos nuestro último viraje a la derecha para volar el radial deseado directos ya a la estación.



## CAPITULO 14.- ALEJAMIENTOS DE UNA RADIOAYUDA

Hasta ahora hemos visto como acercarse a una radioayuda. Repito, las maniobras para ir directamente o acercarse a un VOR o a un NDB son sustancialmente idénticas. Dos cosas las pueden diferenciar.

- La primera es que, normalmente, los NDB no disponen de sistema DME.
- El diámetro del cono de silencio, medido en ambos casos a la misma altura, es ligeramente menor en el caso del NDB si lo comparamos con el VOR.

Obviando esas pequeñas diferencias, los procedimientos serán casi idénticos.

Vamos a ver cinco situaciones distintas:

- Interceptación de rutas en alejamiento inmediatamente después de pasar la estación.
- Interceptación de rutas directas en alejamiento usando la fórmula Cabeza - deseada - 45.
- Interceptación de rutas directas en alejamiento usando el método de la doble diferencia.
- Interceptación de rutas directas en alejamiento con rumbo variable.
- Interceptación de rutas de alejamiento en ruta pasada.

Hasta ahora hemos estudiado las maniobras de interceptación en acercamiento; esto es, todo aquello que debemos hacer para acercarnos a una estación VOR por la ruta o por el radial deseado. A partir de ahora estudiaremos cómo hacerlo para alejarnos por la ruta deseada.

En el caso de alejamiento los conceptos de ruta y radial cambian. El motivo es fácil comprenderlo. En acercamiento, la ruta por la que queríamos llegar era aquella correspondiente al recíproco del radial que estábamos volando. Para entenderlo se dividía la pantalla del RMI en dos semiplanos. El semiplano de arriba (HACIA), es decir, la que estaba al otro lado del VOR. El radial era aquel sobre el que estábamos volando, en el semiplano inferior (DESDE).



Por el contrario, en alejamiento la ruta por la que queremos alejarnos es la que estamos volando, y además es el radial sobre el que estamos volando. Por lo tanto, en alejamiento ruta y radial coinciden, y estamos en el semiplano FROM.

Así mismo es importante recordar el concepto de cola. En llegada hablábamos de cabeza, que era la ruta que estábamos volando en ese momento y cola era el radial por el que volábamos. Por el contrario, en alejamiento hablamos de cola, y se corresponde con el radial y la ruta, en el semiplano FROM, con el que se centra la aguja del VOR.

### ALEJAMIENTO INMEDIATAMENTE DESPUES DE PASAR LA ESTACION

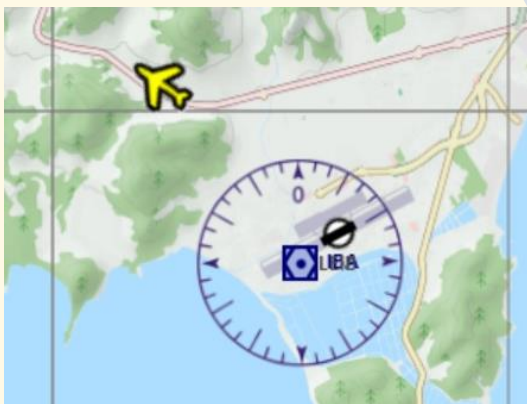
Viento en calma

En este caso concreto es imprescindible el uso del RMI (en otros casos podremos optar entre RMI, OBI o HSI, o todos).

Después de pasar por la estación, virar inmediatamente al rumbo magnético de la ruta deseada. Mantener ese rumbo hasta que se estabilice la aguja del RMI. En el caso de quedar desplazado de la ruta, se vira hacia la ruta el mismo número de grados que la marcación en. En ningún caso se interceptará con más de 45°. Próximo a alcanzar el radial deseado se virará con la anticipación suficiente a la ruta deseada para quedar establecido sobre ella. Y lo vuelvo a repetir: TENER EN CUENTA EL VIENTO Y LA CORRECCIÓN DE DERIVA NECESARIA AL ESTABLECER EL RUMBO DE INTERCEPTACIÓN.

Vamos hacia el VOR de IBA, a 2 millas. Nos han dado instrucciones para abandonar la estación por el radial 310.

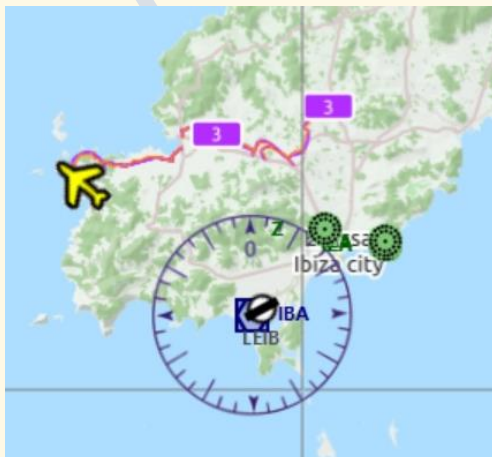
Es muy importante que recordéis que ahora estamos volando en el semiplano FROM, eso significa que tanto el Radial como el CURSO coinciden. En el RMI, el radial y la ruta (curso) están representadas por la cola de la aguja y la cabeza marca hacia atrás, aproximadamente en donde está la estación.



Como se trata de un alejamiento nada más pasar la estación, pues bien, estaremos atentos y poco antes de sobrevolar el VOR (dependiendo de la velocidad del avión) iniciaremos el viraje para establecernos en el radial 310 y alejarnos por el mismo de la radioayuda.

Se mantiene este rumbo hasta que se estabilice la aguja del radiocompás.

En el caso de quedar desplazado de la ruta, se vira hacia la ruta el mismo número de grados que la marcación en cola y se virará hacia el lado de la cabeza de la aguja. En ningún caso se interceptará con más de 45°.



Próximo a interceptar el radial, virar, con la anticipación suficiente, al rumbo de la ruta deseada para quedar establecido sobre ella. Tener en cuenta el viento y la corrección de deriva necesaria al establecer el rumbo de interceptación.



## ALEJAMIENTO EN RUTA DIRECTA

Para alejarnos de un VOR por un radial específico deberemos conocer exactamente sobre el radial que estamos volando, para ello podemos hacer dos cosas. Una fijarte en el RMI. La cola marcará el radial por el que navegamos; ello no quiere decir que nos estemos alejando. Para saberlo con exactitud, deberemos comprobar en el propio RMI el rumbo magnético y que la cabeza de la aguja marca hacia FROM.

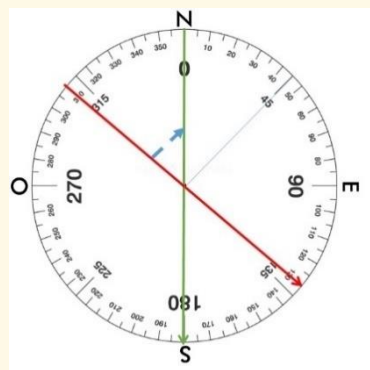
La otra opción es usar el HSI. Para ello moveremos el OBS hasta que el CDI del VOR se centre, con la bandera FROM a la vista. En ese momento sabremos cuál es el radial sobre el que estamos volando.

Para interceptar el radial en alejamiento ya se ha dicho más arriba tenemos tres posibilidades:

- **Aplicar la fórmula Cola – Deseada – 45° (C-D-45).**
- **Usar el método de la doble diferencia.**
- **Alejamiento con interceptación variable**

## ACERCAMIENTO COLA – DESEADA – 45° (C-D-45)

Conocemos el radial que estamos volando en ese momento y también sabemos porque radial deseamos alejarnos. Entonces hay que aplicar la fórmula COLA – DESEADA -45. Para ello miramos en el RMI, localizamos la cola y vemos el radial (en este caso es el 310). Buscamos el radial deseado. Si esta hacia la derecha, le sumamos 45 al radial deseado; es decir, nos moveremos en el sentido anti-horario. Cuando el radial deseado queda a la izquierda del radial actual, le restamos 45 al radial deseado; quiere decir, que nos moveremos en sentido horario. En la figura, estamos volando el radial 310 y nos queremos alejar por el radial 360 (0). El radial deseado está a nuestra derecha, le sumamos 45 y ya tenemos el rumbo de interceptación. En este caso volaremos rumbo 45°. Ni que decir tiene que deberemos hacer las correcciones de deriva que sean necesarias.



Si el radial deseado fuera el 300, en el RMI vemos que queda a nuestra izquierda. Restamos 45 a 300 y el resultado es 255; esto es, para interceptar el radial 300, deberíamos volar rumbo 255.

Viento en calma

Nos han dado instrucciones para volar desde el radial 310 hasta el 360. Como hemos visto más arriba deberemos virar en sentido horario; poniendo rumbo 045° (en este caso coincide por ser el radial objetivo 0). Poco antes de llegar al radial 360, iniciaremos el viraje para establecernos en el radial.



## DOBLE DIFERENCIA

Como ya vimos en los acercamientos podemos calcular un rumbo de interceptación que sea el actual más/menos el doble de la diferencia en grados del radial actual con el objetivo.

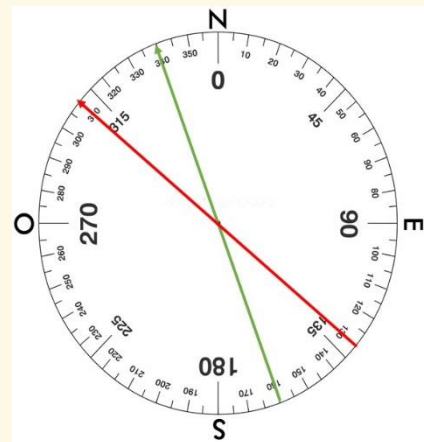
Para llevarlo a cabo, el radial deseado debe diferir menos de 45° con el radial actual

En el caso de alejamiento, esta técnica se debe hacer usando los radiales.

Para ello se determina cual es la diferencia entre el radial actual y el nuevo radial (radial deseado).

En el ejemplo que hemos visto antes; usando la técnica de DC45, el radial actual y el deseado difieren en más de 45°; así que no nos sirve.

Ahora hemos cambiado y estamos volando en el radial 130, y queremos alejarnos del VOR por el radial 160. La diferencia entre ambos es de 30°.



Ahora, si solo virásemos esos 30° a la derecha (aquí se mantiene la regla de radiales a la derecha suman y radiales a la izquierda) volaríamos paralelos al radial. Si viramos el doble de la diferencia nos aseguramos de interceptar el mismo.

Radial deseado + el doble de la diferencia de los dos radiales. Si superamos los 360° (en la rosa de los vientos solo hay 360°) restamos al valor obtenido 360 y así sabemos que rumbo hay que poner para interceptar (100°). El mismo que nos ha salido con el método anterior.

Vamos a ver detalladamente los pasos a seguir:

$$160 - 130 = 30$$

$$30 \times 2 = 60$$

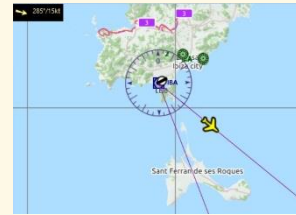
$$130 + 60 = 190$$



El rumbo que es necesario poner es 190. No obstante, para hacer una demostración visual de la diferencia entre virar la diferencia o el doble de la diferencia, vamos a hacer la maniobra en dos partes. Primero viramos a 160 y luego completaremos el viraje hasta 190.

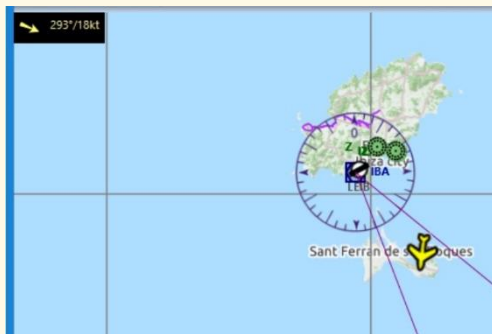
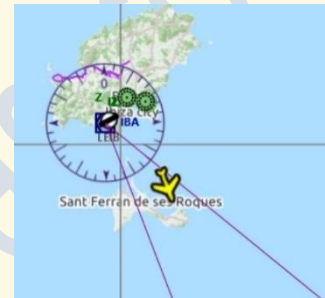
Viento 285° a 15 nudos.

Nos encontramos a algo más de 7 millas al sureste de Ibiza, abandonando el VOR por el radial 130. Nuestro objetivo es continuar el alejamiento, pero por el radial 160.



Si miramos el panel del avión, tanto en el RMI como en el HSI se confirman estos datos. Efectivamente volando el radial 130 a 7.4 millas al sureste del IBA.

Ahora vamos a virar hacia la derecha en rumbo 160. En la imagen se puede ver claramente, que, con este rumbo, NUNCA interceptaremos el radial deseado (realmente estamos volando paralelos).



Si continuamos el viraje hasta completar el rumbo obtenido con el método de la doble diferencia, se puede ver que el avión vuela un rumbo oblicuo al radial objetivo y lo interceptaremos.

A los pocos minutos volamos en alejamiento sobre el radial 160.

### EJEMPLO DE ALEJAMIENTO CON RUMBO DIFERENTE A 45°

Igual que en los acercamientos, he querido dejar para el final del alejamiento por rutas directa una situación particular que merece un trato especial. ¿Qué ocurre si estamos haciendo una interceptación en alejamiento en ruta directa y el curso de interceptación supera los 90°?

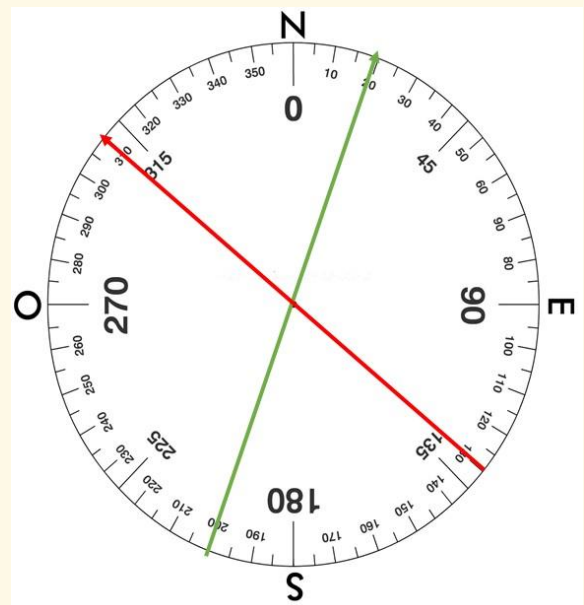
Veamos un ejemplo:

Estamos alejándonos del VOR de IBIZA por el radial 310.

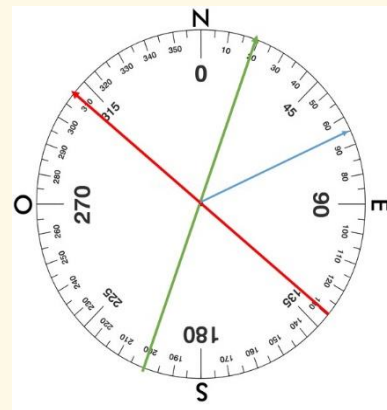
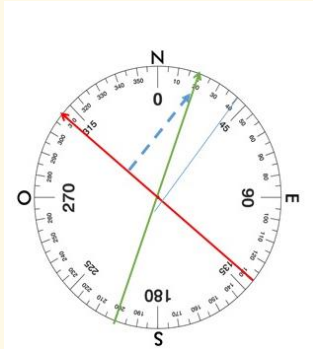
Nuestro radial deseado es el 020.

Como podemos comprobar, en este ejemplo NO existe una diferencia de más de 90° entre el radial objetivo y el actual; exactamente 70°, por lo tanto, NO estamos en presencia de una ruta pasada.

Aplicamos la fórmula DC45.



Radial deseado: 020, Radial actual 310, añadamos 45° al radial objetivo. Vemos que el rumbo a poner es 065. Pero ya sabemos que no debemos pasarnos de los 90°. Si observamos la Rosa de los Vientos, podemos ver que, aunque no tenemos 90° entre la radial actual y el deseado, al hacer el cálculo de los 45° grados, superamos los 90° (exactamente 115°). Por lo tanto, como dijimos anteriormente, deberemos ajustar el rumbo de interceptación lo preciso para no pasarnos de 90°.



Como podemos ver, nos pasamos en 25°; ello quiere decir que deberemos aplicar la fórmula de DC45 con la corrección adecuada (restemos 25 a los 65 y nos dará el máximo curso de interceptación posible); es decir, 40°.

Por lo tanto, al aplicar la fórmula, el rumbo de interceptación será 040°. El procedimiento a aplicar a partir de obtener este rumbo es el mismo que en una interceptación normal.

Viento 273° a 5 nudos.

Como se ha explicado más arriba, estamos alejando de IBA por el radial 310. Nos dan instrucciones de realizar un alejamiento por el radial 020. Comprobamos que entre ambos radiales no existan más de 90° y vemos que hay 70°. Con ello sabemos que NO estamos en una ruta pasada.

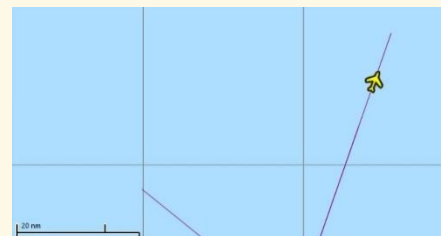


065. Hay un pequeño problema, el rumbo propuesto excede en 25° a los 90° que se permiten en un alejamiento por ruta directa entre el rumbo de interceptación y el radial actual.



Como se decía antes, con un pequeño cálculo se puede conocer el rumbo máximo para llegar al radial deseado. En este caso sería de 40°.

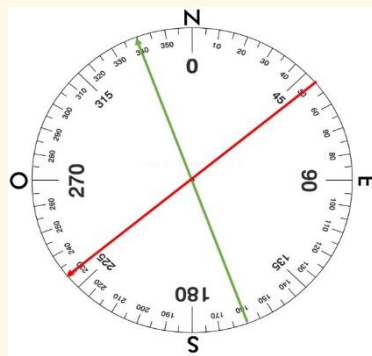
Finalmente alcanzamos el radia buscado.



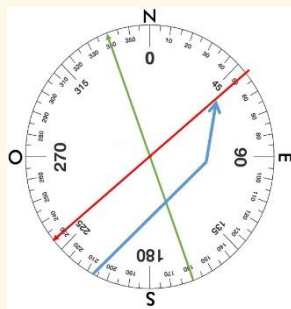
### ALEJAMIENTO EN RUTA PASADA

El concepto de ruta pasada ya lo conocemos: Se trata de ruta pasada cuando la diferencia entre el radial actual y el deseado supera los 90°.

Veamos un ejemplo. Nos encontramos al Sur de la estación en el radial 160 y se nos pide que hagamos un alejamiento por el radial 050. Lo primero es determinar si es ruta directa o pasada. Averiguarlo es simple; contemos los grados desde el radial actual al deseado (hay 110°). Luego, ¿por hacia donde virar, derecha o izquierda? Durante todo el tutorial lo he estado indicando explícita o implícitamente, siempre virar por el lado más corto; en nuestro ejemplo viraremos a la izquierda (sentido anti-horario).



El procedimiento que vamos a seguir es simple. En primer lugar, viramos (recordar, lado más corto) para poner el rumbo del radial objetivo (en este caso 050) y volamos paralelo al mismo hasta que la



aguja del RMI o del HSI se pongan ABEAM (¿recordamos el concepto? Aguja completamente horizontal, porque nos encontramos perpendiculares a la estación). En ese momento viramos 45° hacia el radial deseado. Ya sabéis la fórmula:

$$\text{Rumbo} = \text{Radial deseado} \pm 45$$

En este caso restaremos 45 a 50 (ya discernís que para interceptar los radiales a nuestra izquierda hay que restar 45 al radial deseado y si fuese a la derecha hablaríamos de sumar).

$$50 - 45 = 05$$

Pondremos rumbo 05 y alcanzaremos el radial que es nuestro objetivo.

Viento 012° a 10 nudos

Ahora, veamos el procedimiento



Estamos volando al sur de la isla por el radial 160.

Viramos a nuestra izquierda para establecernos paralelos al radial que queremos interceptar.

Al situarnos abeam a la estación procederemos a virar rumbo 005 para interceptar el radial 050.



En estas tres imágenes se van detallando los pasos para interceptar. En las dos primeras el RMI señalando a la estación una vez virado al rumbo del radial y la situación en el mapa.

En la tercera se ve la situación de abeam. A partir de ese momento procederemos a virar a 005 para encontrarnos con el radial objetivo. Se puede ver otra imagen del RMI durante la maniobra. Quiero resaltar que la cola señala que casi hemos cruzado el radial 130; o sea, nos quedan solo 80 radiales para alcanzar la meta deseada. En la imagen del mapa se puede observar cómo nos dirigimos hacia



de abeam. A partir de ese momento procederemos a virar a 005 para encontrarnos con el radial objetivo. Se puede ver otra imagen del RMI durante la maniobra. Quiero resaltar que la cola señala que casi hemos cruzado el radial 130; o sea, nos quedan solo 80 radiales para alcanzar la meta deseada. En la imagen del mapa se puede observar cómo nos dirigimos hacia



el objetivo del alejamiento. Ahora os pido un ejercicio de imaginación, si prolongásemos todos los radiales desde el VOR, veríamos que el avión va cruzándolos hasta llegar al radial 050.

Otra cosa a reseñar es la posición de la cola. A lo largo de la maniobra, irá subiendo hasta señalar el fin anhelado.

En esta imagen se puede ver como la cola de la aguja del RMI ha ido subiendo (ya casi llega al radial 060).

Finalmente, alcanzamos el radial objetivo y nos alejamos felizmente de la isla de Ibiza.



No olvidar que cuando precisemos navegar con NDB, los procedimientos son los mismos; con dos pequeñas salvedades. Una, el NDB no suele tener asociado DME y, dos, el cono de silencio es más estrecho en los NDB.

Bueno, hemos llegado hasta aquí. Y ahora...

En el próximo capítulo vamos a estudiar cómo aplicar en la práctica todo lo estudiado.

## CAPITULO 15.- ASPECTOS PRACTICOS DE LA NAVEGACION CON RADIALES

Hasta ahora hemos estado estudiando un aspecto de la simulación aérea, importante, pero a su vez ¿incompleta? La respuesta es negativa. El conocer en profundidad el volar radiales nos va a aportar habilidades en el dominio del avión y una mayor orientación espacial y, por supuesto, nos hará disfrutar más y más de nuestra afición.

Sin embargo, hay muchos aspectos de los procedimientos de aviación que conllevan el dominar la técnica de volar en radiales específicos. Me voy a referir a algunos de ellos (seguro que hay más, pero mi ignorancia y poca memoria, los dejan tapados por el velo del olvido):

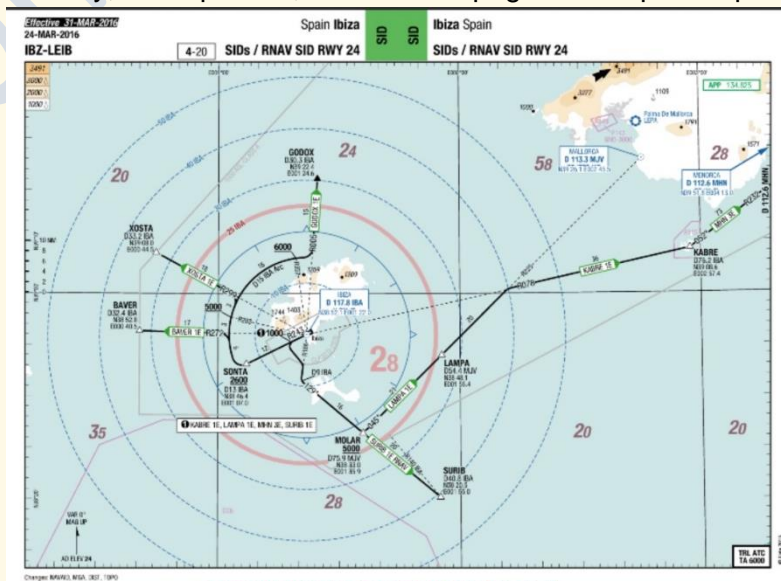
- Estándar instrumental departure (SID).
- Esperas e hipódromos de aproximación.
- Procedimientos de inversión de rumbos.
- Navegación punto a punto.
- Volar arcos DME.
- Estándar terminal arrive route (STAR),
- Aproximaciones.

### Estándar instrumental departure (SID)

Aunque la mayoría de mis lectores saben a qué me refiero, puede quedar alguno, de los más novatos, que desconozca.

¿Qué es una SID? Una SID es un procedimiento de salida normalizado que la mayoría de aeropuertos han establecido para simplificar los procedimientos de salida. Las SID deben ser fáciles de comprender y, a ser posible, de una sola página. Aunque los procedimientos SID garantizan un buen gradiente de subida (no siempre el más bajo) y la separación necesaria para evitar obstáculos, se optimizan con el ATC. Para que un piloto pueda volar una SID legalmente, debe poseer, al menos la descripción en texto del procedimiento SID en cuestión.

Se trata de una ruta preestablecida que lleva al avión desde la pista de despegue hasta el punto donde comienza la aerovía. Este punto se llama **transición**. A partir de la transición, el piloto deja de volar la SID e inicia propiamente la ruta. En algunas cartas puede haber



varias transiciones. Ello significa que esa SID sirve para varias aerovías. Hay que elegir la que corresponda a nuestra ruta.

En la imagen se puede ver la carta de salidas normalizadas del aeropuerto de IBIZA, pista 24.

Como se decía más arriba, se debe disponer de la descripción en texto del procedimiento.

Como se puede ver en la tabla de la derecha, aquí está la descripción en texto de todos los procedimientos de salida normalizada del aeropuerto de IBIZA

Hay salidas con un arco (algo que veremos más adelante) y otras interceptando radiales. Veamos dos ejemplos:

- SALIDA GODOX UNO ECHO (GODOX1E)**  
 Subir en R-243 IBA directo a cruzar SONTA a 2600 ft o superior. Virar a la derecha para seguir arco 15,0 DME IBA, cruzando R-283 IBA a 5000 ft o superior. Continuar arco 15,0 DME IBA hasta interceptar R-352 IBA a 6000 ft o superior. Continuar arco 15,0 DME IBA hasta interceptar y seguir R-003 IBA directo a GODOX. Autorización inicial ATC: Subir y mantener inicialmente 6000 ft y solicitar cambio de nivel en ruta. Pendiente mínima de ascenso 4,0% hasta 1000 ft.
- SALIDA MENORCA TRES ECHO (MHN3E)**

Subir en R-243 IBA a 1000 ft. Virar a la izquierda para seguir R-186 IBA hasta 9,0 DME IBA. Virar a la izquierda para seguir rumbo magnético 129° directo a cruzar MOLAR a 5000 ft o superior. Virar a la izquierda para seguir R-225 MJV directo a LAMPA. Seguir por R-225 MJV hasta interceptar y seguir R-076 IBA directo a KABRE. Virar a la izquierda para seguir R-233 MHN directo al DVOR/DME MHN. Autorización inicial ATC: Subir y mantener inicialmente 6000 ft y solicitar cambio de nivel en ruta. Pendiente mínima de ascenso 4,0% hasta 1000 ft.

Un tema que puede llevar a confusión es la manera de designar las SIDs. En la mayoría de los países europeos, las SIDs se nombran según el último punto del procedimiento, seguido de un número de versión seguido de una letra que depende de la pista de despegue. En el caso concreto del aeropuerto que nos ocupa, los procedimientos de salida por la pista 24 van seguidos de la letra E y las maniobras de salida correspondientes a la pista 06 se siguen con la letra R y F.

Si nos fijamos en la salida MHN3E, significa que el último punto (donde enlazamos con la aerovía) es Menorca. Es la tercera versión de la misma salida y corresponde a la pista 24.

En los Estados Unidos, los procedimientos para las designaciones de las SID son menos rígidos y simplemente toman como referencia alguna característica notable del procedimiento, un waypoint o su situación geográfica junto con un dígito que hace referencia a

03-MAR-2016		Spain Ibiza	
IBZ-LEIB		5-20	SIDs / RNAV SID RWY 24
BAVER 1E / CONTINGENCY DEP / GODOX 1E / KABRE 1E / LAMPA 1E / MENORCA 3E / SURIB 1E RNAV / XOSTA 1E			
RWY 24 (242°)			
	GS	120	150 180 210 240 270
4.0%	R/MIN	500	700 800 900 1000 1100
4.6%	R/MIN	600	700 900 1000 1200 1300
DESIGNATOR	ROUTING		ALTITUDES
Runway 24			
BAVER 1E 4.0% to 1000 134.825	R243 IBA - at SONTA RT follow D15 IBA arc - intercept R272 IBA to BAVER		SONTA MNA 2600 6000
CONTINGENCY DEP 4.6% to 3000 134.825	climb on RWY track to 3000 - follow ATC instructions		
GODOX 1E 4.0% to 1000 134.825	R243 IBA - at SONTA RT follow D15 IBA arc - LT intercept R003 IBA to GODOX		SONTA MNA 2600 R253 IBA MNA 5000 R352 IBA MNA 6000 6000
KABRE 1E 4.0% to 1000 134.825	R243 IBA - at 1000 LT intercept R186 IBA - at 09 IBA LT 129° to MOLAR - LT intercept R225 MJV inbound to LAMPA - R225 MJV inbound RT intercept R076 IBA to KABRE		MOLAR MNA 5000 6000
LAMPA 1E 4.0% to 1000 134.825	R243 IBA - at 1000 LT intercept R186 IBA - at 09 IBA LT 129° to MOLAR - LT intercept R225 MJV inbound to LAMPA		MOLAR MNA 5000 6000
MENORCA 3E MHN 3E 4.0% to 1000 134.825	R243 IBA - at 1000 LT intercept R186 IBA - at 09 IBA LT 129° to MOLAR - LT intercept R225 MJV inbound to LAMPA - R225 MJV inbound RT intercept R233 MHN to MHN		MOLAR MNA 5000 6000
SURIB 1E RNAV 4.0% to 1000 134.825	R243 IBA - at 1000 LT intercept R186 IBA - at 09 IBA LT 129° to MOLAR - SURIB		MOLAR MNA 5000 6000
XOSTA 1E 4.0% to 1000 134.825	R243 IBA - at SONTA RT follow D15 IBA arc - LT intercept R299 IBA to XOSTA		SONTA MNA 2600 R253 IBA MNA 5000 6000

las revisiones. Así, por ejemplo, la SID LOOP3 del Aeropuerto Internacional de Los Ángeles se denomina de esta manera porque se trata de la tercera revisión del procedimiento y porque la ruta que sigue el avión simula un loop.

Nuestro amigo D. Ramón Cutanda en la WEB de Alandalus Airlines ha puesto un enlace que nos permitirá acceder a casi todos los países en sus webs oficiales:

<http://www.airfieldcharts.com/aiplinks.htm>

También hay otra posibilidad para conseguir las cartas, es entrando en cada división de ICAO (algo más tedioso) y buscar el AIP de cada país.

Otra opción, es la que yo uso en la actualidad, es comprar por 70 €, el paquete de Navigraph.

### **Esperas e hipódromos de aproximación**

La primera pregunta es ¿es lo mismo espera que hipódromo de aproximación? La respuesta pudiera ser si (al menos en ciertos aspectos) aunque su función es diferente.

#### ***Diferencias entre ESPERA E HIPODROMO DE APROXIMACIÓN***

El procedimiento de espera de los aviones en llegada a un aeropuerto está pensado para ofrecer a una aeronave la posibilidad de permanecer en una zona determinada por un tiempo definido suele tener como objeto la separación de tráficos en un área congestionada de tráfico.

En cambio, el hipódromo de aproximación sería el procedimiento inicial de una aproximación cuya función es facilitar a las aeronaves un método para invertir el rumbo y/o simplificar un descenso y configurar el avión para proseguir la aproximación.

Otra diferencia entre hipódromo de aproximación y espera es que, en esta última, todos los tramos son de un minuto de duración, mientras que el hipódromo puede variar este valor según tablas o indicaciones adjuntas al procedimiento en concreto.

Pero todo ello con unos márgenes de seguridad perfectamente estudiados de franqueamiento de obstáculos y separación con el terreno.

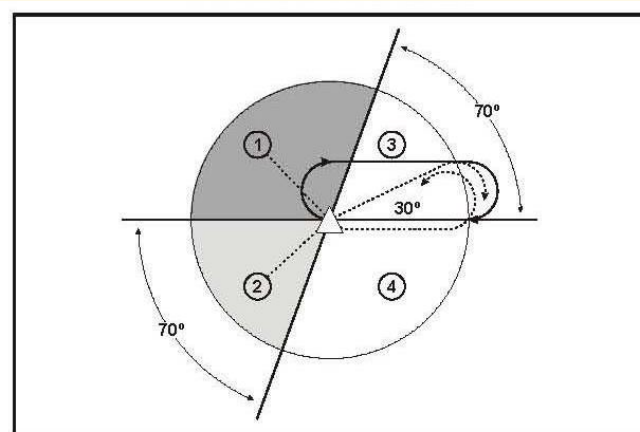
#### ***Tramos ESPERA/HIPODROMO***

No quiero hacer un tratado sobre las esperas (no es el lugar), simplemente hacer unos simples comentarios que a algunos les sirva de recordatorio. Tanto las esperas como los hipódromos tienen forma rectangular.

Los tramos son los siguientes:

1.- Tramo de Inbound (o tramo de acercamiento): Este tramo corresponde al tramo de un minuto de duración en línea recta que se acerca al fijo de la espera. Si la espera está

basada en un VOR, el tramo de Inbound se corresponderá con un radial de acercamiento. Si la espera está basada en un NDB, este tramo se corresponderá con una marcación de acercamiento del equipo de abordó (el ADF). Fijaros ya tenemos la aplicación práctica de lo estudiado: radial o marcación en acercamiento.



2.- Viraje a outbound: Se trata de un viraje de 1 minuto a derechas en la estándar y a izquierdas en la NO estándar. Recordemos que en viraje estándar 1 minuto se corresponde con 180°. Todos los virajes han de hacerse con un ángulo de inclinación lateral de 25° o a la velocidad angular de 3° por segundo, lo que requiera la menor inclinación lateral.

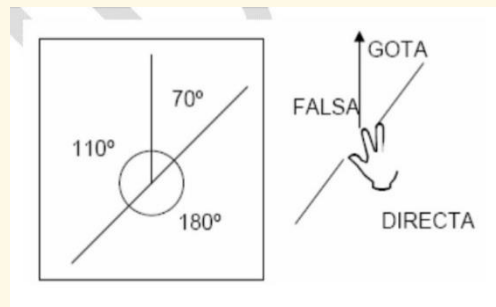
3.- Tramo de Outbound (o tramo de alejamiento): Se trata de un tramo recto de 1 minuto (en el caso de las esperas y en los hipódromos según marque las cartas) que sigue al viraje a Outbound. Este tramo se sigue a rumbo, puesto que al ser paralelo al tramo de Inbound no se corresponde con radial alguno ni marcación alguna del fijo en el que se basa la espera.

4.- Viraje a Inbound: Un nuevo viraje de 1 minuto, a derechas en la espera estándar y a izquierdas en la no estándar. Este viraje enlaza con el primer tramo, o tramo de Inbound.

**Entrada en la espera o el hipódromo**

Para entrar en una espera estándar (virajes a derechas), los límites que definen estas áreas son:

- **Radial de Inbound + 110°:** Define la frontera entre la entrada en directa y la entrada en gota.
- **Radial de Inbound - 70°:** Define la frontera entre la entrada en directa y la entrada en paralelo (también llamada falsa).
- **Radial de Inbound +180°:** Define la frontera entre la entrada en gota y la entrada en paralelo.
- **Todo lo comprendido entre Inbound+110° e Inbound-70°** es entrada en directa.

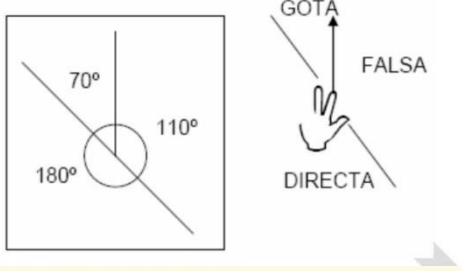


De todos modos, estas maniobras son aparentemente muy fáciles si el piloto tiene una orientación espacio o conciencia situacional buena. En caso de duda se puede aplicar un truquillo. Estando en curso hacia la estación, ponemos una mano sobre el HSI como se enseña en la figura. Usaremos la mano derecha para la espera estándar (virajes a derecha) y la mano izquierda para el no estándar (virajes a izquierda). Emplearemos tres dedos (pulgár, índice y meñique).

Si estamos hablando de una **espera NO estándar** (virajes a izquierdas), los límites que definen estas áreas son:



- **Radial de Inbound – 110°:** Define la frontera entre la entrada en directa y la entrada en gota.
- **Radial de Inbound + 70°:** Define la frontera entre la entrada en directa y la entrada en paralelo.

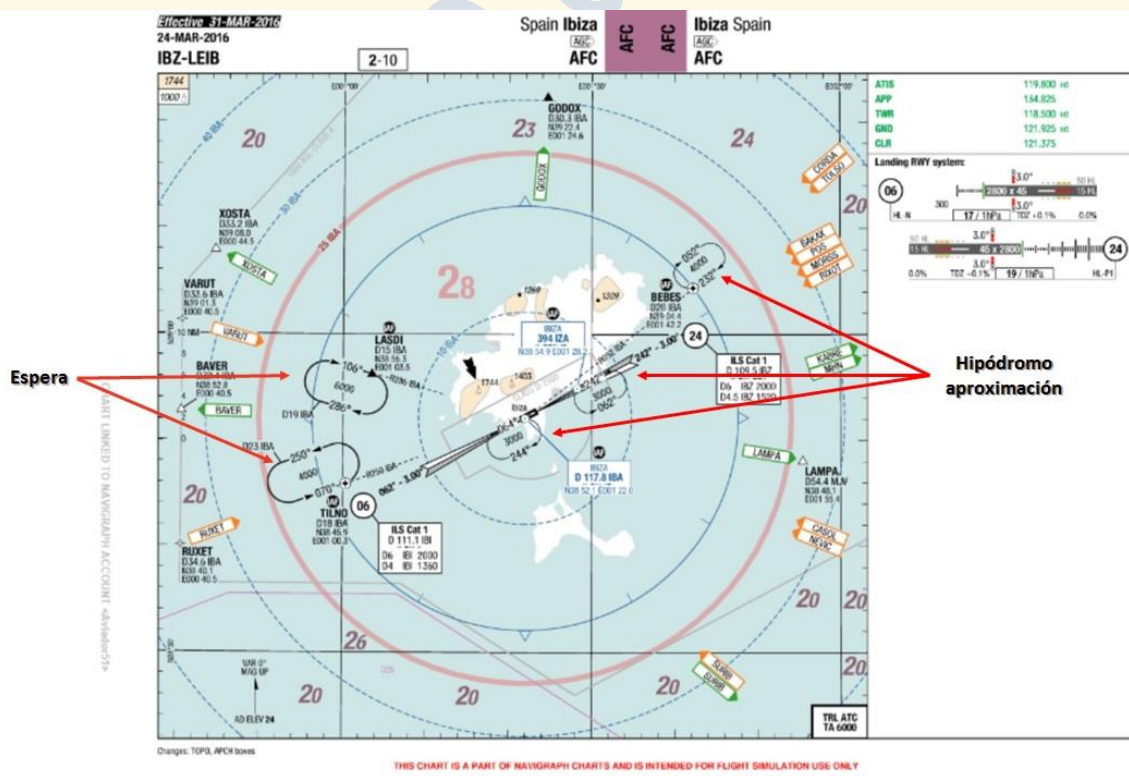


- **Radial de Inbound +180°:** Define la frontera entre la entrada en gota y la entrada en paralelo.
- **Todo lo comprendido entre Inbound-110° e Inbound+70° es entrada en directa.**

Para hacer más hincapié este tema, en la figura, además del dibujo de la espera/hipódromo se ven cuatro sectores;

cada uno va tener un tratamiento diferente en la entrada del rectángulo. El sector 1 corresponde a una entrada en paralelo (al llegar a la radioayuda, volar paralelo al radial del tramo outbound durante 1 minuto hacer un viraje, siempre hacia la espera o hipódromo, y regresar a la radioayuda). El área 2 es una entrada en gota (se vuela hasta la radioayuda. Allí pueden ocurrir dos situaciones: Si el hipódromo queda a nuestra izquierda, restar 30 al radial Inbound, volar ese rumbo 1 minuto, y luego virar a la derecha hasta interceptar el RDL inbound). Si el hipódromo queda a nuestra derecha, sumar 30 al radial inbound, volar ese rumbo 1 minuto, y luego virar a la izquierda hasta interceptar el RDL inbound). Los sectores 3 y 4 corresponden a una entrada directa (Al llegar a la radioayuda, incorporarse directamente al hipódromo).

Durante el vuelo de una espera o hipódromo de aproximación, aplicar rigurosamente la regla de las 6 Ts. Y, por supuesto, estar alerta para hacer las correcciones de viento ya explicadas con anterioridad.



En la imagen de arriba se puede ver lo explicado hasta ahora. Dos circuitos de espera y tres hipódromos, que, a su vez, alguno se puede usar como espera después de una frustrada.

En este ejemplo se puede ver una de las aplicaciones prácticas del manejo de los radiales o marcaciones. Primero, sabiendo interpretar los radiales, la decisión de como entrar en la espera es intuitiva, sin ser necesario ningún cálculo complejo.

En segundo lugar, conocer la técnica de como volar en acercamiento, te facilita la maniobra de volar es espera.

Estas imágenes ya las hemos visto un poco más arriba.

Si el rumbo de alejamiento cae entre pulgar e índice, se trata de una entrada en paralelo (recordar que en algunos textos la podéis ver llamada “falsa”).

Si el alejamiento cae entre el dedo índice y el meñique será una entrada en gota.

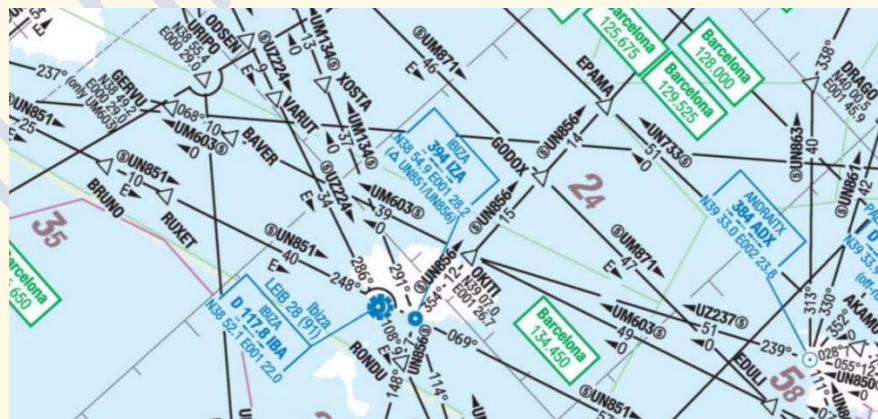
Si el tramo de alejamiento cae entre el meñique y el pulgar, pasando por la muñeca, sabemos que la entrada es directa

### NAVEGACION PUNTO A PUNTO

Otro ejemplo de la aplicación práctica de la navegación con radiales y/o marcaciones: La navegación punto a punto.

Navegar directamente desde un punto a otro sin seguir una aerovía determinada, en un avión sin RNAV, es un procedimiento habitual, aunque puede resultar muy poco preciso en función del método que utilizemos y de la habilidad del piloto. No olvidar que en este manual no disponemos de plotters ni calculadores de vuelo, lo tenemos que hacer a mano.

Para poder hacer este tipo de vuelo es necesario saber leer y comprender las cartas de en-ruta. En estas cartas, todos los fijos y las intersecciones están definidos por un VOR o NDB a través de radiales o



marcaciones. Además, si el VOR dispone de DME, sabremos la distancia desde el VOR. Si nos fijamos con atención en las cartas podremos encontrar el nombre de la aerovía, el sentido y un número en el centro de la línea y situado de manera equidistante entre dos puntos, estos números nos indican la distancia en millas que hay entre los dos puntos.

Como ejemplo, vamos a fijarnos en un fijo concreto: VARUT. Si nos fijamos está situado sobre la aerovía UZ224 (estamos viendo cartas de espacio superior, en el caso cartas de espacio inferior – al menos en España – la aerovía se denominaría Z224). Esta aerovía tiene como dirección noroeste – sureste. Si nos desplazamos por la aerovía desde VARUT, rumbo sureste, llegamos a IBA y encontramos dos datos muy interesantes, en la línea que marca la aerovía hay un número (34) y, casi en el VOR, un rumbo (286°). Esto significa que VARUT está definido por el VOR IBA con distancia y radial (a 34 millas del VOR y radial 286). Lamentablemente no es tan fácil como parece porque nosotros nos encontramos al noreste de la isla y a 48 millas del VOR.



¿Cómo vamos a llegar al punto exigido, obviamente por el camino más corto? Existen dos métodos para hacer la navegación punto a punto:

- **Método DIRECTO:** Nos permite volar un rumbo directo al punto que deseamos, conociendo el radial y la distancia DME, para llegar a nuestro destino usando RMI, VOR y DME.
- **Método de la BISECTRIZ:** Nos permite llegar a un fijo con RMI, VOR y/o ADF, sin disponer de DME.
- **Otros métodos.**

**METODO DIRECTO**

Como ya se ha dicho, podemos llegar a un fijo usando el RMI y la información que nos aporta la carta aeronáutica sobre el radial en el que se encuentra el fijo y la distancia desde la radioayuda. En este ejemplo, estamos a 48 millas de IBA, volando el radial 040 y queremos volar un rumbo directo a VARUT.

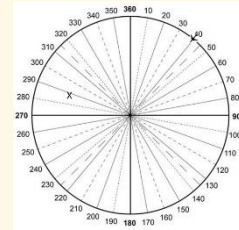
Para ello consideremos la Rosa de los Vientos del RMI como la herramienta de trabajo primordial; el borde del RMI es una circunferencia, cuyo centro está ocupado por el VOR. Volvamos de nuevo a la geometría, nos va ayudar a entender mejor las explicaciones, y nos permite refrescar conceptos; especialmente para aquellos que no cursaron los estudios de ciencia.

Los elementos fundamentales de la misma son:

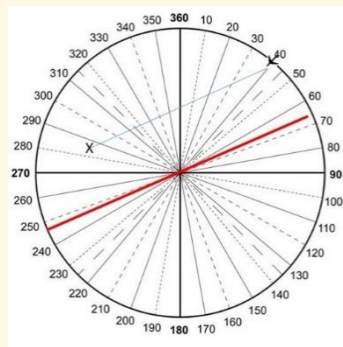
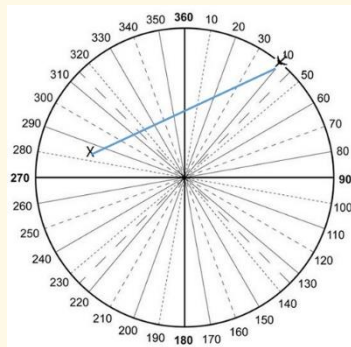


- **Radio**, es cualquier segmento que une el centro a cualquier punto de dicha circunferencia.
- **Diámetro**, es doble de la longitud del radio.
- Todos los radios de una figura geométrica poseen la misma longitud.
- **Arco** es cualquier curva continua que une dos puntos. También, se denomina arco a un segmento de circunferencia; definido por tres puntos, o dos puntos extremos y el radio.

Tenemos dos elementos a considerar: avión y el fijo (representado en las figuras siguientes como "X"). El primer paso es determinar que distancia es mayor; la del avión al VOR o la del fijo al VOR. Esto es importante ya que el objeto que tenga la distancia mayor se va a representar en el borde del RMI. En nuestro caso, el avión está a 48 millas del VOR y el fijo a 34. Por este motivo, podemos representar al **avión** en el borde de la circunferencia, el **VOR** en el centro y, en el radial correspondiente, manteniendo la escala (radio 48 millas y fijo a 34 millas, que representa el 71% del radio) dibujamos el **fijo**. Ahora ya sabemos dónde estamos y dónde está el fijo.



A continuación, trazamos una línea que una nuestro avión con el fijo y después trazamos una línea paralela, transportada al centro del RMI. Ello nos dará el rumbo directo hacia el fijo. En nuestro caso aproximadamente 247°. Si aplicamos la escala (radio 48 millas) podemos deducir que estaremos entre las 65 y 70 millas del fijo.



Creo que no hace falta recordar la corrección del viento durante todo el trayecto.

**METODO DE LA BISECTRIZ**

Ahora lo vamos a complicar un poquillo más. Queremos llegar a un fijo que está definido por un NDB y un VOR (os ruego un poco de comprensión, porque el VOR si tiene DME,



se trata de un VOR/DME, pero vamos a usarlo como si no hubiese DME, solo radiales).

En la imagen de la carta tenemos el punto al cual queremos llegar que se llama OKITI (señalado con la flecha amarilla). Las dos radioayudas son el NDB de IZA (marcado con la flecha roja) y el VOR de CAPDEPERA (CDP) (indicado mediante una flecha verde).

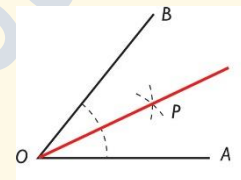
Dadas las limitaciones de la Pilatus PC12 de CARENADO, que es el avión usado en este tutorial, solo disponemos de un ADF para sintonizar NDBs, y está localizado en ADF1, en el RMI sintonizaremos la aguja verde (que corresponde a NAV1/ADF1) para que detecte la señal del NDB. Con la aguja doble y amarilla habremos sintonizado el VOR CDP, desde NAV2. Resuelto el problema, seguiremos el procedimiento.



Realmente, se trata de ubicar un punto en la intersección de dos radioayudas (en este caso un NDB y un VOR) cuyos radiales/marcaciones confluyan entre sí.

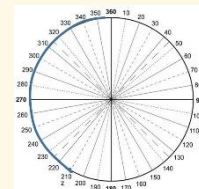
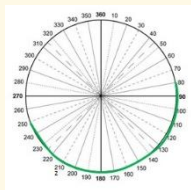
Para alcanzar el fijo deseado en el rumbo más corto aplicaremos el Método de la Bisectriz.

Vamos a hacer un pequeño apartado ¿Qué es una bisectriz? La bisectriz de un ángulo es la recta que pasa por el vértice del ángulo y lo divide en dos partes iguales. Es el lugar geométrico de los puntos del plano que equidistan (están a la misma distancia) de las semirectas de un ángulo.



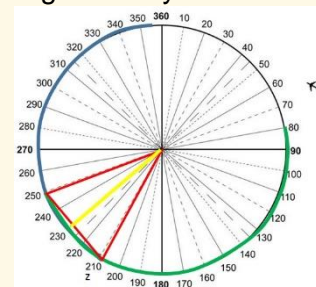
El método parece complicado, pero es bastante sencillo. Simplemente hay que recordar conceptos tan simples como que es la cabeza de la aguja del RMI; ya que vamos a trabajar con ella y radiales/marcaciones. Siempre haremos los cálculos siguiendo el camino más corto.

Nos fijamos en la aguja del ADF, esta marca 210. Luego revisamos la carta y vemos que el fijo OKIKI está en la marcación 354. Nos imaginamos en el borde del RMI un arco que empieza 210 y acaba en 354 (arco azul).



Ahora repetimos la operación con el VOR CDP. La cabeza (aguja doble amarilla, recordar) señala 080 y el radial que tenemos que alcanzar es el 249. Volvemos a hacer un ejercicio de imaginación y situamos es arco en el RMI (arco verde).

Ahora hacemos superponemos ambos arcos y obtenemos un tercer arco con las partes que coinciden en la superposición; exactamente de 210 a 250. Desde cada límite trazamos los radios correspondientes (ya sabéis, desde 210 y 250 al centro) y dibujamos la bisectriz de la confluencia de los dos radios (es la línea amarilla). Si miramos en la rosa de los rumbos ya vemos cual hay que seguir (en nuestro caso 230). Se comprueba el viento, calculamos el componente de lado, hacemos las correcciones oportunas y a volar. Sabremos que hemos llegado cuando la marcación 354 intersecciones con el radial 249 (eso lo veremos en el RMI).



Quiero hacer una pequeña aclaración, en la Pilatus de Carenado, igual que en otros aviones (PMDG, AEROSOFT) se puede superponer en el HSI la información procedente del ADF1 y VOR2, lo resalto para aquellos que prefieren volar usando el HSI



### OTROS METODOS PARA VOLAR A UN FIJO

Además de lo explicado justo arriba, se pueden usar otros métodos para volar hacia un fijo.

### ALEJAMIENTO/ACERCAMIENTO CON VOR/DME

Hemos estudiado todos los procedimientos para acercarnos o alejarnos de un VOR. También sabemos que todos los fijos se definen mediante un VOR/DME, a través de un radial y distancia.

Entonces, aprovechemos nuestros conocimientos.

En la situación A de la imagen, deberemos interceptar el radial 90 para llegar al fijo. Se trata



En alejamiento (no se trata de ruta pasada en este caso) aplicamos la fórmula  $C - D - 45$ . Estamos en el radial 160 y tenemos que alcanzar el fijo que esta 30 millas del VOR/DME en el radial 90. Obviamente, al estar a la izquierda el radial deseado, le restamos 45 y obtendremos un rumbo de  $45^\circ$  que volaremos hasta estar sobre el radial y luego seguiremos curso  $090^\circ$  hasta la milla 30.

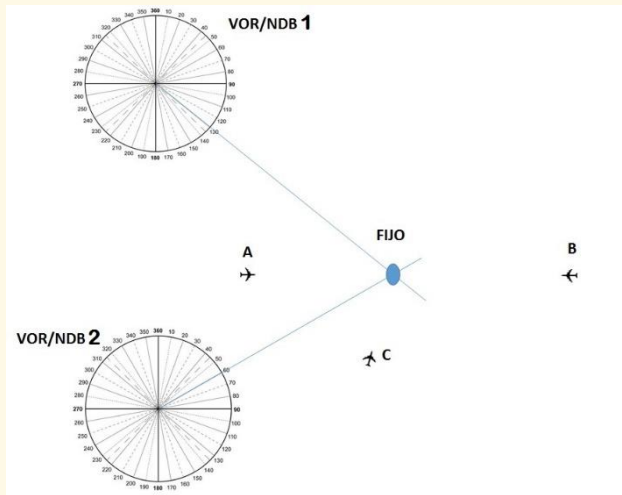
En la situación B, el procedimiento a seguir es un acercamiento al VOR. Tenemos que aplicar la fórmula  $D - C - 30$ . Volamos en el radial 110 y deberemos acercarnos por el radial 90. La cabeza del RMI marca 290 y tendremos que llegar con un curso 270. Ya sabéis, radial a la derecha, hay que sumar 30 al curso actual. Viramos a nuestra derecha a rumbo 320 y esperamos estar sobre el radial para virar a curso 270 para sobrevolar el fijo.

NO OLVIDAR, HACER LA CORRECCION DE VIENTO EN TODOS LOS CASOS.

**ACERCAMIENTO/ALEJAMIENTO CON DOS RADIOAYUDAS SIN DME**

Este método sirve cuando queremos desde un punto determinado por dos radiales de dos estaciones a otro fijo determinado por dos radiales de las mismas estaciones.

Lo primero es conocer nuestra situación espacial con respecto a estas dos estaciones. En la figura se pueden ver el avión en tres posiciones respecto a las estaciones: Posición A, en alejamiento respecto a los VOR/NDBs. Ubicación B, en acercamiento a las dos estaciones. La disposición C nos sitúa al avión en acercamiento a la estación 1 y alejamiento a la 2.



Para solucionar este problema se debe dividir en dos partes, uno para cada VOR/DME.

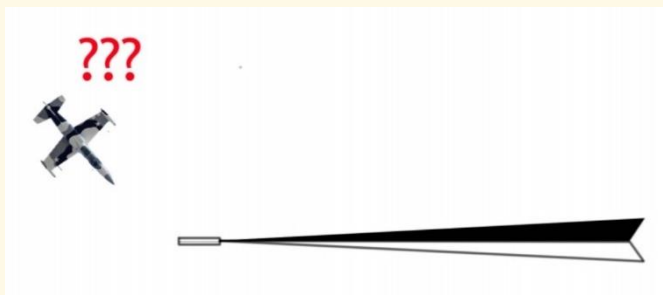
Primero situamos al avión respecto a la radioayuda 1. El siguiente paso consiste en calcular que rumbo deberemos poner para alcanzar el fijo al que queremos llegar usando las fórmulas  $D - C - 30$  o  $D - C - 45$  según se trate de alejamiento o acercamiento.

Luego hacemos lo mismo respecto a la estación 2 y obtenemos un segundo rumbo.

Finalmente hacemos una interpolación de ambos rumbos. ¿Cómo hacemos la interpolación? Personalmente a mí me da un resultado excelente el sumar ambos rumbos y el resultado dividirlo por dos. Como ejemplo, tenemos un rumbo de  $175^\circ$  para llegar al radial de la estación 1.  $255$  para alcanzar el radial correspondiente a la estación 2. La suma da como resultado  $430$ . Si lo dividimos por dos, obtenemos  $215$ , que corresponderá a un rumbo muy aproximado para llegar de un punto a otro.

Recordar que el fijo al cual queremos llegar está determinado por la intersección (cruce, por si alguien no entiende la palabra) de los dos radiales. Cuando veamos que se produce la confluencia de los dos radiales, sabemos que estamos en el sitio adecuado.

**PROCEDIMIENTOS DE INVERSION DE RUMBO**



Cuando estamos llegando a nuestro destino rara vez lo haremos en una ruta directa a final. Como veremos en la sección correspondiente, las señales de ILS son muy estrechas (solo  $2.5^\circ$  a cada lado). Interceptarlas en ángulos que su-

peren los  $30^\circ - 45^\circ$  es muy complicado. Así mismo, durante una aproximación de no precisión, ángulos superiores a esos  $45^\circ$  nos pueden hacer casi imposible la toma; especialmente si estamos maniobrando aviones con  $V_{ref}$  altas. Incluso, con avionetas en VFR hay un procedimiento, llamado "patrón de aeropuerto", que organiza el tráfico de llegada, nos permite configurar el avión para la toma y alinear el avión con el eje de la pista para garantizar una toma segura.

Para ello se han diseñado unos procedimientos que nos permiten maniobrar el avión sea cual sea su ruta hacia el aeropuerto y aproar la aeronave hacia el curso de final.

¿Cuáles son estos procedimientos de inversión? Tenemos 3 procedimientos que nos permiten virar el avión y situarlo en el rumbo de aproximación adecuado:

- Viraje reglamentario o de procedimiento:
  - ✓ Viraje reglamentario  $45^\circ/180^\circ$ .
  - ✓ Viraje reglamentario  $45^\circ/225^\circ$ .
  - ✓ Viraje reglamentario  $80^\circ/260^\circ$ .
- Viraje de base o Gota:
  - ✓ Gota de  $30^\circ$ .
  - ✓ Gota de  $210^\circ$ .
- Hipódromo de aproximación.

### VIRAJE DE PROCEDIMIENTO.

Los virajes reglamentarios son de tres tipos, como veremos en las líneas posteriores. Todos ellos se deben hacer con un alabeo de  $30^\circ$ .

Los virajes estándar son por la izquierda. Lo no estándar se realizarán por la derecha.

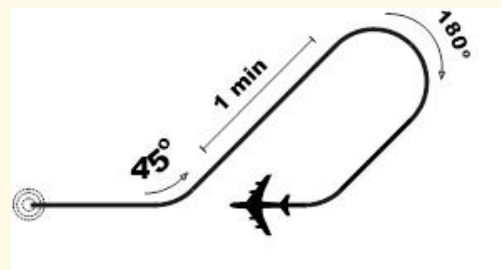
Su técnica puede variar ligeramente según sea la radioayuda (NDB o VOR).

Los más habituales son los virajes de  $45^\circ$ .

#### ***Viraje reglamentario $45^\circ/180^\circ$ NDB.***

El viraje empieza en un NDB y consta de:

1. Viraje de  $45^\circ$  por el lado del viraje. Este viraje se comenzará según se indique en la carta.
2. Cronometrar un minuto.
3. Efectuar viraje de  $180^\circ$  por el lado contrario.
4. Esperar marcación relativa de  $45^\circ$  por el lado contrario al viraje inicial.

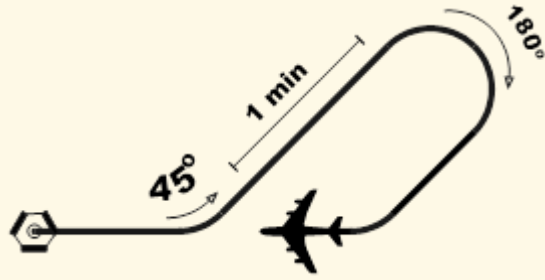


#### ***Viraje reglamentario $45^\circ/180^\circ$ VOR.***



Empieza en una radioayuda o en un punto de referencia y consta de:

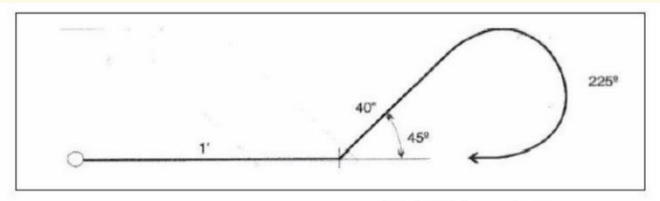
1. Un tramo directo de alejamiento; este tramo directo puede ser cronometrado, limitado por un radial o una distancia DME.
2. Un viraje de 45°.
3. Un tramo directo manteniendo los 45° (con la corrección de viento oportuna). Este tramo es cronometrado y es de 1 minuto desde el inicio del viraje para aeronaves de categoría A y B, y de 1 minuto 15 segundos para aeronaves de categoría C, D y E.
4. Cambiar OBS al recíproco (CDI se balancea al lado del viraje).
5. Un viraje de 180° en sentido opuesto hasta interceptar el curso de acercamiento o INBOUND.
  - Si el avión está fuera de la ruta de alejamiento, pero hacia el lado del viraje, se debe empezar a contar tiempo al iniciar el viraje de 45°.
  - Si el avión está por fuera, pero al otro lado, se debe empezar a contar tiempo cuando se cruce la trayectoria de alejamiento.



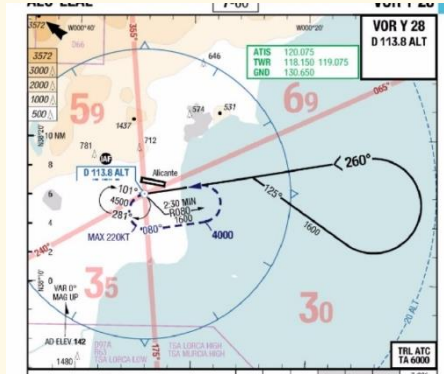
**Viraje reglamentario 45°/225°.**

También empieza en una radioayuda (el procedimiento es similar para VOR o NDB) o en un punto de referencia:

1. Consiste en un vuelo cronometrado siguiendo la trayectoria de alejamiento a partir de la radioayuda o del punto de referencia según marque la carta (mínimo 1 milla).
2. Un viraje de 45°, alejarse durante 40 seg. Después de viraje.
3. A continuación, un viraje para invertir la dirección (225°) dirigiéndose directamente hacia la ruta de acercamiento (radial o marcación, según se trate de VOR o NDB).



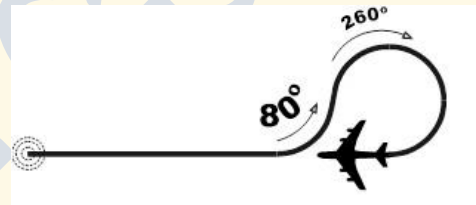
El tramo de corrección será el de 40seg, añadiendo 1 seg. por cada grado de corrección de deriva necesario para mantener la trayectoria de alejamiento en el caso de que el viento viniera desde el mismo lado al que debe realizarse la maniobra. En caso de que el viento fuera en dirección contraria, se deberá restar 1seg por cada grado de corrección de deriva necesario. La longitud del tramo puede venir con especificación de distancia y tiempo, en cuyo caso, los aviones equipados con DME tomarán como referencia la distancia para efectuar dicho viraje.



**Viraje reglamentario 80°/260° NDB.**

El procedimiento empieza, como en todos los casos en un NDB.

1. Se vuela un tramo de alejamiento cronometrado, explicitado en la carta correspondiente.
2. Se procede a un viraje de 80° a la derecha o a la izquierda sobre el rumbo de alejamiento.
3. Inmediatamente se vira 260° en sentido contrario al primer giro para interceptar en acercamiento la marcación por la que previamente nos hayamos alejados del NDB.

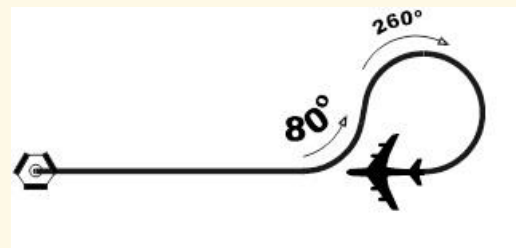


**Viraje reglamentario 80°/260° VOR.**

El procedimiento empieza en un VOR o en un punto de referencia relacionado con la radioayuda.

Se vuela un tramo de alejamiento (generalmente entre 1 y 3 millas del VOR). Suele venir indicado en la carta.

Se procede a un viraje de 80° a la derecha o a la izquierda sobre el rumbo de alejamiento.



Nada más alcanzar el rumbo de 80° se vira 260° en sentido contrario al primer giro para interceptar en acercamiento el radial por el que previamente nos alejamos de la radioayuda.

**VIRAJE DE BASE**

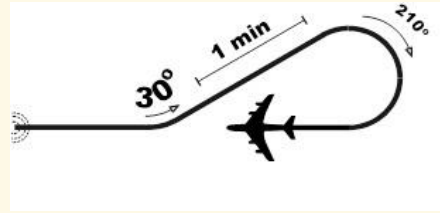
Consiste en seguir un rumbo determinado de alejamiento durante un tiempo establecido o una distancia DME a partir de la radioayuda, y a continuación un viraje para volver al rumbo de acercamiento. El rumbo y/o el tiempo de alejamiento pueden ser diferentes según la categoría del avión. En tal caso se publicarán procedimientos separados.

## Viraje de procedimientos de gota de 30° NDB

Después de un tiempo determinado en la carta en alejamiento por una marcación, proceder al viraje de 30°.

Cronometrar un minuto.

Efectuar un viraje de 210° por el lado contrario hasta alcanzar la marcación por la que nos hemos alejado.



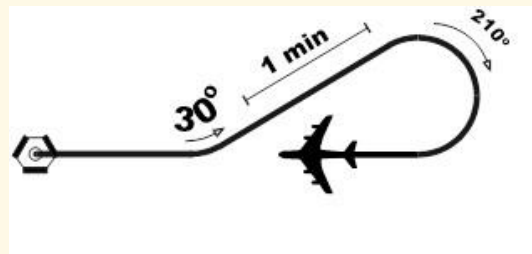
## Viraje de procedimientos de gota de 210° NDB

1. Viraje de 210° por el lado del viraje
2. Esperar marcación relativa de 30° por el lado contrario al viraje.



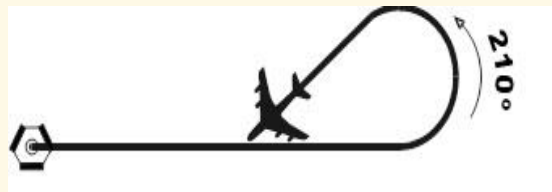
## Viraje de procedimientos de gota de 30° VOR

1. Viraje de 30° por el lado del viraje
2. Cronometrar un minuto
3. Cambiar OBS al recíproco (CDI se balancea al lado del viraje)
4. Efectuar viraje de 210° por el lado contrario
5. Al terminar el viraje el CDI deberá estar centrado

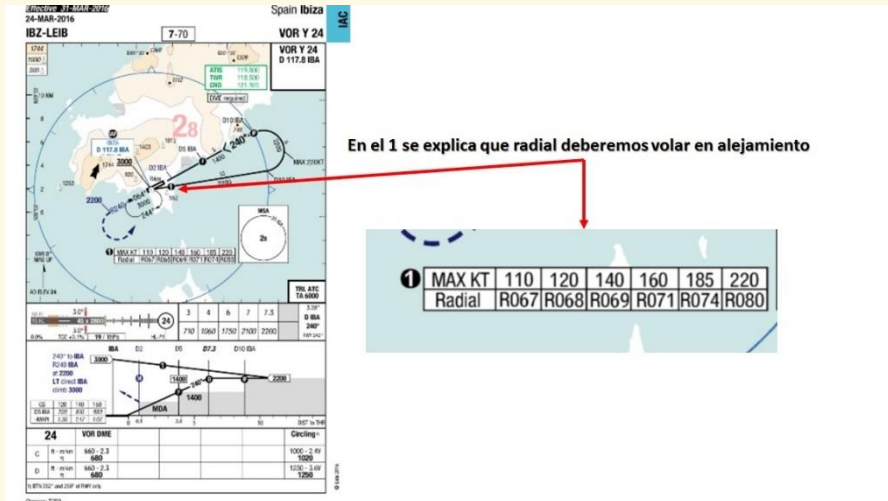


## Viraje de procedimientos de gota de 210° VOR

1. Viraje de 210° por el lado del viraje
2. Cambiar OBS al recíproco (CDI se balancea al lado del viraje)
3. Esperar a que el CDI se centre y volver al rumbo seleccionado del OBS



En la figura siguiente podemos ver una entrada en gota en el aeropuerto de IBIZA. Este es uno de los muchísimos ejemplos que se pueden encontrar. En la carta, señalado con 1, hay una tabla para saber, dependiendo de la velocidad de la aeronave, seamos porque radial hay que alejarse.



**HIPODROMO:**

El procedimiento de hipódromo consiste en un viraje de 180° a partir del rumbo de acercamiento, al sobrevolar la estación o el punto de referencia hasta alcanzar el rumbo de alejamiento durante 1, 2 o 3 minutos, y a continuación un viraje de 180° en el mismo sentido para regresar al rumbo de acercamiento. En lugar del tiempo calculado, el tramo de alejamiento puede limitarse por una distancia DME o el radial de interceptación. Normalmente se utiliza el procedimiento de hipódromo cuando las aeronaves llegan por encima del punto de referencia desde varias direcciones. Habitualmente, se utiliza el procedimiento de hipódromo cuando no se dispone de distancia suficiente en un tramo de línea recta para adecuar la pérdida de altura necesaria y cuando no resulte práctico recurrir a un procedimiento de inversión.

En esos casos, se espera que la aeronave inicie el procedimiento de un modo comparable al que se indica para entrada al procedimiento de espera.

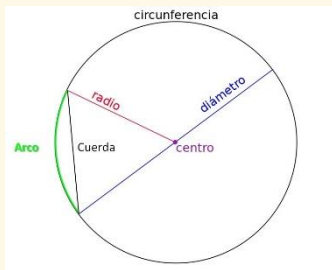
Ya hemos explicado detenidamente el tema en el apartado de las esperas.

En la imagen la APP ILS 24 IBIZA

App ILS RWY 24 LEIB IAF IZA  
 Tramo inbound  
 RDL 242  
 Duración 2 minutos a 210 nudos.  
 Tramo outbound  
 Rumbo 063  
 Duración 2 minutos a 210 nudos.  
 Hipódromo NO STANDARD  
 (viraje a la izquierda)



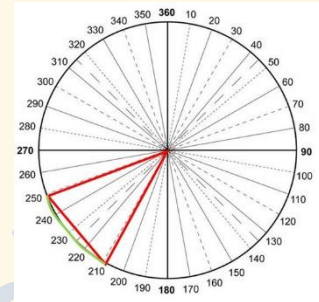
**ARCOS DME**



Antes de meternos de lleno en este tema, volvamos a la geometría para aprender que es un arco.

En geometría, arco es cualquier curva continua que une dos puntos. También, se denomina arco a un segmento de circunferencia; un arco de circunferencia queda definido por tres puntos, o dos puntos extremos y el radio, o por la longitud de una cuerda y el radio.

Ya sabemos lo que es un arco, y ahora ¿Cómo lo aplicamos a la aviación? Pues es fácil, volvamos a la Rosa de los Vientos. Recordareis que es el borde del RMI (entre otros instrumentos), ¿no? Y es una circunferencia. Cambiamos la palabra radio por radiales y ya tenemos la definición de arco en aviación: Una porción de la Rosa de los Vientos delimitada entre dos radiales. En la imagen tenemos el arco, dos radiales y, en el centro, el VOR/DME. Es importante que sea una radioayuda con medidor de distancia, porque una de las características de los arcos es volar siempre a una distancia constante de la estación.



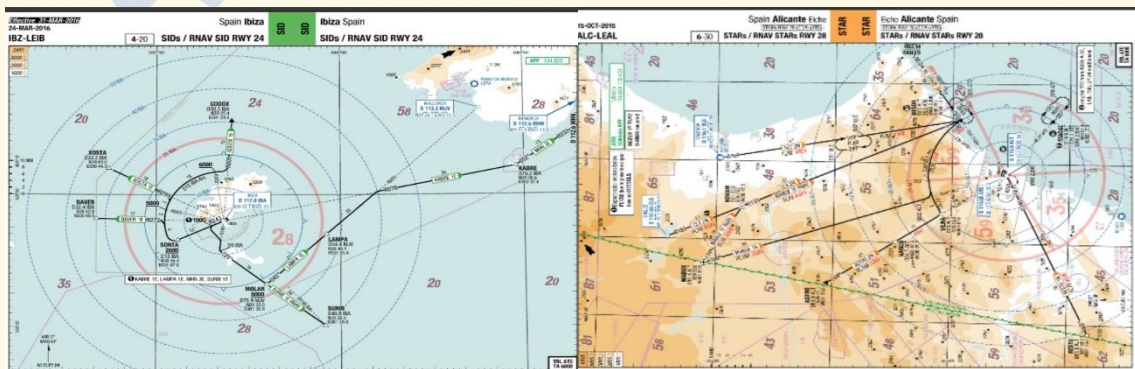
Y ¿para qué necesitamos un ARCO/DME? En muchos procedimientos de salida o llegada hay unas maniobras prefijadas, con el objeto de realizar un viraje alrededor de un punto de referencia radioeléctrico, manteniendo una distancia fija al mismo. Suele utilizarse en aproximaciones (STAR) o salidas (SID) instrumentales, y cuando por algún motivo no se permita o no sea recomendable pasar por la vertical de la radioayuda. Esta maniobra se basa en la utilización de una estación radioeléctrica de navegación VOR/DME (si alguno de ellos no está en servicio, la maniobra no es realizable). El viraje por ARCO DME, se realiza en uno u otro sentido según sea especificado. Por izquierda, en radiales decrecientes (en sentido antihorario) o por derecha, en radiales crecientes (sentido horario).



Como se puede ver en la imagen significa volar en círculo, a una distancia fija; por ejemplo 10 o 15 millas.

Siempre tiene que haber un VOR, o un NDB, equipado con DME, como centro del círculo. En el avión se necesita una RMI o HSI.

Normalmente, se entra en un arco DME llegando o alejándonos de la estación por un



radial determinado. Es decir, estaremos volando directamente hacia o desde la estación. En las figuras podemos ver un arco de salida (IBIZA, rwy 24) y otro de llegada (ALICANTE, rwy 28).

Aunque el procedimiento en esencia es el mismo, en las imágenes vamos a diferenciar los arcos en llegada o en salida.

En la carta están especificados todos los datos referidos al arco:

Radial y/o fijo de entrada.

Distancia del radio del arco respecto a la estación.

Radial de salida.



En la salida de IBIZA GODOX1E se puede leer:

“SALIDA GODOX UNO ECHO (GODOX1E)

Subir en R-243 IBA directo a cruzar SONTA a 2600 ft o superior. Virar a la derecha para seguir arco 15,0 DME IBA, cruzando R-283 IBA a 5000 ft o superior. Continuar arco 15,0 DME IBA hasta interceptar R-352 IBA a 6000 ft o superior. Continuar arco 15,0 DME IBA hasta interceptar y seguir R-003 IBA directo a GODOX.

Autorización inicial ATC: Subir y mantener inicialmente 6000 ft y solicitar cambio de nivel en ruta.

Pendiente mínima de ascenso 4,0% hasta 1000 ft.”

**ARCOS EN SALIDA**

**ENTRADA del ARCO**

Para entrar en la milla adecuada se debe calcular cual es la anticipación (en millas) para pasar desde el radial de salida al arco sin pasarse. Para ello se aplica la fórmula:

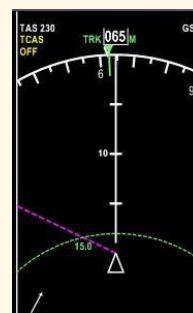
**Millas de anticipación = 0.5% de la GS (en nudos)**



Como estamos en salida, volamos en alejamiento. Lo máximo que nos podremos alejar está limitado por el arco. Si nos fijamos en la imagen de la derecha, el arco está situado en la milla 15; lo que nos está diciendo que como máximo, nos podemos alejar 15 millas, por eso las millas de anticipación calculadas habrá que restarlas de la distancia del arco (si las sumásemos, nos pasaríamos). Como ejemplo, salimos de IBIZA con GODOX1E. Ascendemos y

antes de llegar a SONTA nuestra GS es 150 nudos. Aplicamos la fórmula  $(0,5 \times 150 / 100)$  y obtenemos 0.75 millas. Para hacerlo más fácil, redondearemos (en este caso 1 milla); esto es, en la milla 14 iniciamos el viraje hacia nuestra derecha para establecernos en el arco de 15 millas.

Empezar con un alabeo de 20° y corregir según necesidades a mas o a menos (sin superar nunca los 30°).



Entrada en un arco de salida

En las imágenes de la derecha, se puede ver la secuencia normal para entrar en un arco de salida.



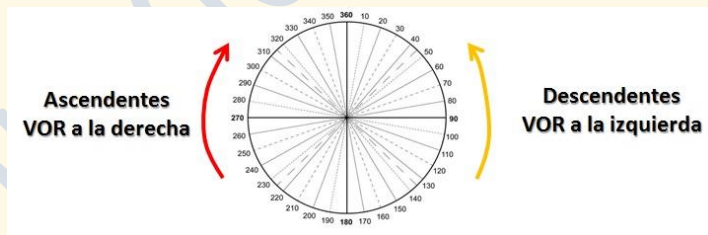
**SALIDA del ARCO**

Así mismo, para salir por un radial determinado deberemos hacer la maniobra con la antelación debida. Dicha anticipación la podemos calcular mediante la fórmula

$$\text{Radiales de anticipación} = \frac{60 \times 0.5\% \text{ GS}}{\text{Distancia a la estación (en millas)}}$$

Por ejemplo, el avión está a 15 millas del VOR y vuela a 180 nudos, si aplicamos la fórmula  $(60 \times 0,5 \times 180 / 100) / 15 = 60 \times 0.9 / 15 = 3.6$ . Redondearemos a la unidad; en este caso, a 4.

Los radiales de anticipación hallados se sumarán o restarán del radial que se quiera interceptar, según se vuele dejando la estación a la derecha o a la izquierda. Voy a explicar esto con una imagen. Si estamos dejando la estación a la derecha, volamos radiales ascendentes. En la ficha, nos indican que la salida es por el radial 003 directo a GODOX. Obviamente, el sentido común nos indica que tendremos que abandonar el arco ANTES de llegar al radial deseado; esto es, **restar 4** (recordar el cálculo de arriba).



Radial para empezar la salida =  $003 - 4 = 359$ .

Si, por el contrario, dejáramos nuestra estación a la izquierda, estaríamos volando en sentido descendente. Por lo cual, deberíamos **sumar**, esa operación nos permitirá abandonar antes de llegar al radial diana ( $003 + 4 = 007$ , deberemos iniciar el procedimiento de abandono del arco en el radial 007).

El movimiento del CDI en la interceptación nos indicará la rapidez con la que se debe salir del viraje para quedar establecido en el radial deseado. En la imagen, abandonando un arco en salida.



**ARCO EN LLEGADA**

**ENTRADA EN EL ARCO**

Tal como se ha explicado anteriormente, para entrar en la milla adecuada se debe calcular la anticipación (en millas) para pasar desde el radial de entrada al arco sin pasarse.



En la imagen de la derecha tenemos un arco de llegada a la pista 28 del aeropuerto de Alicante a 20 millas del VOR de ALT.

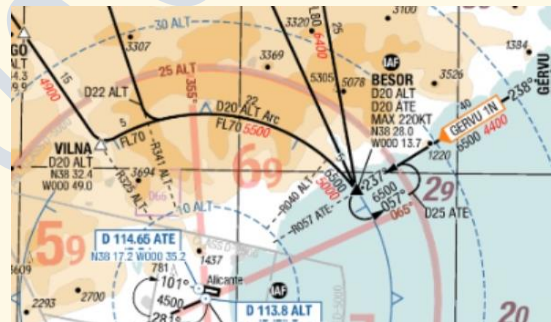
Para entrar, calcularemos las millas de anticipación. Nuestro avión se dirige hacia el aeropuerto de destino y espera la llegada ASTRO2N (ASTRO, NARGO, VILNA, ARCO 20,0

DME ALT, BESOR (IAF)) a 210 nudos. A esta velocidad la entrada en el arco tenemos que anticiparla a 1 milla.

Como se trata de un acercamiento, deberemos sumar 1 milla al arco (recordar, el límite es 20 millas y para incorporarnos correctamente, deberemos hacerlo antes de alcanzar ese límite).

**SALIDA DEL ARCO**

Según la carta, debemos abandonar el arco por el radial 057. Ya sabéis, ese radial es el límite. Como se trata de radiales ascendentes, deberemos restar al 057 el número de radiales que se obtengan de aplicar la fórmula de anticipación de radiales. En nuestro caso obtendríamos 3.15 (redondeando, 3). Ya sabemos que la salida del arco la debemos empezar al cruzar el radial 054. El alabeo va a ser determinado por el movimiento del CDI.

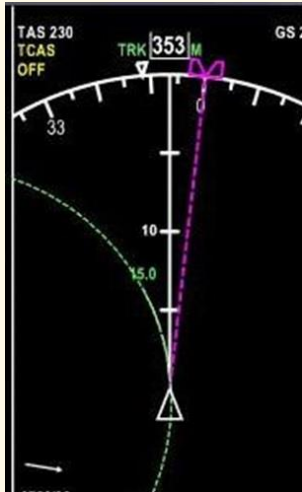


**MANTENER EL ARCO**

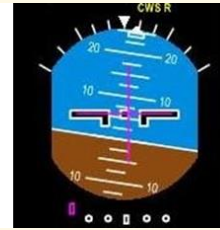
Para mantener un arco hay que controlar el rumbo del avión para mantener un radial, respecto al punto de referencia, de aproximadamente 90º por la izquierda o por la derecha según corresponda, y la distancia deseada en el indicador de distancia. Esto es lo que en anteriores capítulos hemos llamado “mantenerse ABEAM”.



Para realizar la maniobra se establece un pequeño ángulo de alabeo (entre 3° y 5°) que mantendrá la aguja del RMI ABEAM sobre la estación. Controlamos la distancia existente entre el avión y la estación, la cual debe



permanecer constante, en el HSI o ND. Si la distancia empieza a aumentar necesitamos más alabeo para volver a la distancia que nos marcan en la carta. Si la distancia disminuye, reduciremos nuestro alabeo o incluso nivelamos el avión y esperamos a tener de nuevo la DME correcta. Esta técnica es la más conveniente cuando se vuela un arco pequeño (menos de 5 NM) y a alta velocidad.



Otra técnica, llamada "CORTAR EL ARCO" es volar una serie de tramos rectos y cortos para mantener el arco. Para volar un arco de esta forma, se ajusta el rumbo del avión para situar la aguja del RMI abeam. Se mantiene el rumbo hasta que la aguja del RMI hacia abajo. Esta técnica es la conveniente cuando se vuela un arco grande y a velocidades bajas o medias, o usando sólo un indicador CDI, sin disponer de RMI.

Esta técnica ha sido magistralmente expuesta por D. Francisco Espinosa (gran amigo y excelente maestro) en Foro aviones: "Cuando volamos un arco DME intentaremos volar rumbos perpendiculares de 10 en 10 radiales. Esto quiere decir, que una vez entremos en el arco, y la aguja del RMI esté perpendicular, dejaremos que la aguja vaya cayendo 10 radiales, y una vez hayan caído, realizaremos el viraje hacia la estación, de tal manera que suba otros diez radiales.

La técnica es rumbos constantes, esperando deflexiones del instrumento, y una vez ha deflectado los diez radiales, volvemos a corregir para que vuelva a subirlos. Todo esto iría acompañado de una corrección por deriva, pero eso es en el momento del realizar el arco".

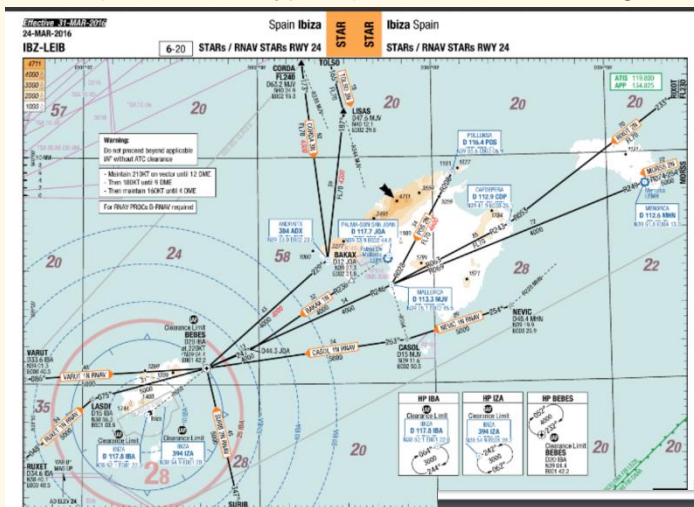
### Estándar terminal arrival route (STAR)

Una STAR (Standard Terminal Arrival Route) es la ruta estándar de llegada al aeropuerto de destino, es similar al SID, pero en el otro sentido. Por lo general empieza en un punto llamado transición y acaba en el IAF (fijo inicial de aproximación).

La STAR está compuesta por un conjunto de puntos de transición y una descripción de la ruta (utilizando waypoint) mediante la cual llegar a un punto cercano al aeropuerto de destino.

Una vez llegado al punto final, que se le conoce como IAF (inicio de la aproximación final) la aeronave sigue una aproximación por instrumentos IAP o es guiada por la estación de control de tráfico aéreo.

Algunos aeropuertos no tienen STAR publicadas ya que no es de obligatorio cumplimiento. No obstante, los aeropuertos relativamente grandes o de difícil ac-



ceso (por ejemplo, en zona montañosa) sí que las tienen. A veces, varios aeropuertos de la misma zona comparten una única STAR por lo cual, los aviones destinados a cualquiera de los aeropuertos de esos grupos siguen el mismo recorrido hasta el IAF.

Las STAR pueden ser muy detalladas (como ocurre a menudo en Europa), lo que permite a los pilotos ir seguros y solos desde el descenso de la ruta hasta la aproximación donde el ATC se hace cargo de la llegada, o pueden ser de carácter más general (como pasa en los EE. UU.) proporcionando orientación al piloto que luego se complementa con instrucciones del ATC desde el principio.

AD 2 - LAIB STAR 2.2		AIP
WEF 30-APR-15		ESPAÑA
IBIZA AD		
LLEGADAS NORMALIZADAS POR INSTRUMENTOS (STAR).	STANDARD INSTRUMENT ARRIVALS (STAR).	
PISTA 24	RUNWAY 24	
PRECAUCIÓN: No sobrepasar el IAF aplicable sin autorización ATC.	WARNING: Do not proceed beyond the applicable IAF without ATC clearance.	
LLEGADA BAKAX UNO NOVEMBER (BAKAX1N). Únicamente tránsito con origen Palma de Mallorca AD. BAKAX, R-236 JDA/44.3 DME JDA, BEBES (IAF).	BAKAX ONE NOVEMBER ARRIVAL (BAKAX1N). Only traffic with origin Palma de Mallorca AD. BAKAX, R-236 JDA/44.3 DME JDA, BEBES (IAF).	
LLEGADA CASOL UNO NOVEMBER (CASOL1N) B-RNAV. Se requiere aprobación BRNAV. Únicamente tránsito con origen Palma de Mallorca AD. CASOL, BEBES (IAF).	CASOL ONE NOVEMBER ARRIVAL (CASOL1N) B-RNAV. B-RNAV approval required. Only traffic with origin Palma de Mallorca AD. CASOL, BEBES (IAF).	
LLEGADA CORDA TRES NOVEMBER (CORDA3N). CORDA, NDB ADX, BEBES (IAF). NOTA: Las aeronaves deberán cruzar el punto inicial del procedimiento a la altitud indicada en la carta.	CORDA THREE NOVEMBER ARRIVAL (CORDA3N). CORDA, NDB ADX, BEBES (IAF). NOTE: Aircraft shall cross the initial point of the procedure at the altitude mentioned in the chart.	
LLEGADA MORSS DOS NOVEMBER (MORSS2N). MORSS, DVOR/DME MHN, DVOR/DME MJV, BEBES (IAF).	MORSS TWO NOVEMBER ARRIVAL (MORSS2N). MORSS, DVOR/DME MHN, DVOR/DME MJV, BEBES (IAF).	
LLEGADA NEVIC UNO NOVEMBER (NEVIC 1N) B-RNAV. Se requiere aprobación BRNAV. Únicamente tránsito con origen Menorca AD. NEVIC, CASOL, BEBES (IAF).	NEVIC ONE NOVEMBER ARRIVAL (NEVIC 1N) B-RNAV. B-RNAV approval required. Only traffic with origin Menorca AD. NEVIC, CASOL, BEBES (IAF).	
LLEGADA POLLENSA DOS NOVEMBER (POS2N). DVOR/DME POS, DVOR/DME MJV, BEBES (IAF).	POLLENSA TWO NOVEMBER ARRIVAL (POS2N). DVOR/DME POS, DVOR/DME MJV, BEBES (IAF).	
LLEGADA RIXOT DOS NOVEMBER (RIXOT2N). RIXOT, DVOR/DME CDP, DVOR/DME MJV, BEBES (IAF). NOTA: Las aeronaves deberán cruzar el punto inicial del procedimiento a la altitud indicada en la carta.	RIXOT TWO NOVEMBER ARRIVAL (RIXOT2N). RIXOT, DVOR/DME CDP, DVOR/DME MJV, BEBES (IAF). NOTE: Aircraft shall cross the initial point of the procedure at the altitude mentioned in the chart.	
LLEGADA RUXET UNO NOVEMBER (RUXET1N) B-RNAV. Se requiere aprobación BRNAV. RUXET, LASDI, BEBES (IAF).	RUXET ONE NOVEMBER ARRIVAL (RUXET1N) B-RNAV. B-RNAV approval required. RUXET, LASDI, BEBES (IAF).	
LLEGADA SURIB DOS NOVEMBER (SURIB2N) B-RNAV. Se requiere aprobación BRNAV. SURIB, BEBES (IAF).	SURIB TWO NOVEMBER ARRIVAL (SURIB2N) B-RNAV. B-RNAV approval required. SURIB, BEBES (IAF).	
LLEGADA TOLSO TRES NOVEMBER (TOLSO3N). Únicamente tránsito con origen Barcelona/EI Prat AD. TOLSO, LISAS, NDB ADX, BEBES (IAF).	TOLSO THREE NOVEMBER ARRIVAL (TOLSO3N). Only traffic with origin Barcelona/EI Prat AD. TOLSO, LISAS, NDB ADX, BEBES (IAF).	
LLEGADA VARUT UNO NOVEMBER (VARUT1N) B-RNAV. Se requiere aprobación BRNAV. VARUT, BEBES (IAF).	VARUT ONE NOVEMBER ARRIVAL (VARUT1N) B-RNAV. B-RNAV approval required. VARUT, BEBES (IAF).	

Igual que pasa con los SIDs, la nomenclatura variará según país o región. En Europa, se definen a menudo con el nombre del waypoint de transición seguido de un dígito que aumenta con cada revisión del procedimiento y, con una carta de designación de la pista con la que la STAR ha sido confeccionada.

En los EE. UU., el procedimiento para las designaciones es menos rígido y simplemente toma como referencia alguna característica notable del procedimiento, un waypoint o su situación geográfica junto con un dígito que hace referencia a las revisiones. Así pues, una única STAR en los EE. UU. puede servir para múltiples pistas de aterrizaje y transiciones y en Europa en cambio, tienes más posibilidades de ser independiente para cada pista y transición.

No todas las STAR se definen para vuelos IFR. De vez en cuando se publican STAR para aproximaciones visuales, en cuyo caso especifican referencias visibles de tierra o cualquier punto de referencia visual en lugar de los waypoints o radioayudas de navegación.

Como ejemplo, las imágenes corresponden a STAR para la pista 24 de IBIZA. La designación de estos procedimientos será similar a los SIDs, transición, versión e identificativo de pista (N para 24 y V para la 06).

- **LLEGADA POLLENSA DOS NOVEMBER (POS2N).**

DVOR/DME POS, DVOR/DME MJV, BEBES (IAF).

Como se puede ver, en esta llegada se trata a dos VORs y a un fijo. No tiene más misterio.

## APROXIMACIONES

Ya conocéis que hay dos tipos de aproximaciones:

- No precisión.
- Precisión.

### *APROXIMACION de NO Precisión*

Aprovechando la carta de STAR del aeropuerto, vemos que el arco acaba en un fijo, el cual tiene asociado un hipódromo de aproximación.

Perfecto para nuestras intenciones.



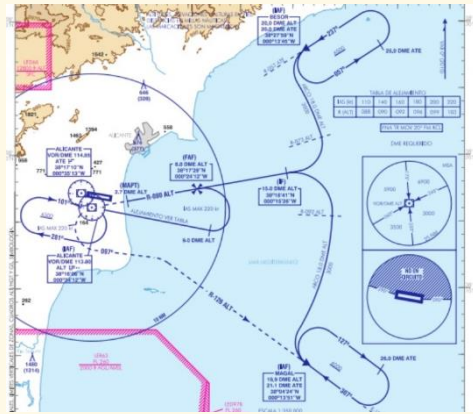
Ya hemos repasado el tema de cómo llegar a un fijo sin necesidad de disponer de RNAV. En la carta se especifica que el fijo BESOR está definido por dos VORs: ATE, en la milla 20 y en el radial 057 y ALT, en la milla 20 y radial 054.

Para el hipódromo, emplearemos el VOR ATE.

Quiero resaltar que el hipódromo está sobre un fijo y la duración del tramo outbound es una distancia de un VOR (25 millas de ATE).

¿Cómo volar esta aproximación? Fácil. Alcanzando BESOR, procedemos a una entrada en gota con rumbo 087 (tramo outbound a nuestra derecha, por ello le sumamos 30° al rumbo outbound). Alcanzando las 25 millas del VOR procedemos a un viraje a izquierdas de 180° (hipódromo no estándar) para volar hacia el fijo BESOR.

Una vez alcanzado este, iniciamos un nuevo arco en la milla 18 del VOR ALT (hemos cambiado el VOR). En este caso no hay calcular las millas de anticipación porque estamos a dos millas. Lo mismo ocurre con la anticipación de radiales, la propia carta te lo indica: empezar a virar al pasar el radial 075 para empezamos a virar a rumbo 260 (radial 080). Solo nos queda volar el radial 080 en acercamiento. En el punto de aproximación frustrada (MAPT), a 2.7 millas del VOR, si hay visibilidad, proseguimos el procedimiento modificando nuestro rumbo para aproarlo al eje de la pista; exactamente deberíamos volar a 280 y estaríamos volando directos a la pista.



Todo demasiado fácil, ¿no?

¿Y el viento?

Miramos el ASN y vemos que a 6000 pies (justo cuando estamos volando el STAR) el viento el viento sopla desde 289° a 11 nudos. Miramos el siguiente punto de la tabla de viento y vemos que, a 3000 pies, el viento es de 10 nudos a 286°. Prácticamente lo tenemos en cara, con lo cual no hay que hacer ninguna corrección.

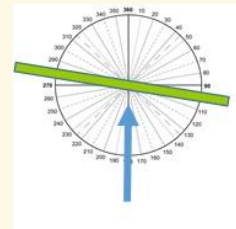
El problema surge con el viento de superficie. Miremos el metar:

LEAL 301500Z 18015KT 140V220 9999 SCT036 26/09 Q1014 NOSIG

Nos encontramos que el viento ha rolado a 180 y la intensidad ha aumentado a 15 nudos de intensidad y, además, es un viento cuya dirección puede variar entre los 140° y 220°.

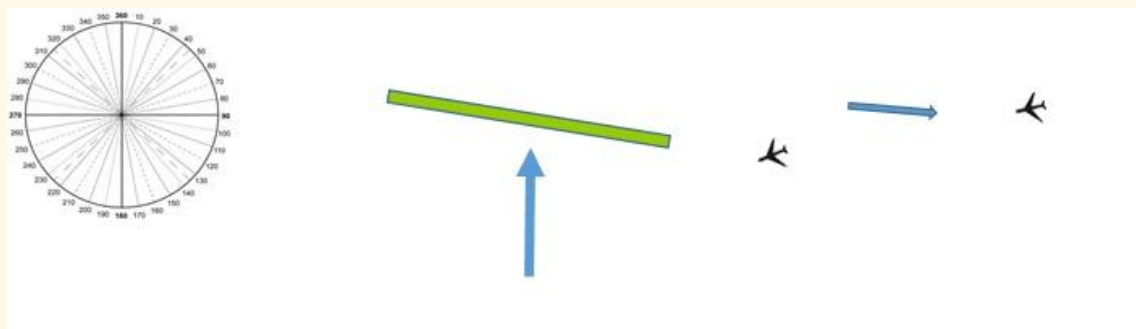
La cosa se complica, pero no demasiado.

Lo primero es determinar es el ángulo del viento. En nuestro caso es 80°, lo cual significa que tenemos un viento de cola de 1.5 nudos y 13.5 nudos de componente cruzado.



Ahora hay que calcular el ángulo de corrección de deriva. (Recordar la fórmula:  $60 \times \text{Intensidad viento} / \text{TAS}$ ). Ya tan cerca del suelo (menos de 500 pies), la TAS y la IAS se igualan. Estamos aproximando a 80 nudos.

Para corregir la deriva deberemos añadir 10° (el cálculo sale 10.125 y, algo ya familiar, el redondeo lo deja en 10) a nuestra izquierda para alinearnos con la pista; es decir que volaremos este último tramo hasta hacer la toma con rumbo 290. En el gráfico de abajo lo podemos ver. Justo después de pasar el IF, siguiendo rumbo 260 el viento lo tenemos



prácticamente en cara, con lo cual, hay que hacer pocas correcciones de deriva. Al pasar el MAPt tenemos que virar a 280 para encarar la pista y allí si hay un componente importante de viento cruzado (13.5 nudos) por la izquierda. Ajustaremos esos 10° al rumbo para corregir la deriva.

Habría otra opción, para aquellos que disponen de pedales y joystick (o yoke). Hacer el procedimiento de “cuernos al viento y pedal contrario”.

### ***APROXIMACION de Precisión***

El mayor enemigo de la navegación aérea es la baja visibilidad y especialmente en las operaciones de aproximación, aterrizaje y despegue ya que en esos momentos es imprescindible tener referencias visuales del entorno próximo y en particular del terreno. En un avión, el aterrizaje es una operación de precisión, en ocasiones irreversible, que se realiza perdiendo altura continuamente. De ahí la necesidad de disponer de un procedimiento y unas ayudas visuales e instrumentales que garanticen total seguridad. En lo referente a la aproximación y el aterrizaje, las operaciones de baja visibilidad se dividen en categorías dependiendo de los mínimos meteorológicos y de los objetivos operacionales que se pretendan conseguir:

- **Operación de Categoría I:** Aproximación y aterrizaje de precisión por instrumentos hasta una altura de decisión no inferior a 60 m y con una visibilidad no inferior a 800 m o un alcance visual en la pista (RVR: Runway Visual Range) no inferior a 550 m.
- **Operación de Categoría II:** Aproximación y aterrizaje de precisión por instrumentos hasta una altura de decisión inferior a 60 m, pero no inferior a 30 m y un RVR no inferior a 350 m.
- **Operación de Categoría IIIA:** Aproximación y aterrizaje de precisión por instrumentos: hasta una altura de decisión inferior a 30 m, o sin altura de decisión; y con un RVR no inferior a 200 m.
- **Operación de Categoría IIIB:** Aproximación y aterrizaje de precisión por instrumentos: hasta una altura de decisión inferior a 15 m, o sin altura de decisión; y un RVR inferior a 200 m, pero no inferior a 50 m.
- **Operación de Categoría IIIC:** Aproximación y aterrizaje por instrumentos sin limitaciones de altura de decisión ni de RVR.

Se entiende como altura de decisión a la del punto de la aproximación final en el que el piloto debe decidir continuar el aterrizaje si tiene referencias visuales externas (luces de aproximación o de pista) o iniciar una maniobra de aproximación frustrada si no las tiene. Por otra parte, el alcance visual en la pista o RVR se define como la distancia a la que un piloto situado a 5 m de altura sobre el eje de pista, puede ver las señales de la superficie de la pista o las luces que la delimitan o identifican su eje.

El ILS (Instrument Landing System, Sistema de aterrizaje por instrumentos) es un sistema de aproximación por instrumentos basado en haces de radiofrecuencia que proporciona posicionamiento en latitud, longitud y radial de precisión durante la fase de aproximación y aterrizaje.

¿Cuál es la diferencia entre el localizador y el VOR? Estas diferencias están tomadas de un artículo publicado en 1997 por AEROCOL en INTRODUCCION AL INSTRUMENT LANDING SYSTEM ILS.

El VOR es un transmisor que emite una señal omnidireccional (en todas las direcciones del plano horizontal). La señal tiene en cuenta el ajuste hecho al OBS. En cambio, el localizador emite solo un rayo. No importa que ajuste haya hecho usted en el OBS la aguja del localizador solo mostrara señal si usted se encuentra en un rango de  $35^\circ$  a cada lado del localizador. Tampoco importa la dirección en la que vaya el avión, si se encuentra dentro del límite de los  $35^\circ$  a cada lado del localizador su instrumento recibirá señal. Sin embargo, es una buena idea sintonizar el OBS al rumbo indicado en la carta de aproximación, solo como forma de recordar el rumbo que se debe mantener durante la aproximación.

En caso de aterrizaje en condiciones de visibilidad CAT III, también da guía a lo largo de la superficie de la pista. ILS sólo proporciona servicio en cada pista en que se encuentre instalado y no ofrece servicios de guiado para aeronaves en tierra haciendo taxi.

Al encontrarse el avión en un espacio tridimensional, necesita tres parámetros para definir su posición (aunque, en ocasiones, falte el DME):

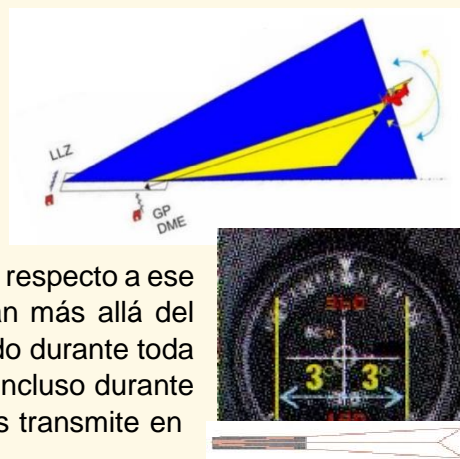
- En el plano horizontal, desplazamiento en acimut con respecto al eje de pista y su prolongación.
- en el plano vertical que pasa por el eje de pista, desplazamiento cenital con respecto a la trayectoria de descenso establecida como segura por encontrarse por encima de todos los obstáculos.
- La distancia hasta el punto en que comienza la superficie de la pista que puede ser utilizada para el aterrizaje.

Para proporcionar esta información de forma continua al piloto, se utilizan dos sistemas radioeléctricos complementarios, el ILS y el DME-P (DME-Precision), divididos cada uno en dos segmentos, los equipos de tierra instalados en el aeropuerto y los instrumentos de a bordo instalados en el avión.

Empecemos con el sistema de tierra.

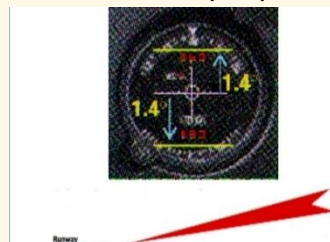
El sistema ILS de tierra se divide en dos subsistemas, el Localizador y la Senda de Planeo:

- El Localizador (LLZ) es una emisora que proporciona guía lateral mediante de dos haces de radio en VHF. Los dos haces definen un plano vertical que pasa por el eje de pista y su prolongación y proporciona la información de desplazamiento acimutal con respecto a ese plano. Las antenas del localizador se sitúan más allá del extremo de pista y dan información de guiado durante toda la maniobra de aproximación y aterrizaje e incluso durante el rodaje por la pista. El localizador además transmite en



código Morse el indicativo de la estación. El localizador barre un ángulo de 35° a cada lado del eje de la pista, pero la tolerancia permitida para la aproximación por ILS en el aeroplano es de solo 3° hacia cada lado del localizador.

- La Senda de Planeo (GP, Glide Path) define por medio de dos haces un plano inclinado que pasa de forma segura por encima de los obstáculos que pueda haber en la aproximación. La senda de aproximación es el camino seguido por la aeronave para proceder al aterrizaje en condiciones de baja visibilidad (Instrument Flight Rules) y también como apoyo para aterrizaje en condiciones de buena visibilidad (Visual Flight Rules, usando las marcas de pista durante el día y las luces de pista durante la noche).

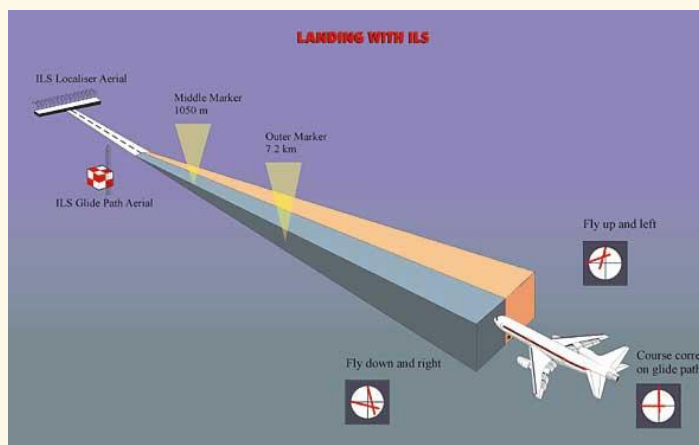


Además, la pendiente de este plano permite a las aeronaves realizar un descenso a 2. 5°-3° de pendiente. Las antenas de la senda de planeo se instalan próximas al umbral a un lado de la pista y la información de guiado que proporcionan lleva a la aeronave hasta el punto de contacto con la pista, pero la tolerancia permitida para la aproximación por ILS en el aeroplano es de solo  $\pm 1. 4^{\circ}$  arriba o debajo de la pendiente de la senda.

Si el aeropuerto mantiene las radiobalizas ILS, éstas se encuentran a lo largo del eje de la pista, en diferentes posiciones antes del inicio de ésta.

Las radiobalizas son un tipo de radioayudas VHF (75MHz), que ofrece al aviador la posibilidad de determinar su posición a lo largo de una ruta aérea establecida, en el caso del ILS, alineada con la pista de aterrizaje. Existen tres tipos distintos de radiobalizas de ayuda al aterrizaje, que dependen de su posición:

- Radiobaliza exterior: La radiobaliza exterior (OM, del inglés: outer marker), normalmente identifica el inicio de la senda de aproximación final. Se encuentra situada entre 4 y 7 millas del umbral de la pista de aterrizaje. Emite dos rayas (en código morse) por segundo, a un tono de 400 Hz, y una señal luminosa de color azul. Se utiliza esta radiobaliza para ayudar a los chequeos de altura, distancia y funcionamiento del equipamiento. Se puede combinar con un NDB para crear una Radiobaliza Exterior de Localizador (LOM, del inglés: Locator Outer Marker).



- Radiobaliza intermedia: La radiobaliza intermedia (MM, del inglés: middle marker), informa al piloto que se encuentra en la senda de aproximación final de que el contacto con la pista es inminente, buscando que coincida con la altura de decisión de la CAT I (unos 200 ft - 60 m). Ese es el motivo por lo que tan a menudo se encuentra situada entre las 0,5 y 0,8 millas, dependiendo de la senda de planeo establecida en el aeropuerto. Está modulada con un tono de 1300 Hz y emite puntos y rayas (morse) alternativos. Su señal luminosa es de color ámbar. Indica el punto de aproximación frustrada (también conocido como altura de decisión) o el punto en el que, si aún no se

pueden ver la pista o las luces de aproximación, se deberá suspender la aproximación y seguir el procedimiento de aproximación frustrada estipulado en la respectiva carta de aproximación. Recordar que estamos hablando de CAT I

- Radiobaliza interior: La radiobaliza interior (IM, del inglés: inner marker), se instala en la senda de aproximación final para las categorías CATII y CATIII en la vertical del punto de corte de la misma con el plano de Altitud/Altura de Decisión (DA/H) mínima de CAT II (30m), a una distancia de entre 75 y 450 metros del umbral de pista. Indica al piloto que se está a punto de cruzar el umbral de la pista y si no es capaz de visualizar ninguna referencia de la misma, deberá frustrar el aterrizaje. Produce un sonido, con una modulación de puntos a 3000 Hz, 6 por segundo. También se enciende una luz blanca. El motivo de que no se use en CAT I es que la DA/H en esta categoría es de 60 metros y el piloto debe encontrarse en Condiciones Visuales (VMC, del inglés: Visual Meteorologic Conditions) antes de la "MM", con lo cual, quedaría sin función alguna.

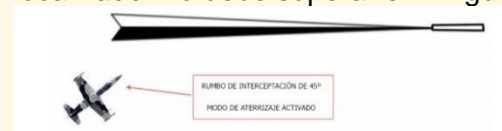
Los instrumentos a bordo del avión te permiten, igual que pasa con otras radioayudas, tener la información concreta de la maniobra que estas realizando. En la imagen podemos ver el PFD y el HSI durante la aproximación final a la pista 24 de IBIZA. En este avión, la senda de planeo está representada por las escalas laterales de ambos instrumentos. La escala del localizador está en el borde inferior del PFD y, en el HSI, se representa con la aguja del CDI.

Aunque parezca una obviedad, para poder seguir la señal de un ILS lo primero que debemos hacer es sintonizar su frecuencia. Lo haremos en la emisora NAV 1, igual que cuando sintonizábamos un VOR. Y ya no necesitamos hacer nada más, pues el indicador de rumbos (OBI) no tiene efecto al seguir la señal de un ILS. De todas formas, no es una mala práctica poner en dicho indicador el rumbo de la pista como recordatorio.

El procedimiento de aproximación mediante ILS precisa entrenamiento (como todo en esta vida), pero no es excesivamente complejo.

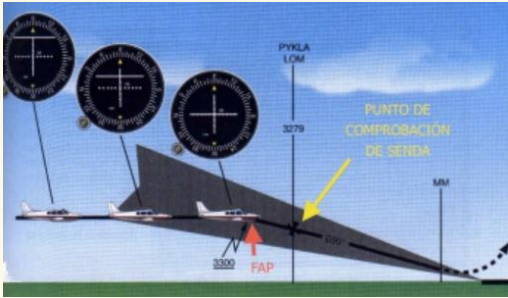


- Primero, hasta que os acostumbréis a hacer este tipo de toma, no usar el piloto automático.
- Segundo, recibiremos la señal del ILS aproximadamente 25 millas fuera.
- Tercero, al entrar en el cono de señal del ILS los indicadores en el PFD o en el HSI comienzan a darnos información precisa. Para entrar sin problemas en el cono del ILS el rumbo para interceptar el localizador no debe superar en ningún caso los 45° (siendo deseable hacerlo con un ángulo de 30°).





La escala horizontal derecha nos indica si estamos a la altura adecuada de la senda de planeo. Normalmente eso suele ocurrir en el FAP (Final Approach Point), que es el punto definido por localizador, la senda y la altitud de interceptación para dicha aproximación.



Si la aguja está por debajo del centro, es que nuestra senda está debajo de nosotros; es decir, volamos por encima de la misma, por lo que

deberemos descender hasta centrarla.

Si la encontramos por arriba deberemos ascender, en muchas ocasiones si paramos el descenso o reducimos el vario podemos corregir esta circunstancia.

Lo mismo ocurre con la aguja vertical (CDI) del HSI (en el PFD, veréis la escala en el borde inferior). Esta nos indica nuestra situación respecto al eje de la pista, y nos sirve precisamente para centrarla correctamente. Si la aguja la tenemos a la derecha es que estamos desplazados hacia la izquierda de la pista, o lo que es lo mismo, que la línea central de la pista la tenemos a nuestra derecha. Como norma nemotécnica, siempre deberemos maniobrar hacia el lado en el que se encuentran las agujas para corregir nuestra trayectoria:

- Aguja a la derecha = virar a la derecha.
- Aguja a la izquierda = Virar a la izquierda.
- Aguja abajo = descender.
- Aguja arriba = ascender.

Sólo queda indicar que al igual que el VOR, el ILS puede tener (no siempre) un dispositivo DME para conocer la distancia a la que estamos respecto de la cabecera de pista.

El ILS es un sistema muy sensible. El cono virtual por el que volaremos es realmente estrecho (. Cualquier variación de rumbo se verá reflejada en las agujas instantáneamente. Huelga decir pues que aquí más que nunca deberéis ser suaves a los mandos, tanto alabeando (dos o tres grados de variación de rumbo como máximo) como subiéndolo o bajándolo, que ya sabéis que dicha operación se hace a base de motor.

De la misma forma que el VOR, el ILS es más sensible cuanto más cerca nos encontremos del emisor. Por eso en el último tramo es recomendable no hacer más correcciones que las necesarias y en todo caso mínimas y esperar a ver qué pasa. Es preferiblemente quedarse corto que pasarse y que las agujas del ILS empiecen a dar bandazos de un lado para otro (lo que se conoce como "COSER EL LOCALIZADOR O LA SENDA"). Si seguimos al pie de la letra las variaciones de la aguja cuando estamos ya muy cerca de la pista, lo más seguro es que acabemos en el patatal. Por la misma razón los pilotos más inexpertos procurarán entrar en la senda de planeo con cierta separación de la pista. Al principio, unas 10-12 millas serán suficientes para centrar bien la senda y hacerlo con calma. Poco a poco podréis ir entrando en la senda más cerca de la pista.



Quiero dedicar estas últimas líneas a contestar la pregunta que me hacía en la introducción. ¿merece la pena dedicarse a aprender a seguir radiales?

La pregunta creo que se contesta por si sola. Un rotundo SI.

Hemos visto en capitulo que trata sobre los aspectos prácticos que, desde el momento de despegar hasta aterrizar en el aeropuerto de destino, todo está regulado por el seguimiento de radiales.

No os ofrezco la posibilidad de hacer un Madrid - Paris, es absurdo, pero que os parece un Palma de Mallorca - Alicante en un avión sin FMC/MCDU y por supuesto sin usar para nada programas externos que os ayuden a navegar.

¿Os atrevéis?

Solo me queda pedir disculpas si encontráis algún gazapo, avisármelo y lo corregiré.

Si habéis llegado hasta aquí: **Gracias por tener la paciencia de leerlo.**

## CAPITULO 16.- LECTURAS RECOMENDADAS

<http://kimerius.com/reglas-de-vuelo-1/>

<http://agamenon.tsc.uah.es/Asignaturas/it/rd/apuntes/5-4.pdf>

[https://es.wikipedia.org/wiki/Baliza\\_no\\_direccional](https://es.wikipedia.org/wiki/Baliza_no_direccional)

[https://es.wikipedia.org/wiki/Radiofaro\\_omnidireccional\\_VHF](https://es.wikipedia.org/wiki/Radiofaro_omnidireccional_VHF)

[https://es.wikipedia.org/wiki/Instrumentos\\_de\\_vuelo#Instrumentos\\_de\\_navegaci.C3.B3n](https://es.wikipedia.org/wiki/Instrumentos_de_vuelo#Instrumentos_de_navegaci.C3.B3n)

<https://finalcorto.wordpress.com/2012/05/18/ndb-adf/>

[http://www.tamevirtual.org/prvzone/manuales/Interpretacion\\_de\\_cartas.pdf](http://www.tamevirtual.org/prvzone/manuales/Interpretacion_de_cartas.pdf)

<http://bsas-vac.tripod.com/Dfc/Vuelo1/Instrumental/instru10.htm>

[https://www.ivao.aero/training/documentation/books/PP\\_ADC\\_Navigation\\_ADF.pdf](https://www.ivao.aero/training/documentation/books/PP_ADC_Navigation_ADF.pdf)

[http://gage1.upc.es/TEACHING\\_MATERIAL/nacc-libro.pdf](http://gage1.upc.es/TEACHING_MATERIAL/nacc-libro.pdf)

[http://www.flybai.es/i\\_admin2/ficheros/79071manual\\_ifr\\_fby.pdf](http://www.flybai.es/i_admin2/ficheros/79071manual_ifr_fby.pdf)

<http://myslide.es/documents/interceptacionesvor.html>

<http://myslide.es/documents/interceptacionesvor.html>

<http://www.hastalapista.net/tutoriales.htm>

<http://dvor-dme.blogspot.com.es/2009/01/dvor-dme.html>

<http://agamenon.tsc.uah.es/Asignaturas/it/rd/apuntes/handout5.pdf>

<http://www.gacetaeronautica.com/gaceta/wp-101/?p=5748>

<http://elvueloporinstrumentos.blogspot.com.es/2014/01/indicador-radiomagnetico-rmi.html>

[http://www.blm.gov/style/medialib/blm/nifc/av.Par.20224.File.dat/Garmin530\\_UG.pdf](http://www.blm.gov/style/medialib/blm/nifc/av.Par.20224.File.dat/Garmin530_UG.pdf)

<http://www.foroaviones.com/foro/simulacion/10846-tutorial-sistema-ndb-adf.html>

<http://aerowiki-info.blogspot.com.es/2013/08/el-viento-en-la-navegacion-aerea.html>

<http://es.wikihow.com/descomponer-un-vector-en-sus-componentes>

[http://teleformacion.edu.aytolacoruna.es/AYC/document/atmosfera\\_y\\_clima/pression/comoinfluye.htm](http://teleformacion.edu.aytolacoruna.es/AYC/document/atmosfera_y_clima/pression/comoinfluye.htm)

[http://teleformacion.edu.aytolacoruna.es/AYC/document/atmosfera\\_y\\_clima/pression/efecCoriolis.htm](http://teleformacion.edu.aytolacoruna.es/AYC/document/atmosfera_y_clima/pression/efecCoriolis.htm)

<http://www.cruzdesanandres.com/docs/Jazz/Radionavegacion.pdf>

<http://www.pilotscafe.com/vor-cone-confusion/>

<http://www.pasionporvolar.com/sistemas-de-navegacion-aerea-cap-2/>

<http://www.foroaviones.com/foro/simulacion/14204-tutorial-arcos-dme.html>

<http://www.tamevirtual.org/prvzone/manuales/dme-arc.pdf>

<http://www.pasionporvolar.com/esperas-procedimiento-de-entrada-y-permanencia/>

<http://old.ivao.es/uploads/c14a6c980500be80f1458a97a1c1411f.pdf>

<http://www.tcas.es/foro/viewforum.php?f=4>

<http://www.cybercol.com/fs/escuela/ils1.html>

<http://tomalosmandos.blogspot.com/2011/03/capitulo-5-el-vuelo-ifr.html>

Antonio de Castro