

Conocimientos aeronáuticos para el Piloto Militar.

Instructivo operacional de la
Escuela Militar de Aviación "Marco Fidel Suárez"



Volumen III.



EMAVI
SELLO EDITORIAL

Catalogación en la publicación - Escuela Militar de Aviación “Marco Fidel Suárez”

Conocimientos aeronáuticos para el Piloto Militar: Volumen III - Instructivo operacional de la Escuela Militar de Aviación “Marco Fidel Suárez”

Conocimientos aeronáuticos para el Piloto Militar: Volumen III - Instructivo operacional de la Escuela Militar de Aviación “Marco Fidel Suárez” / Falla Rubiano, Andrea...[y otros 5]; -Santiago de Cali: Sello Editorial Escuela Militar de Aviación “Marco Fidel Suárez” EMAVI; 2025.

242 páginas; ilustraciones col, cuadros, gráficos; 17x24 cm.

Incluye bibliografía al final

ISBN: 978-628-96705-6-1

ISBN (digital): 978-628-96705-7-8

Volumen III

1.-Técnicas aeronáuticas y pilotaje – Colombia 2. Instrumentos de vuelo – Colombia – 3. Instructivo operacional-Colombia 4. Maniobras básicas

i. Escobar Nieto, Luis Fernando (autor); ii. Trujillo Hernández, José Ricardo (autor); iii. Hernández Rendón, Julián Ernesto (autor); iv. Peña Bañol, Enrique (autor); v. Ramírez Peñaloza, Iván Mateo (autor); vi. Colombia. Fuerza Aeroespacial Colombiana. Escuela Militar de Aviación “Marco Fidel Suárez” (EMAVI).

358.41509861 -dc 21.

UG639.C7 C66 2025 LC

Catálogo SIBFuP 991381124507231

**Conocimientos aeronáuticos para el Piloto Militar: Volumen III -
Instructivo operacional de la Escuela Militar de Aviación “Marco Fidel Suárez”**

© Escuela Militar de Aviación “Marco Fidel Suárez” (EMAVI)

©EMAVI Sello Editorial

©José Ricardo Trujillo Hernández, Julián Ernesto Hernández Rendón, Enrique Peña Bañol, Iván Mateo Ramírez Peñaloza, Andrea Falla Rubiano y Luis Fernando Escobar Nieto.

Dirección

Brigadier General Oscar Mauricio Gómez Muñoz

Escuadrón Investigación EMAVI

Carrera 8 # 58-67 (La Base) Cali-Colombia

Teléfono: +57 (2) 488 1000, Ext. 68841

Subdirección

Coronel Luz Stella Franco Yepez

Subdirectora y Jefe de Estado Mayor

Apoyo Gestión de Publicaciones Científicas

PS. Diana María Mosquera Taramuel

diana.mosquerat@emavi.edu.co

Comando Grupo Académico

Teniente Coronel Germán Andrés Arias Cortés

Corrección de Estilo:

Lorena Marcela Bustos Tamayo

Comandante Escuadrón Investigación y Jefe Sello

Editorial

Mayor Héctor Fabio Calvo Valencia

Diseño y Diagramación Editorial:

Paola Forero Tamayo

Comandante Escuadrilla de Formación y

Desarrollo Investigativo

Teniente Juan Pablo Contreras Sabogal

1ra. Edición: 100 ejemplares

Santiago de Cali, Valle del Cauca, 2025

Publicado en Colombia—Published in Colombia

Contenido relacionado

<https://www.emavi.edu.co/es/investigacion/editorial-emavi>

Las instituciones editoras de esta obra no se hacen responsable de las ideas expuestas bajo su nombre, las ideas publicadas, los modelos teóricos expuestos o los nombres aludidos por los autores. El contenido publicado es responsabilidad exclusiva de los autores, no refleja la opinión de las directivas, el pensamiento institucional de las Universidades editoras, ni genera responsabilidad frente a terceros en caso de omisiones o errores.

El Sello Editorial de la Escuela Militar de Aviación “Marco Fidel Suárez” se adhiere a la filosofía de acceso abierto. Este libro está licenciado bajo los términos de la Atribución 4.0 de Creative Commons, que permite el uso, el intercambio, adaptación, distribución y reproducción en cualquier medio o formato, siempre y cuando se dé crédito al autor o autores originales y a la fuente.

Conocimientos aeronáuticos para el Piloto Militar.

**Instructivo operacional de la
Escuela Militar de Aviación
“Marco Fidel Suárez”**

Volumen III.

Autores:

José Ricardo Trujillo Hernández
Julián Ernesto Hernández Rendón
Enrique Peña Bañol
Iván Mateo Ramírez Peñaloza
Andrea Falla Rubiano
Luis Fernando Escobar Nieto





**Consulta nuestras publicaciones también en el
Sistema de Información de Bibliotecas de la Fuerza Pública
- SIBFuP**

Citanos:

Trujillo Hernández, J. R., Hernández Rendón, J. E., Peña Bañol, E., Ramírez Peñaloza, I. M., Falla Rubiano, A., y Escobar Nieto, L. F. (2025). *Conocimientos aeronáuticos para el Piloto Militar - Vol. III. Instructivo operacional de la Escuela Militar de Aviación “Marco Fidel Suárez”*. EMAVI Sello Editorial.

Tabla de contenido

1. MANUAL BÁSICO DE INSTRUMENTOS.....13

INTRODUCCIÓN.....14

CONCEPTOS FUNDAMENTALES.....15

Clasificación del espacio aéreo.....15

Uso especial del espacio aéreo, zonas prohibidas.....18

Designación de zonas peligrosas, prohibidas y restringidas:18

Aeródromos.....19

Rutas aéreas nacionales.....19

Puntos de cambio.....21

Altitudes mínimas de seguridad.....21

Servicio de control de tránsito aéreo.....22

Servicio de información de vuelo (FIS).....23

Las Regiones de información de vuelo (FIR).....24

Ayudas terrestres y espaciales para la navegación aérea24

Ayudas visuales.....24

Radio ayudas.....24

Cartas aeronáuticas.....39

Publicaciones de procedimientos terminales39

Cartas de aproximación por instrumentos (IAC)41

INSTRUMENTOS DE VUELO46

Sistema Pitot-Estático46

Tubo Pitot47

Tomas o puertos estáticas47

Toma estática alterna48

Altímetro48

Ejemplo de la densidad excediendo la elevación actual51

Indicador de velocidad vertical - variómetro55

Instrumentos de magnetismo60

Brújula magnética o Compás Magnético62

Brújula magnética de carátula vertical	67
Transmisor remoto de la Brújula	68
Instrumentos giroscópicos	70
Fuentes de alimentación del sistema giroscópico	72
Indicador de rumbo	75
Indicador de viraje y resbalamiento	76
Sistemas de apoyo al vuelo	78
Attitude and heading reference systems (AHRS).....	78
Computadora de datos aéreos - (ADC)	79
Horizontal situation indicator - (HSI)	79
Indicador de Actitud y Dirección - (ADI).....	81
Sistema Director de Vuelo - (FDS).....	82
Sistemas de piloto automático.....	82
Sistema de gestión de vuelo (FMS).....	84
Sistemas de instrumentos de vuelo electrónicos - EFIS.....	86
Pantalla primaria de Vuelo (Primary Flight Display) - PFD.....	87
Pantalla multifunción (Multi-Function Display) - MFD.....	89
Sistemas de seguridad en vuelo.....	90
Radio Altímetros.....	90
Sistemas de asesoramiento de tráfico.....	90
Sistemas de alerta de terreno.....	94
Transpondedor.....	95
ADS-B automatic dependent surveillance broadcast.....	97
Radar Meteorológico.....	97
 FUNDAMENTOS DE VUELO POR INSTRUMENTOS.....	 98
Ley Suprema.....	99
Ley del Orden.....	99
Ley de los Estándares.....	99
Instrumentos de control.....	100
Instrumentos de comportamiento.....	101
Instrumentos de navegación.....	101
Concepto de control y comportamiento.....	102
Control de actitud.....	103
Compensación.....	105
Habilidades esenciales.....	106

Chequeo cruzado.....	106
Interpretación de los instrumentos.....	109
MANIOBRAS BÁSICAS POR INSTRUMENTOS.....	109
Despegue por instrumentos.....	110
Vuelo recto y nivelado.....	110
Control de cabeceo (Pitch).....	111
Control de banqueo.....	111
Control de potencia.....	111
Técnica de compensación.....	113
Errores comunes durante el vuelo recto y nivelado.....	113
Ascensos y descensos rectos.....	114
Ascensos.....	114
Descensos.....	117
Nivelada.....	117
Errores comunes en Ascensos y descensos.....	118
Virajes.....	118
Errores comunes en los virajes.....	121
“S Verticales”.....	121
“S Vertical” Alfa.....	121
“S Vertical” Bravo.....	122
“S vertical” Charlie y Delta.....	122
Wingover.....	123
Rollo.....	124
Posiciones o actitudes anormales.....	125
Reconocimiento de posiciones anormales.....	125
Recuperación de posiciones anormales.....	125
Virajes de procedimiento.....	127
Viraje de procedimiento de 45 - 180.....	128
Viraje de procedimiento 80/260.....	128
Virajes Básicos (Base Turn).....	129
PROCEDIMIENTOS DE VUELO POR INSTRUMENTOS	130
Orientación	133
Radio enfilación (Horming)	134
Interceptación de radiales	135

Rumbo de interceptación	135
Ángulo de interceptación	136
Interceptación de radicales en acercamiento	136
Interceptación de radiales en alejamiento.....	137
Pasada sobre la estación	138
Mantenimiento del curso	139
Arcos DME	140
Circuitos de espera VOR/DME	143
PLANIFICACIÓN DEL VUELO	147
Salida	148
Salidas estandarizadas por instrumentos (SID)	148
Salidas por radar	150
Comunicaciones	151
Autorizaciones	151
Reportes de posición	152
Reportes adicionales	153
Procedimientos en ruta	153
Descenso y arribo a un terminal aéreo	154
Rutas de llegada estandarizada por instrumentos (STAR)	155
Aproximación	156
Directa	156
Circular	156
Aproximaciones de no precisión	157
Aproximaciones de precisión.....	159
Categorías de aproximación	159
Aproximación frustrada	160
Alternos	161
Combustible	162
ANEXO A. REGLA 60-1	162
Explicación matemática	163
Análisis del plano vertical	164
Determinación de la velocidad (TAS)	164
Determinación de las Millas Náuticas por Minuto	165
Determinación velocidad vertical (VVI)	166

Ángulo de banqueo estándar	167
Anticipación para nivelada	167
Cono de confusión	167
Anticipo radial/arco	167
Anticipo arco/radial	167
Determinación distancia y tiempo a volar en un arco	168
Distancia	168
Tiempo	169
Determinación de inclinación alar constante para arco DME	169
2. OPERACIÓN DE AERÓDROMOS	171
<i>INTRODUCCIÓN</i>	172
<i>GENERALIDADES</i>	172
Definiciones y abreviaturas	173
Tipos de aeródromos	179
Aeródromos controlados	179
Aeródromos no controlados	179
Fuentes de datos aeródromos	180
Cartas Aeronáuticas	180
Avisos a los aviadoras (NOTAM)	181
Clave de referencia de aeródromo	182
Distancias declaradas	183
Superficies limitadoras de obstáculos	183
Indicadores de dirección de viento	185
<i>MARCAS</i>	188
Marcas de pista	189
Marca de designación de pista	189
Marcas de centro de pista	190
Marcas de umbral de pista	190
Marca de la señal del punto de visada	192
Marca de punto de contacto	193
Marca de borde de pista	193
Marcas previas al umbral	195
Marcas de umbral desplazado y reubicado	195

Marcas de la zona anterior al umbral	196
Marcas de las calles de rodaje	197
Línea de centro de calle de rodaje	197
Línea de centro mejorada	197
Línea de borde de calle de rodaje	198
Marcas de bermas (shoulders)	199
Señales de dirección marcadas en la calle de rodaje	199
Señales de ubicación marcadas en la calle de rodaje	200
Marcas de punto de espera	201
Punto de espera de pista en calle de rodaje	201
Punto de espera en pista	202
Punto de espera en calle de rodaje en área de aproximación	202
Punto de espera en área de ILS	203
Punto de espera intermedio	204
Señales de posición en el punto de espera marcadas en la superficie	204
Líneas de seguridad en plataforma	205
Punto de verificación VOR en aeródromo	206
Marcas de pista cerrada	206
LETREROS	207
Letreros obligatorios	208
Letrero de punto de espera de pista	208
Letreros de área crítica y de paso prohibido	209
Letreros informativos	210
Letreros de ubicación o emplazamiento	210
Letreros de emplazamiento en calle de rodaje y en pista	210
Letreros de dirección	211
Letreros de destino	212
Otros letreros informativos	213
LUCES	214
Faro de aeródromo	215
Iluminación de aproximación	215
Sistemas de luces de aproximación	216
Sistema indicador de senda de aproximación de precisión (PAPI)	217
Sistema indicador de senda de planeo de precisión abreviado (APAPI)	219
Indicador visual de pendiente de aproximación (VASI)	219

Iluminación de pista	220
Luces de identificación del umbral de pista	220
Luces de extremo de pista	221
Luces de borde de pista	221
Luces de umbral y barra de ala	221
Luces de eje de pista	222
Luces de zona de toma de contacto en la pista	223
Luces indicadoras de calle de salida rápida	224
Luces de calle de rodaje	225
Luces de eje de calle de rodaje	225
Luces de borde de calle de rodaje	226
Luces de punto de espera intermedio	226
Luces de la barra de parada	227
Luces de protección de pista	227
Luces de situación de la pista	228
Luces de obstrucción	229
SUMARIO	230
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	231

1.

Manual básico de instrumentos

TE. José Ricardo Trujillo Hernández

TE. Julián Ernesto Hernández Rendón

OD18. Andrea Falla Rubiano

<https://orcid.org/0000-0002-4277-2143>

TE. (RA) Luis Fernando Escobar Nieto

<https://orcid.org/0000-0001-9213-1793>

Escuela Militar de Aviación “Marco Fidel Suárez”

Fuerza Aeroespacial Colombiana



INTRODUCCIÓN

El vuelo bajo reglas instrumentales, o *Instrumental Flight Rules* (IFR), surgió de la necesidad de navegar en condiciones atmosféricas de visibilidad reducida, permitiendo guiar al piloto hacia su destino a través de rutas establecidas por radioayudas y coordenadas. Para ejecutar este tipo de operación se requiere una certificación específica y un entrenamiento riguroso, en el que el piloto debe adaptarse al vuelo en condiciones meteorológicas instrumentales (IMC). En estas circunstancias, la atención se centra en el panel de instrumentos, sin recurrir a referencias visuales externas, lo que posibilita el tránsito seguro de un aeródromo a otro.

Tras haberse acostumbrado al vuelo visual, la transición hacia el vuelo por instrumentos representó un reto para el ser humano, al exigir plena confianza en los sistemas de la aeronave. Cualquier error en este entorno puede comprometer la seguridad de la tripulación, de ahí la importancia de una formación sólida que garantice la ejecución segura de estas operaciones.

Este manual está dirigido a las tripulaciones de la Fuerza Aeroespacial Colombiana, con el propósito de estandarizar los conocimientos requeridos para la certificación en vuelo IFR, tomando como referencia las regulaciones del espacio aéreo colombiano y las particularidades geográficas y climáticas del país. No obstante, debe complementarse con los apartados específicos sobre espacio aéreo y operación de aeródromos.

El presente Volumen III de la serie *Conocimientos aeronáuticos para el Piloto Militar* está organizado en dos capítulos: el primero, Manual básico de instrumentos, orientado a la interpretación y dominio de los equipos de a bordo; y el segundo, Operación de aeródromos, que aborda los procedimientos, normas y señales que garantizan la seguridad en tierra y en las fases críticas de cada vuelo. Su estructura pedagógica busca facilitar la comprensión integral de los contenidos, los cuales han sido cuidadosamente adaptados a la normativa nacional y a las necesidades de la aviación estatal colombiana.

Finalmente, este manual se consolida como instructivo operativo de la Escuela Militar de Aviación “Marco Fidel Suárez”, cuyo propósito es apoyar la formación integral de las tripulaciones de la Fuerza Aeroespacial Colombiana y garantizar la estandarización en la instrucción de vuelo instrumental bajo las condiciones y regulaciones propias del ámbito nacional.



CONCEPTOS FUNDAMENTALES

Antes de abordar el tema específico del vuelo por instrumentos, es preciso definir y explicar unos conceptos que a la postre, facilitarán el entendimiento del funcionamiento y los procedimientos de este tipo de operación. Temas importantes como el espacio aéreo que comprende la actividad aérea, las cartas de navegación y las rutas aéreas; entre otros, deben ser cubiertos en su totalidad con anterioridad a la instrucción en vuelo bajo reglas IFR. De esta manera, se recomienda que se estudie previamente estos apartados como complemento a la información acá contenida.

Clasificación del espacio aéreo:

El espacio aéreo ATS se clasificará y designará de conformidad con lo indicado a continuación:

Clase A. Sólo se permiten vuelos IFR, se proporciona a todos los vuelos servicio de control de tránsito aéreo y están separados unos de otros.

Clase B. Se permiten vuelos IFR y VFR, se proporciona a todos los vuelos servicio de control de tránsito aéreo y están separados unos de otros.

Clase C. Se permiten vuelos IFR y VFR, se proporciona a todos los vuelos servicio de control de tránsito aéreo y los vuelos IFR están separados de otros vuelos IFR y de los vuelos VFR. Los vuelos VFR están separados de los vuelos IFR y reciben información de tránsito respecto a otros vuelos VFR.

Clase D. Se permiten vuelos IFR y VFR y se proporciona a todos los vuelos servicio de control de tránsito aéreo, los vuelos IFR están separados de otros vuelos IFR y reciben información de tránsito respecto a los vuelos VFR, los vuelos VFR reciben información de tránsito respecto a todos los otros vuelos.

Clase E. Se permiten vuelos IFR y VFR, se proporciona a los vuelos IFR servicio de control de tránsito aéreo y están separados de otros vuelos IFR. Todos los vuelos reciben información de tránsito en la medida de lo factible. La Clase E no se utilizará para zonas de control.

Clase F. Se permiten vuelos IFR y VFR, todos los vuelos IFR participantes reciben servicio de asesoramiento de tránsito aéreo y todos los vuelos reciben servicio de información de vuelo, si lo solicitan.

Clase G. Se permiten vuelos IFR y VFR y reciben servicio de información de vuelo si lo solicitan.

Las aeronaves que vuelen en los espacios aéreos colombianos, en todas sus clases deberán cumplir los siguientes requisitos especiales:

- Radiocomunicación continua en ambos sentidos
- Uso de transponder secundario en modo C, activado, excepto aeronaves de trabajos aéreos fumigación, planeadores, ultralivianos tipo I, parapentes, aerostatos y demás aparatos de aviación deportiva, siempre y cuando no operen en espacios aéreos controlados. (UAEAC, 2021(c))



Tabla 1. Clasificación del espacio aéreo

CLASE	Tipo de vuelo	Separación proporcionada	Servicios suministrados	Limitaciones de velocidad*	Requisitos de Radio comunicación	Sujeto a autorización ATC
A	Solo IFR	Todas las aeronaves	Servicio de control de tránsito aéreo	No se aplica	Continúa en ambos sentidos	Si
	IFR	Todas las aeronaves	Servicio de control de tránsito aéreo	No se aplica	Continúa en ambos sentidos	Si
B	VFR	Todas las aeronaves	Servicio de control de tránsito aéreo	No se aplica	Continúa en ambos sentidos	Si
	IFR	IFR de IFR IFR de VFR	Servicio de control de tránsito aéreo	No se aplica	Continúa en ambos sentidos	Si
C	VFR	VFR de IFR	1) Servicio de control de tránsito aéreo para la separación de IFR 2) Información de tránsito VFR/VFR (y asesoramiento a solicitud)	250 kt IAS por debajo de 3050m(10000ft) AMSL	Continúa en ambos sentidos	Si
	IFR	IFR de IFR	Servicio de control de tránsito aéreo, información de tránsito sobre vuelos VFR (y asesoramiento a solicitud)	250 kt IAS por debajo de 3050m(10000ft) AMSL	Continúa en ambos sentidos	Si
D	VFR	Ninguna	Información de tránsito IFR/VFR y VFR/VFR (y asesoramiento a solicitud)	250 kt IAS por debajo de 3050m(10000ft) AMSL	Continúa en ambos sentidos	Si
	VFR	VFR de IFR	Servicio de control de tránsito aéreo, información de tránsito sobre vuelos VFR (y asesoramiento a solicitud)	250 kt IAS por debajo de 3050m(10000ft) AMSL	Continúa en ambos sentidos	Si



CLASE	Tipo de vuelo	Separación proporcionada	Servicios suministrados	Limitaciones de velocidad*	Requisitos de Radio comunicación	Sujeto a autorización ATC
E	IFR	IFR de IFR	Servicio de control de tránsito aéreo y, en la medida de lo posible, información de tránsito sobre vuelos VFR	250 kt IAS por debajo de 3050m(10000ft) AMSL	Continua en ambos sentidos	Si
	VFR	Ninguna	Información de tránsito en la medida de lo posible	250 kt IAS por debajo de 3050m(10000ft) AMSL	Continua en ambos sentidos	No
F	IFR	IFR de IFR siempre que sea factible	Servicio de asesoramiento de tránsito aéreo; servicio de información de vuelo	250 kt IAS por debajo de 3050m(10000ft) AMSL	Continua en ambos sentidos	No
	VFR	Ninguna	Servicio de información en vuelo	250 kt IAS por debajo de 3050m(10000ft) AMSL	Continua en ambos sentidos	No
G	IFR	Ninguna	de información en vuelo	250 kt IAS por debajo de 3050m(10000ft) AMSL	Continua en ambos sentidos	No
	VFR	Ninguna	Servicio de información en vuelo	250 kt IAS por debajo de 3050m(10000ft) AMSL	Continua en ambos sentidos	No
Respondedor: Todas las aeronaves que operen en espacio aéreo de jurisdicción de Colombia deben estar equipadas con equipo respondedor SSR e indicador automático de altitud Modo C y mantenerlo activado. Los respondedores SSR deben disponer de descifrado de 4096 Códigos en Modo A. (AIP)						

Fuente: UAEAC, 2021(c).



Uso especial del espacio aéreo, zonas prohibidas

Un espacio aéreo puede ser restringido de manera temporal o permanente si existe un peligro potencial para las operaciones de aeronaves civiles y se clasifican en tres clases, las cuales se especifican en el documento ENR 5.1 de la AIP Colombia (2020a) así:

- **ZONA PELIGROSA SK-D**

Se establece una zona peligrosa cuando se quiere advertir a los pilotos que no está autorizado en ningún momento la operación en este espacio aéreo por las actividades peligrosas que se desarrollan en este y que podrían llegar a comprometer la seguridad de las aeronaves. Estos espacios aéreos son vigilados en conjunto con la Fuerza Aeroespacial Colombiana y la U.A.E.A.C. y no se autorizan en ninguna circunstancia la operación de ningún tipo de aeronaves en esta zona las cuales son publicadas a través de la AIP-Colombia.

- **ZONA PROHIBIDA SK-P**

En esta zona no se permite en ningún momento ni en circunstancia alguna el vuelo de las aeronaves civiles, son espacios aéreos controlados permanentemente y son suministrados por la dependencia militar que controle el espacio aéreo, las aeronaves que requieran ingresar a espacios aéreos prohibidos deben tramitar su autorización dirigida al Comando de la Fuerza Aeroespacial Colombiana (CO-FAC) con 96 horas de antelación a la hora prevista de inicio de vuelo, estas zonas se implementan por medio de una solicitud de la FAC y se publican a través de la AIP-Colombia.

- **ZONA RESTRINGIDA SK-R**

En este espacio aéreo no está absolutamente prohibido el vuelo de una aeronave civil, la cual puede llevar a cabo su vuelo únicamente si cumple con determinadas condiciones. Así, la prohibición del vuelo se restringe a ciertas horas y por obvias razones por condiciones meteorológicas. Los servicios de control del tránsito aéreo al igual que en las zonas prohibidas son suministrados por la dependencia militar encargado por el Comando de la Fuerza Aeroespacial Colombiana.

Las autorizaciones para volar en zonas restringidas se deben tramitar dirigidas al Comando de Operaciones Aéreas de la Fuerza Aeroespacial Colombiana (COA) con 72 horas de antelación a la hora prevista de inicio de vuelo. Se implementa una zona restringida por solicitud de la Fuerza Aeroespacial Colombiana y se publica a través de la AIP-Colombia.

Designación de zonas peligrosas, prohibidas y restringidas:

Cada zona se ordena usando una serie de números para que nunca se duplique la designación de una zona ya sea restringida, prohibida o peligrosa, no hay límites para el tamaño de las zonas las cuales deben estar contenidas en límites geométricos sencillos tales como cuadrados, círculos, triángulos, etc.

Las zonas peligrosas se identifican con una **D**, las prohibidas con una **P**, las restringidas con una:



R, todas estas acompañadas por números, como, por ejemplo: **R5, P4, D3, R4**.

Si por alguna razón una aeronave no autorizada se encuentra volando una zona ya sea restringida, prohibida o peligrosa durante el día o noche, una serie de proyectiles serán disparados desde el suelo a intervalos de 10 segundos, que al explotar producen luces o estrellas rojas y verdes, indicando a toda aeronave no autorizada que está volando en una zona restringida, prohibida o peligrosa, o que está a punto de entrar en ella, haciendo que la aeronave tome las medidas necesarias para remediar la situación (Apéndice A del Anexo 2 de OACI, apartes).

Aeródromos

Conforme al artículo 1810 del Código de Comercio, los aeródromos civiles se clasifican por su destinación en públicos y privados. Son públicos todos los civiles de propiedad del Estado, y los que aun siendo de propiedad privada, están destinados al uso público, para la operación de aeronaves destinadas a prestar servicios bajo remuneración a personas distintas al propietario. Los demás son privados.

Salvo las limitaciones establecidas por la UAEAC, los aeródromos públicos podrán ser utilizados por cualquier aeronave, la cual, además, tendrá derecho a los servicios que allí se presten. Los aeródromos privados podrán ser utilizados transitoriamente por aeronaves de Estado, en desempeño de funciones oficiales, y por aeronaves en peligro. En este caso, el explotador del aeródromo deberá tomar medidas necesarias para el aterrizaje, y la seguridad de la aeronave, obligación que se extenderá al tiempo de permanencia de esta en el aeródromo.

La Autoridad Aeronáutica podrá, en casos de extrema necesidad debidamente comprobada, permitir transitoriamente la operación de aeronaves en superficies que no sean aeródromos.

Mientras un aeródromo tenga permiso de operación vigente, quedan terminantemente prohibidas toda clase de quemas dentro de un radio de quince (15) kilómetros a la redonda, de su punto de referencia ARP. Los gerentes o administradores de estos podrán solicitar el concurso de las autoridades para el estricto cumplimiento de esta disposición y para la aplicación de las sanciones a que haya lugar de acuerdo con la Ley (UAEAC, 2020b).

Rutas aéreas nacionales

Una ruta aérea o aerovía puede ser concebida como “una autopista en tercera dimensión para aeronaves” (*Federal Aviation Administration – FAA, 2015, p. 2-2*). Son rutas preestablecidas y publicadas en el respectivo AIP, para dirigir el tráfico aéreo desde y hacia algún aeródromo. Estas comprenden tanto la navegación basada en radioayudas terrestres, como la basada en ayudas satelitales, y normalmente tienen un área de seguridad de 8 millas náuticas de ancho.

Estas se dividen y designan según el espacio aéreo que están ocupando, con una letra W o V y un número. Es así como en espacio aéreo inferior; que en Colombia se ex-

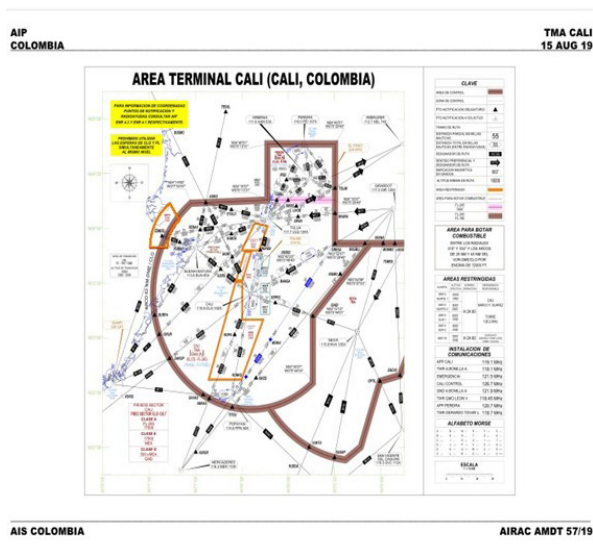
tiende hasta FL 245 o 24.500 pies, las aerovías se denominan, por ejemplo, W-15 o V-2. Sin embargo, ese límite del espacio aéreo inferior varía según el país, en Estados Unidos, por ejemplo, es 18.000 pies, pero en Egipto es 25.000 pies. De la misma manera, las aerovías ubicadas en el espacio aéreo superior se denominan antecedidas por una letra U, por ejemplo, UW-15 o UW-2. Por su parte, las aerovías denominadas con la letra Z o Q son para el sistema de navegación satelital GNSS. Así mismo, las letras A, B, G, R, L y M corresponden a la denominación de aerovías que forman parte de las redes regionales para rutas basadas en navegación con radioayudas en tierra y satelitales respectivamente (UAEAC, 2021a).

El establecimiento de rutas ATS, tiene como objetivo proporcionar un espacio aéreo protegido a lo largo de cada una y una separación segura entre rutas ATS adyacentes.

Cuando lo justifiquen la densidad, la complejidad o la naturaleza del tránsito, hay rutas especiales establecidas para uso del tránsito a bajo nivel, comprendidos los helicópteros que operen hacia o desde plataformas situadas en alta mar. Al determinar la separación lateral entre dichas rutas, se tendrán en cuenta los medios de navegación disponibles y el equipo de navegación transportado a bordo de los helicópteros (UAEAC, 2021c).

Las rutas ATS colombianas obligatoriamente brindan a la tripulación de la aeronave volando sobre el espacio aéreo información como: altitud mínima en ruta (MEA), altitud mínima de sector, rumbos, radiales, distancias entre piernas, designación de las aerovías y radio ayudas, áreas restringidas, prohibidas o peligrosas, patrones de sostenimiento, tipo de espacio aéreo e información suplementaria.

Figura 1. TMA de Cali



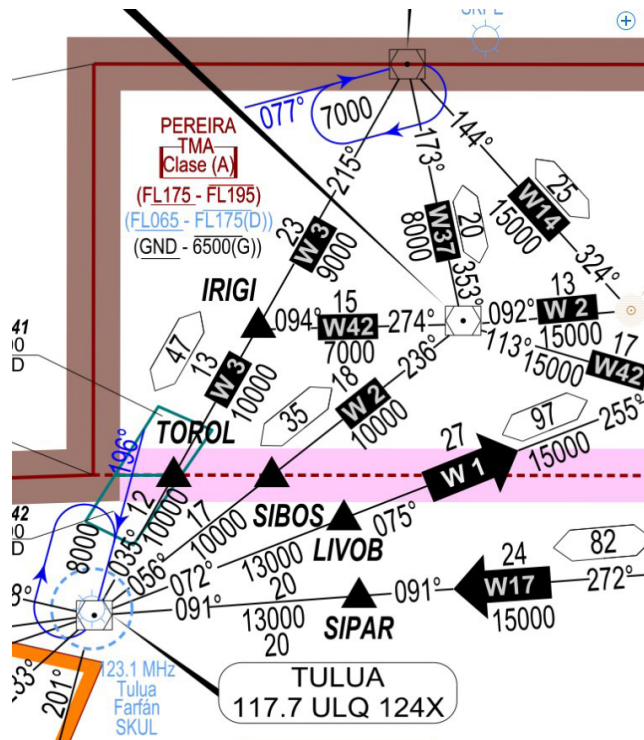
Fuente: AIP Colombia.



Puntos de cambio:

Hay puntos de cambio establecidos en los tramos de ruta ATS definidos por referencia a radiofaros omnidireccionales VHF (VOR), cuando ello facilite la precisión de la navegación a lo largo de los tramos de ruta. El establecimiento de puntos de cambio se limitará a tramos de ruta de 110 Km (60 NM) o más, excepto cuando la complejidad de las rutas ATS, la densidad de las ayudas para la navegación u otras razones técnicas y operacionales justifiquen el establecimiento de puntos de cambio en tramos de ruta más cortos (UAEAC, 2021c).

Figura 2. Distancias y altitudes mínimas en ruta



Fuente: AIP Colombia.

Altitudes mínimas de seguridad:

Las aeronaves no volarán por debajo de la altura mínima de seguridad publicada, excepto cuando sea necesario para despegar o aterrizar o cuando se tenga permiso de la autoridad competente.



Conocimientos aeronáuticos para el Piloto Militar.
Instructivo operacional de la Escuela Militar de Aviación
“Marco Fidel Suárez” - Volumen III

Se entiende por altura mínima de seguridad aquella donde no se evita toda perturbación innecesaria por ruido, ni riesgos innecesarios para las personas o sus bienes en caso de presentarse un aterrizaje de emergencia.

Para la operación bajo reglas de vuelo instrumentos (IFR), en aquellas partes donde no se haya establecido una altitud mínima publicada, se deben cumplir las siguientes condiciones según el AIP de Colombia:

- a) En áreas montañosas 2000 pies (600 m) sobre el obstáculo más alto que se encuentre dentro de un radio de 8 km a partir de la posición de la aeronave.
- b) En cualquier otra parte diferente a la especificada en el literal a, 1000 pies (300 m) sobre el obstáculo más alto que se encuentre dentro de un radio de 8 km a partir de la posición de la aeronave.
(UAEAC, 2021b)

Servicio de control de tránsito aéreo:

Se suministrará servicio de control de tránsito aéreo:

- A todos los vuelos IFR en el espacio aéreo de Clases A, B, C, D y E;
- A todos los vuelos VFR en el espacio aéreo de Clases B, C y D.
- A todos los vuelos VFR especiales.
- A todo el tránsito de aeródromo en los aeródromos controlados.

Las partes del servicio de control de tránsito aéreo serán provistas por las diferentes dependencias en la forma siguiente:

a) Servicio de control de área (TMA):

- Por un centro de control de área;
- Por la dependencia que suministra el servicio de control de aproximación en una zona de control o en un área de control de extensión limitada, destinada principalmente para el suministro del servicio de control de aproximación cuando no se ha establecido un centro de control de área.

b) Servicio de control de aproximación (CTR):

- Por una torre de control de aeródromo o un centro de control de área cuando sea necesario o conveniente combinar bajo la responsabilidad de una sola dependencia las funciones del servicio de control de aproximación con las del servicio de control de aeródromo o con las del servicio de control de área.
- Por una dependencia de control de aproximación cuando sea necesario o conveniente establecer una dependencia separada.

c) Servicio de control de aeródromo (ATZ):

- por medio de una torre de control de aeródromo.

Con el fin de proporcionar el servicio de control de tránsito aéreo, la dependencia del control de tránsito aéreo deberá:



- Disponer de la información sobre el movimiento proyectado de cada aeronave, y variaciones de este, y de datos sobre el progreso efectivo de cada una de ellas; Determinar, basándose en la información recibida, las posiciones relativas, que guardan entre ellas, las aeronaves conocidas;
- Expedir permisos e información para los fines de evitar colisiones entre las aeronaves que estén bajo su control y acelerar y mantener ordenadamente el movimiento del tránsito aéreo. Coordinar las autorizaciones, en cuanto sea necesario, con las otras dependencias (UAEAC, 2021(c)).

Servicio de información de vuelo (FIS)

El servicio de información de vuelo se suministrará a todas las aeronaves a las que probablemente pueda afectar la información y a las que se les suministra servicio de control de tránsito aéreo o de otro modo tienen conocimiento las dependencias pertinentes de los servicios de tránsito aéreo.

El servicio de información de vuelo no exime al piloto al mando de una aeronave de ninguna de sus responsabilidades y es él el que tiene que tomar la decisión definitiva respecto a cualquier alteración que se sugiera del plan de vuelo.

Cuando las dependencias de los servicios de tránsito aéreo suministren tanto servicio de información de vuelo como servicio de control de tránsito aéreo, el suministro del servicio de control de tránsito aéreo tendrá preferencia respecto al suministro del servicio de información de vuelo, siempre que el suministro del servicio de control de tránsito aéreo así lo requiera.

En determinadas circunstancias las aeronaves que realizan la aproximación final, el aterrizaje, el despegue o el ascenso, pueden necesitar que se les comunique inmediatamente información esencial que no sea de la incumbencia del servicio de control de tránsito aéreo. En caso de suministrarse tal información, se tendrá en cuenta que esta no afecte el suministro de información esencial a la propia aeronave interesada, ni a otras aeronaves.

El servicio de información de vuelo que se suministra a los vuelos incluirá el suministro de información sobre:

- Las condiciones meteorológicas notificadas o pronosticadas en los aeródromos de salida, de destino y de alternativa;
- Los peligros de colisión que puedan existir para las aeronaves que operen en el espacio aéreo de Clases C, D, E, F y G;
- Para los vuelos sobre áreas marítimas, en la medida de lo posible y cuando lo solicite el piloto, toda información disponible tal como el distintivo de llamada de radio, posición, derrota verdadera, velocidad, etc., de las embarcaciones de superficie que se encuentren en el área.



Las regiones de información de vuelo (FIR):

Se designarán como regiones de información de vuelo aquellas partes del espacio aéreo en las cuales se decida facilitar servicio de información de vuelo y servicio de alerta. (UAEAC, 2021(c))

Ayudas terrestres y espaciales para la navegación aérea

Ayudas visuales:

Estas comprenden los sistemas diferentes a las electrónicas, como luces y señales y que hacen parte de los procedimientos IFR.

- **Sistemas de iluminación:** El propósito de estos es facilitar la transición del vuelo por instrumentos al vuelo visual para el aterrizaje, en condiciones de baja visibilidad, como, por ejemplo, vuelos nocturnos o con fenómenos meteorológicos que la afecten. Y varían según los requerimientos exigidos por el tipo de aproximación con que se cuente en el aeródromo.

Otro propósito es facilitar a la tripulación la identificación efectiva de la pista, así como sus límites; en el apartado de operación de aeródromos podrá encontrar una descripción en profundidad de las características y funcionamiento de estos sistemas, así como los demás sistemas que hacen parte de la iluminación y demarcación de pistas, calles de rodaje, etc. y que son parte fundamental de la seguridad.

Algunos de estos sistemas de iluminación; dentro de muchos otros, son:

- **Sistema de luces de aproximación (ALS)** – Que se extienden desde el umbral o final de la pista hacia el área de aproximación a una distancia aproximadamente de 1000 metros para aproximaciones de precisión y 500 metros para no precisión. (FAA, 2021, p. 2-1-1)
- **Indicador de trayectoria de aproximación de precisión (PAPI)** – Una fila de luces ubicadas a los lados de la pista y facilitan el descenso en una trayectoria que garantiza la seguridad, generalmente en un área de un ángulo de 10° del eje central de la pista y 3,4 Nm del umbral. (FAA, 2021, p. 2-1-4)
- **Luces identificadoras de final de pista (REIL)** – Dos luces parpadeantes de color amarillo ubicadas a cada lado del umbral de la pista que tienen como propósito facilitar una efectiva y rápida identificación del final de la pista en la aproximación. (FAA, 2021, p. 2-1-5)

Radio ayudas:

Las radioayudas son equipos electrónicos que emiten señales electromagnéticas, que al ser captadas por una antena a bordo de las aeronaves pueden ser usadas como guía para la navegación. Estas tienen características específicas en cuanto a la frecuencia y la forma de propagación, entre otros.

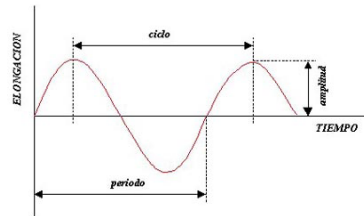
Es preciso conocer algunos conceptos sobre las ondas electromagnéticas antes de abordar el tema de las radioayudas.

- **Onda electromagnética:** Una onda se define como un tipo de movimiento que transporta energía, sin necesariamente transportar masa (Segura, 2015, p. 18). De esta manera, una onda electromagnética es la propagación simultánea de los campos eléctrico y magnético producidos por una carga eléctrica en movimiento.

Estas tienen como características que pueden propagarse en el vacío, son tridimensionales y transversales; es decir, la perturbación se produce perpendicularmente a la dirección de propagación, tienen un comportamiento oscilatorio de tipo sinusoidal y como tal tienen una amplitud, un periodo y una frecuencia.

- **Amplitud:** La distancia entre el punto más alejado de una onda y el punto medio o de equilibrio
- **Periodo:** Tiempo comprendido entre dos valores máximos o crestas y su unidad es el segundo.
- **Ciclo:** Recorrido de una partícula en un periodo
- **Frecuencia:** Número de ciclos que se generan durante una unidad de tiempo, su unidad de medida es Hertz, en honor el físico alemán Henri Hertz.

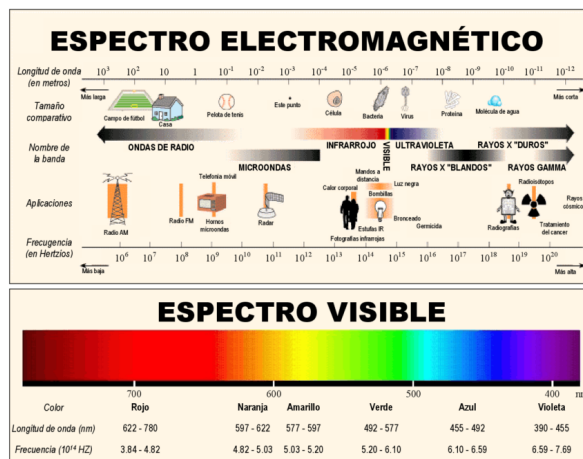
Figura 3. Características de las ondas



Fuente: sottovoce.hypotheses.org. s.f.

Al flujo de energía de una fuente en ondas electromagnéticas, natural o artificial, se le denomina radiación electromagnética y el conjunto de frecuencias en donde se presenta esta radiación es el espectro electromagnético. Dentro del espectro se encuentra desde los rayos cósmicos, pasando por los rayos x, la luz visible y las ondas de radio, hasta la transmisión de energía eléctrica.

Figura 4. Espectro electromagnético



Fuente: esquema.net, s.f.

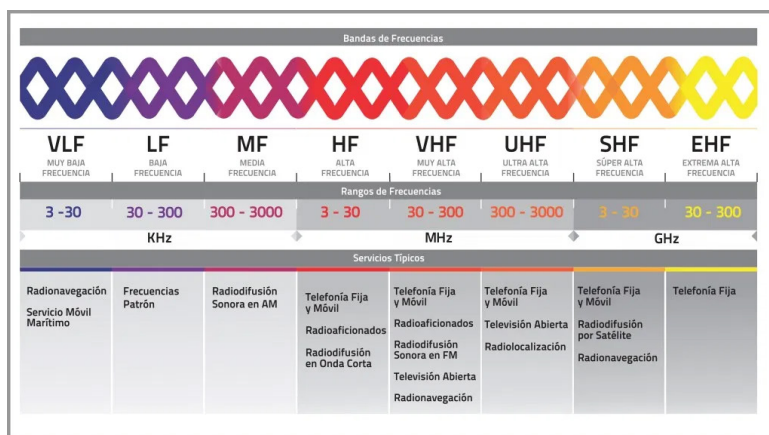


Así pues, las ondas electromagnéticas; convenientemente tratadas al variar la amplitud, fase y frecuencia de forma controlada, pueden emplearse para la transmisión de información dando lugar a la telecomunicación. (Luque, s.f., p. 18)

Por su parte, la porción del espectro electromagnético cuyas características permiten las radio comunicaciones se conoce como espectro radioeléctrico y comprende 9 de las bandas de frecuencias de la nomenclatura de la unión internacional de telecomunicaciones -UIT, desde la banda 4 *Very Low Frequency – VLF* hasta la banda 12, cuya denominación no se ha asignado, pero es conocida comúnmente como *Tremendous High Frequency – THF* y solo se ha explorado hasta los 275 GHz.

Así pues, la banda VLF entre 3 y 30 KHz tiene una propagación por onda de superficie con baja atenuación y permite realizar enlaces de gran distancia. Se usa para comunicaciones con submarinos cerca de la superficie ya que penetra el agua hasta aproximadamente 40 metros. La banda LF entre 30 y 300 KHz y MF entre 300 y 3000 KHz, tienen características similares a la anterior banda, pero su propagación también es posible por onda ionosférica, se usa en radiobalizas para la navegación y el servicio de radio difusión en AM, entre otros.

Figura 5. Espectro Radio Eléctrico



Fuente: conatel.gob.ve, s.f.

La banda HF entre 3 y 30 MHz tiene una propagación por onda ionosférica permitiendo una cobertura global; dependiendo de la hora y otros factores, y es utilizada para comunicaciones, especialmente por radioaficionados. La banda VHF entre 30 y 300 MHz tiene unas condiciones que la hacen adecuada para las comunicaciones terrestres de corta distancia, se utiliza para comunicaciones aeronáuticas, navegación aérea, sistemas de aterrizaje y el servicio de radio difusión de FM, entre otros. La banda UHF entre 300 y 3000 MHz tiene una propagación de tipo onda espacial troposférica en línea de visión y su uso; entre muchos otros, es el indicador de senda de planeo – *Glide Slope* y equipos de medición de distancia - DME. La banda SHF entre 3 y 30 GHz tiene una propagación de trayectoria óptica directa y se emplea en algunos radares y enlaces satelitales.



De esta manera, se pueden identificar entonces tres formas principales de propagación de las ondas de radio. Terrestre o de superficie que son poco influenciadas por factores externos y su trayectoria es confiable y predecible, lo que las hace útiles para la navegación aérea. Aéreas que son reflejadas por la ionósfera y le permiten cubrir grandes distancias, pero su trayectoria es muy variable porque la ionósfera se encuentra en constante cambio. Y espaciales que tienen la capacidad de atravesar la ionósfera lo que genera errores por refracción y otros factores, que son corregidos por los equipos para ser usados en navegación.

Son múltiples las radioayudas que se han implementado en el mundo y que han permitido el desarrollo de nuevas tecnologías para mantener los estándares de seguridad de la industria aeronáutica, actualmente las más usadas son:

- ***Radiofaro no direccional (NDB):***

La porción de estación terrestre del radio faro no direccional (NDB) es la que transmite energía de radio en todas direcciones. El receptor a bordo es el ADF.

El NDB es un radio faro de baja, mediana o Ultra alta frecuencia (UHF) con base terrestre que transmite señales no direccionales mediante las cuales una aeronave apropiadamente equipada puede automáticamente determinar y mostrar la marcación hacia cualquier estación dentro de su gama de frecuencia y sensibilidad. Estas estaciones normalmente operan en frecuencias entre los 190 y 1750 kilohertz o de 275 a 287 megahertz y transmite una onda codificada continua en clave Morse de tres letras para proveer identificación excepto durante transmisión vocal. (U.S. ARMY, 2007)

Cuando se usan en conjunto con los marcadores de un Sistema de Aterrizaje por Instrumentos (ILS) se denominan *Compass Locator* y *proporciona una guía adicional en la dirección de la aproximación.*

Los NDB son propensos a presentar interferencias que generan disturbios en la indicación e identificación con fenómenos como rayos, precipitaciones y estática. Igualmente, en las noches es frecuente que sufran de interferencias de otras estaciones. Estos errores que hacen de esta la menos precisa de las radioayudas y por el rápido crecimiento de las tecnologías satelitales, recientemente se han ido desmontando en el mundo, quedando muy pocos en operación.

- ***Radiofaro de alcance ONmnidireccional de muy alta frecuencia (VOR):***

El VOR opera dentro de la banda de frecuencias VHF de 108.0 a 117.95 megahertz; puesto que a estas frecuencias se pueden tomar como despreciables las distorsiones atmosféricas, y tiene la potencia necesaria para proveer cobertura dentro del volumen de servicio operacional asignado. El equipo es propenso a restricciones de línea-visual, y su alcance varía proporcionalmente con la altitud del equipo receptor.

La estación en tierra está orientada al norte magnético y tiene la capacidad de proveer información del ángulo formado entre esta referencia y la línea formada entre la aeronave y el equipo. De esta manera puede emitir 360 señales de curso diferentes; desde y hacia el VOR (TO – FROM), llamados radiales cuando están orientados desde la estación. Estos pueden ser visualizados “como los radios de



una llanta de bicicleta con el VOR en el centro y donde la aeronave solo puede estar en un radial”. (FAA, 2015, pp. 9-10)

La información desplegada en el equipo de abordó no recibe influencia alguna por la actitud o la dirección que tenga la aeronave en el momento. De manera que, una aeronave que se encuentre dirigiéndose a la estación con curso 360° en el radial 180°, recibirá la misma indicación de una que se encuentre cruzando el radial 180° con curso 270°. En condiciones de no viento, siempre que la aeronave se esté desplazando desde la estación hacia afuera, el radial y el curso serán iguales, mientras que, en caso contrario, al acercarse el radial seguirá siendo el mismo, pero el curso será 180° diferente. Dejando en evidencia la relevante importancia de una correcta configuración e interpretación del instrumento y del chequeo cruzado. Si bien es cierto que instrumentos más modernos como el *Horizontal Situation Indicator – HSI*; que se cubrirá con posterioridad, facilitan su interpretación, es de suma importancia que el piloto se familiarice con su operación y funcionamiento.

Figura 6. Indicación del VOR



Nota. En la figura se observa la misma indicación del VOR en dos aeronaves con direcciones distintas, N y W respectivamente, evidenciando que esta no influye en la información recibida por el instrumento. Fuente: Escobar 2022.

El sistema consta, desde luego, de una estación en tierra que emite dos señales de navegación en AM, una variable, que gira a razón de 30 revoluciones por segundo; cuya fase depende de la posición del receptor, y una de referencia fija omnidireccional. La diferencia de fase entre ambas señales cambia directamente con el rumbo de la aeronave, de manera que, el receptor puede saber la marcación o acimut respecto al norte visto desde el VOR (Palomo, 2006). También emite una señal de comunicaciones y otra de identificación.

El único método de identificar un VOR es mediante el código de identificación Morse o la grabación automática de identificación de voz. La identificación de voz consiste en anuncio de voz (BOGOTÁ VOR), alternado con la identificación usual del código Morse.

La precisión de alineamiento de curso del VOR es excelente, generalmente de ± 1 grado, pero no más de 2.5 grados. La eficacia del VOR depende del uso y mantenimiento apropiado del equipo en tierra y el equipo a bordo. (U.S. ARMY, 2007)

Abordo el sistema consta; por supuesto, de una antena. Un equipo receptor; que permite seleccionar la frecuencia dentro del rango ya mencionado, prender o pagar y ajustar el volumen de manera que se pueda escuchar la clave de identificación; nunca utilice un VOR para navegación sin antes haber hecho la identificación correspondiente. Y, desde luego, e instrumento.

Por su parte, el instrumento consta de varios componentes así:

ONmibearing Selector – OBS o selector de cursos, es una perilla, la cual, al girarla, se puede seleccionar el curso deseado, ubicándolo en la parte superior de la carátula alineándolo con el índice, o ajustándolo en la ventanilla de curso; dependiendo del fabricante.

Course Deviation Indicator – CDI o indicador de desviación de curso, es una aguja que se desplaza a los lados en la carátula del instrumento. Cuando esta se centra, significa que la aeronave se encuentra en el radial seleccionado o su recíproco. Y al desplazarse está indicando que se está alejando del mismo, a razón de 2° por cada punto de la escala en la carátula, de manera que, una desviación total significará un desvío de 12° o más.

Indicador TO – FROM, es presentado por un triángulo que indica si el curso seleccionado lleva la aeronave desde o hacia la estación; esto depende de la configuración ajustada por la tripulación y no tiene incidencia en la indicación del rumbo de la aeronave.

Banderola de fiabilidad, es una señal; dependiendo del modelo y fabricante, de OFF, de franjas rojas y blancas, o simplemente roja que aparece cuando la señal en el receptor no es lo suficientemente confiable para ser usada en navegación.

Así mismo; salvo en modelos muy antiguos, se tiene indicación de senda de planeo (*glide slope*) para la operación ILS con su respectiva banderola de fiabilidad.

Figura 7. Indicador TO-FROM



Fuente: FAA, 2012.



Errores del sistema. Al configurar el curso con el OBS de manera errónea, por ejemplo, ajustar el curso 180° en la carátula, cuando se encuentra en el radial 180° , pero con curso 360° , resultará en ambigüedad en la indicación del CDI, es decir, se presentará al lado contrario donde realmente se encuentra el radial, por lo tanto, el piloto interpretará que debe aplicar una corrección hacia donde indica el instrumento con resultado de aumentar el error y nunca interceptarlo o desorientarse.

Una zona conocida como cono de confusión, cono de silencio o cono de ambigüedad, se presenta justo sobre la estación terrena, esto se debe a que; con el fin de evitar los efectos del reflejo de tierra, se instaló un contrapeso que no permite la cobertura vertical. Es decir, cuando la aeronave se encuentra sobre la estación terrena no cuenta con la señal y no tendrá indicación, por lo tanto, las banderolas se presentarán por unos instantes, este periodo aumentará con la altitud. Una forma sencilla de calcular el radio de este cono es:

Altura en millas náuticas $\times \tan 50^\circ$; así, por ejemplo, si la altura sobre el VOR es 30.000 pies, la altura en millas náuticas será $30.000/6080 = 4,93$, y a su vez, $4,93 \times \tan 50^\circ (1,19) = 5,9$ nm. Esto indica que en un radio de 5,9 nm la aeronave se encontrará en el cono de confusión. (Marcano, 2003)

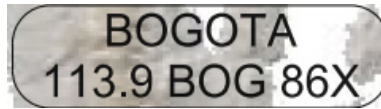
Radiofaro Alcance ONmidireccional de Muy Alta Frecuencia/Navegación Aérea Táctica (VORTAC): Un VORTAC es una instalación que consiste en dos componentes, VOR y TACAN, los cuales proveen tres servicios individuales: azimut VOR, azimut TACAN, y distancia (DME) TACAN a un lugar. El VORTAC es considerado como una ayuda navegacional unificada—a pesar de que se constituye de más de un componente—incorporando más de una frecuencia operacional y utilizando más de un sistema de antenas. Ambos componentes del VORTAC operan simultáneamente y proveen los tres servicios en todo tiempo. (U.S. ARMY, 2007).

Equipo medidor de distancia (DME): Un equipo abordo transmite pulsos apareados en frecuencia UHF a intervalos específicos a la estación terrestre. Esta a su vez, transmite pulsos apareados de vuelta a la aeronave con los mismos intervalos de pulso, pero en una frecuencia diferente. El tiempo requerido para la travesía de ida y vuelta de este intercambio de señales es medido en la unidad DME a bordo y es descifrado como distancia en millas náuticas desde la aeronave hasta la estación terrestre. (U.S. ARMY, 2007). Igualmente, en muchos casos, el DME proporciona indicación de *groundspeed* en nudos al monitorear el régimen de cambio de la aeronave con respecto a la estación terrena. Esta información es confiable únicamente cuando se encuentra con un radial interceptado bien sea en la posición entrando o saliendo.

Aunque la gran mayoría de DME se encuentra en conjunto con un VOR y comparten la misma frecuencia, en algunos casos cuentan con su propio equipo; en ese caso, verifique el canal en la carta para sintonizarlo.



Figura 8. *Frecuencia del VOR de Bogotá y el canal del DME*



Nota. En la figura se observa la frecuencia del VOR de Bogotá 113.9 y el canal 86 del DME.
Fuente: UAEAC, 2021(d).

El equipo cuenta con un interruptor que permite escoger cual VHF está siendo utilizado por el DME y la función HOLD, que sirve para mantener sintonizado la última frecuencia antes de hacer un cambio; esto es importante y muy útil en caso de hacer una aproximación ILS que no tenga DME, pero se encuentra cerca un VOR/DME. (FAA, 2015, pp. 9-17)

Figura 9. *Equipo medidor de distancias - DME*



Fuente: FAA, 2012.

Errores del sistema. La señal del DME está determinada por la línea de vista, es decir, si hay un obstáculo entre la aeronave y la estación terrena, como una montaña, no se tendrá indicación.

Otro error es el denominado de distancia oblicua; o *slant range*, que se presenta debido a que la distancia indicada por el instrumento corresponde a la que hay entre la antena de la aeronave y la estación terrena. Este error será mayor cuando se encuentre cerca de la estación, de esta manera, al estar justo sobre ella, la indicación no será 0, por el contrario, será la altura en millas náuticas.

El error de distancia oblicua es minimizado cuando se está a 1 o más millas de la estación por cada 1000 pies de altitud. (FAA, 2007, pp. 9-17)

Instrument Landing System (ILS): Este es un sistema de aproximación de precisión a través de señales electrónicas que proporciona al piloto un curso final y una trayectoria de aproximación hacia la pista. Se compone de 2 transmisores direccionales y de tres (o menos) marcadores (*marker beacons*) a lo largo de



Conocimientos aeronáuticos para el Piloto Militar.
Instructivo operacional de la Escuela Militar de Aviación
“Marco Fidel Suárez” - Volumen III

la aproximación. Los transmisores se denominan localizador y el transmisor de senda de planeo (*Glide Slope*). (Manual de Vuelo por Instrumentos FACH, 2014).

Las aproximaciones ILS se dividen en tres categorías según la precisión de los equipos en tierra y el entrenamiento de las tripulaciones.

La CAT I finaliza la aproximación a una altura sobre el punto de contacto en la pista no menor a 200 pies (60 m); esta se conoce como altura de decisión, y una visibilidad o alcance visual en la pista (RVR) no inferior a 800 m y 550 m respectivamente. Es la de menor precisión de las tres y el certificado IFR de la tripulación es suficiente para poder ejecutarlas.

La CAT II requiere de una certificación especial de las tripulaciones y aeronaves, y tiene una altura de decisión no menor de 100 pies (30 m) y con RVR no menor a 300 m.

Por su parte, la CAT III; desde luego, también requiere de un proceso de entrenamiento riguroso y una certificación especial, tanto del aeródromo como de las tripulaciones, esta ofrece unos mínimos de aproximación donde no se contempla altura de decisión, es decir finaliza en el terreno, pero los mínimos varían con el RVR.

De esa manera, la CAT III A contempla una altura de decisión menor a 100 pies (30 m) o no la contempla y un RVR no inferior a 175 m. En la CAT IIIB por su parte, la altura de decisión será inferior 50 pies (15 m) y el RVR no menor a 50 m. Y finalmente la CAT IIIC, que no contempla mínimos de altura y alcance visual. (UAEAC, 2020(c), p. 105-106)

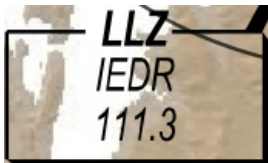
El sistema se divide en tres partes funcionales, la guía, proporcionada por el localizador y senda de planeo (*Glide Slope*). La distancia, proporcionada por los marcadores y DME. Y la información visual, compuesta por las luces de aproximación y de pista.

Localizador: Está ubicado en una extensión del eje central de la pista y su función es proveer guía horizontal respecto de este. Emite una señal en ambos sentidos de la pista, en la frecuencia VHF entre 108.1 7 111.95 MHz; siempre con terminación impar para diferenciarlo del VOR que comparte el mismo rango, y se extiende a lo largo de la línea de aproximación a través de los marcadores; si están instalados, hasta una distancia máxima aproximada de 18 Nm y una altitud de 4500 pies desde la ubicación de la antena, en un área de cobertura formada por 10° a cada lado de la antena. Sin embargo, aunque se cuente con indicación para los dos sentidos de la pista, se debe tener en cuenta que la aproximación es en la dirección que está publicada en la carta, salvo que se cuente con una carta para el lado opuesto, en cuyo caso se denomina aproximación *Back Course*.

Al igual que el VOR, la identificación se hace mediante tres letras con la clave morse emitida por el equipo, teniendo en cuenta que siempre llevará antecedida la letra I, por ejemplo, el ILS de Bogotá es IEDR. Y una banderola de advertencia indicará cuando la señal no sea confiable, de la misma manera que el VOR.



Figura 10. *Frecuencia del localizador*



Fuente: UAEAC, 2021(d).

La información se presenta en la cabina de diferentes maneras, puede usar el mismo instrumento del VOR, el HSI o en las pantallas, se debe tener en cuenta que el ancho total del curso emitido por el localizador es de 5° , lo que equivale a 2.5° a cada lado, esto lo hace singularmente sensible a las correcciones, especialmente después del marcador intermedio.

Una buena referencia es, que pasado el marcador exterior cada punto en la escala del CDI equivaldrá aproximadamente a 300 pies (90 m) de desvío del centro de la pista y; a su vez; pasado el marcador intermedio será de 100 pies (30 m), por o tanto, nunca se debe iniciar un descenso sin el localizador interceptado, e igualmente, si presenta un desplazamiento total durante la aproximación, es imperante iniciar una frustrada para no comprometer la seguridad.

Cuando se encuentra sintonizada la frecuencia del ILS el CDI dará indicación del centro de la pista, siempre y cuando se encuentre dentro de los límites mencionados con anterioridad, en un área de cobertura formada por un ángulo de 10° que se extiende a cada lado del centro de la pista desde la antena. Con estas condiciones el instrumento tendrá indicación independientemente de lo seleccionado con el OBS, es decir, si tiene interceptado el localizador y con el OBS ajusta un curso diferente, no tendrá incidencia alguna. Esto es importante, toda vez, que al iniciar una aproximación usando ILS, si tiene configurado un curso diferente puede generar desorientación, por eso es recomendable que antes de cruzar el punto de aproximación final, se ajuste el curso correspondiente de manera que la seguridad no se vea afectada.

De esta manera, la forma de interpretar la información del localizador es simple y no da lugar a ambigüedades, si este se encuentra desplazado del centro del instrumento, por ejemplo, a la derecha, significará que la aeronave se encuentra a la izquierda del centro de la pista; la magnitud del desplazamiento dependerá de los criterios abarcados anteriormente.

Indicador de senda de planeo – Glide Slope: Este equipo está ubicado a un lado del eje central de la pista; desde luego donde no afecte la zona de seguridad, y emite una señal en la frecuencia UHF entre 329,3 y 335,0 MHz. Para proveer una guía vertical de descenso desde el punto de aproximación final y la pista, únicamente en el sentido de la aproximación y hasta una distancia máxima aproximada de 10 Nm, en un área de cobertura formada por un ángulo de 35° a cada lado de la ubicación de la antena. Al igual que el localizador, también cuenta con una banderola de advertencia en caso de presentar pérdida de la señal o alguna otra situación relacionada.

Esta línea de descenso generalmente es de 3° , sin embargo, puede ser ajustada entre 2.5° y 3.5° según la necesidad por terreno, tráfico aéreo, etc. Igualmente, si por alguna



razón no se puede garantizar el franqueamiento de obstáculos, el ángulo se puede incrementar, en cuyo caso esa información será publicada en la carta.

El ancho de la indicación de senda de planeo es 1.4° en total, es decir, 0.7° arriba o abajo. Al igual que el localizador, es muy sensible a las correcciones y en gran medida el éxito de la aproximación dependerá de mantener la velocidad y el régimen de descenso publicados en la carta.

En cabina la información es presentada de acuerdo con la configuración de cada aeronave, por lo general se encuentra en el mismo instrumento que sirve para el VOR y el LOC, pero con una indicación vertical. Igualmente, en el HSI y en las pantallas es común encontrarlo presentado como un triángulo a cada lado. La interpretación de la información es similar al localizador, si la línea se encuentra desplazada hacia arriba, por ejemplo, significará que la aeronave se encuentra por debajo de la senda de planeo y viceversa.

Figura 11. Indicador de senda de planeo (*Glide Slope*)



Fuente: istockphoto.com, s.f.

Marcadores o Radiobalizas: A lo largo de la aproximación se encuentran unas radiobalizas que emiten la señal en VHF a 75 MHz. Su función es indicar a la tripulación la posición de la aeronave. Normalmente se encuentra el marcador exterior (OM) y el intermedio (MM) y cuando se cuenta con aproximaciones ILS CAT II se incluye un tercero, el marcador interior (IM).

En la cabina se puede identificar una luz y un tono audible cuando se cruza cada marcador.

El marcador exterior (OM) se ubica a una distancia entre 4 y 7 Nm del umbral, emite una señal audible de rayas continuas en clave Morse y enciende una luz de color azul. Esto indica que el punto donde se intercepta la senda de planeo, siempre y cuando la aeronave tenga la altitud apropiada indicada en las cartas.

El marcador intermedio (MM) se ubica aproximadamente a 1000 m del umbral, se identifica mediante una señal de raya – punto que se repite y una luz de color ámbar o amarillo. En este punto, con el GS centrado, la aeronave se encontrará aproximadamente a 200 pies sobre el umbral.



Y finalmente, el marcador interior (IM) estará ubicado entre al MM y el umbral para indicar el punto donde se tendrá la altura de decisión; si sevvv tiene el GS centrado, en aproximaciones CAT II.

Compass Locator: En algunos casos los marcadores exterior e intermedio pueden ser reemplazados o complementados por un equipo NDB de baja potencia que operan entre 190 y 535 kHz con alcance máximo de 15 Nm y tienen la misma función que estos.

Sistema de luces de aproximación: La aproximación instrumentos termina en la altitud de decisión y a partir de allí se debe hacer la transición al vuelo visual, las luces con que cuente el aeródromo tienen la función de facilitar a la tripulación este proceso y permitir una identificación positiva de la pista. Las luces varían dependiendo de la categoría de la aproximación CAT I, etc. Esta temática está abarcada a profundidad en el apartado de operación en aeropuertos.

Errores del sistema: La señal puede ser reflejada por vehículos que pasen frente al equipo en tierra, esto interrumpe y afecta la recepción a bordo de las aeronaves en aproximación. Por esto es de suma importancia planear la ubicación del equipo antes de su instalación y disponer de puntos de espera espacial en las áreas críticas del ILS, así como el entrenamiento del personal que opera los vehículos en el aeródromo.

El indicador de senda de planeo (GS) provee varias sendas falsas cuando la aeronave se encuentra en un ángulo de 9° o superior sobre la vista de la antena en tierra. Esto puede causar confusión al interceptar una de estas, por lo tanto, la única manera de evitarlo es llegar al OM con la altitud que se indica en la carta.

Figura 12. *Sistema de luces de aproximación*



Fuente: ecured.cu. s.f.

Sistema de Posicionamiento Satelital: Es un sistema de navegación con base en ayudas espaciales que provee información de navegación en tres-dimensiones altamente precisa dondequiera, en o cerca de la Tierra a un número infinito de usuarios. El típico sistema integrado provee posición, velocidad, tiempo, altitud, información de

Conocimientos aeronáuticos para el Piloto Militar.
Instructivo operacional de la Escuela Militar de Aviación
“Marco Fidel Suárez” - Volumen III

manejo, velocidad terrestre, error de trayectoria terrestre, rumbo, y variación. (U.S. ARMY, 2007).

El **Sistema Global de Navegación Satelital – GNSS** consta de un segmento espacial, donde; desde luego, se encuentran varias constelaciones de satélites artificiales de diferentes países, ubicados en una órbita precisa que emiten señales compatibles entre todos los usuarios.

El más antiguo y conocido es el **Sistema Global Positioning System – GPS** de los Estados Unidos de América, el cual se compone de 24 satélites que orbitan a unos 20.200 km de altitud en 6 órbitas casi circulares, de forma que hay 4 satélites en cada órbita. De esta forma se garantiza que puedan utilizarse 8 de estos desde cualquier punto de la tierra. (Space Geodesy Group, s.f.)

Por otra parte, está el **Sistema Global Navigation Satellital System - GLONASS** de Rusia, que también cuenta con 24 satélites y tiene varios más de soporte en una órbita a 19.100 km de altitud. (Organización de Aviación Civil Internacional – OACI, 2005, p. 3-1)

Y los sistemas Galileo de la Unión Europea, Beidou o COMPASS de China, QZSS de Japón y el IRNSS de India, que complementan el sistema con cobertura regional; especialmente en el caso de los últimos dos. (Olivares, 2015, p. 52)

Figura 13. Sistema GNSS

GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM - GNSS						
CARACTERÍSTICA	NAVSTAR	GLONASS	GALILEO	BEIDOU	QZSS	IRNSS
						
PAÍS	U.S.A.	RUSIA	U.E.	CHINA	JAPÓN	INDIA
SATÉLITES	31	27	30	35	3	7
ESTACIONES DE CONTROL	18	13	37	33	9	20
ÓRBITAS	6	3	3	6	3	-
COBERTURA	GLOBAL	GLOBAL	GLOBAL	GLOBAL	REGIONAL	REGIONAL

Fuente: Olivares, 2015, adaptado por Escobar, 2022.

Un segmento de control que se encarga de monitorear el correcto funcionamiento de los satélites y efectuar las correcciones necesarias para refinar y actualizar la señal de navegación emitida por estos, consta de varias antenas y estaciones dispuestas en todo el mundo y un centro de mando maestro; que en el caso del GPS se encuentra en Colorado.

Y finalmente, un segmento de usuario que son los equipos abordo que son usados para navegación, bien sea aérea, marítima o terrestre y que tiene la capacidad de medir el desplazamiento Doppler del satélite para calcular la posición sobre la superficie



terrestre, igualmente determinar velocidad y dirección del desplazamiento a partir de dos medidas de posición. (Corbasí, 1998, p. 193)

Teoría de operación: El sistema funciona de manera muy similar al DME; que se explicó con anterioridad, un equipo está en capacidad de determinar la posición, velocidad y tiempo, al recibir la señal de varios satélites, comparar el intervalo de tiempo entre la recepción y emisión y multiplicarlo por la velocidad de la luz. La diferencia con el DME radica en que los sistemas satelitales son pasivos, es decir, no necesita emitir una señal y esperar la respuesta para poder funcionar como si lo hace el DME.

El satélite emite constantemente una señal codificada que es comparada por el equipo del usuario con una señal idéntica que este emite, y si coinciden se emparejan para su uso. Al conocer la posición del satélite en el espacio, se puede calcular la posición del equipo en un círculo que tiene el satélite en el centro. (FAA, 2011, p. 16-12)

De esta manera, al suponer que el satélite se encuentra congelado en el espacio por un momento preciso, sus coordenadas espaciales respecto al centro de la tierra pueden ser calculadas por un algoritmo a partir de las efemérides transmitidas por el satélite. Si el receptor en tierra emplea un reloj ajustado con la suficiente precisión con el reloj del sistema, es posible calcular la distancia entre el receptor y el satélite. Esta distancia define la superficie de una esfera con el satélite en el centro, de esta manera, la intersección de tres esferas permite determinar la posición real del receptor en latitud, longitud y altitud. (Hoffman-Wellenhof, Lichtenegger & Collins, 2001)

Errores del sistema: Como todos los sistemas, esta tecnología se ve afectada por diferentes errores como lo son:

- **Error de efemérides:** Este se presenta cuando el satélite no se encuentra en la posición exacta que predijo la computadora en la estación de control para un tiempo determinado. Por medio de las antenas en tierra se actualiza la posición en cada satélite y de esta manera es corregido.
- **Error de reloj y pseudodistancia:** La diferencia entre el reloj del satélite y el del equipo receptor del usuario; uno es atómico y el otro de Cuarzo, y su precisión respectivamente, hace que sea imposible generar pseudocódigos idénticos el mismo tiempo. Esto genera un error en la precisión de la distancia medida entre el satélite y el receptor, mediante el uso de tres satélites se puede determinar la posición en tres dimensiones y con la incorporación de un cuarto, el computador del receptor tiene la capacidad de calcular el ajuste necesario para corregir esas medidas.
- **Error del reloj satelital:** Debido principalmente al tamaño disponible en un satélite en órbita, la precisión del reloj atómico del centro de mando es diferente a la del satélite, originando un error entre ambos tiempos y una pequeña desincronización entre los pseudocódigos. Este error se corrige desde el centro de mando al calcular el ajuste necesario y actualizar la información en el satélite mediante las antenas en tierra.
- **Error de propagación atmosférica:** Se produce al ingresar la señal del satélite en la atmósfera y ser refractada y desacelerada por la ionósfera; desde luego que este dependerá de las condiciones atmosféricas y del ángulo que tenga el satélite respecto a la tierra en el momento. El computador de los receptores está en capacidad de corregir este error. (U.S. AIR FORCE, 2001, p. 345)



Sistemas de aumento: Se han estandarizado unos sistemas que permiten superar los errores del sistema y que según su naturaleza se clasifican en:

- **Aircraft Based Augmentation System – ABAS** o sistemas de aumento basado en la aeronave, cuyo propósito es aumentar la información del GNSS o integrarla con información de la aeronave. Por ejemplo, el *Receiver Autonomous Integrity Monitoring (RAIM)* que utiliza un quinto satélite para monitorear la integridad del sistema y detectar alguna falla o un error de posición que comprometa la seguridad. O el *Fault Detection and Exclusion (FDE)* que se vale de un sexto satélite para excluir la falla detectada y continuar con la navegación sin interrupciones. (OACI, 2005, p. 3-3)
- **Satellite Based Augmentation System – SBAS** o sistemas de aumento basado en satélites, que tienen la capacidad de asegurar la integridad y disponibilidad del sistema permitiendo hacer aproximaciones de precisión con guía vertical. Generalmente se sirven de satélites geoestacionarios orbitando en el ecuador que calculan los errores en los satélites y la incertidumbre de las correcciones para enviar una solución de navegación. La precisión del sistema dependerá del número de estaciones, por ejemplo, si requiere de correcciones diferenciales de precisión necesitará más estaciones de referencia que caractericen la ionósfera. Actualmente existen varios sistemas de cobertura regional entre los que destacan el *Wide Area Augmentation System – WAAS* de Estados Unidos, *European Geostationary Navigation Overlay Service – EGNOS* de la Unión Europea y el *MTSAT Satellite-based Augmentation System – MSAS* de Japón.
- **Ground Based Augmentation System – GBAS** o Sistema de aumento basado en tierra, cuya intención es facilitar aproximaciones de precisión CAT I y movimientos de superficie; pero se encuentra en desarrollo la capacidad de CAT II y III. El sistema tiene la capacidad de corregir la señal de SBAS mediante estaciones en tierra y transmitirla a aeronaves que se encuentren en un rango de 20 Nm en el área de aproximación. El *Local Area Augmentation System – LAAS* desarrollado por Estados Unidos es uno de los más conocidos y avanzados en desarrollo e implementación.

Figura 14. Simbología de las radioayudas en cartas de navegación IFR

Símbolo básico de radioayuda		ILS Vista de planta	
NDB		ILS Rumbo frontal	
VOR		ILS Rumbo Posterior	
DME		ILS Perfil	
VOR-DME		ILS Trayectoria de planeo	
TACAN		Radio baliza	
VOR-TACAN		Radio baliza	

Fuente: UAEAC, 2018, adaptado por Escobar, 2022.



Cartas aeronáuticas

Según el anexo 4 de la OACI sobre cartas aeronáuticas, es responsabilidad de los estados garantizar la disponibilidad de cartas aeronáuticas con la información adecuada y mantener la actualización mediante un adecuado proceso de revisión. (OACI, 2009, pp. 1-12)

De esta manera, las cartas aeronáuticas colombianas reglamentadas por la UAEAC y detalladas en el RAC 204 están compuestas por diferentes categorías y clasificaciones según su propósito utilitario, ya sean cartas de ruta terminal, salida, llegada o aproximación. En estas se contemplan altitudes que garantizan la seguridad y que se pueden definir de la siguiente manera:

- **Altitud de franqueamiento de obstáculos (OCA):** es la altitud más baja por encima de la elevación del umbral de la pista. Garantiza una separación segura del terreno en procedimientos de aproximación y despegue.
- **Altitud de llegada a terminal (TAA):** la altitud más baja que proporcione un margen mínimo de 1000 ft por encima de todo lo que se encuentre en un radio de 25NM teniendo como centro el IAF (*initial approach fix*).
- **Altitud mínima de área (AMA):** altitud mínima que se usa en condiciones de vuelo por instrumentos para tener una separación de 1000 ft o en terreno montañoso de 2000 ft por encima de los obstáculos de esa aérea específica.
- **Altitud/Altura mínima de descenso (MDA/H):** altura especificada en una aproximación de no precisión por debajo de la cual no puede realizarse el descenso sin referencia visual.
- **Altitud/Altura de decisión (DA/H):** altura especificada en una aproximación de precisión donde debe iniciarse un procedimiento de aproximación frustrada si no se ha establecido la referencia visual requerida para continuar con la aproximación.
- **Altitud mínima en ruta (MEA):** la altitud que cumple con la estructura del espacio aéreo y permite conservar la separación segura de obstáculos requeridos.
- **Altitud mínima de sector MSA:** la altitud más baja que puede usarse que permite conservar un margen vertical mínimo de 1000 ft sobre los obstáculos comprendidos en un área de 25 NM.

Las unidades de medida también son de total relevancia para la lectura y revisión de las cartas aeronáuticas, las distancias en superficies planas se expresan en kilómetros o millas náuticas, las altitudes, elevaciones, y alturas se expresarán en metros, o en pies, las dimensiones lineales en aeródromos y las distancias pequeñas se van a representar en metros; además cada carta aeronáutica posee una escala gráfica de conversión.

Publicaciones de procedimientos terminales

- **Carta de salida normalizada por instrumentos (SID):** En esta carta se proporcionará a la tripulación de vuelo información que le permita seguir la ruta designada de Salida Normalizada por Instrumentos (SID), desde la fase de despegue hasta la fase en ruta.

La cobertura de la carta será suficiente para indicar el punto en que se inicia la ruta de salida y el punto significativo especificado en que puede comenzarse la

Conocimientos aeronáuticos para el Piloto Militar.
Instructivo operacional de la Escuela Militar de Aviación
“Marco Fidel Suárez” - Volumen III

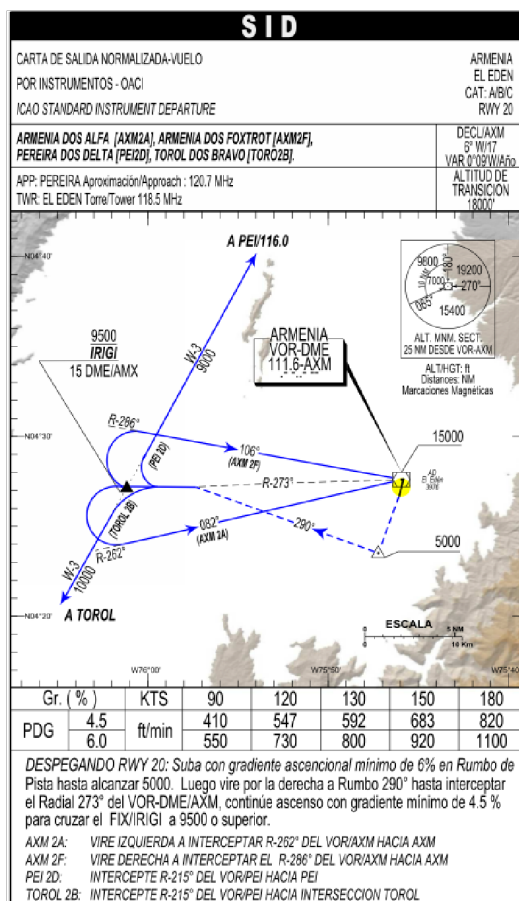
fase en ruta del vuelo a lo largo de una ruta designada de los servicios de tránsito aéreo. La ruta de salida parte generalmente del extremo de una pista. (UAEAC, 2020d, p. 64)

- **Carta llegada normalizada por instrumentos (STAR):** En esta carta se proporcionará a la tripulación de vuelo información que le permita seguir la ruta designada de Llegada Normalizada por Instrumentos (STAR), desde la fase de ruta hasta la fase de aproximación.

Las STAR comprenden “Perfiles de descenso normalizados” o “Aproximación de Descenso Continuo” (CDO). Y otras descripciones no normalizadas, en el caso de un perfil de descenso normalizado no se requiere el trazado de una sección transversal.

La cobertura de la carta es suficiente para indicar los puntos en que termina la fase en ruta y se inicia la fase de aproximación. La carta se dibuja a escala y se presentará una escala gráfica. (UAEAC, 2020d, p. 70)

Figura 15. Carta de salida estandarizada IFR



Fuente: AIP Colombia SID 2 SKAR.



Cartas de aproximación por instrumentos (IAC)

Mediante esta carta se proporcionará a las tripulaciones de vuelo información que les permita efectuar un procedimiento aprobado de aproximación por instrumentos a la pista de aterrizaje prevista, incluyendo el procedimiento de aproximación frustrada y, cuando proceda, los circuitos de espera correspondientes.

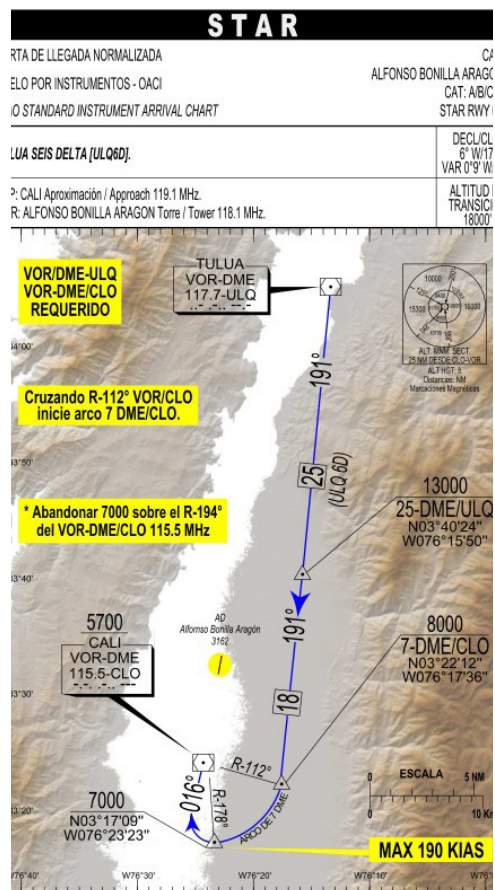
La cobertura de la carta será suficiente para incluir todos los tramos del procedimiento de aproximación por instrumentos y las áreas adicionales que sean necesarias para el tipo de aproximación de que se trate.

La carta se identificará por el nombre de la ciudad, población o área a que presta servicio el aeródromo, el nombre de éste, la abreviatura del tipo de radioayuda para la navegación en que se basa el procedimiento de aproximación por instrumentos o cuando corresponda las maniobras de aproximación visual (circular) y el designador de la pista. (UAEAC, 2020d), p. 77)

Igualmente, las aproximaciones se pueden dividir en directas y circulares o circulantes. Las primeras se refieren a procedimientos donde la dirección del procedimiento se encuentra alineado con el eje central de la pista, o; en caso de ser de no precisión, que no exceda 30°. Y las circulares hacen referencia a aquellas aproximaciones donde las condiciones del terreno u otros factores no permiten que la dirección se ajuste al criterio de las directas, (OACI, 2006, pp. 1-4-1-2) donde la aeronave deberá hacer una maniobra visual para alinearse con la pista y aterrizar.

Las cartas de aproximación por instrumentos en Colombia pueden ser de precisión ILS, de no precisión VOR y NDB; La diferencia es simple, en el procedimiento de aproximación ILS, las aeronaves requieren equipo especial para realizar este tipo de aproximación, debido a que hay que cumplir con una senda de planeo (GS) y una trayectoria (LOC) determinadas por la radioayuda. En la aproximación de no precisión requiere un VOR y mantener un radial con respecto a este con unas altitudes versus distancias.

Figura 16. Carta de llegada estandarizada IFR

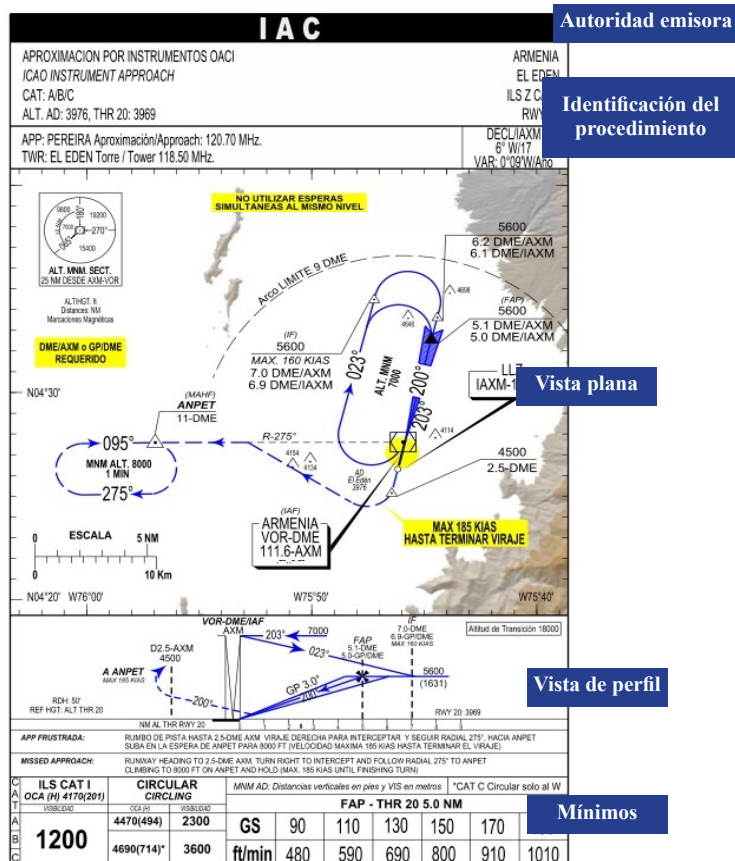


Fuente: AIP Colombia STAR 5 SKCL ULQ 6D.



Conocimientos aeronáuticos para el Piloto Militar.
Instructivo operacional de la Escuela Militar de Aviación
"Marco Fidel Suárez" - Volumen III

Figura 17. Partes de una carta de aproximación IFR



Fuente: AIP Colombia IAC 1 SKAR.

Estas cartas están compuestas por las siguientes partes:

- Autoridad emisora.
- Identificación del procedimiento.
- Información del procedimiento: ciudad, aeródromo, categoría de aproximación, frecuencias a utilizar, elevaciones, pista en uso, y declinación magnética.
- Vista plana.
- Vista de perfil.
- Mínimos.

Vista plana

Esta provee una vista gráfica del procedimiento desde la parte superior y muestra las rutas que guían al aviador desde los segmentos de ruta hasta el punto inicial de aproximación (IAF). Durante la aproximación inicial, la aeronave ha abandonado la fase



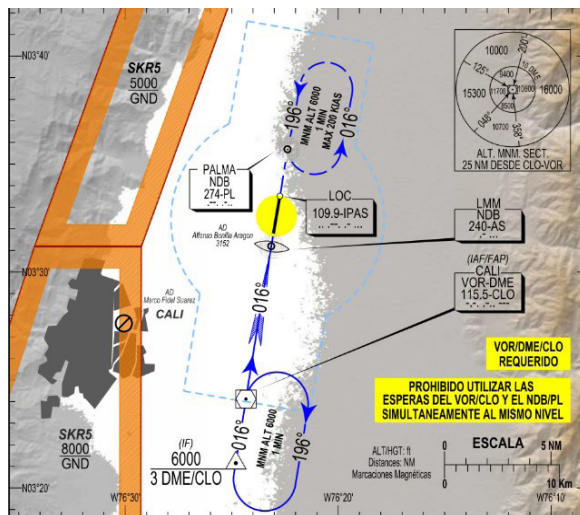
de vuelo en ruta y está maniobrando para entrar a un segmento intermedio o final de la aproximación por instrumentos.

La aproximación inicial puede hacerse dentro del área terminal a lo largo de rutas prescritas tales como un arco, un radial, o un curso; un rumbo o un vector de radar; o una combinación de estos. Los procedimientos de viraje y las penetraciones en forma de gota desde alta altitud son segmentos iniciales de aproximación. Las características de la vista plana incluyen el procedimiento de viraje, la elevación de los obstáculos, altitud mínima de seguridad (MSA), y el procedimiento de circuito de hipódromo.

El círculo de MSA aparece en la vista plana, excepto en aproximaciones para las cuales no hay radioayudas (VOR or NDB) apropiados disponibles. Está representada por un círculo con la radioayuda en el centro, es proveída solo para propósitos de emergencia y garantiza 1,000 pies de despeje de obstrucciones en el sector indicado en referencia a la marcación correspondiente en un radio de 25 Nm.

Las radioayudas en la vista plana son necesarios para terminación del procedimiento por instrumentos e incluye el nombre de la instalación, frecuencia, letra de identificación, y código Morse. Un bloque de radioayuda resaltado-en-negrilla muestra la radioayuda principal usado para la aproximación. Una "I" al frente del identificador de la radioayuda escrita dentro del bloque de la radioayuda indica localizador y un canal TACAN el cual significa la disponibilidad de DME. (U.S. ARMY, 2007)

Figura 18. Vista de plano de una IAC



Fuente: AIP Colombia IAC 1 ILS Z SKCL

Vista de perfil

Es una representación con una vista de lado del procedimiento mostrando la trayectoria vertical de aproximación, las altitudes, los cursos, las distancias, y los fijos. La vista incluye la altitud mínima y la distancia máxima para el viraje de procedimiento, las altitudes prescritas sobre los fijos, distancias entre los fijos, y el procedimiento de

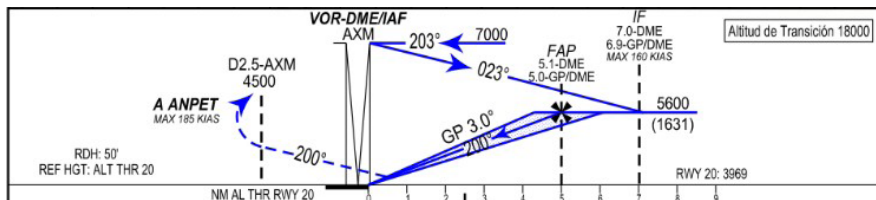


Conocimientos aeronáuticos para el Piloto Militar.
Instructivo operacional de la Escuela Militar de Aviación
“Marco Fidel Suárez” - Volumen III

aproximación frustrada. La vista de perfil ayuda al aviador con la interpretación del IAP; sin embargo, la vista de perfil no está representada a escala.

La altitud de intersección de la senda de planeo para la aproximación es la altitud mínima donde está es interceptada después de completar el viraje de procedimiento ilustrado por un número de altitud y una línea zigzagueante con un puntero en forma de flecha. Esto aplica a las aproximaciones de precisión y, excepto donde esté prescrito de otra manera, también es aplicada como la altitud mínima para cruzar el FAF cuando la senda de planeo está inoperativa o no está en uso. El perfil de la aproximación de precisión también muestra el ángulo de descenso en la senda de planeo, la altura de paso sobre el umbral (TCH), y la altitud de la senda de planeo en el marcador exterior (OM). (U.S. ARMY, 2007)

Figura 19. Vista de perfil de una IAC

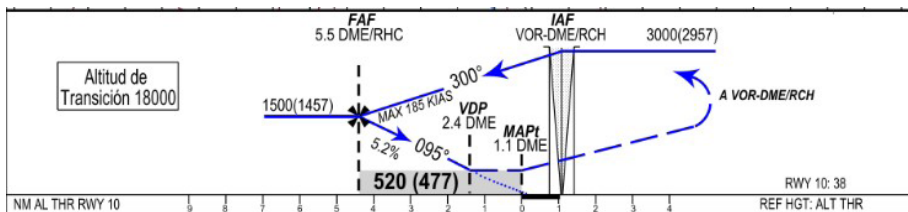


Fuente: AIP Colombia IAC 1 ILS Z SKAR

En aproximaciones de no precisión, el descenso final es iniciado en el FAF o después de completar el viraje de procedimiento y estar establecido hacia adentro en el curso del procedimiento. El FAF es claramente identificado en la vista de perfil por medio de una cruz de Malta como símbolo. Si el FAF no está mostrado en la vista de perfil, el MAP es basado en el sobre paso de la estación cuando la instalación se encuentra en el aeropuerto o a una distancia específica de procedimientos de VOR/DME o GPS.

El punto visual de descenso (VDP) es un punto definido en el curso final de aproximación de un procedimiento de aproximación no precisa de entrada directa. Un descenso normal desde la MDA hasta el punto de contacto de la pista puede ser comenzado, siempre y cuando se pueda establecer referencia visual. El VDP es identificado en la vista de perfil de la carta de aproximación. (U.S. ARMY, 2007).

Figura 20. Vista de perfil de una IAC



Fuente: AIP Colombia IAC 1 VOR SKRH.



El MAP varia, dependiendo de la aproximación que se haya volado. Para el ILS, el MAP es al llegar a la DA/DH. En un procedimiento de no precisión, el aviador determina el MAP tomando tiempo desde el FAF cuando la ayuda para la aproximación queda bastante retirada del aeropuerto, por medio de un fijo o radioayuda cuando la instalación de navegación está localizada en el campo, o por medio de coordenadas, según definidos por GPS o VOR/DME RNAV. El aviador puede ejecutar la MAP antes, pero debe, (a menos que haya sido autorizado de otro modo por ATC), volar del IAP al MAP tal como está especificado en la carta de aproximación a/o sobre la MDA o DA/DH antes de ejecutar una maniobra de viraje.

Una descripción completa de la aproximación frustrada aparece en la sección de información de orientación al piloto, y los íconos de la aproximación frustrada aparecen en la vista plana con una línea punteada; de manera que no se presenten ambigüedades de interpretación en su lectura. Cuando se está iniciando la aproximación frustrada, el aviador va a ser dirigido a que ascienda recto hacia al frente (ascienda a 2,500) o que comience un ascenso con viraje a una altitud específica (ascienda con viraje a la izquierda hasta 2,500). En algunos casos, el procedimiento dirigirá al aviador a que ascienda recto hasta una altitud inicial, luego que vire o que entre en un viraje ascendente hasta una altitud de espera. (U.S. ARMY, 2007)

Figura 21. *Procedimiento de aproximación frustrada*

APP FRUSTRADA:	ASCENDER EN RUMBO DE APROXIMACION PARA CRUZAR EL VOR-DME / AUC CON 1200' O SUPERIOR, LUEGO VIRE DERECHA PARA INCORPORARSE EN LA ESPERA Y 3000'
MISSED APPROACH:	CLIMB ON APPROACH HEADING FOR CROSSING VOR-DME / AUC WITH 1200' OR ABOVE THEN TURN RIGHT TO ENTER HOLDING PATTERN AT 3000'

Fuente: AIP Colombia.

Mínimos de aproximación

La sección de mínimos de aterrizaje establece los requerimientos de visibilidad y altitud más bajos para la aproximación, no importa que sea de precisión o no precisión, de entrada, directa o circulante, o vectorizada por radar. Cuando un fijo es incorporado en un segmento final de una aproximación no precisa, dos conjuntos de mínimos pueden ser publicados, dependiendo de si el fijo puede ser identificado. Dos conjuntos de mínimos pudieran también ser publicados cuando una segunda fuente para el ajuste de altímetro es utilizada en el procedimiento. Estos mínimos aseguran que el despeje de obstáculos de aproximación final sea proveído desde el comienzo del segmento final hasta la pista o MAP, cualquiera que ocurra último. Los mismos mínimos aplican para operaciones diurnas o nocturnas a menos que otros mínimos diferentes sean especificados. Los mínimos para circulación publicados proveen despeje de obstáculos cuando el aviador se mantiene dentro del área de protección apropiada.

Los términos utilizados para describir las altitudes mínimas de aproximación difieren entre los de aproximaciones de precisión y de no precisión. Las primeras utilizan altitud de decisión – DA, indicada en pies MSL y medida con un altímetro barométrico, seguida por la altura de decisión – DH, la cual es referenciada a la altura sobre el umbral – HAT. En las aproximaciones CAT I la DA reemplaza a la DH. La DH para aproximaciones CAT II y III son referenciadas sobre el nivel del terreno – AGL y medidas



Conocimientos aeronáuticos para el Piloto Militar.
Instructivo operacional de la Escuela Militar de Aviación
“Marco Fidel Suárez” - Volumen III

con un altímetro de radar. Estas requieren un equipo especial terrestre y aéreo instalado y operacional, como también autorización y entrenamiento especial de tripulación.

Las aproximaciones de no precisión utilizan altitud mínima de descenso – MDA referenciada en pies MSL y medida con un altímetro barométrico. Los mínimos también son referenciados a la HAT para aproximaciones directas o a la altura sobre el aeródromo – HAA para aproximaciones circulantes. La altura sobre el área de aterrizaje – HAL es un término específico para helicópteros, el cual quiere decir altura sobre un área designada de aterrizaje. (U.S. ARMY, 2007)

Figura 22. Cuadro de mínimos de una IAC

C A T	DIRECTO <i>Straight in landing</i>		CIRCULAR <i>CIRCLING</i>		MNM AD: Distancias verticales en pies y VIS en metros, Vertical distances in ft and VIS in meters.												
	OCA (ft)	VISIBILIDAD	OCA (ft)	VISIBILIDAD	FAF A MAPt 4.4 NM								ALTITUD VS DISTANCIA DME- RHC				
A	520 (477)	2400	540(497)	2400	GS	90	110	120	140	150	160						
B					min:seg	2:58	2:25	2:13	1:54	1:46	1:40	NM	5	4	3	2	
C					ft/min	478	584	637	743	796	849	ft	1350	1030	710	390	

Fuente: AIP Colombia IAC 1 VOR SKRH.

INSTRUMENTOS DE VUELO

El vuelo por instrumentos es considerado como una actividad fundamental en la aviación, debido a que estos nos permiten navegar en el espacio sin necesidad de tener referencias visuales en tierra, sino con la orientación de los mismos instrumentos de vuelo con radioayudas terrestres. Los instrumentos de vuelo son herramientas esenciales que nos permiten el control espacial de la aeronave, sin acudir necesariamente a referencias visuales.

Las mejoras en la precisión de los instrumentos de vuelo consideraron a los aviones como un vehículo seguro y preciso para la navegación aérea. Es fundamental aprender utilizar los diferentes instrumentos ubicados en cabina para poder navegar y volar de un lugar a otro de forma segura, siguiendo los parámetros establecidos por la OACI en cada espacio aéreo. Dentro de una cabina, un piloto se puede encontrar con los siguientes tipos de instrumentos:

Sistema Pitot-Estático

Este sistema funciona mediante la medición de diferencia de presiones entre la estática y la dinámica, que son recogidas por unas tomas estratégicamente ubicadas en el diseño de la aeronave para potencializar su efectividad y reducir los errores. El tubo Pitot se encarga de recibir la presión dinámica y unas tomas estáticas por su parte, cumplen con recibir la presión estática.

El sistema recoge estas presiones mediante líneas de transmisión en unos instrumentos convenientemente calibrados para ofrecer información confiable de rendimiento (*performance*) de la aeronave en cuanto a altitud mediante el altímetro, velocidad por



medio del velocímetro – ASI y velocidad vertical de ascenso o descenso mediante el indicador de velocidad vertical – VSI o también conocido como variómetro.

Para su correcto funcionamiento, estos instrumentos necesitan que se les proporcione presión estática, presión dinámica, o ambas. (Fuerza Aérea Chilena – FACH, 2014, p. 32)

Tubo Pitot: Su función es recibir el aire impacto o presión estática; del movimiento hacia delante de la aeronave, mediante un tubo abierto en uno de sus extremos y orientado en la línea de vuelo, su ubicación dependerá exclusivamente del diseño de la aeronave y varía con cada una.

El aire pasa por una placa deflectora que sirve para proteger el sistema previniendo la entrada de humedad o suciedad, sin embargo, cuenta con un orificio de drenaje en la parte posterior que permite la evacuación de estos en caso de que llegue a sobrepasar la protección.

Mediante una línea ubicada en la parte superior del tubo esta presión de aire se traslada a los instrumentos para su uso, específicamente al velocímetro. (FAA, 2018, pp. 10-13)

Figura 23. Tubo Pitot



Fuente: materias.df.uba.ar, 2016.

Utilizando energía eléctrica se pueden activar unas resistencias internas desde la cabina que calientan el tubo Pitot para prevenir la formación de hielo y por lo tanto el bloqueo del sistema.

Tomas o puertos estáticas: Su función es tomar la presión estática para ser usada por los instrumentos del sistema, el velocímetro, altímetro e indicador de velocidad vertical. Al igual que el tubo Pitot, su ubicación dependerá del diseño de la aeronave donde, por medio de pruebas, se determina el punto donde el aire se encuentre imperturbable, de esta manera se evitan errores en la medición.

Figura 24. Tomas estáticas



Fuente: www.b737.org.uk s.f.

Es frecuente que se encuentren dentro de la misma estructura del tubo Pitot como unos orificios en la parte superior e inferior; así como también, unos puertos ubicados en la parte lateral de la aeronave y mediante líneas independientes la presión se transfiere a los instrumentos.



En algunas aeronaves con los puertos estáticos separados del tubo Pitot también se cuenta con un sistema de calefacción eléctrico para prevenir la formación de hielo y que se activan desde el mismo interruptor de calentador del Pitot.

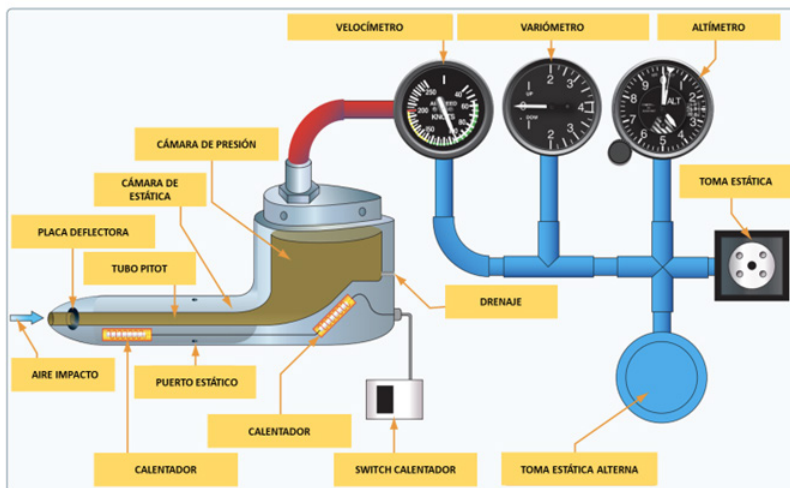
Toma estática alterna: En algunas aeronaves; dependiendo de su diseño, se puede encontrar una toma estática alterna que sirve para introducir presión al sistema en caso de un bloqueo de las tomas estáticas. Esta puede ser activada desde la cabina de manera mecánica según cada aeronave.

En aeronaves no presurizadas, por lo general se encuentra en el interior, lo que originará una diferencia de presiones respecto a las ubicadas en el exterior, donde la presión interior será inferior debido al efecto venturi del aire fluyendo por la estructura de la aeronave.

Esto; desde luego, tiene un efecto en la información de los instrumentos, donde el velocímetro y el altímetro indicarán un valor superior al real y el indicador de velocidad vertical, indicará un ascenso momentáneo y se estabilizará si la altitud se mantiene constante.

En el caso de aeronaves con sistema de presurización, el tener una toma estática dentro de la aeronave ocasionaría errores en la información de la aeronave de grandes proporciones debido a la diferencia de presiones dentro y fuera de la aeronave ocasionada por el sistema, en ese caso se cuenta con múltiples puertos estáticos por toda la estructura.

Figura 25. Sistema Pitot Estático



Fuente: FAA,2018, Adaptado por Escobar, 2022.

Altímetro

Determinar la altitud es fundamental para la seguridad del vuelo, el altímetro es una fuente inmediata de información para este propósito. Este es un barómetro aneroide usado para indicar la altura que se tiene sobre una referencia predeterminada, puede

Capítulo 1.

Manual básico de instrumentos

ser el nivel del mar o el terreno, por ejemplo. La unidad estandarizada por la OACI para esta medida es el metro (m), pero se cuenta como unidad opcional el pie (ft) equivalente a 0,3048 m. (OACI, 2010, p. 3-3)

Se puede medir la presión del aire que disminuye con la altitud y de esta manera determinar la altitud de la aeronave o un cambio en esta. El altímetro de presión está conectado a la línea de presión estática de la aeronave y tiene en su interior un diafragma sellado calibrado con las condiciones de atmósfera estándar – ISA. Cuando el altímetro se desplaza por la atmósfera; ascenso, la presión del aire que entra al instrumento y rodea al diafragma disminuye, lo que ocasionará que el diafragma se expanda y; desde luego, el efecto contrario con un descenso. Por medio de unos engranajes conectados al diafragma, se transmite el movimiento a los indicadores en la caratula que está a la vista del piloto y que dan la indicación; por lo general y dependiendo del fabricante, mediante tres indicadores (agujas) en altímetros análogos.

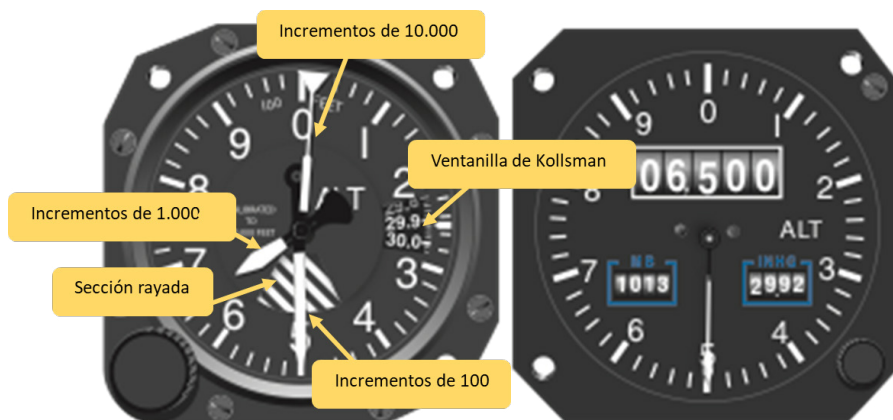
Su lectura es similar a la del reloj, el primer y más grande indicador tiene incrementos de 20 ft en la escala de las centenas; de manera que una vuelta entera significará 1000 ft. El segundo indicador y de menor tamaño, cumple igual función en la escala de unidades de mil. Y finalmente, un indicador más delgado que los anteriores se desplaza en incrementos de 10.000 ft; es decir, cuando se encuentre, por ejemplo, en el 2, indicará 20.000 ft.

Como la escala en referencia está calibrada bajo condiciones de atmósfera standard, pero, las condiciones de vuelo reales rara vez se encuentran así, el altímetro dispone de un mecanismo de corrección que permite ajustarla según las variaciones de la presión barométrica. El ajuste se efectúa al girar una perilla cuya función es dilatar o contraer el diafragma, de manera que, al variar el volumen, la presión variará a la inversa según la ley de Boyle. En la ventanilla de Kollsman, llamada así en honor a su inventor, se puede ver el valor de la presión de referencia en pulgadas de mercurio (InHg) o milibares, según el fabricante. Es muy importante que el piloto haga siempre el ajuste correspondiente en la presión para mantener la precisión del altímetro y no afectar la seguridad.

Por lo general, los altímetros cuentan con una sección con barras blancas y negras que pretende alertar al piloto cuando se encuentra por debajo de los 10.000 ft. Esta tiene una cubierta que se empieza a desplegar progresivamente cuando se asciende por encima de esta altitud, de manera que a 15.000 ft ya se encuentra totalmente desplegada y tapa la sección rayada. Desde luego el proceso es igual de manera inversa con el descenso.

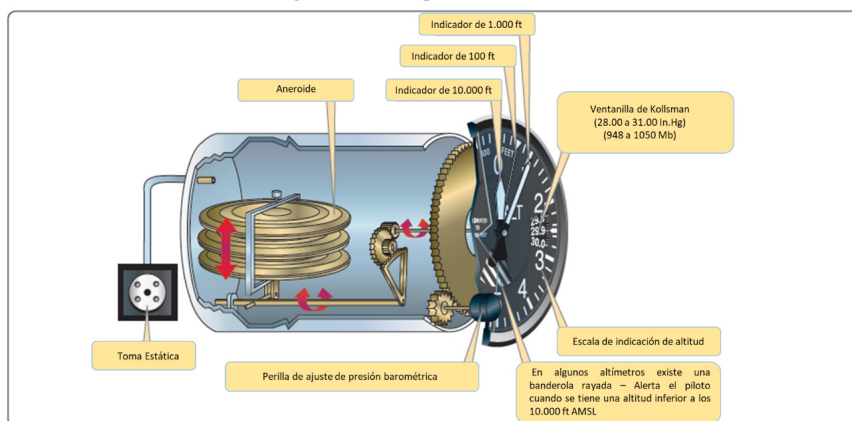


Figura 26. Altimetro



Nota. La imagen muestra dos versiones de altímetro análogo, en una operación con 6.500 ft. y con la misma presión de referencia 29,29 InHg. Nótese que en el altímetro de la derecha se tiene el valor también en milibares (Mb). Fuente: FAA, 2012, Adaptado por Escobar 2022.

Figura 27. Componentes del altímetro



Fuente: FAA, 2012, Adaptado por, Escobar, 2022.

Tipos de altitudes. Con el uso del altímetro; específicamente derivado de los ajustes altimétricos, se derivan varios términos que es importante tener presentes y total claridad, ya que tienen implicación directa en la seguridad del vuelo. Es importante tener en cuenta que una variación de una pulgada de mercurio (InHg) en la escala de la ventanilla de Kollsman equivale a 1.000 ft en la escala de altitud; de manera que si se encuentra a nivel del mar y tiene ajustado 29,92 InHg. en su altímetro, al momento de girar la perilla y ajustar 30,92 InHg. la indicación de altitud cambiará y será de 1.000 ft.

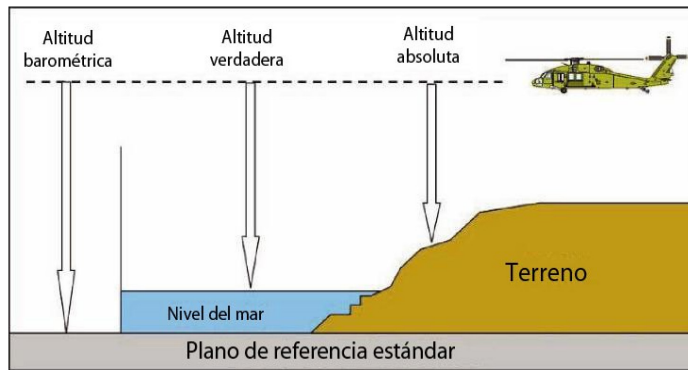


Altitud: Distancia vertical entre un nivel, punto u objeto y el nivel medio del mar (MSL). (UAEAC, 2020(e), p. 19)

Altitud absoluta: Distancia vertical de la aeronave desde la superficie que esté volando. (Dirección General de Aeronáutica Civil – D.G.A.C, 2005, A-16)

Altitud de presión: Expresión de la presión atmosférica mediante la altitud que corresponde a esa presión en la atmósfera tipo; es decir la altitud sobre el plano estándar cuando en el altímetro se tiene ajustado 29,92 InHg. o 1013 Mb. (El plano estándar está determinado en función de I.S.A.- (*Internacional Standard Atmosphere*). Es un nivel teórico donde el peso de la atmosfera es 29,92 InHg. como la atmósfera se encuentra en constante variación, este puede ubicarse sobre, bajo o en el nivel del mar, dependiendo de las condiciones) Esta es muy importante porque es la base para determinar el rendimiento de la aeronave, así como para disponer de los niveles de vuelo de aeronaves que vuelan a gran altitud, en Colombia, a partir de los 18.000 ft.) (Global Aviation, 2013, p. 29).

Figura 28. *Altitud barométrica - Altitud Verdadera - Altitud Absoluta*



Fuente: U.S. ARMY, 2007.

Altitud de densidad: Como es sabido, la temperatura afecta la densidad del aire y esto genera un impacto directo en el rendimiento de las aeronaves. Por ejemplo, en un día muy frío, el aire se encuentra más denso que si tuviera la temperatura estándar (15°C), por lo tanto, el rendimiento de una aeronave será el que tendría a una altitud inferior. Así pues, la altitud por densidad es la altitud de presión corregida por temperatura. Corresponde a la altitud en atmósfera standard a la cual existe el valor de densidad observado. (Si las condiciones son estándar las altitudes de presión y densidad deben coincidir). El computador de vuelo E6-B resulta muy práctico para el cálculo de la altitud por densidad, así mismo es posible calcular su valor a partir de una fórmula matemática básica, refiérase al apartado de navegación básica para su consulta.

Ejemplo de la densidad excediendo la elevación actual

Para Cali, con una elevación de 3,200 pies, a una temperatura de 40° Celsius (C) y una lectura del barómetro (corregido a MSL) de 29.62. La altitud por densidad será de 7,300 ft.



- **Altitud Barométrica:** Altitud geopotencial en la atmósfera de la tierra por encima del plano de referencia de presión a nivel medio normalizado del mar, medida por un altímetro de presión (barométrico) (D.G.A.C, 2005, p. A-17)
- **Altitud indicada:** Altitud sobre el nivel medio del mar indicada en un altímetro de presión ajustado con un altímetro local. (D.G.A.C, 2005, p. A-17)
- **Altitud calibrada:** Es la altitud indicada corregida de cualquier error estático de presión, error de instalación y error de instrumento. (D.G.A.C, 2005, p. A-16)
- **Altitud verdadera:** Es la separación vertical de la aeronave con respecto al nivel del mar
- **Nivel de vuelo:** Corresponde a la separación vertical de la aeronave con respecto a una superficie de presión de 29,92" de Hg., denominada plano de referencia standard.

Ejemplos de conversaciones a niveles de vuelo

18,000 pies igual a FL180; 25,000 pies igual a FL250

Ajustes de altímetro: Estos son presiones de referencia, que; como su nombre lo indica, sirven de referencia a cierto nivel de presión dado sin tener en cuenta las variaciones reales de la temperatura y considerando una atmósfera estándar. El piloto necesita las presiones de referencia para calcular distancias verticales. (Cáceres, 2017, p. 87)
Las tres más utilizadas en aviación son:

QNH: Es el valor de la presión atmosférica a nivel medio del mar (MSL) o Nivel Cero, en una atmósfera de gradiente térmico standard. Se obtiene midiendo la presión que existe en la superficie de la tierra y convirtiendo esta presión a la presión que teóricamente debería tener este punto a nivel del mar, es decir, se simula que lugar se encuentra en la misma posición geográfica, pero a nivel medio del mar. "A la distancia vertical medida entre las tomas estáticas y el QNH se le denomina altitud". (Cáceres, 2017, p. 87)

QFE: Es la presión actual del aeródromo. Este ajuste normalmente se usa en vuelos acrobáticos o se aplica para revisar la calibración del altímetro, "La distancia vertical entre la aeronave y el QFE se denomina altura". (Cáceres, 2017, p. 87)

QNE: Una tercera forma de calibración del altímetro resulta de ajustarlo a la Presión Standard de 29,92 InHg o 1013 Mb. Su curva de calibración es ahora la que corresponde a la Isobara Standard y en consecuencia va a medir la altitud sobre este plano de referencia. Generalmente se utiliza en lugares donde no hay control ATS, por ejemplo, en vuelo interoceánicos o sobre una altitud particular; en el caso de Colombia, 18.000 ft. Cuando una aeronave se encuentra volando ajustada a la presión de referencia QFE, se encuentra en un nivel de vuelo (FL). (Cáceres, 2017, p. 87)

Mantener el reglaje del altímetro es crítico para la seguridad del vuelo ya que la presión atmosférica se mantiene en constante cambio y se pueden presentar diferencias significativas entre sitios cuya ubicación geográfica es en realidad cercana, especialmente en nuestro país donde la topografía cambia abruptamente y es común encontrar



aeródromos como Bogotá cuya elevación es 8360 y con un QNH 30,34 InHg. y a escasas 44 Nm. Villavicencio cuya elevación es 1381 ft. y un QNH 29,94 InHg. *

Esta diferencia significará que, si el piloto no actualiza el reglaje altimétrico, cuando al altímetro le indique, por ejemplo, 5000 ft. realmente se encuentre volando a 4600 ft. con el riesgo que esto conlleva. Preste especial atención cuando pase de áreas con QNH alto a bajo o de temperaturas altas a bajas.

** Valores obtenidos del reporte meteorológico UAEAC de 1 de febrero de 2022 a las 14:00 UTC.*

Errores del altímetro

Error de escala: Se produce debido a que los aneroides no adoptan el tamaño preciso, para el cual fueron diseñados, para cada cambio de presión. De manera que el altímetro no representa de correctamente la relación entre presión y altitud.

Error de fricción: Se produce por fricción en los elementos mecánicos del altímetro al exponerse a ciertas condiciones, por ejemplo, vibración. Este error se manifiesta con un pequeño retardo en la indicación.

Error mecánico: Se produce por descalibración en general de los componentes del altímetro. Este se identifica cuando en la superficie, la diferencia de presión entre las tomas estáticas y el QNH reportado por la torre no corresponde a la elevación del aeródromo. Si esta diferencia es superior a 75 ft. el altímetro no ofrece la confiabilidad necesaria para no comprometer la seguridad y no se debe iniciar un vuelo hasta no ser corregido.

Error de histéresis: Se manifiesta como un pequeño retardo, debido a las propiedades elásticas de los componentes del altímetro. Es más notorio en los aneroides y ocurre normalmente, después de cambios bruscos de altitud.

Error Inherente: Como el altímetro se encuentra calibrado de fábrica con las condiciones de atmósfera estándar, pero las condiciones reales de la atmósfera son variables en virtud de la temperatura, las lecturas de la altitud en el instrumento, siempre y cuando las condiciones sean diferentes a la ISA, tendrán un error inducido. Por ejemplo, una aeronave volando con 5000 ft indicados y con una temperatura superior a la estándar, se encontrará con una altitud real superior a lo indicado, puesto que los niveles de presión se expanden con la temperatura.

Se sobreentiende que en caso contrario se presenta el mismo fenómeno, con el agravante de que una altitud real inferior a la indicada puede llevar a la aeronave a una condición donde no se garantice el franqueamiento de obstáculos, especialmente cuando se esté realizando aproximaciones con baja visibilidad.

Durante estas operaciones con temperaturas extremadamente bajas se puede ver comprometida la seguridad del vuelo, es por esto que, la OACI ha dispuesto una tabla para aplicar las correcciones pertinentes a las altitudes publicadas en las cartas y evitar este riesgo, teniendo en cuenta que si estas se aplican se debe informar oportunamente al control de tránsito aéreo.



Conocimientos aeronáuticos para el Piloto Militar.
Instructivo operacional de la Escuela Militar de Aviación
“Marco Fidel Suárez” - Volumen III

Por ejemplo, si la temperatura reportada en el aeródromo es -10°C y el *Final Approach Fix – FAF* tiene una altura de 600 ft. sobre la elevación de este, se puede ver en la tabla que el altímetro puede colocar la aeronave 60 ft. por debajo de la altitud, lo que significaría un riesgo.

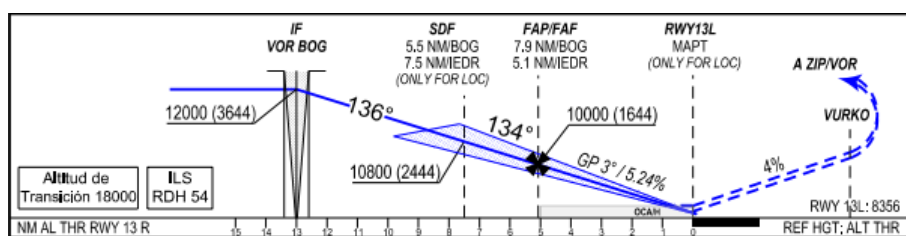
Tabla 2. *Tabla de corrección de altitud por temperatura*

	ALTURA SOBRE EL AERÓDROMO EN PIES (ft)													
	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1500	2000	3000	4000	5000
TEMPERATURA $^{\circ}\text{C}$	10	10	10	10	20	20	20	20	20	30	40	60	80	90
	0	20	20	30	30	40	40	50	50	60	90	120	170	280
	-10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	150	200	290	490
	-20	30	50	60	70	90	100	120	130	140	210	280	420	570
	-30	40	60	80	100	120	140	150	170	190	280	380	570	760
	-40	50	80	100	120	150	170	190	220	240	360	480	720	970
	-50	60	90	120	150	180	210	240	270	300	450	590	890	1190

Nota. La temperatura reportada corresponde a la del aeródromo, no la observada en la aeronave con la altitud actual. Fuente: FAA, s.f. Adaptado por Escobar, 2022.

Ahora bien, en Colombia uno de los pocos ejemplos donde se podría usar esta tabla; debido a las temperaturas que se presentan en nuestro país, sería una aproximación en Bogotá en la madrugada con 0°C .

Figura 29. *Vista de perfil aproximación ILS en Bogotá*



Fuente: AIP, Colombia.

De la carta ILSZ o LOC RWY 13L se puede extraer que la altura en el FAF es 1644 ft. al buscar en la tabla se puede notar que esta se ubica entre las casillas 1500 y 2000. Por lo tanto, la corrección se ubica entre 90 y 120 ft. Lo que se debe hacer es dividir la diferencia de las correcciones por la diferencia en las alturas correspondientes, de la siguiente manera:



$\text{DIFERENCIA DE CORRECCIONES} = 120 - 90 = 30$

$\text{DIFERENCIA DE ALTURAS} = 2000 - 1500 = 500$

$\text{CORRECCIÓN POR PIES ADICIONAL} = 30 / 500 = 0,060$

06 es el valor correspondiente a la corrección por cada pie adicional a los 90 iniciales. Así pues, la corrección que se debe aplicar sería:

$\text{CORRECCIÓN CORRESPONDIENTE A 1500 ft} - 0^{\circ}\text{C} = 90 \text{ ft.}$

$\text{DIFERENCIA DE ALTURA ENTRE FAF Y REFERENCIA} = 1644 - 1500 = 144 \text{ ft.}$

$\text{CORRECCIÓN POR ALTURA ADICIONAL} = 144 \times 0,06 = 8,6 \text{ ft. (9 ft.)}$

$\text{CORRECCIÓN TOTAL} = 90 + 9 = 99 \text{ ft.}$

De esta manera, una aeronave que se encuentre realizando la aproximación mencionada y con esas condiciones, deberá tener la precaución de volar 99 ft. más alto en el FAF y reportarlo al control de tránsito aéreo.

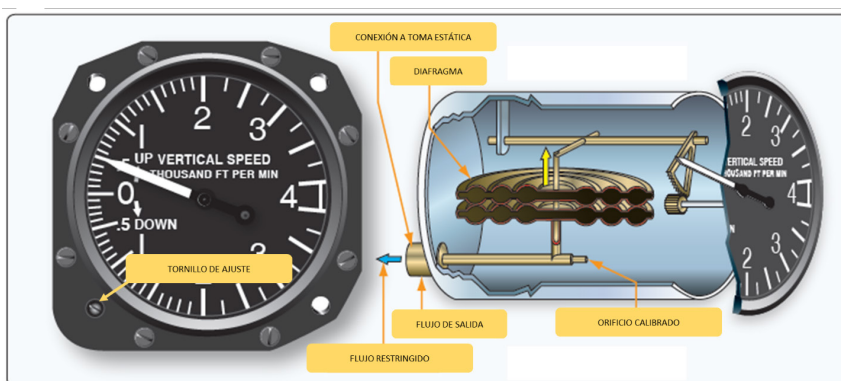
Nota: En caso de que la temperatura no se ajuste a los valores de la tabla, por ejemplo, -15°C . Se deberá aproximar a la siguiente casilla, en este caso, -20°C y así sucesivamente, para ajustarse a la condición más crítica, esto le va a garantizar el franqueamiento de obstáculos.

Indicador de velocidad vertical – variómetro

El indicador de velocidad vertical o variómetro, da una medida del régimen de ascenso o descenso e indicación de vuelo nivelado. El uso más importante del variómetro consiste en establecer y mantener descenso durante las aproximaciones. Por eso es importante comprender su operación y sus limitaciones. (FACH, 2014, p. 53)

Este instrumento puede ser usado como fuente estática alterna en caso de obstrucción de las tomas estáticas, para permitir el flujo de aire en el sistema se puede romper el vidrio que protege la carátula, permitiendo así, la operación con los errores abarcados con anterioridad.

Figura 30. Componentes del indicador de velocidad vertical



Fuente: FAA, 2018. Adaptado por Escobar, 2022.



Los componentes del variómetro son: una caja hermética, un diafragma elástico de gran sensibilidad, una unidad de retardo u orificio calibrado, engranajes y una carátula de presentación.

El instrumento está conectado a las tomas estáticas y funciona al comparar las presiones dentro del diafragma y del cuerpo del instrumento. Al iniciar un ascenso el flujo de aire que fluye hacia el diafragma baja la presión y el flujo de aire que rodea el diafragma en la caja del instrumento también lo hace, pero a una velocidad menor debido a que debe fluir por el orificio calibrado causando un retardo. Esto crea una diferencia de presiones que hará contraer el diafragma, generando un movimiento que es transmitido a la caratula mediante engranajes. Si el ascenso se mantiene constante, la diferencia de presiones también lo hará e indicará un régimen de ascenso usualmente en centenas de pies por minuto. Es de suponer que en el caso de un descenso el proceso será idéntico, pero en sentido contrario.

En caso de presentar alguna variación en tierra, por ejemplo, que se tenga una indicación de descenso de 100 ft/min. durante el prevuelo. Se tiene acceso a un tornillo en el frente del instrumento que permite al piloto realizar el ajuste exactamente a cero de manera sencilla.

Errores del variómetro: Al igual que el altímetro, este presenta un retraso de unos segundos en la indicación respecto del cambio de presiones real, sin embargo, es menor al presentado por el altímetro puesto que es más sensible, lo que lo hace muy útil para tener alertar al piloto sobre un desvío de la altitud establecida. Este retraso es proporcional a la magnitud y velocidad del cambio de cabeceo aplicado por el piloto, por lo que es recomendable que los movimientos de los controles sean suaves y controlados.

En condiciones de turbulencia se ve afectado por fluctuaciones cerca del punto cero, si se encuentra en vuelo a nivel. En estos casos se puede tomar un promedio de la fluctuación como referencia para el punto cero.

En ocasiones este instrumento puede estar fuera de calibración y presentar un ascenso o descenso constante mientras se está en vuelo a nivel o en tierra, si no es posible ajustarlo usando el tornillo para esto, es posible que se use ese valor como la referencia para el cero.

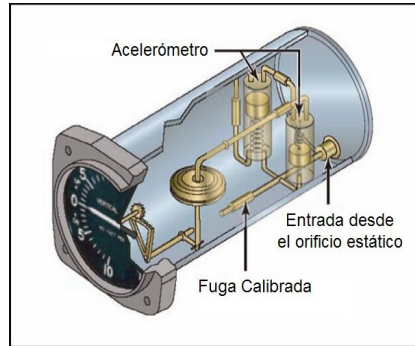
Indicador de velocidad vertical instantáneo

El indicador de velocidad vertical instantáneo, o también conocido como IVSI, Es un variómetro que elimina el retardo de hasta 9 segundos del variómetro convencional. Para tal efecto usa unos émbolos que dan presión adicional para eliminar este retardo. Los émbolos siempre están alineados con el eje de la tierra. (FACH, 2014, p. 54).

Estos indicadores presentan un error al no tener los aceleradores estabilizados verticalmente, resultando en pérdida de altitud cuando se mantiene en cero al iniciar un viraje y ganancia de altitud cuando esté recobrando, especialmente en virajes con 40° de banqueo o superior.



Figura 31. Componentes del indicador de velocidad vertical instantáneo



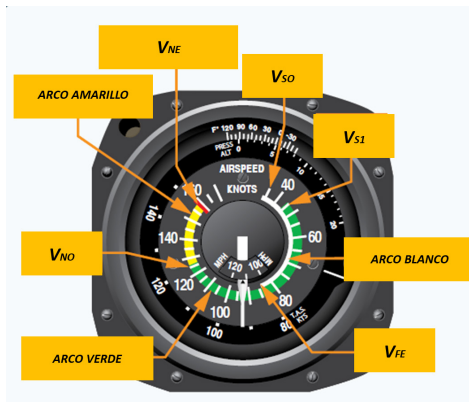
Fuente: U.S. ARMY, 2007.

Indicador de velocidad - Velocímetro

El indicador de velocidad es un medidor de presión diferencial que mide la presión dinámica del aire en que la aeronave está volando. Presión dinámica es la diferencia entre la presión ambiental estática del aire y la presión total, o aire de impacto, causado por el movimiento de la aeronave a través del aire. Estas dos presiones son tomadas del sistema pitot-estático.

Es de resaltar que este instrumento cuenta con un código de colores con el que se debe familiarizar el piloto, donde el arco blanco corresponde al rango de operación de los flaps. El arco verde es el rango de operación normal de la aeronave. El arco amarillo es el rango donde se debe ejercer precaución de volar solo en áreas no turbulentas. Y la línea roja que representa la velocidad de nunca exceder – VNE porque puede generar daños estructurales en la aeronave. Estas no son las únicas marcas con que se cuenta en los velocímetros, por lo que es necesario su conocimiento para cada operación específica.

Figura 32. Código de colores y velocidades de referencia del velocímetro

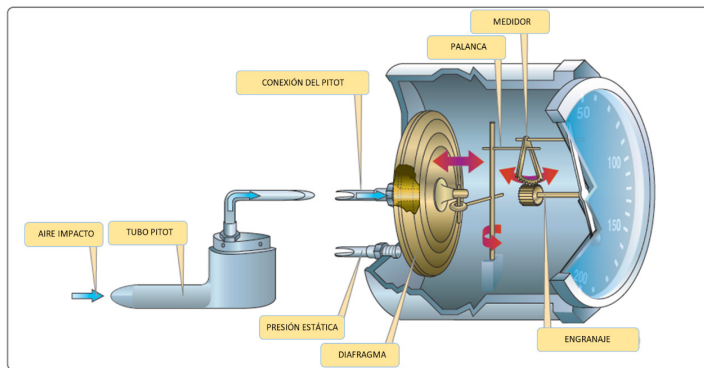


Nota. V_{so} (Velocidad mínima de vuelo estable en condiciones para el aterrizaje) – V_{s1} (En muchas aeronaves es la velocidad de pérdida sin potencia con el máximo peso de despegue en configuración de tren y flaps arriba) – V_{FE} (Máxima velocidad con flaps extendidos) – V_{NO} (Máxima velocidad estructural en crucero). Fuente: FAA, 2016. Adaptado por Escobar, 2022.



El mecanismo del indicador de velocidad consiste en un diafragma, que es un aneroide fino, corrugado de bronce-fosforado, que recibe su presión desde el tubo Pitot. Por su parte, la caja del instrumento, que contiene el diafragma, es sellada y recibe alimentación de las tomas estáticas. A medida que la presión dinámica aumenta o la presión estática disminuye, el diafragma se expande o contrae según sea el caso. El movimiento es medido por un eje oscilante y engranajes que lo transmiten un indicador en la carátula del instrumento. La mayoría de los indicadores de velocidad son calibrados en nudos, o millas náuticas por hora; algunos instrumentos muestran millas terrestres por hora, y algunos instrumentos muestran ambos.

Figura 33. Componentes del indicador de velocidad - ASI



Fuente: FAA, 2012, Adaptado por Escobar, 2022.

Al igual que sucede con el altímetro, existen muchos factores que pueden ocasionar lecturas incorrectas en el velocímetro, que en ocasiones son compensados por el mismo instrumento o, en el caso de instrumentos electrónicos, por una computadora de vuelo – ADC. Hay diferentes tipos de velocidad aérea.

Velocidad indicada (IAS): Es la relación entre la presión dinámica y estática presentada directamente en el instrumento, sin correcciones de ninguna clase.

Velocidad calibrada (CAS): Esta tiene en cuenta la IAS como base corrigiendo los errores que se puedan presentar por la posición donde se ubica el tubo Pitot, al igual que errores por el diseño no lineal del sistema. Estas correcciones suelen ser muy pequeñas o despreciables y se pueden encontrar en los manuales del operador – POH de cada aeronave para diferentes condiciones de vuelo. En el caso de los instrumentos electrónicos, la computadora se encarga de hacer la corrección respectiva.

Velocidad equivalente (EAS): Esta es causada por la compresibilidad del aire dentro del tubo Pitot, la que se hace mayor al mantener altas velocidades y acercarse a la velocidad del sonido. A medida que se aumenta la velocidad y la altitud por presión, la CAS se incrementa, por lo que debe ser sustraído este error para

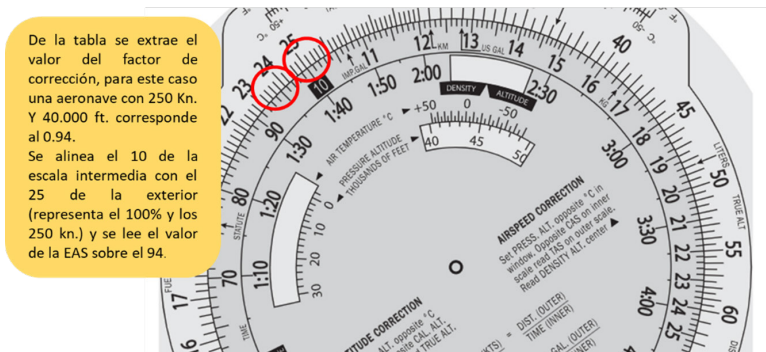


Capítulo 1. Manual básico de instrumentos

no afectar la precisión de la lectura. Este error por lo general es despreciable para velocidades inferiores a los 200 nudos, sin embargo, en algunos manuales de aeronaves se encuentra una tabla que proporciona la corrección necesaria, o el computador de vuelo E6-B también es útil para este propósito.

Figura 34. Factor de conversión de la velocidad calibrada

PRESSURE ALTITUDE	F CORRECTION FACTORS FOR TAS CALIBRATED AIRSPEED IN KNOTS							
	200	250	300	350	400	450	500	550
10.000 ft	1.00	1.00	.99	.99	.98	.98	.97	.97
20.000 ft	.99	.98	.97	.97	.96	.95	.94	.93
30.000 ft	.97	.96	.95	.94	.92	.91	.90	.89
40.000 ft	.96	.94	.92	.90	.88	.87	.87	.86
50.000 ft	.93	.90	.87	.86	.84	.84	.84	.84



Fuente: Aero Products Research Inc. 1989. Adaptado por Escobar, 2022.

Velocidad verdadera (TAS): Las desviaciones de presión y temperatura de la referencia de atmósfera estándar a nivel del mar que no pueden ser compensados por el instrumento de manera automática, inducen un error que debe ser corregido, al aplicar dichas correcciones se encuentra la TAS.

Existen algunas aeronaves equipadas con indicadores de TAS que tienen un fuelle aneroide compensado por temperatura dentro de la caja del instrumento. El fuelle modifica el movimiento del eje oscilante de tal manera que el indicador muestra la TAS actual; de manera que el instrumento provee TAS e IAS.

Figura 35. Velocímetro - TAS



Fuente: FAA, 2012.



La carátula del instrumento es el de velocidad convencional con la adición de una subesfera que es visible a través de cortes en la esfera regular. Una perilla en el instrumento permite la rotación de la subesfera y el alineamiento de la indicación de temperatura del aire ambiente con la altitud por presión a que se está volando; este alineamiento causa que el puntero del instrumento indique la TAS en la subesfera. (FAA, 2012, p. 5-9)

Velocidad terrestre (GS): La velocidad terrestre – ground speed es la velocidad de la aeronave con relación a la superficie de la tierra. Esta es la TAS corregida por viento, de manera que disminuye cuando el viento está en contra y aumenta con el viento a favor.

Número MACH: Esta velocidad es la relación entre la velocidad aérea verdadera y la velocidad del sonido. Se establece entonces que un avión volando a la velocidad del sonido, está volando con Mach 1. Esto es de especial importancia puesto que, la aeronave puede sufrir daños estructurales en general si vuela a la velocidad del sonido y no está diseñada con ese propósito. De igual manera, al disminuir la velocidad del sonido con la temperatura y la altitud, el riesgo se incrementa. Por esta razón las aeronaves tienen un límite de velocidad conocido como el número Mach crítico que se expresa en porcentaje del Mach, por ejemplo, 0,8, para garantizar que nunca se exceda el límite estructural sin importar la TAS que se tenga. Muchas de las aeronaves de alto rendimiento están equipadas con indicadores de número Mach para poder monitorear esta condición.

Figura 36. Indicador de número Mach



Fuente: FAA, 2012.

Instrumentos de magnetismo

Existen una infinidad de instrumentos, de diversos orígenes y tecnologías, para facilitar al piloto la navegación, sin embargo, el instrumento de navegación por excelencia sigue siendo la brújula, de hecho, hasta la más moderna aeronave cuenta con una de estas como elemento esencial en el reglamento aeronáutico de Colombia – RAC 4 para ser aeronavegable tanto en vuelo VFR como IFR. (UAEAC, 2019, p. 15) Por ende, es de suma importancia para el piloto conocer sus fundamentos y limitantes.

Una de las fuerzas fundamentales de la naturaleza es la electromagnética, que se presenta entre partículas con carga. Benjamín Franklin pudo determinar que existen car-



gas, las cuales llamó, positivas y negativas a partir de experimentos simples. (Serway & Jewett, 2009, p. 2)

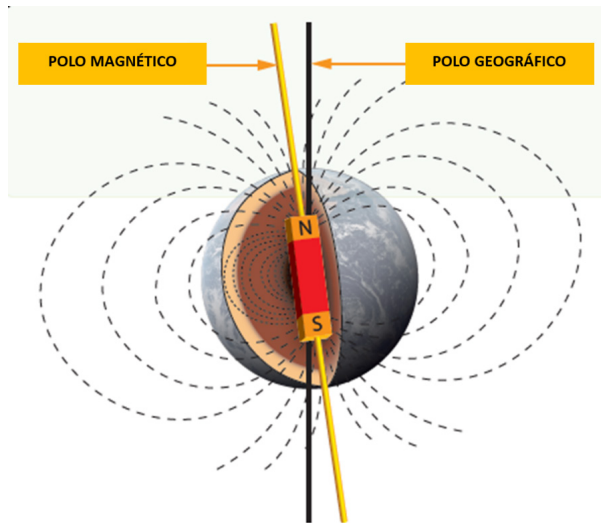
Esto condujo a la ley fundamental de la electrostática que establece que: “cargas eléctricas del mismo signo ejercen una fuerza de repulsión y cargas eléctricas de signo diferente ejercen una fuerza de atracción”. (Barco, Rojas & Restrepo, 2012, p. 15)

Así mismo, cualquier carga eléctrica se encuentra rodeada por un campo eléctrico; entre dos cuerpos electrizados se producen fuerzas de origen eléctrico, aun sin haber contacto entre ellos. James Clerk Maxwell lo define como: “La porción del espacio en la vecindad de los cuerpos electrizados, donde se manifiestan fenómenos eléctricos”

Además de contener un campo eléctrico, el espacio que rodea cualquier carga eléctrica en movimiento también contiene un campo magnético. Al igual que en el campo eléctrico, es posible representar el campo magnético gráficamente utilizando líneas de campo magnético. (Serway & Jewett, 2009, p. 169)

Pierre de Maricourt descubrió en 1269 los polos del imán, que no es otra cosa que las líneas de dirección que rodean la esfera del imán y pasan a través de esta a través de dos puntos diametralmente opuestos.

Figura 37. *Campo magnético de la tierra*



Fuente: FAA, 2018. Adaptado por Escobar, 2022.

Pues bien, la tierra es un magneto inmenso, por ende, se encuentra rodeado por un campo magnético hecho de líneas de flujo invisibles que se comportan de acuerdo con las leyes del magnetismo al abandonar la superficie por el Polo Norte magnético y reingresar por el Polo Sur magnético. Las líneas de flujo magnético tienen dos ca-

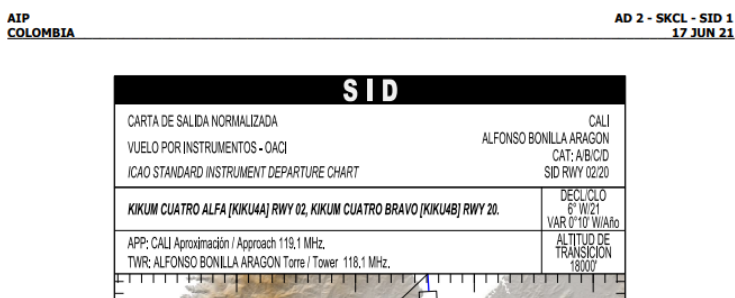


racterísticas importantes: cualquier magneto que pueda rotar libremente se alinea con ellas, y una corriente eléctrica es inducida a cualquier conductor que cruza a través de ellas. La mayoría de los indicadores de dirección instalados en aeronaves hacen uso de una de estas dos características. (FAA, 2012, p. 5-10)

Estas líneas de fuerza magnética que fluyen de los polos de la tierra no circulan de manera paralela a la superficie. Su comportamiento es vertical en los polos, es decir con un ángulo de 90° y son paralelas en el ecuador. La inclinación magnética corresponde al ángulo que forma un punto determinado en la tierra con las líneas de fuerza magnética, oscilando en la forma ya explicada. Por su parte, la diferencia entre el norte geográfico y la línea de fuerza magnética se conoce como variación o declinación, esto es de relevancia toda vez que afecta los instrumentos de dirección en la aeronave.

El campo magnético de la tierra se debe principalmente a las cargas eléctricas que emanan de su núcleo, este es un proceso complejo y que no es constante, por lo tanto, el campo magnético tampoco lo es, este está en un lento y constante cambio. Motivo por el cual, no es fija la ubicación de los polos magnéticos, registrando un desplazamiento promedio anual de 15 km, y obliga a una constante actualización de las cartas de navegación indicando la fecha de actualización y el valor de la variación magnética. (Adsuar, 2011, p. 69)

Figura 38. Variación magnética en una carta IFR



Fuente: AIP – Colombia, 2022

Brújula magnética o Compás Magnético

Es un instrumento que ha sido usado para navegación por cientos de años, puesto que, al orientarse con las líneas de fuerza del campo magnético de la tierra, proporciona una indicación permanente de dirección respecto al Norte magnético terrestre. Este instrumento es la referencia básica para este propósito.

No necesita energía para su funcionamiento, debido a que su funcionamiento está ligado al magnetismo de la tierra, es usado como instrumento alternativo para casos de falla de los sistemas de dirección eléctricos y para su verificación.

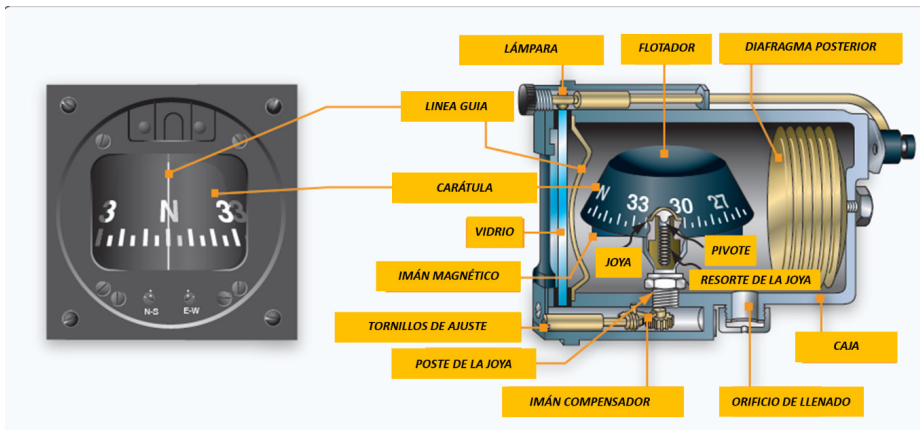


Está formado por una caja hermética, en cuyo interior hay una pieza formada por dos agujas de acero magnetizadas alrededor de las cuales se ha ensamblado una rosa de rumbos, a la vista del piloto y con incrementos de 5°. Este conjunto se apoya a través de una piedra preciosa, para minimizar rozamientos, sobre un eje vertical acabado en punta, de forma que su equilibrio sea lo más estable posible.

La caja suele estar llena de un líquido similar al queroseno, para reducir las oscilaciones, amortiguar los movimientos bruscos, aligerar el peso de la rosa de rumbos y lubricar el punto de apoyo.

La carátula gira sobre un pivote, lo que permite una variación de 360° en la dirección de la aeronave, mientras que el montaje magnético se mantiene alineado con el campo magnético de la tierra, también brinda libertad para inclinarse hasta un máximo de 18°.

Figura 39. *Componentes de la brújula magnética*



Fuente: FAA, 2018. Adaptado por Escobar, 2022.

En la parte posterior de la caja existe un diafragma para prevenir la expansión o contracción del líquido debido a los cambios de altitud, de manera que este se encarga de ajustar el volumen interno y así impedir la formación de burbujas o ruptura de la caja.

La rosa de rumbos está graduada de 5 grados en 5 grados, con marcas más grandes cada 10 grados, y cada 30 grados un número sin el cero final. Las orientaciones de los cuatro puntos cardinales se representan con sus iniciales (N North, S- South, E- East, W- West).

Errores inducidos en la brújula magnética

Como podrá suponer, este instrumento es bastante básico y presenta errores que se han ido corrigiendo con el avance de la tecnología y la aparición de nuevos sistemas, sin embargo, como ya se estableció, es esencial para la aeronavegabilidad. Es importante para el piloto entender y corregir estos errores para mantener la precisión de la navegación.



Variación Magnética: Las cartas aeronáuticas están diseñadas con respecto a meridianos geográficos, es decir, tienen como referencia el polo geográfico, pero, la indicación de la brújula es con referencia al polo magnético. Esta diferencia es conocida como la variación magnética, en ocasiones también como declinación magnética. La dirección medida en la carta, con referencia al polo geográfico se conoce como curso verdadero – *true course*.

Como el campo magnético de la tierra no es constante, se debe tener en cuenta la variación magnética a la hora de planear la dirección, especialmente en zonas cercanas a los polos donde esta puede ser de magnitudes considerables. En las cartas va a encontrar su valor en grados acompañado con una letra E o W que indica la posición donde se encuentra el polo geográfico respecto a un punto específico, por ejemplo, en la Figura 40 la variación magnética de Cali es 6°W, lo cual indica que Cali se encuentra al Este (E) de la línea que une los polos magnéticos, por lo tanto, debe aplicar una corrección al Oeste (W) para que la dirección que vuela la aeronave sea verdadera, Exactamente de 6°. De manera que se puede establecer que, si la variación magnética es W se debe sumar el valor indicado en la carta al *true course*, por el contrario, si esta es E se debe sustraer.

En el apartado de navegación básica encontrará ejemplos y ejercicios que le ayudarán a comprender la corrección de la variación magnética.

En la figura se muestra un mapa de líneas isogónicas de la *National Oceanic and Atmospheric Administration* – NOAA de Estados Unidos, estas son líneas que unen puntos con igual valor de variación magnética, representadas en color azul para el caso de valores (W) y rojo para valores (E). La línea de color verde es la que une los polos, por lo tanto, su valor de variación magnética es nulo, a esta se le denomina línea agónica.

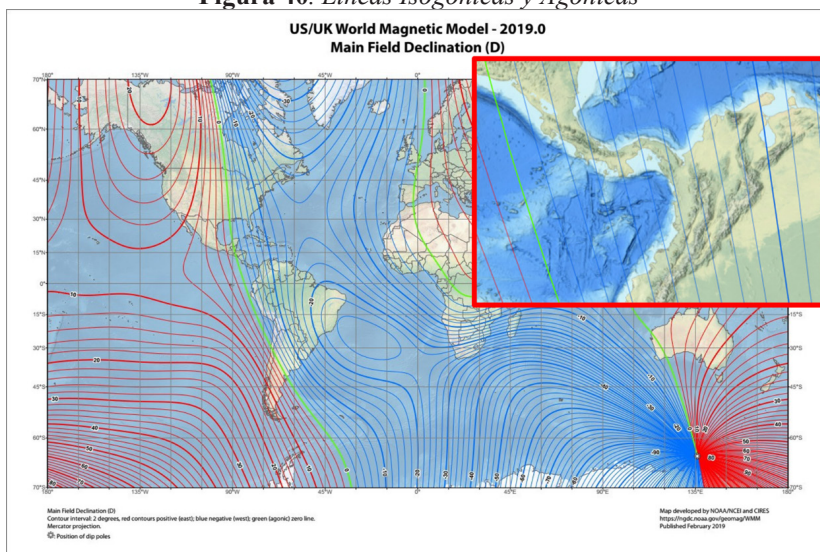
Igualmente, en las cartas de navegación podrá encontrar representadas las líneas isogónicas como líneas punteadas con el valor correspondiente en grados, tenga en cuenta que mantener las cartas actualizadas es fundamental para la seguridad del vuelo. Así mismo, puede referirse al apartado de navegación básica donde encontrará ejemplos.

Desviación magnética: Las brújulas se alinean con cualquier campo magnético, esto supone un problema ya que la aeronave contiene equipos electrónicos que generan campos eléctricos y, por lo tanto, magnéticos que generan un conflicto con el campo magnético de la tierra, a este error se le conoce como desviación magnética.

Un técnico de mantenimiento se encarga de minimizar este error mediante unos tornillos que permiten ajustar los imanes compensadores de la brújula, valiéndose de una rosa de los vientos pintada en la superficie de casi todos los aeródromos al comparar la indicación de la brújula con la dirección en que se encuentra la aeronave.



Figura 40. Líneas Isogónicas y Agónicas



Nota. Las líneas de color verde son agónicas, es decir tienen valor cero. Las líneas de color azul y rojo son isogónicas con valores W y E respectivamente. Nótese como las líneas azules se encuentran al Este de la agónica y viceversa. Fuente: NOAA, 2019. Adaptado por Escobar, 2022.

Tenga en cuenta que la calibración de la brújula se debe hacer anualmente y no se debe iniciar un vuelo si esta está vencida. En todas las aeronaves se encuentra una placa de corrección de la brújula donde se indica cualquier error que permanezca para que el piloto haga la corrección necesaria.

Error de inmersión: Como ya se estableció, las líneas de flujo magnético solo se encuentran paralelos a la superficie terrestre en el ecuador magnético, al aumentar la latitud N o S, el ángulo creado por la fuerza vertical se incrementa gradualmente hasta llegar a 90° en el polo. Esto ocasiona que la brújula no tenga la capacidad de alinearse con el campo magnético vertical en cercanía de los polos y sea útil.

Error de virajes al Norte: Estrechamente ligado al error anterior, cuando se hacen virajes hacia el Norte, la brújula tiene una tendencia a incrementar su rotación debido a que su centro de gravedad se encuentra por debajo del pivote y la fuerza resultante de la inmersión magnética. La forma de corregirlo es anticipando el rumbo deseado, es decir, sacar planos a nivel antes de que en la brújula se indique el rumbo deseado.

Este error se incrementa lógicamente, en cercanías a alguno de los polos, y una buena referencia para sacar los planos a nivel con la suficiente anticipación es hacerlo 15° más la mitad de la latitud antes.

Por ejemplo, suponga que se encuentra en la latitud 40°, por lo tanto, el anticipo que deberá aplicar es la mitad de 40 más 15, es decir 20 más 15, 35° antes de estar en el rumbo deseado debe sacar planos a nivel. (FAA, 2016, p. 8-26)



Error de virajes al Sur: Un error similar al presentado hacia el Norte tiene evidencia en virajes hacia el Sur, pero las mismas fuerzas que causan el primero, en este caso ocasionan que la brújula disminuya su régimen de viraje, lo que obligará al piloto a retardar el sacar los planos a nivel para hacerlo una vez haya pasado el rumbo deseado. Cabe resaltar que se usa la misma referencia para el caso del norte.

Por ejemplo, suponga que se encuentra en la latitud 30° , por lo tanto, debe dejar pasar el rumbo deseado en la brújula para sacar planos a nivel. La mitad de la latitud es 15° mas 15° que es una constante, debe continuar el viraje por 30° más del rumbo deseado para sacar los planos a nivel.

Error de aceleración: Como el principio de operación de la brújula es el péndulo, al cambiar la velocidad, manteniendo rumbos al Este o al Oeste, la inercia y la fuerza de inmersión magnética hará que la carátula de la brújula incline hacia adelante su parte frontal durante una aceleración y viceversa, durante una desaceleración. Esto causará un falso viraje hacia el Norte en el caso de la aceleración y al Sur en caso contrario. Este error no requiere acción del piloto puesto que es momentáneo, basta con tener el conocimiento y la conciencia situacional para no inducir un viraje al lado contrario, recuerde hacer un correcto chequeo cruzado.

Error de oscilación: Este error surge de la combinación de todos los anteriormente descritos y el resultado es una fluctuación de la carátula de brújula respecto a la dirección que está manteniendo la aeronave. La acción que debe tomar el piloto es simplemente utilizar un promedio de dichas fluctuaciones para ajustar los indicadores giroscópicos o eléctricos para que coincidan con la brújula magnética.

Limitantes de la brújula magnética: La mayor limitante que tiene la brújula magnética es que se dificulta su interpretación, suponga que, como se muestra en la imagen, se encuentra con dirección Norte y desea hacer un viraje hacia los 030° , instintivamente se tiene la tendencia a virar a la derecha, sin embargo, en la carátula de la brújula el 030° estará a la izquierda, esto puede llegar a causar confusión y hasta desorientación espacial, tenga presente que para volar usando la brújula magnética se debe halar el rumbo deseado.

Figura 41. Brújula magnética



Fuente: FAA, 2012.

Finalmente, a manera de resumen, el paso a paso para hallar las correcciones en la dirección de la aeronave serían los siguientes, se sugiere referirse al apartado de navegación básica para una explicación detallada de este proceso:

True Course (TC) – Obtenido directamente de la carta de navegación, su medida es en grados respecto a un meridiano geográfico.



True Course +/- Wind Correction Angle (WCA) = True Heading – En este paso se corrige el efecto del viento sobre la dirección de la aeronave.

True Heading (TH) +/- Magnetic Variation (MV) = Magnetic Heading – La variación magnética extraída de la carta de navegación.

Magnetic Heading (MH) +/- Magnetic Deviation (MD) = Compass Heading (CH) – De la placa de compensación de la brújula de cada aeronave se extrae el valor de la desviación magnética.

Por ejemplo, suponga las siguientes condiciones:

$TC = 180^\circ$
 $WCA = 5^\circ \text{ (Izquierda - Left)}$
 $TH = 180^\circ - 5^\circ = 175^\circ$
 $MV = 11^\circ W$
 $MH = 175^\circ + 11^\circ = 186^\circ$
 $MD = -1^\circ$
 $CH = 186^\circ - 1^\circ = 185^\circ$

Nota: la dirección final con todas las correcciones de la aeronave sería 185° .

Brújula Magnética de carátula vertical

La confusión creada por la interpretación de la brújula magnética trató de ser corregida con una brújula de carátula vertical, de manera que, mediante engranajes, los imanes hacen girar un círculo a la vista del piloto, donde se tiene marcado los punto cardinales N, S, E y W, marcas cada 5° y números cada 30°. Tiene un avión simbólico cuya nariz representa la línea guía para identificar la dirección de la aeronave.

Estas brújulas remplazaron el líquido para que la caratula flote, en su lugar está construida sobre una copa que amortigua las oscilaciones usando corrientes de Foucault o torbellino. Estas se producen cuando un material conductor se desplaza por el seno de un campo magnético uniforme, debido a corrientes continuas o imanes. Su efecto, cuando aparecen sobre piezas metálicas móviles, es una oposición a su movimiento en el campo magnético, ejerciendo una fuerza de frenado. (Hernández, Solá de los Santos & Fernández, 2019, p. 3304-1)

Figura 42. *Brújula magnética de carátula vertical*



Fuente: chiefaircraft.com s.f.

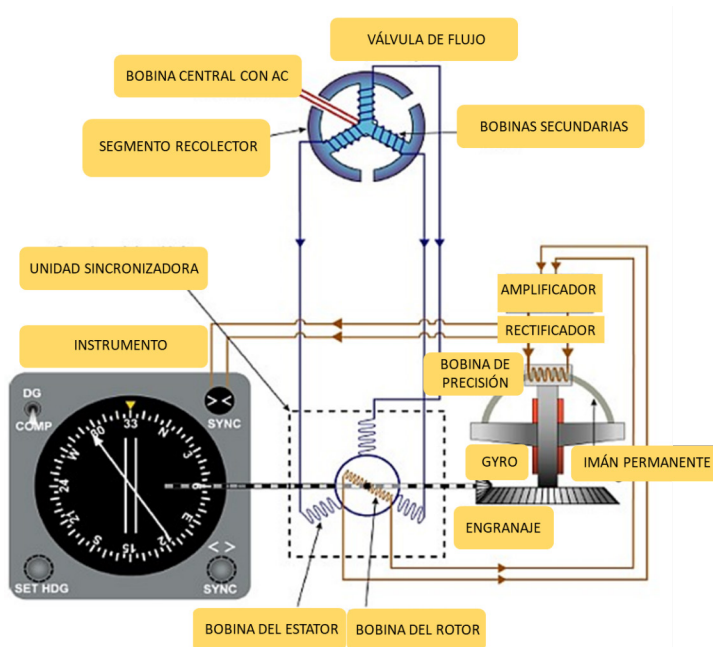
Transmisor remoto de la Brújula

Una forma de prevenir la desviación magnética es alejar la brújula magnética de las fuentes eléctricas que generan campos magnéticos, por ejemplo, en la punta de un plano o en el estabilizador vertical. De esta manera, el funcionamiento de la brújula es idéntico al abarcado con anterioridad, pero, mediante señales eléctricas transmite la información a una unidad sincronizada en la cabina, donde se ve alterado el campo magnético de las bobinas en el instrumento, brindando una indicación de dirección magnética.

Brújula Giroscópica Esclava de Indicación Remota. Este sistema se compone de un giróscopo, una brújula magnética, una unidad amplificadora y un indicador remoto. El giróscopo direccional es aumentado por la información magnética de un transmisor remoto de brújula, conocido como válvula de flujo – *Flux valve*. La información de la válvula de flujo es transmitida por cables a una unidad amplificadora, quien, a su vez, la transmite al instrumento en la cabina similar al de la brújula magnética de caratula vertical.

Válvula de Flujo. Es un círculo segmentado en tres partes y energizado con corriente alterna – AC. Tiene una bobina en el centro y en cada uno de los segmentos, lo que le permite alinearse con el campo magnético de la tierra y mantenerlo mediante la corriente fluyendo por el mecanismo. Cuando se cambia de dirección, el flujo de AC se disminuye a cero, permitiendo que el flujo magnético de la tierra fluya por el mecanismo para luego “atraparlo” induciendo un voltaje único en las bobinas recolectoras, reflejando la orientación de la aeronave respecto al campo magnético de la tierra.

Figura 43. Brújula magnética de transmisor remoto

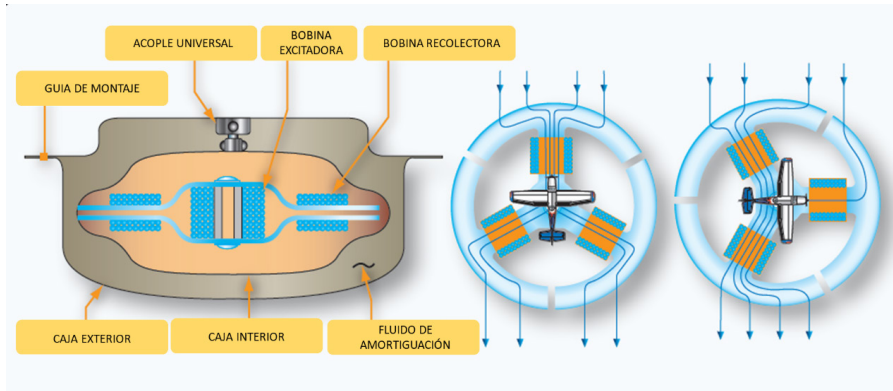


Fuente: Theairlinepilots.com, s.f. Adaptado por Escobar, 2022.



Unidad Amplificadora. Esta contiene un transmisor de sincronización automática, un giróscopo direccional - DG, un amplificador y un estator de triple bobina. El giróscopo direccional mantiene a la posición en el espacio; en un apartado posterior encontrará una explicación detallada de su funcionamiento. El estator recibe la corriente de la válvula de flujo y lo refleja al amplificador para usarla en aumentar la posición del DG. El giróscopo es utilizado como alimentador del sistema automático de sincronización que envía la información al instrumento para ser usada en cabina.

Figura 44. Válvula de flujo



Nota. A medida que la aeronave se mueve en el campo magnético de la tierra, las líneas de flujo magnético varían en el mecanismo, creando voltajes variables en los tres recolectores.

Fuente: FAA, 2018, Adaptado por Escobar, 2022.

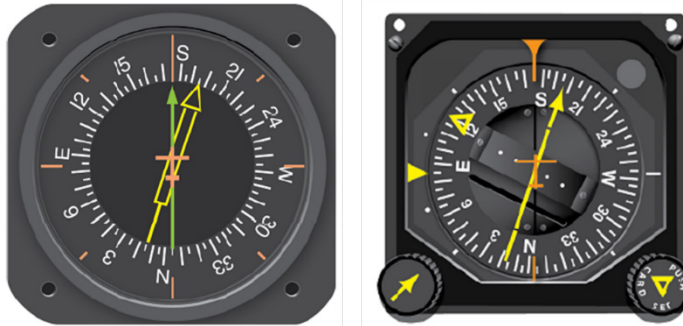
Control Esclavizador y Unidad Compensadora. Un mecanismo en la cabina permite al piloto seleccionar el modo giroscopio esclavizado o giroscopio libre mediante un interruptor. Esta unidad también tiene un medidor esclavizado y dos botones para manejo de rumbo manual. El medidor esclavizado indica la diferencia entre el rumbo indicado y el rumbo magnético. Una deflexión a la derecha indica un error de la carta del compás en sentido horario; Una deflexión a la izquierda indica un error contra horario. Cuando la aeronave está en un viraje y la carta gira, el medidor esclavizado muestra una deflexión completa hacia un lado u otro. Cuando el sistema está en el modo de giroscopio libre, la carta del compás puede ser ajustada oprimiendo el botón de manejo de rumbo apropiado. (U.S. ARMY, 2007)

Magnetómetros de estado sólido. Este sistema más moderno se emplea hoy en día en muchas aeronaves, estos extremadamente precisos y consumen menos energía, además de no contar con partes móviles y eliminar todo tipo de oscilación. Se componen por pequeñas estructuras en capas fabricadas de Níquel y Hierro, cuya resistencia eléctrica varía con cambios en el campo magnético, (Caruso, 1997) generando una reacción a cambios en la actividad de los electrones, lo que les permite alinearse con el campo magnético de la tierra y medir el ángulo de las líneas de flujo. Mediante algoritmos de procesamiento facilitan la integración con los instrumentos digitales. (FAA, 2018, pp. 10-47)



Muchos de los instrumentos usados para determinar la dirección de la aeronave utilizan estos sistemas, ahora bien, se han aplicado mejoras para integrar en el mismo instrumento la indicación de dirección magnética y las radioayudas, tal es el caso del *Radio Magnetic Indicator – RMI*, que permite observar en un solo la indicación de un VOR y un ADF, o dos VOR con la brújula magnética de indicador remoto. O el *Horizontal Situation Indicator – HSI* cuya explicación en detalle encontrará en un apartado posterior.

Figura 45. RMI - HSI



Fuente: FAA, 2016.

Instrumentos giroscópicos

Un giróscopo mecánico es una rueda que tiene su peso concentrado en su periferia y se encuentra soportado en anillos de cardán o *Gimbal Ring* en inglés. Estos se basan en un principio demostrado por Jean Bernard León Foucault en el siglo XIX, donde un cuerpo girando mantiene su posición en el espacio debido a la conservación del momento angular, incluso cuando el soporte se encuentra inclinado. (Britannica.com, s.f.)

Figura 46. Giróscopo



Fuente: sigovivohd.com, 2021.

Cuando los giróscopos se encuentran girando a gran velocidad presentan características únicas que han sugerido una serie aplicaciones útiles para la navegación en general.

Rigidez en el espacio: El rotor de un giróscopo libre mantendrá su orientación con respecto al espacio, sin importar los movimientos de la base.

Esto es lo que hace posible que el popular juego del trompo sea posible, como tal vez lo hizo muchas veces en su niñez.

Esta va a depender de diferentes factores como, el peso, este determina la resistencia a perturbaciones; a mayor peso menor perturbación. La velocidad angular, a mayor velocidad de rotación, mayor rigidez. Concentración de la masa, cuando la masa

se encuentra concentrada en los bordes se obtiene el máximo efecto en la rigidez. Y la fricción, estas imprimen deflexiones en el sistema.

Precesión: Considere un giróscopo de juguete como el de la imagen, si el rotor no se encuentra girando, lógicamente se va a caer debido a la gravedad.

Sin embargo, al girar se presentará un movimiento circular uniforme del eje en un plano horizontal, combinado con la rotación del volante alrededor de la base en lugar de inclinarse, este movimiento no intuitivo se denomina precesión.

Esta se puede observar en la naturaleza, por ejemplo, la tierra tiene permanenteprecesión, lo que ocasiona que su eje de rotación cambie lentamente de dirección, completando un ciclo de precesión completo en aproximadamente 26.000 años. (Young & Freedman, 2013, p. 328)

Esta puede ser aparente, ya sea por la rotación de la tierra o el movimiento del giróscopo de un punto geográfico a otro, el eje de rotación permanece constante en el espacio. Sin embargo, para un observador desde la tierra, el eje de rotación parece cambiar su orientación en el espacio. O real, que consiste en el movimiento del eje de rotación del giróscopo desde su alineamiento original en el espacio. Esto responde a una fuerza aplicada sobre este eje; esta fuerza puede ser no intencional como un desbalance del rotor o fricción del rodamiento. También, puede ser una fuerza aplicada por el sistema de erección del mecanismo o el motor de torque. (FACH, 2014, p. 66)

El efecto que causa la precisión es que, al aplicar una fuerza sobre el giróscopo, esta se va a reflejar a 90° del punto de aplicación, por ejemplo, si se considera una motocicleta con una velocidad considerable, para tomar una curva no es necesario mover el manubrio en la dirección deseada, basta con inclinarse y la motocicleta responderá a la fuerza aplicada en la parte superior de la llanta girando hacia el lado de la inclinación.

Existen dos formas generales de montajes para los giróscopos, dependiendo del principio que se desea utilizar. El giróscopo libre o universal le permite rotar en cualquier dirección respecto al centro de gravedad. El restringido o semi rígido por su parte, tiene uno de los planos fijo en relación con la base.

Figura 47. *Precesión Giroscópica*



Fuente: es.dhgate.com s.f.

Figura 48. *Precesión Giroscópica en una motocicleta*



Fuente: revista400.cc, 2021.



Los instrumentos que utilizan este sistema, y que se ampliará la explicación posteriormente, son:

- Indicador de viraje.
- Indicador de actitud.
- Indicador de dirección o rumbo.

Fuentes de alimentación del sistema giroscópico

Todos los giróscopos mecánicos deben tener una fuente de alimentación que le permita girar a alta velocidad, esta varía según el diseño de la aeronave o del instrumento, originalmente todos los instrumentos giroscópicos funcionaban con succión de aire, pero, hoy día se han desarrollado diferentes fuentes, desde luego, cada fabricante diseña la aeronave de acuerdo con sus criterios, con sistemas redundantes o con una combinación de estas.

Sistemas de succión

Su funcionamiento es igual al de un molino de agua, estos sistemas hacen pasar aire constantemente por las aletas del rotor del giróscopo generando que rote a altas velocidades. El aire ambiente es filtrado y dirigido hacia el instrumento, luego por medio de una bomba de succión, este aire es extraído con fuerza, causando la rotación.

Esta succión puede ser creada por el efecto Venturi causado por una baja presión en la línea que alimenta el instrumento, lo que lo hace más barato, pero, a su vez variable ya que depende de la velocidad de la aeronave y las condiciones de la atmosfera. O por medio de una bomba de vacío generalmente engranada al motor, lo que hace muy eficiente el sistema, pero, en caso de una falla de motor también presentaría falla en los instrumentos, especialmente en monomotores.

Sistemas de presión

Una bomba de vacío al generar una presión negativa de succión, por un lado, debe generar una presión positiva al lado contrario. Este sistema funciona de manera idéntica al de succión, pero con la presión positiva de la bomba. Son mucho más eficientes a gran altitud.

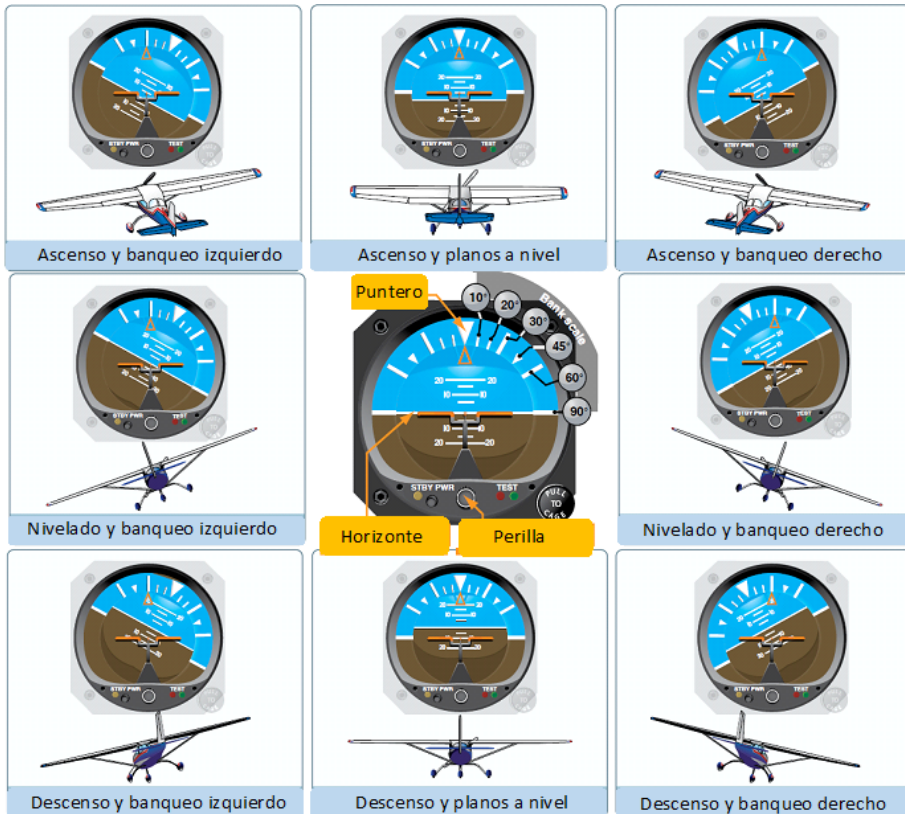
Sistemas de alimentación eléctrica

En estos sistemas el rotor es reemplazado o impulsado por un motor eléctrico giratorio, tienen la ventaja de que son alimentados por la batería, en caso de una falla de motor, por ejemplo, además de eliminar peso al no necesitar bombas, líneas, etc. igualmente, elimina la posibilidad que ingrese suciedad al no tener aire fluyendo por el instrumento.



Indicador de actitud

Figura 49. Posiciones del indicador de actitud



Nota. Lectura del indicador de actitud en diferentes actitudes del vuelo donde corresponde con el horizonte real. Fuente: FAA, 2016. Adaptado por Escobar, 2022.

Su propósito es brindar al piloto una indicación instantánea con respecto al horizonte natural que ayuda a mantener la actitud deseada de la aeronave durante un vuelo instrumental. También es conocido como Horizonte Artificial, que fue su nombre original.

Su principio de operación es la rigidez en el espacio y está compuesto por un giróscopo de montaje universal con eje vertical, lo que permite que este gire en el plano horizontal. El giróscopo normalmente va montado en un doble anillo de cardán, lo que permite que el avión se mueva en cabeceo (pitch) y banqueo (roll) mientras el giróscopo se mantiene fijo en el espacio. Un disco de horizonte va unido a los anillos de manera que se mantiene en el mismo plano del giróscopo y el avión se mueve sobre él.

En la caratula se tiene una línea que representa al horizonte con marcas para medir el cabeceo y líneas de inclinación alar. La parte superior es azul representando el



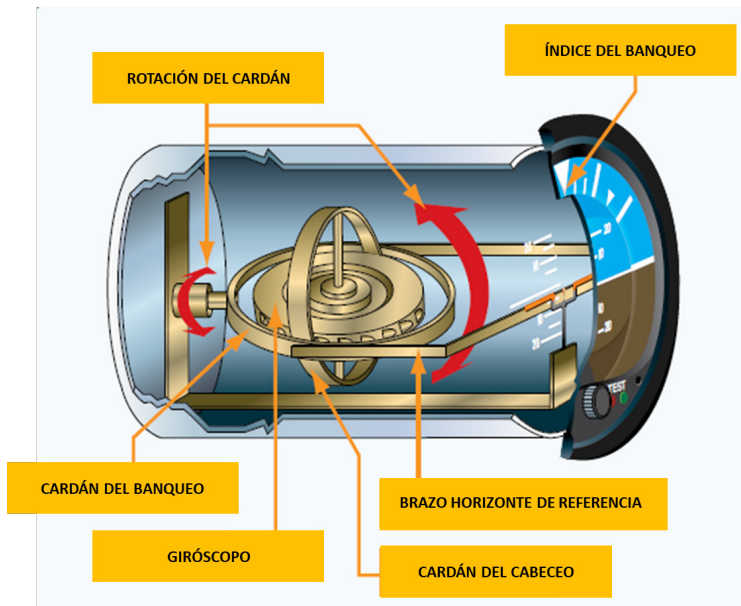
cielo; la mitad inferior es café o negro representando la tierra. Las barras de banqueo van normalmente en la parte superior del instrumento (pueden ir abajo en algunos) e indican la inclinación alar por medio de líneas que indican 10°, 20°, 30°, 60° y 90°.

Un avión simbólico va montado en la caja del instrumento de tal forma que parece que va volando en relación con el horizonte. Una perilla instalada en la parte inferior del instrumento sube o baja este avión con el fin de compensar por cambios de pitch producidos por cambios de velocidad. El ancho de las alas y del punto al centro de la aeronave representan aproximadamente un cambio de pitch de 2° .

Con la finalidad de que el indicador funcione correctamente y poder compensar el o los efectos de fuerzas interiores del mecanismo, es que el instrumento posee un sistema de erección que devuelve el giróscopo a su posición vertical.

Los indicadores de actitud actuales están prácticamente libres de errores. Sin embargo, dependiendo de su sistema de erección, puede ocurrir una pequeña indicación nariz arriba durante aceleraciones y nariz abajo durante desaceleraciones rápidas. Además, existe la posibilidad de una pequeña indicación en cabeceo o banqueo después un viraje de más de 180°. Todos estos errores son pequeños y se corrigen automáticamente después de aproximadamente 1 minuto en vuelo recto y nivelado. (FAA, 2012, p. 5-19)

Figura 50. Componentes del indicador de actitud



Fuente: FAA, 2016. Adaptado por Escobar, 2022.

Indicador de rumbo

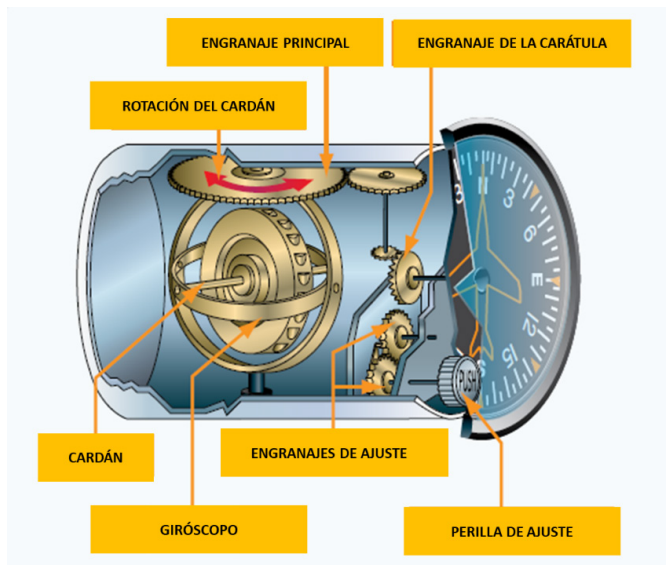
Como su nombre lo indica, su propósito es presentar al piloto información sobre la dirección de la aeronave, como un complemento a la indicación de la brújula magnética y facilitar su uso.

Al igual que en el indicador de actitud, el principio de operación es el de rigidez en el espacio y el giróscopo se encuentra montado en un doble anillo de cardán, pero con el eje en sentido horizontal, de manera que esta gira en el eje vertical. Acoplado al rotor se encuentra una carátula con una rosa de los vientos; similar a la brújula magnética de caratula vertical, el giróscopo permanece rígido mientras la aeronave gira alrededor de su eje vertical, esto resulta en una lectura confiable del rumbo de la aeronave.

Como el indicador de rumbo no tiene referencia con el Norte magnético, salvo en el caso explicado con anterioridad de la brújula magnética con indicador remoto, este se debe ajustar manualmente con la indicación de la brújula magnética mediante una perilla que permite bloquear los anillos de cardán y girar la carátula, una vez la perilla es liberada, el instrumento funciona de nuevo con normalidad.

Este instrumento presenta un error derivado de la rotación de la tierra, el giróscopo permanece rígido en el espacio, pero la tierra sigue rotando sobre su eje a razón de 15° por hora, esto significa que se tendrá un desfase del mismo valor en la indicación. No hay manera de evitar este error, pero, se puede prevenir teniendo la precaución de verificar la indicación con respecto a la brújula magnética al menos cada 15 minutos y de ser necesario realizar el ajuste mediante la perilla.

Figura 51. *Componentes del indicador de rumbos*



Fuente: FAA, 2012. Adaptado por Escobar, 2022.



Indicador de viraje y resbalamiento

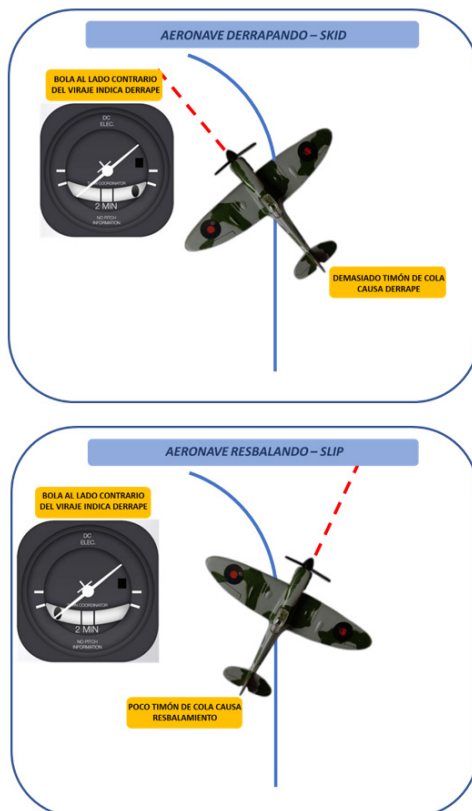
Este instrumento es realmente dos en uno, está compuesto por la aguja indicadora de viraje y el inclinómetro; razón por la cual, también es conocido como el popular palo y bola. Su función primaria es entregar información de vuelo coordinado y régimen de viraje. Es decir, su indicación involucra la correcta ejecución de un viraje y el movimiento en el eje vertical de la aeronave o guiñada.

El inclinómetro es una bola negra de vidrio dentro de un tubo de cristal curvo sellado y parcialmente lleno de un líquido, parecido al líquido usado en la brújula. Esta bola mide la intensidad relativa de la fuerza de gravedad y la fuerza de inercia causada por el viraje. Cuando la aeronave está volando recta y nivelada, no hay inercia actuando en la bola, y esta permanece en el centro del tubo entre dos alambres. Un viraje coordinado se presenta cuando la dirección y la nariz del avión son iguales. En un viraje hecho con un ángulo de banqueo muy empinado, la fuerza de gravedad es mayor que la de inercia y la bola rueda hacia abajo, o sea, hacia adentro del viraje. Si el viraje es hecho con un ángulo de banqueo muy leve, la inercia es mayor que la gravedad y la bola rueda hacia arriba, o sea, hacia fuera del viraje.

El inclinómetro solo indica la relación entre ángulo de banqueo y régimen de guiñada. Cuando la bola se desplaza hacia el lado contrario del viraje, la aeronave se encuentra derrapando, caso contrario, cuando se desplaza hacia el mismo lado del viraje, la aeronave está resbalando, en ambos casos el viraje no es coordinado.

Por su parte, la aguja indicadora de viraje funciona bajo el principio de precesión, mediante un pequeño giróscopo. El giróscopo está montado en un cardán con su eje de rotación paralelo al eje lateral de la aeronave y su eje paralelo con el eje longitudinal. De manera que, cuando la aeronave efectúa un viraje, se ejerce una fuerza en la parte superior del giróscopo y por la precesión se va a reflejar a 90° , es decir, en el eje longitudinal de la aeronave, obligando a que el giróscopo se incline a la derecha o izquierda, un resorte calibrado restringe el movimiento del indicador lo suficiente para que se alinee con las marcas cuando el viraje es con un régimen estándar, es decir, de 3° por segundo o 360° en 2 minutos.

Figura 52. Derrape y Resbale



Fuente: Escobar, 2022.



Figura 53. *Indicador y Coordinador de viraje*



Fuente: FAA, 2016. Adaptado por Escobar, 2022.

Igualmente, existe una pequeña variación de la aguja indicadora de viraje llamada coordinador de viraje, este funciona de manera idéntica, pero la estructura del cardán tiene una inclinación de 30°, esto le permite detectar variaciones en guiñada y en cierta medida también en banqueo, de esta manera se brinda indicación de inclinación alar al principio y luego de régimen de viraje, puesto que así es el proceso al virar la aeronave.

En el caso del coordinador de viraje, la carátula cuenta con un avión miniatura que presenta los planos a nivel y cuando se hace un viraje inclina uno de los planos para alinearse con la marca, tal cual como lo hace la aguja indicadora de viraje.

Figura 54. *Disposición de los instrumentos en cabina*



Nota. Disposición típica de los instrumentos analógicos en una aeronave diseñada para un solo piloto. Fuente: FAA, 2018. Adaptado por Escobar, 2022.



Sistemas de apoyo al vuelo

La innovación en la industria aeroespacial es una constante e impulsa su transformación en busca de mejorar la seguridad operacional, de incrementar la sostenibilidad y la eficiencia. Obviamente, el desarrollo de cabinas más ergonómicas y que permitan reducir las cargas de trabajo del piloto, disminuir o eliminar la posibilidad de malas interpretaciones de los instrumentos y mejorar las capacidades y precisión de la navegación es una prioridad. Existen muchos sistemas que apoyan al piloto en el vuelo, algunos de ellos son:

Attitude and heading reference systems (AHRS)

A medida que la disposición de las cabinas ha ido transformándose en pantallas con nuevas tecnologías, los sensores que los alimentan también han sufrido cambios significativos. Los instrumentos de vuelo giroscópicos tradicionales han sido sustituidos por sistemas de referencia de actitud y rumbo (AHRS), lo que ha mejorado la fiabilidad y, por lo tanto, ha reducido el costo y el mantenimiento al no tener partes móviles, lo que alarga su vida útil y reduce el desgaste.

La función de un AHRS es la misma que la de los sistemas giroscópicos, es decir, determinar la actitud de la aeronave, bien sea nivelado o ascenso, etc. y una referencia de dirección respecto al Norte.

Este sistema recoge la información de sistemas microelectromecánicos de estado sólido de actitud y dirección o giróscopos laser, magnetómetros, acelerómetros, computadora de abordo (ADC), inerciales y el sistema de posición satelital. Y la computa para desplegar la información más confiable en cabina.

Giróscopos Láser. El principio de operación es medir el tiempo que toma un láser en recorrer una distancia en un camino circular inmóvil. Al emitir dos señales laser que viajan en sentidos contrarios en una estructura generalmente triangular, cuando la aeronave mantiene su actitud constante, los dos láser tardan el mismo tiempo en volver al origen donde es cuantificada su frecuencia. Si la aeronave cambia la actitud, una señal va a tardar más que la otra, esa diferencia genera un cambio en sus frecuencias, que, a su vez, es cuantificada para determinar el régimen de movimiento de la aeronave en ese eje en especial.

Sistemas microelectromecánicos (MEMS). En estos sistemas se ha reducido el tamaño de manera significativa y por lo tanto el peso. Son microchips de estado sólido que hacen el mismo trabajo de ellos giróscopos al remplazar el rotor giratorio por un material piezoeléctrico que detecta vibraciones u oscilaciones del potencial eléctrico. Una estimulación micro eléctrica es inducida al cambiar la actitud de la aeronave y el resultado de los voltajes producidos es usado para computar la información de actitud o dirección.

Acelerómetros. Estos funcionan mediante la inercia. Una masa es libre de desplazarse cuando se presenta una maniobra que signifique una aceleración de la aeronave, este movimiento puede ser medido mediante resortes calibrados y proyectar la información para su uso. En el caso de acelerómetros eléctricos el principio es el mismo, pero el mecanismo varío para incorporar materiales



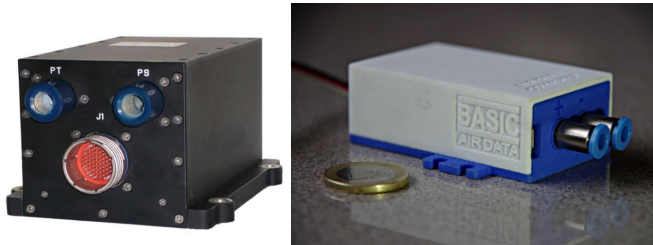
piezoeléctricos que varían su resistencia en relación con la medida de la fuerza. (FAA, 2018, pp. 10-33)

Computadora de datos aéreos – (ADC)

Cuando las aeronaves de alto rendimiento se encuentran operando en altitudes donde las temperaturas son inferiores al cero, los errores en el sistema Pitot estático se acentúan, la compresibilidad del aire varía con la altitud y la velocidad y la densidad del aire dificulta tomar lecturas estables. Esto obliga al uso de computadoras para compensar los factores de temperatura y densidad con el fin de que las indicaciones sean precisas.

Esta recibe y procesa la presión del pitot, la presión estática y la temperatura para calcular con gran precisión la altitud, el IAS, el TAS y la temperatura del aire. En algunos equipos es necesario el uso de transductores que conviertan las presiones en señales eléctricas para ser procesadas por algoritmos, esto cuando no se cuenta con sensores eléctricos para ese propósito. El ADC produce esta información en un formato digital que puede ser utilizado por una variedad de sistemas de aeronaves, incluyendo sistemas de instrumentos electrónicos – EFIS, pilotos automáticos o el sistema de administración de vuelo – FMS. Con el avance de la tecnología el tamaño de los ADC se ha reducido hasta ser sistemas de estado sólido integrado a las pantallas en un microchip.

Figura 55. *Computadora de datos aéreos - ADC*



Nota. Evolución de una computadora de datos aéreos hasta tener el tamaño de poco más de una moneda. Fuente: Astronautics.com, s.f. y pjrc.com, s.f.

Horizontal situation indicator – (HSI)

El HSI facilita al piloto una presentación gráfica de la posición de la aeronave con respecto al curso seleccionado, de manera que se facilite la orientación del piloto al tener una vista desde la parte superior.

Este instrumento combina la indicación de la brújula magnética, generalmente del tipo esclavo de indicador remoto, con las indicaciones de navegación como el VOR, e incluso enganchado con el sistema de navegación satelital según la aviónica de la aeronave, y con la indicación de senda de planeo. De esta manera, se reduce la cantidad de instrumentos a la que el piloto debe prestar atención durante fases críticas del vuelo como la aproximación.

En la carátula se tiene una línea de fe en la parte superior para leer el rumbo de la aeronave. Una flecha, por lo general de color amarillo, se puede ajustar mediante una



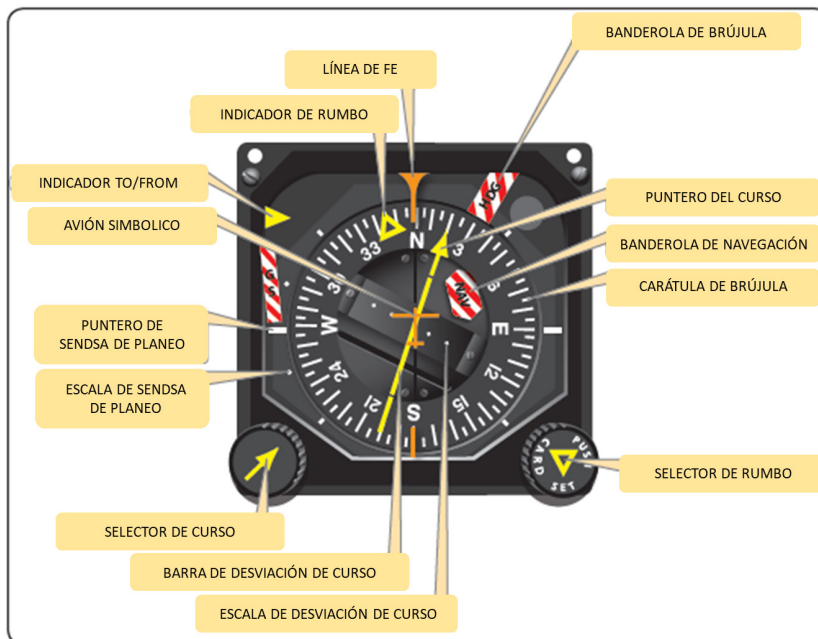
perilla en cualquiera de los 360° cursos, de manera que la punta de la flecha indique el curso y la cola el curso recíproco. La sección central de esta flecha funciona como el indicador de desviación de curso – CDI, cuando se encuentra totalmente centrada significa que la aeronave se mantiene en el curso sin desviaciones. Cuando se desplaza hacia alguno de los lados, por ejemplo, a la derecha significa que la aeronave se encuentra desviada a la izquierda del curso en una intensidad medida en grados mediante una escala de puntos que tienen los mismos valores del VOR o LOC explicados en apartados anteriores, según sea la radioayuda seleccionada.

En el centro del instrumento tiene un avión miniatura que le permite al piloto tener una referencia del ángulo aplicado para la interceptación del curso deseado, esto resulta particularmente práctico para aplicar anticipos.

Al igual que el instrumento del VOR, cuenta con las mismas banderolas de advertencia para indicar que la señal no es confiable tanto para la navegación – NAV, como de la senda de planeo – GS y para la señal del indicador remoto de la brújula magnética – HDG, igualmente sucede con el indicador TO/FROM explicado en el apartado del VOR.

Una perilla selectora de rumbo funciona de la misma manera que la selectora de curso, pero permite ajustar un indicador que generalmente es un triángulo y que puede ser usado para dirigir el piloto automático cuando se tiene esa tecnología, el piloto coloca el indicador triangular girando la perilla en el rumbo deseado para que el piloto automático ejecute la acción.

Figura 56. Carátula del HSI



Fuente: FAA, 2012. Adaptado por Escobar, 2022.



El puntero de desviación de la senda de planeo indica la relación de la aeronave con esta. Cuando el puntero está por debajo de la posición central, la aeronave está por encima de la pendiente de planeo, y se requiere una mayor velocidad de descenso. En la mayoría de las instalaciones, la tarjeta de acimut es una brújula indicadora remota impulsada por un indicador remoto; sin embargo, en pocas instalaciones en las que no está instalado, o en funcionamiento de emergencia, el rumbo debe comprobarse ocasionalmente con la brújula magnética y reajustarse con el mando de selección de rumbo. (FAA, 212. pp. 5-23)

En los instrumentos electrónicos EFIS se cuenta con un HSI que varía según el fabricante, pero funciona de manera idéntica al análogo, con la salvedad de que tiene muchas más capacidades para presentar información útil para el vuelo, por ejemplo, combinar el indicador de actitud con el HSI e integrar el anuncio de tráfico en conjunto con un *Traffic and Collision Avoidance System* – TCAS.

Indicador de Actitud y Dirección – (ADI)

El concepto que se pretende manejar es reunir la mayor cantidad de información útil para el vuelo para que el piloto no desvíe su atención y se le facilite el chequeo cruzado. Desde luego, esto se evidencia con mayor facilidad en ellos instrumentos electrónicos EFIS, sin embargo, existen instrumentos como el ADI que combinan el indicador de actitud con la información de navegación de otros instrumentos, por ejemplo, el HSI o ILS. Igualmente, con el director de vuelo cuando se cuenta con esa tecnología.

Figura 57. *Indicador de actitud y dirección*



Nota. El indicador de actitud y dirección de un Boeing 747 donde combina el indicador de actitud con indicación de GS, LOC e inclinómetro. Fuente: Alamy.com, 2013.



Sistema Director de Vuelo – (FDS)

Un sistema director de vuelo –FDS es en esencia una serie de componentes electrónicos que computan e indican la actitud que la aeronave debe tener para mantener o alcanzar una condición de vuelo seleccionada. Es, en resumen, un piloto automático, pero sin los servoactuadores que controlan la aeronave, de manera que el piloto debe seguir las instrucciones manualmente para lograr el objetivo deseado. Este reduce las cargas de trabajo notablemente al facilitar al piloto muchos cálculos mentales que se requieren durante el vuelo por instrumentos, por ejemplo, régimen de ascenso, ángulos de interceptación, etc. (FAA, 2018. pp. 10-66)

Los principales componentes de un FDS incluyen un ADI, también llamado Indicador de director de Vuelo (FDI), un HSI, un selector de modo y una computadora de director de vuelo. La información puede ser presentada al piloto mediante dos maneras típicas, dos barras que se centran formando una cruz cuando la aeronave se encuentra en la actitud seleccionada, muy similar a la indicación del localizador y la senda de planeo en el ILS, o mediante un avión simbólico que se alinea con una señal de comando.

Figura 58. *Comandos del director de vuelo - FDS en un indicador de actitud*



Fuente: FAA, 2018. Adaptado por Escobar, 2022.

El director de vuelo muestra los comandos de dirección al piloto en el ADI. Como se mencionó anteriormente, el director de vuelo es manejado por una computadora que recibe información de los sistemas de navegación, el ADC, AHRS y otras fuentes de datos y se las proporciona a la ADI para los comandos de dirección. El selector de modo proporciona señales a través de la ADI para accionar las barras de dirección, por ejemplo, el piloto vuela la aeronave para colocar el símbolo la marca de las barras de dirección. Los indicadores de “comando” le dicen al piloto en qué dirección y cuánto debe cambiar la actitud de la aeronave para lograr el resultado deseado.

Sistemas de piloto automático

Un piloto automático es un medio mecánico para controlar una aeronave mediante sistemas eléctricos, hidráulicos o digitales. Los pilotos automáticos pueden controlar tres ejes de la aeronave: balanceo, cabeceo y guiñada. Sin embargo, sus capacidades varían según el equipo, incorporando la posibilidad de programación, integración de ayudas para la navegación, e incluso control de potencia para aterrizajes automatizados.

Los pilotos automáticos también funcionan utilizando diferentes métodos. El primero se basa en la posición. Es decir, el giróscopo de actitud percibe el grado de diferencia de una posición como el nivel de los planos, un cambio de cabeceo o un cambio de rumbo. El otro método se basa en el régimen. De manera que un sensor de viraje y banqueo detecta la cantidad de movimiento en 2 de los ejes de la aeronave para determinar la posición y controlar la actitud predeterminada. Incluso se puede usar una combinación de ambos métodos, todo depende del fabricante.

Si bien resulta imposible abarcar todos los modelos existentes de sistemas de piloto automático, se puede hacer una descripción de este, como un sistema típico, sin embargo, se recomienda que se familiarice con los sistemas y límites de su aeronave.

Tomando como modelo el Sistema Automático de Control de Vuelo – AFCS del Bell 412, se puede hacer una descripción que de alguna manera se ajuste a un típico AFCS.

El sistema consta de una computadora digital de vuelo, unos controles del sistema, el selector de modo, sensores digitales de aire, pantalla de comandos, ensambles de control de cabeceo, banqueo y guiñada, y un giróscopo de régimen.

Como todos los sistemas en aviación, este es redundante, es decir que tiene dos sistemas idénticos e intercambiables, en caso de presentarse una falla en el principal o máster, asume el control el respaldo o esclavo.

La computadora digital de vuelo realiza todas las funciones en el modo piloto automático – AP o director de vuelo – FD. Esta utiliza la información de actitud de la aeronave que le envían desde un sistema AHRS, o un sistema de referencia en los tres ejes, que contiene los sensores o giróscopos de régimen para determinar variaciones en la guiñada, las variaciones en cabeceo y banqueo son calculadas por la computadora. Igualmente cuenta con acelerómetros en los tres ejes que le envían la información para ser usada en el modo piloto automático. El sensor digital de aire se encarga de recoger la información de presión Pitot y estática, al igual que un altímetro barométrico codificado que envía información con el propósito de cumplir con los requerimientos de altitud seleccionada y alertas de desvío de altitud.

Mediante el selector de modo, el piloto puede enganchar o desenganchar el piloto automático según su necesidad y una pantalla de comandos proyecta las funciones enganchadas o también fallos.

Cuando está enganchado el sistema, la computadora calcula con la información recibida, las desviaciones de la actitud seleccionada con los controles del sistema, por ejemplo, la altitud, o el curso si se cuenta con la capacidad de enganchar las ayudas de navegación. Automáticamente la computadora envía a los controles de vuelo la corrección necesaria mediante unos servos electromecánicos que se encuentran en el ensamble de control de cada eje. Es decir, si el viento desvía la aeronave de su altitud, la computadora calcula la corrección y hace el ajuste en los controles de vuelo para que la aeronave regrese a la altitud preseleccionada.

Esa misma situación se presenta con el rumbo, el piloto selecciona el rumbo deseado, manualmente con los controles de vuelo, en cuyo caso se debe desenganchar momentáneamente el AP o usando los controles del piloto automático, incluso se tiene la capacidad de hacerlo con el selector de rumbos del HSI en algunos equipos y sistema lo mantiene y corrige de ser necesario. (Honeywell, 2000)

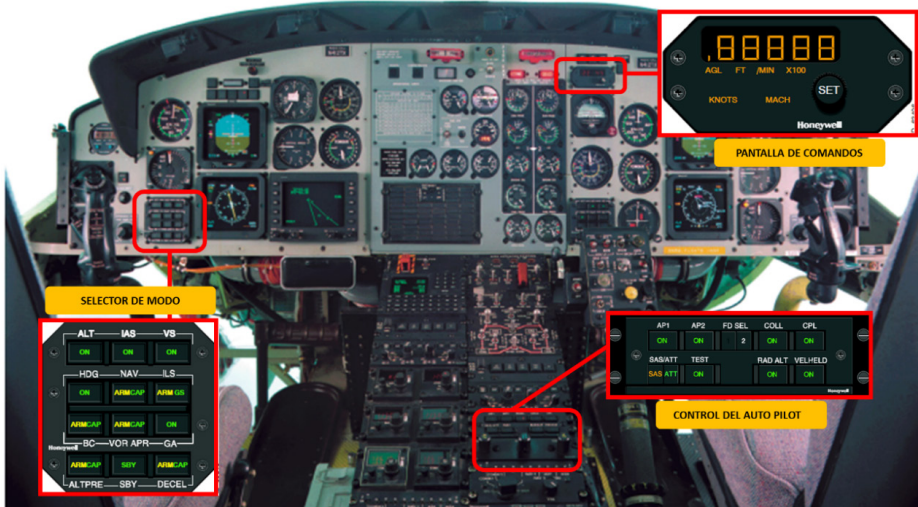


Conocimientos aeronáuticos para el Piloto Militar.
Instructivo operacional de la Escuela Militar de Aviación
“Marco Fidel Suárez” - Volumen III

En modelos donde se cuenta con control automático de potencia y otras capacidades, el sistema cuenta con sensores que garantizan que no se excedan los límites de temperatura de los motores o torque, por ejemplo.

Desde luego, como todos los sistemas en aviación, está protegido por cortacircuitos y cuenta con luces de advertencia asociadas en caso de presentar alguna falla.

Figura 59. Sistema de piloto automático de un B-412



Nota. Ilustración del sistema de piloto automático del Bell 412 de cuatro ejes, entiéndase como un ejemplo que no remplace al diagrama presentado por el POH de la aeronave. Fuente: Honeywell, 2000. Adaptado por Escobar, 2022.

Sistema de gestión de vuelo – (FMS)

El FMS constituye uno de los niveles más altos de automatización en vuelo. Este ofrece la capacidad de operar una aeronave con niveles de precisión que son imposibles de alcanzar por un humano, esto redundará en incremento de los niveles de seguridad, ahorro de combustible y emisiones, reducción de los tiempos de vuelo y optimización de la vida de los componentes y motores, lo que, por supuesto, significa rentabilidad también.

Al igual que sucede con el piloto automático, cada sistema obedece a los criterios de diseño y necesidades específicas, de manera que cada fabricante desarrolla sus propias tecnologías superándose a sí mismos y resulta imposible describir todos los sistemas existentes.

Un FMS se puede concebir como una computadora maestra que controla todos los aspectos de vuelo, desde la prevuelo hasta la operación aérea. Esta coordina todos los parámetros de actitudes de vuelo, motores, etc. de manera automatizada o por instrucción del piloto a partir de la entrada de múltiple información de diferentes fuentes. (FAA, 2018, pp. 10-75) De manera que emite información para los instrumentos, el



piloto automático, incluso el control de tránsito y para despachadores o bases remotas. (*International Air Transport Association – IATA*, 2015, p. 3)

Este sistema por lo general es redundante, de manera que, si se presenta un fallo, se cuenta con un respaldo y no se ve afectada la operación. Su componente principal es la computadora de gestión de vuelo – FMC que comparte información con un sistema de monitoreo automático de los sistemas de la aeronave; existen muchos, algunos de ellos pueden ser el Monitor Centralizado Electrónico de Aeronave – ECAM o el Indicador de Motor y Alerta a la Tripulación – EICAS. También comparte información con la computadora de datos aéreos, la computadora de gestión de potencia, el sistema de instrumentos electrónicos, el sistema inercial de referencia, el sistema de piloto automático, el sistema de prevención de colisiones y todos los sistemas de navegación.

Una unidad visualizadora de control (*Control Display Unit*)– CDU sirve como interfase, esta permite al piloto controlar el FMS mediante un teclado alfanumérico que facilita navegar por la base de datos. Cambiar las frecuencias de navegación y comunicaciones cuando se tienen integrados los sistemas. Presentar información concerniente a solución de conflictos de tráfico o meteorología a través del CDU donde propone una solución que el piloto debe aceptar o insertar un nuevo plan de acción. E incluso la transmisión de información mediante el enlace de datos.

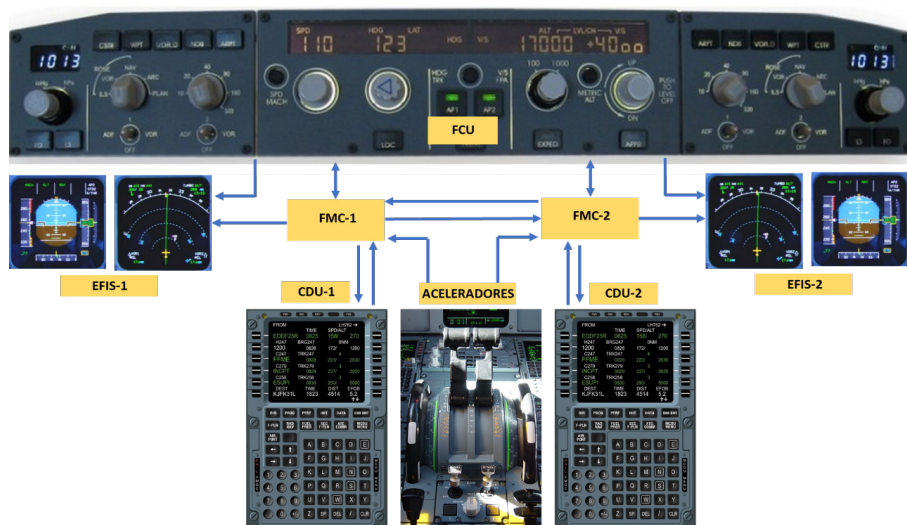
Figura 60. *Unidad visualizadora de control - CDU*



Fuente: istockphoto.com s.f. Adaptado por Escobar, 2022.



Figura 61. Sistema de gestión de vuelo - FMS



Nota. Disposición de la interfaz FMS – piloto de un Airbus A-320, tomado de Honeywell, Airbus Pegasus FMS for the A-330 and A-320 series. Fuente: store.ncinformatique.ch, s.f., www.pinterest.ca, s.f., www.airliners.com, s.f., www.flickr.com, s.f. Adaptado por Escobar, 2022.

El FMS tiene una base de datos global con datos para la navegación, incluidas la radioayudas, aerovías e intersecciones, de manera que, el piloto tiene la capacidad de escoger entre procedimientos estandarizados como Salidas Estandarizadas Instrumentos – SID, Llegadas estandarizadas – STAR o aproximaciones. Esta base de datos es revisada con una periodicidad de 28 días y es responsabilidad del piloto verificar su actualización antes de iniciar un vuelo.

Sistemas de instrumentos de vuelo electrónicos – EFIS

Cuando se habla de los sistemas de instrumentos de vuelo electrónicos se refiere a una cabina donde se utiliza una tecnología electrónica en lugar de la electromecánica para presentar la información que necesita el piloto. Esto ha permitido reducir el tamaño y peso de la cabina, así como las cargas de trabajo del piloto al combinar varios instrumentos en uno solo, facilitando el chequeo cruzado, y los costos de mantenimiento, ya que tienden a fallar menos que los instrumentos mecánicos al no tener partes móviles. Usualmente se conocen como cabinas de cristal y su uso está cada vez más generalizado, esto no solo cambió la forma de presentar la información al piloto, sino que ahora existe una infinidad de esta disponible.

Por lo general suele haber una pantalla de vuelo primaria (PFD) y una pantalla multifunción (MFD). Aunque ambas pantallas son en muchos casos idénticas, la PFD proporciona la instrumentación de piloto necesaria para que el vuelo incluya información de altitud, velocidad aérea, velocidad vertical, actitud, rumbo y ajuste y tendencia. (FAA, 2012, Pág. 5-27) Sin embargo, esto puede variar según el diseño y necesidades



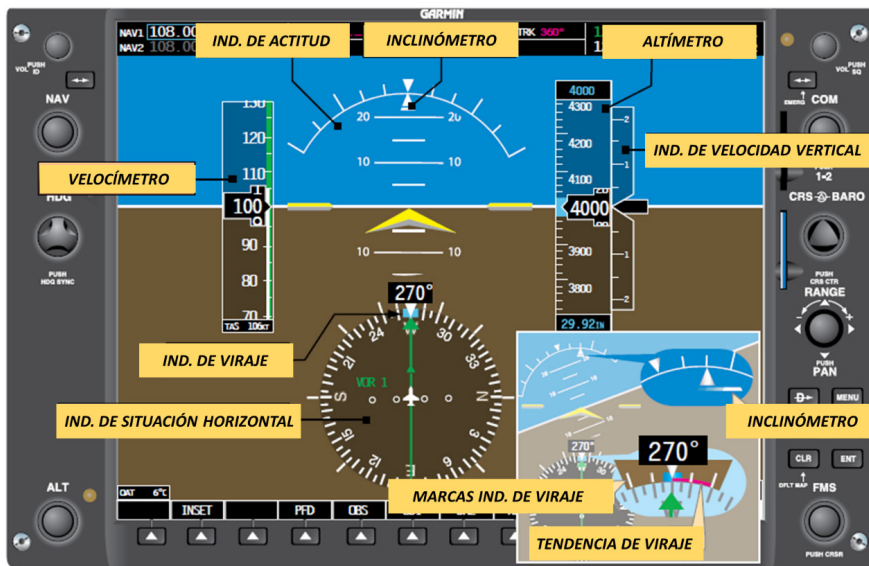
específicas del fabricante, incluso ofreciendo la posibilidad de ser interactivas y táctiles, por lo que es necesario que se familiarice con la aviónica de su aeronave.

Pantalla Primaria de Vuelo (*Primary Flight Display*) – PFD

Una de las principales características de los PFD es que ha permitido aumentar la alerta situacional del piloto mediante la sustitución de los seis instrumentos tradicionales utilizados para el vuelo instrumental por una pantalla de fácil exploración que proporciona el horizonte, la velocidad del aire, la altitud, la velocidad vertical, la tendencia, los ajustes, régimen de viraje entre otras indicaciones de relevancia para el control de la aeronave.

Aunque la presentación de la información cambia ostensiblemente, el diseño de estos dispositivos sigue obedeciendo a las leyes internacionales para los instrumentos y se ha mantenido una estandarización en la ubicación dentro de la pantalla para facilitar la transición de análogos a electrónicos.

Figura 62. Pantalla primaria de vuelo



Nota. Una típica PFD, según el fabricante puede cambiar tanto la presentación, como el tamaño y los colores, pero, el orden y la estandarización será siempre la misma. Fuente: FAA, 2016.

Adaptado por Escobar, 2022.

A continuación, se ofrece una breve descripción de la presentación de los instrumentos en una pantalla primaria, tenga en cuenta que, aunque se mencionan fuentes de información y unidades de medida, estos pueden variar según cada fabricante, incluso se puede programar la pantalla para que despliegue las unidades de medida en diferentes sistemas desde la configuración, se sugiere leer el manual del operador para familiarizarse con la aviónica de la aeronave.



Velocímetro. Está ubicado a la izquierda de la pantalla y se representa como una cinta vertical donde los números van descendiendo desde la parte superior al aumentar la velocidad en incrementos de 5 nudos, y viceversa, mientras la velocidad actual se presenta dentro de un cuadro de fondo negro. Tiene la ventaja de que la computadora calcula la TAS y la despliega en un cuadro de fondo negro en la parte inferior de la cinta.

En la parte interior de la cinta al costado derecho se presenta el código de colores, blanco, verde, etc., al igual que en el análogo. Cuando la aeronave se acerca a la VNE el color de los números cambia a rojo para alertar al piloto. Así mismo se puede programar para que se desplieguen las velocidades de referencia, V1, VR, etc, dependiendo obviamente, de la aeronave, de manera que el piloto se mantenga alerta.

Indicador de actitud. Obtiene la información de un sistema de referencia tipo AHRS. Su presentación es idéntica al análogo, pero con una ventaja visible, y es que en la pantalla es mucho más grande, puesto que abarca todo el ancho de esta. De esta manera, se obtienen mejores referencias en todas las etapas del vuelo.

Altimetro. Funciona de la misma manera que la cinta de velocidad, pero se ubica al costado derecho de la pantalla. El incremento en la altitud se presenta en intervalos de 20 pies.

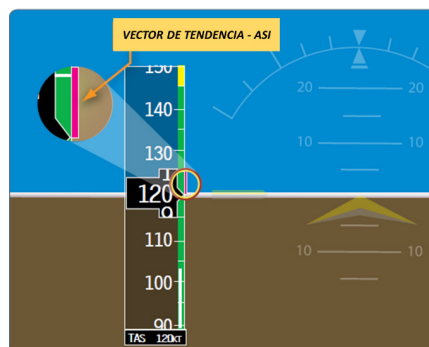
Indicador de velocidad vertical. Se ubica a la derecha del altímetro en forma de cinta o un arco que tiene un indicador para leer la velocidad vertical en pies por minuto.

Indicador de rumbos. La información le es transmitida desde el magnetómetro con un sistema de referencia tipo AHRS, por lo general tiene la presentación de un HSI con sus mismas funciones, integradas las indicaciones de navegación. El rumbo actual se despliega en un cuadro de fondo negro.

Indicador de viraje. Este es tal vez el que mayor variación tiene respecto al instrumento análogo, se representa por una barra que se desplaza a la derecha o izquierda bajo un triángulo que sirve de línea de fe en el indicador de rumbos. En la parte superior de la caratula de rumbos se encuentran las líneas que representan si el viraje es estándar o a medio régimen estándar, un vector de tendencia se desplaza hacia el lado del viraje para indicar el régimen de viraje según como se encuentre con relación a las marcas.

Inclinómetro. El indicador de derrape y resbalamiento también varía con relación al instrumento análogo, se encuentra debajo del puntero de banqueo en el

Figura 63. Vectores de tendencia



Fuente: FAA, 2016. Adaptado por
Escobar, 2022.



Capítulo 1.

Manual básico de instrumentos

indicador de actitud, funciona de manera idéntica a la bola del análogo, de manera que, si se mantiene alineado el triángulo con la barra, el vuelo se está haciendo de forma coordinada. Tanto el inclinómetro como el indicador de viraje toman la información de acelerómetros en un sistema de referencia tipo AHRS.

Tacómetro de R.P.M. Este es el único instrumento considerado dentro del conocido six pack como fundamental para el control de la aeronave y que no se encuentra dentro de la pantalla primaria. Usualmente se lo encuentra en la pantalla multifunción.

Vectores de tendencia Su función es facilitar al piloto una proyección de la posición de la aeronave en 6 segundos, es decir, donde va a estar la aeronave dentro de ese tiempo. Se representan con unas líneas de color magenta que se despliegan junto al altímetro, velocímetro e indicador de viraje.

Pantalla multifunción (*Multi-Function Display*) – MFD

Por lo general la pantalla multifunción es un modelo idéntico a la PFD, estas se pueden intercambiar o se puede proyectar la misma información en las dos. Además de servir como respaldo en caso de que alguna falle.

Figura 64. Pantalla multifunción



Nota. Observe que la información del motor como presión de aceite, flujo y cantidad de combustible y revoluciones por minuto se despliegan junto con un mapa en esta MFD.

Fuente: FAA, 2018.



Es en este caso donde las pantallas ofrecen características únicas, como la posibilidad de tener un mapa en movimiento, información meteorológica, cartas de navegación, sistemas de advertencia de colisión contra el terreno u otras aeronaves, o la combinación de estas, ofrecen al piloto un sinnúmero de información para gestionar el vuelo y mantener la alerta situacional alta. La interfaz dependerá de la tecnología adquirida y de cada fabricante, las hay incluso táctiles, las posibilidades son ilimitadas.

Típicamente una falla en el sistema de instrumentos electrónicos se representará por la aparición de una X de color rojo sobre, o en lugar del instrumento asociado. Así pues, por ejemplo, si aparece sobre el velocímetro, indicará una falla en la ADC, o si aparece en el indicador de actitud, indicará una falla en el AHRS. Una de las cualidades del piloto es que debe conocer a profundidad el funcionamiento de su aeronave y así poder determinar la fuente de la falla rápidamente, esto le dará mejor margen de maniobra en caso de presentar una emergencia. (FAA, 2009, pp. 2-4)

Sistemas de seguridad en vuelo

Existen diversos sistemas cuya función es elevar la seguridad de vuelo, no son pocos los esfuerzos científicos y tecnológicos que tienen este propósito. Resultaría imposible describir todos los sistemas existentes en el mundo puesto que día a día se presentan más innovaciones.

Radio altímetros

Comúnmente se le conoce también como altímetro de radar o radar altímetro, su función es medir y mostrar con precisión la altura sobre el terreno directamente debajo de la aeronave. Lo hace mediante la emisión de “una señal a bordo de 4.3 GHz modulada a 50 MHz”, (FAA, 2018, Pág. 11-62) directamente bajo la aeronave. Esta rebota contra la superficie y regresa para ser captada por una segunda antena, el equipo se encarga de medir el tiempo transcurrido y calcula la altura sobre el terreno (AGL).

En la actualidad, el altímetro de radar proporciona la indicación principal de altura de decisión en aproximaciones de precisión, siendo requeridos para CAT II y CAT III. También proporciona su información a otros sistemas de a bordo, como el piloto automático mientras están en el modo de captura de la senda de planeo por debajo de los 200 o 300 pies sobre el nivel del suelo (AGL) y al sistema de alerta de proximidad del terreno (GPWS).

Un sistema típico consiste en una unidad receptor-transmisor (RT), antena(s) para recibir y transmitir la señal, y un indicador. Incorporan una perilla que sirve para seleccionar una altitud que sirva de alerta, bien sea visual o auditiva, cuando se alcance en el descenso, por ejemplo, la altura de decisión (DH) en aproximaciones CAT II. En el caso de los EFIS, se presentará en la pantalla un número con un cambio de color indicando esto mismo.

Sistemas de asesoramiento de tráfico

El control y la organización del tráfico aéreo es una de las prioridades en la industria de la aviación que busca elevar la seguridad operacional. Estos sistemas buscan reducir los riesgos de colisiones en vuelo en un espacio aéreo cada vez más congestionado.

Figura 65. Radar altímetro

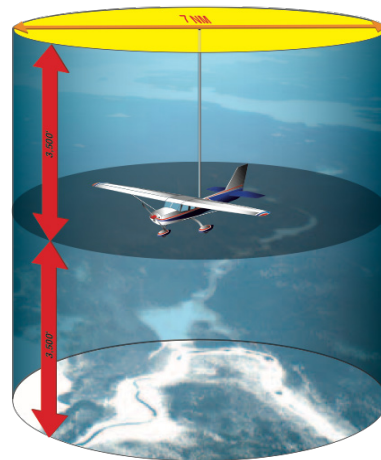


Fuente: Aeroexpo.online, s.f. Adaptado por Escobar, 2022.

Sistema de información de tráfico (TIS) es un servicio basado en ayudas terrestres que proporciona información en la cabina mediante un enlace de datos que utiliza el transpondedor en modo S y el altímetro codificado. Mediante una estación en tierra se capta la señal del transponder, que trae la altitud codificada, se procesa y se envía a las aeronaves. Presenta la información en una pantalla, de manera que el piloto tenga una idea de la posición del tráfico cercano, así mismo su altitud, dirección y la tendencia de ascenso o descenso, siempre y cuando tengan transpondedor y se encuentren dentro de un cilindro imaginario de 7 Nm de radio y 3500 pies arriba o debajo de la aeronave.

Estos datos pueden ser mostrados en una variedad de MFD, por lo que recomienda familiarizarse con las capacidades de su aeronave.

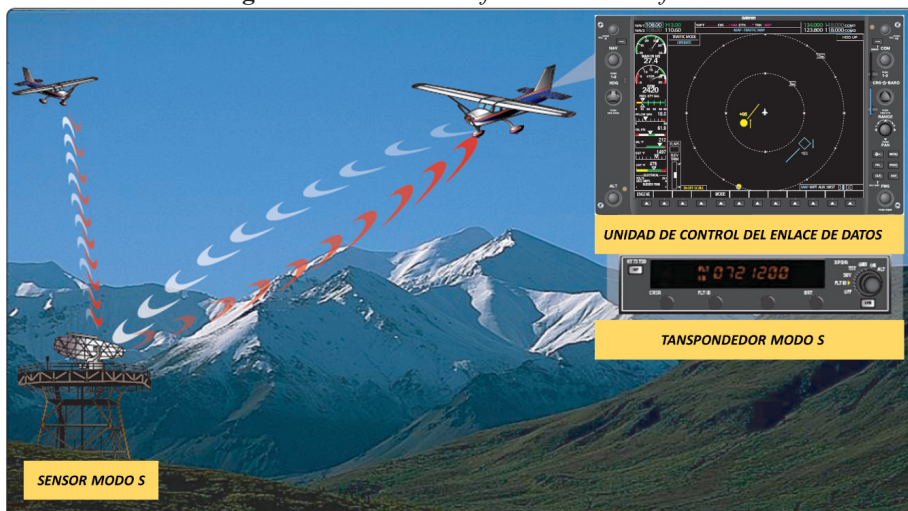
Figura 66. Cobertura del sistema de información de tráfico



Fuente: FAA, 2012.



Figura 67. Sistema de información de tráfico



Nota. Un Sistema de información de tráfico donde una antena terrestre capta la señal del transpondedor modo S de las 2 aeronaves y envía por enlace de datos la información del tráfico para alerta del piloto. Fuente: FAA, 2012. Adaptado por Escobar, 2022.

Sistema de alerta de tráfico. Su función es básicamente la misma del TIS, la diferencia radica en que este sistema no funciona con una estación terrena. Este toma la información del transpondedor del tráfico cercano y mediante algoritmos determina su posición relativa respecto a la otra aeronave. Existen muchas marcas y modelos que se han convertido en una opción más económica que el TCAS para aeronaves livianas o ultralivianas.

Figura 68. Sistema de alerta de tráfico



Fuente: FAA, 2012.



Sistemas de alerta de tráfico y evasión de colisiones (TCAS). El TCAS es un sistema aerotransportado desarrollado por la FAA que opera independientemente del sistema ATC basado en tierra. El TCAS fue diseñado para aumentar la conciencia de la cubierta de vuelo de las aeronaves cercanas y para servir como “última línea de defensa” para la prevención de colisiones en el aire. (FAA, 2012. pp. 5-30)

Este sistema se basa en los sistemas de monitoreo y alerta aire – aire, de manera que usa el transpondedor de las aeronaves y el altímetro codificado. Hay dos niveles de sistemas TCAS. El TCAS I que emite avisos de tráfico (TA) para ayudar a los pilotos en la adquisición visual de aeronaves intrusas, también proporciona el rumbo aproximado y la altitud relativa de las aeronaves dentro de un rango seleccionable. Cuando detecta un tráfico potencialmente peligroso, emite un TA para advertir al piloto, sabiendo la posición y altitud aproximadas se facilita el escaneo para ubicar visualmente el tráfico y tomar la acción evasiva que se considere oportuna.

El TCAS II es un sistema más sofisticado, proporciona la misma información que el TCAS I, pero, también analiza la trayectoria de vuelo proyectada de las aeronaves que se aproximan y emite avisos de resolución (RA) al piloto que debe cumplir para resolver posibles colisiones en el aire. Además, si se comunican con otra aeronave equipada con el TCAS II, los dos sistemas coordinan las alertas de resolución proporcionadas a sus respectivas tripulaciones de vuelo.

Las MFD pueden integrarse con el TCAS de manera que en una sola pantalla se cuente con la información de navegación y de alerta de tráfico reduciendo las cargas de trabajo en cabina.

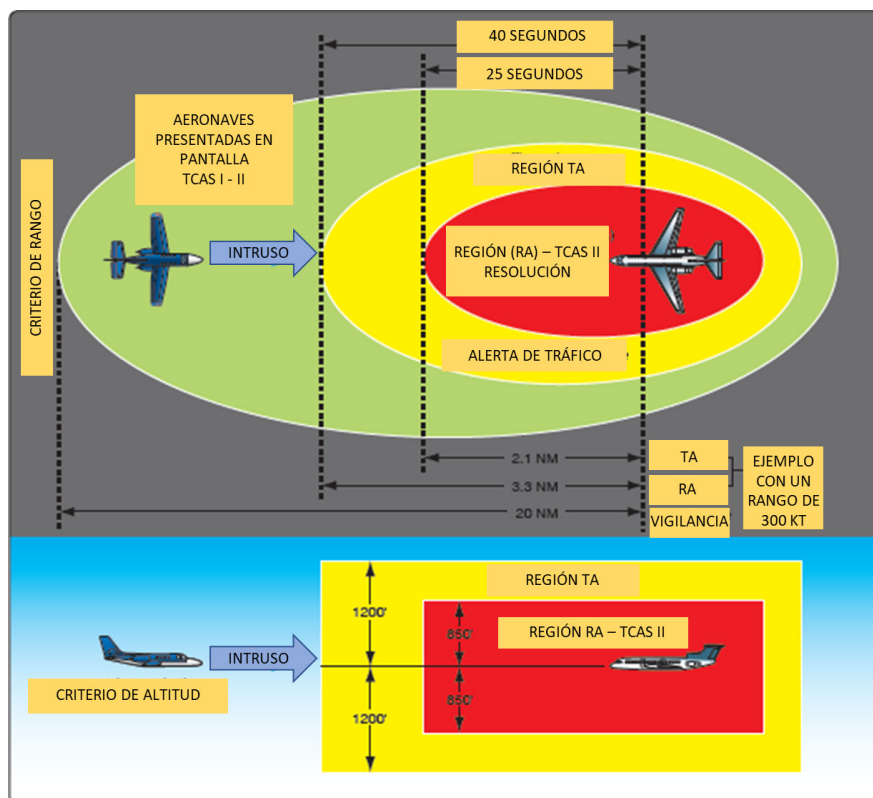
Figura 69. TCAS



Fuente: FAA, 2012.



Figura 70. Criterios de adquisición sistema TCAS I - II



Nota. Criterios de altitud y distancia de adquisición del sistema TCAS I y II para un ejemplo de una aeronave a 300 nudos. Tenga en cuenta que el sistema tiene un rango entre 35 y 40 Nm según el equipo y la configuración. Fuente: FAA, 2018. Adaptado por Escobar, 2022.

Sistemas de alerta de terreno

Son muchos los factores que pueden llevar a una aeronave a impactar contra el terreno no inadvertidamente, aunque se mantenga una alerta situacional alta por parte de la tripulación, este evento no es descartable y por eso se han creado sistemas que alertan a los pilotos con señales visuales, auditivas o una combinación de ambas que pueden salvar vidas.

Sistema de alerta de proximidad del terreno (Ground Proximity Warning System) – GPWS. Este sistema utiliza la información del radio altímetro, la velocidad y la altitud barométrica para, mediante algoritmos, determinar la posición de la aeronave con respecto al terreno y, de esta manera, emitir alertas cuando no se garantiza el franqueamiento de obstáculos. Sus desventajas son que los algoritmos son creados para un modelo de aeronave en específico y que, en áreas montañosas, como Colombia, se hacen muy poco efectivos al no tener la capacidad de predecir un cambio abrupto en el terreno.



Sistema de conciencia y alerta de terreno (Terrain Awareness and Warning System) – TAWS. Esta es la evolución del GPWS por decirlo de alguna manera, su principio de basa en el uso del sistema de posición satelital y una base de datos detallada, que, desde luego, se debe mantener actualizada. Al utilizar una base de datos tiene la facilidad de predecir el terreno y no verse afectado por el rendimiento de la aeronave. Al igual que el GPWS emite alertas para prevenir al piloto sobre la proximidad del terreno que pueden ser tanto visuales como auditivas.

Muchos dispositivos portátiles de posicionamiento satelital cuentan con características y una presentación en pantalla muy similares, pero no se deben confundir con este sistema, se recomienda que consulte con el fabricante o el manual del usuario para asegurarse que tiene certificación y puede usarlo como TAWS.

Utiliza un código de colores donde se le indica al piloto en color rojo cuando hay terreno por encima de su altitud actual. Amarillo cuando se encuentra a menos de 1000 pies sobre el terreno, 500 pies en algunas partes y 250 pies en aproximaciones. Y verde cuando está fuera de las condiciones anteriores. (Universal Avionics System Corporation, 2017)

La presentación en la pantalla dependerá del equipo que se esté utilizando, el nivel de integración y la tecnología disponible, existen equipos con presentación 3D o vista de perfil, por ejemplo.

Transpondedor

Conocido también como transponder, este hace posible identificar una aeronave y determinar su posición en la pantalla radar del ATC. Al igual que la altitud barométrica cuando la aeronave se encuentra equipada con un altímetro codificado.

Una de las primeras instrucciones que recibe el piloto del ATC. Es que coloque un código transponder. Básicamente la estación del radar emite una señal primaria en todas las direcciones en la banda de frecuencias del UHF o SHF, esta señal rebota cuando encuentra una aeronave y regresa permitiendo calcular la distancia y la dirección de la aeronave en el receptor. De esta manera el controlador se pueda hacer una imagen bidimensional del punto donde se encuentra la aeronave, usualmente llamado “fix”. Esta señal primaria permite la identificación de trazas de radar.

Una segunda señal secundaria (SSR) se emite en 1030 MHz y el equipo abordó contesta en 1090 MHz, emitiendo el código único que el piloto ajustó por indicación del control de tránsito.

También se tiene la posibilidad de identificar la aeronave a solicitud del control de tránsito, cuando sea necesario, el piloto puede oprimir el botón IDENT en el equipo y el símbolo que representa la aeronave en la pantalla radar se iluminará.

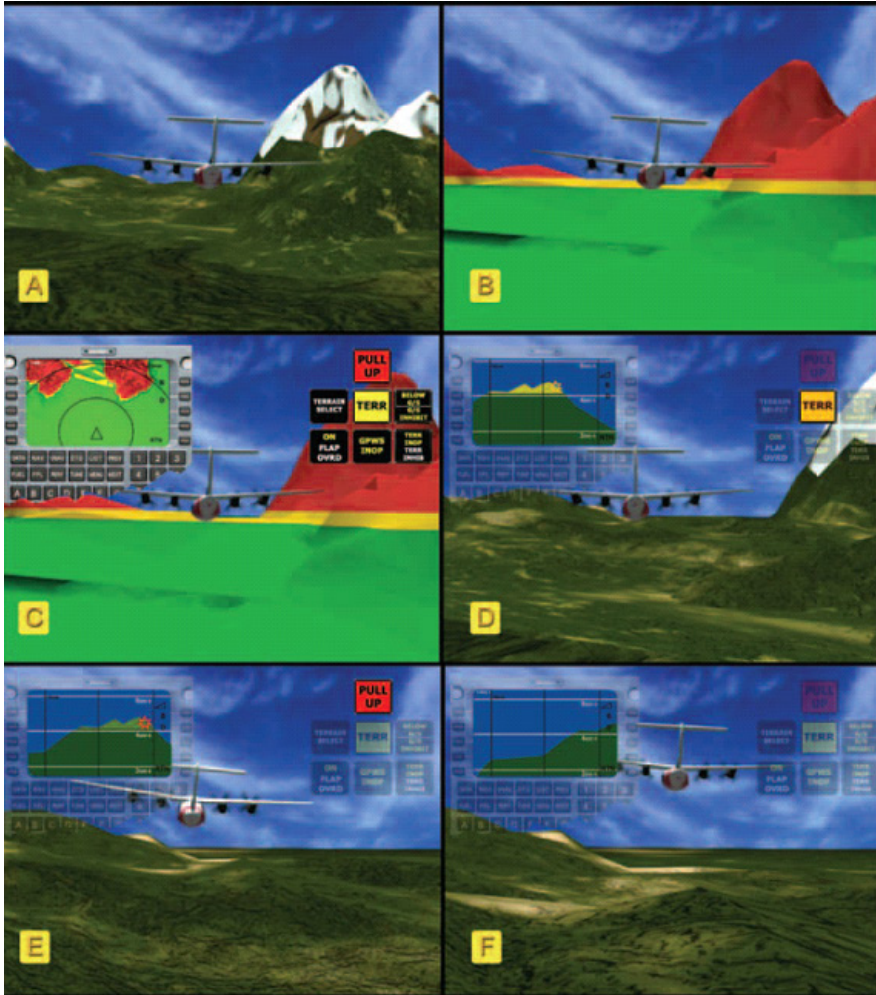
El modo C, hace referencia a que el transponder emita el código asignado con la información de altitud obtenida de una altímetro codificado, esto es importante para garantizar la seguridad en la operación de vuelo por instrumentos.



Conocimientos aeronáuticos para el Piloto Militar.
Instructivo operacional de la Escuela Militar de Aviación
“Marco Fidel Suárez” - Volumen III

El modo S, se creó con el ánimo de incrementar la seguridad asignándole un único código propio de cada aeronave, de esta manera se elimina la posibilidad de que dos aeronaves tengan el mismo código por error de los pilotos o cualquier otro factor.

Figura 71. Sistema de conciencia y alerta de terreno - TAWS



Nota. El sistema TAWS funciona basándose en el tiempo de una colisión en potencia por encima de la distancia. En la figura el TAWS se representa en una ventana en la esquina superior izquierda. (A). Representación de una aeronave en relación con el terreno circundante. (B). La misma situación representada en el código de colores del TAWS. (C). Representación de la pantalla del TAWS equiparándolo con el terreno circundante. (D). Precaución de terreno (color amarillo). (E). Alerta de terreno auditiva y visual de color rojo (pull up). (F). Superada la alerta por el ascenso del piloto, ya no se presenta riesgo. Fuente: FAA, 2012.

Figura 72. Transpondedor



Fuente: FAA, 2018.

ADS-B automatic dependent surveillance broadcast

El uso generalizado de sistema global de navegación satelital – GNSS ha permitido introducir tecnologías como el ADS-B. Este funciona con la señal del sistema de posicionamiento satelital abordo, tomando la información de posición y combinándola con información del estado del vuelo como altitud, velocidad y tiempo, para compartirla con otras aeronaves con igual equipamiento y con estaciones en tierra. Esta información es compartida entre las estaciones vía enlace de datos, de esta manera se mantiene la comunicación constante con todas las aeronaves, para facilitar el control de tránsito.

Son muchas las ventajas del ADS-B sobre los sistemas de anticollisión y el radar de vigilancia convencional. Primero, al funcionar con el sistema satelital tiene cubrimiento de prácticamente todo el espacio aéreo a un precio menor, puesto que los radares existentes requieren de mayor mantenimiento. Permite compartir mucha más información que con el transponder y la precisión en la posición es mucho mayor, esto permite aumentar el tráfico aéreo. Al permitir un mejor control de tránsito, facilita la creación de rutas para reducir tiempos de vuelo, tiempos de espera y emisiones a la atmósfera. Inclusive ofrece facilidades para evitar colisiones en la pista por incursiones y control de vehículos de apoyo. (FAA, 2018, pp. 11-61)

Radar Meteorológico

Su funcionamiento es muy similar al radar primario de ATC, con la salvedad que se reciben las ondas de radio que rebotan en precipitaciones y no en aeronaves. Muchos pilotos se confunden y creen que son nubes los reflejos recibidos por el radar, las nubes no reflejan las ondas de radio.

La antena se encuentra en un cono de un material no metálico y esta emite ondas de radio en la banda SHF, lo que lo hace dañino para el ser humano, nunca opere el radar meteorológico en hangares o sitios donde haya personal que pueda ser afectado.

Entre más densa la precipitación, la señal será más reflejada. De manera que, en la pantalla abordo se podrá hacer una imagen de la meteorología delante de la aeronave según el rango que haya determinado. Rojo significa que la precipitación es fuerte, amarillo es moderada y verde es suave, por su parte el color magenta significará precipitación severa o turbulencia y el blanco presencia de hielo, estos deben ser evitados.



Por otra parte, se encuentra el gradiente, si los cambios de color ocurren de manera progresiva, se puede interpretar como una formación menos activa, por el contrario, si el cambio es abrupto, es decir pasa rápidamente de verde a magenta, sin haber casi espacio entre ellos, se interpreta como una precipitación muy activa y con alta probabilidad de turbulencia, desde luego, esto se debe evitar.

La presentación puede variar según el diseño y la aeronave en específico, existen radares que tienen una pantalla exclusiva para presentar la información meteorológica, pero también se pueden integrar con otros equipos, se sugiere que se familiarice con la aviónica de su aeronave.

Al igual que la presentación, la fuente de información también puede variar, algunas veces se obtiene por una antena abordo, otras veces por medio de señal satelital de enlace de datos o una combinación de ambas.

Figura 73. Radar meteorológico



Nota. Imagen de un radar meteorológico con una pantalla exclusiva y una con integración al MFD. Fuente: FAA, 2018.

FUNDAMENTOS DE VUELO POR INSTRUMENTOS

El vuelo por instrumentos se define como el control de la posición espacial de una aeronave utilizando instrumentos en lugar de referencias visuales externas. Las aeronaves están equipadas con instrumentos analógicos, digitales, mecánicos, electrónicos o una combinación de instrumentos. La interpretación correcta de los instrumentos de la aeronave en vuelo instrumental proporciona esencialmente la misma información que las referencias visuales externas cuando se encuentra en vuelo visual. Los instrumentos de la aeronave se dividen en tres categorías amplias: control, comportamiento y navegación. (U.S. Air Force, 2019, p. 24)

Leyes de los instrumentos

A pesar de que se pueden presentar variaciones significativas entre diferentes cabinas según el modelo de la aeronave, incluso dentro del mismo modelo se pueden presentar diferencias, tal es el caso de las llamadas series, que son aeronaves del mismo modelo, pero con algunas variantes de motores o aviónica, entre otros. Por ejemplo, Air Bus



320 series o Bell 206 series. Los fabricantes y encargados de diseño y eficacia de los instrumentos en cabina deben regirse por unas normas que garanticen un mínimo de estandarización.

Ley Suprema

Los instrumentos básicos de vuelo siempre deben estar presentes y deben proporcionar la información de actitud, altitud y velocidad en todo momento; Así mismo deben ofrecer la facilidad de reconocer la actitud de la aeronave de forma inmediata; al igual que la recuperación de actitudes irregulares y proporcionar indicaciones completas de fallas.

Ley del Orden

Los instrumentos que soportan la ley suprema deben conservar un orden y organización, de manera que permitan hacer un chequeo cruzado con naturalidad. Por ejemplo, que no exijan movimientos de cabeza de gran magnitud puesto que en condiciones de baja visibilidad puede generar desorientación.

Ley de los Estándares

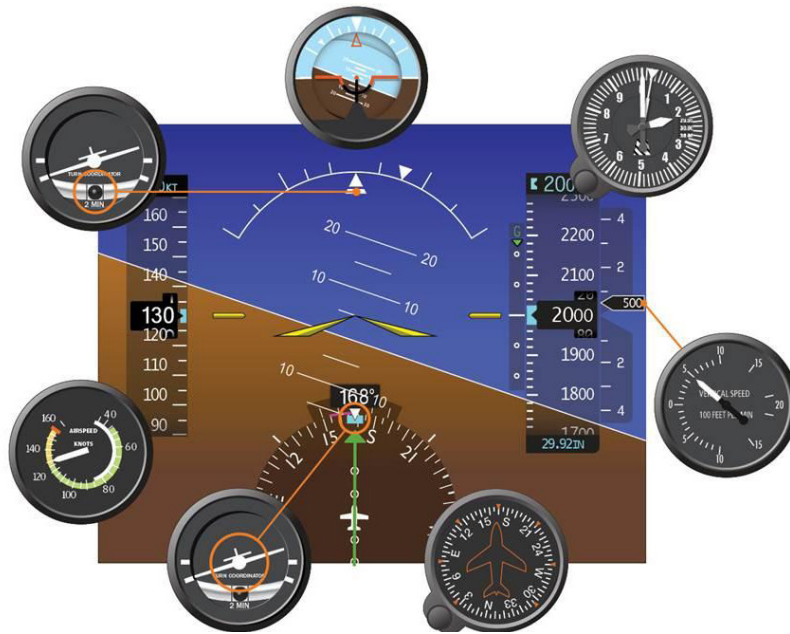
Se debe conservar una estandarización en lo que, a terminología, simbología, mecanización y organización se refiere. Esto no implica su efectividad por si sola, se necesita del concurso del piloto de estar consciente de la actitud en todo momento.

Dentro de los instrumentos básicos para una operación IFR están incluidos el indicador de actitud, altímetro, velocímetro, indicador de velocidad vertical (variómetro), indicador de viraje y resbalamiento y un indicador de dirección, bien sea giroscópico, magnético, etc. Este conjunto es el popularmente conocido como el “six pack”. Ahora bien, estos deben ir complementados con muchos otros y que se deben usar coordinadamente, como los instrumentos de navegación, potencia, etc.

Por supuesto el uso de pantallas digitales EFIS ha facilitado la comprobación cruzada de los instrumentos y simplificado su orden y estandarización.

Figura 74. Instrumentos del six pack





Nota. El six pack (imagen superior) conservando las leyes de los instrumentos – PFD (imagen inferior) y su equivalente con el six pack. Fuente: FAA, 2018.

Instrumentos de control

El control de la aeronave hace referencia a la actitud y la potencia con que vuela, es decir, si necesita hacer un viraje a la izquierda debe cambiar la actitud de la aeronave, en este caso inclinar los planos y por lo tanto aplicar potencia, debido a que se reduce la sustentación. Estos instrumentos muestran cambios inmediatos y están calibrados para permitir hacer ajustes precisos.

- El indicador de actitud indica la orientación de una aeronave con relación al horizonte de la tierra en sus ejes de banqueo y cabeceo.
- Los indicadores de potencia varían entre los aviones; pueden incluir presión de admisión, tacómetros, flujo de combustible, relación de compresión del motor, etc.
- Por su parte, el coordinador de virajes se podría considerar como instrumento de control, toda vez que brinda indicación de inclinación alar hasta cierta medida, como ya se estableció en apartados anteriores.

Figura 75. Instrumentos de control



Fuente: FAA, 2012. Adaptado por Escobar, 2022.

Instrumentos de comportamiento

Como respuesta a una actitud ajustada en la aeronave, se generará un comportamiento, es decir, siguiendo con el ejemplo anterior, al inclinar los planos para hacer el viraje, la respuesta de la aeronave será desplazarse de su curso original, ese comportamiento es el que permiten identificar los instrumentos como el altímetro, el velocímetro, el indicador de velocidad vertical, el indicador de rumbo, el indicador de viraje y resbalamiento (palo y bola) y el indicador de ángulo de ataque. La medida de la respuesta en el comportamiento será proporcional al cambio en la actitud.

Figura 76. Instrumentos de comportamiento



Nota. El coordinador de viraje se considera como instrumento de comportamiento también, toda vez que indica si el viraje es coordinado y estándar. Si bien el indicador de rumbos es considerado también un instrumento de navegación, su indicación positiva de un viraje permite ubicarlo en los de comportamiento. Fuente: FAA, 2012. Adaptado por Escobar, 2022.

Instrumentos de navegación

Los instrumentos de navegación indican la posición de la aeronave en relación con una instalación de navegación, un fijo o un punto de ruta seleccionado. Este grupo de instrumentos incluye varios indicadores de curso, indicadores de distancia, indicadores de senda de planeo e indicadores de rumbo. Estos instrumentos también permiten

al piloto maniobrar un avión a lo largo de una ruta predeterminada en dos o tres dimensiones en relación con las instalaciones de navegación basadas en tierra o en el espacio. (U.S. Air Force, 2019, p. 25)

Figura 77. *Instrumentos de navegación*



Fuente: FAA, 2012. Adaptado por Escobar, 2022.

Concepto de control y comportamiento

El concepto de control y comportamiento se basa en los instrumentos de control, ya cubiertos, y el efecto que estos causan en el comportamiento de la aeronave. Es decir, realizar ajustes en la actitud y potencia de la aeronave con el fin de producir un comportamiento deseado, tanto en los instrumentos de comportamiento, como en la navegación. Por ejemplo, para lograr que la aeronave mantenga un vuelo controlado y estable se debe ajustar una actitud y un régimen de potencia precisos.

El método de control y comportamiento es un procedimiento de cuatro pasos:

- Establecer una configuración de actitud y potencia en los instrumentos de control que resulte en el comportamiento deseado.
- Compensar la aeronave hasta que las presiones de control se neutralicen. Esto es esencial para un control suave y preciso de la aeronave, además de reducir las cargas de trabajo del piloto para atender otras tareas de la cabina de vuelo con una desviación mínima de la altitud deseada.
- Verificar con chequeo cruzado los instrumentos de comportamiento para determinar si la configuración de actitud o potencia establecida proporciona el comportamiento deseado. El chequeo cruzado implica tanto ver cómo interpretar. Determinar la magnitud y la dirección del ajuste requerido para lograr el comportamiento deseado si se observa una desviación.

- Ajustar la actitud, la configuración de potencia o ambos en los instrumentos de control según sea necesario.

Control de actitud

El control de la actitud está directamente ligado al uso del indicador de actitud, puesto que este, como ya se estableció, brinda una lectura directa e inmediata de cualquier cambio con respecto al horizonte natural, bien sea en cabeceo o banqueo.

Es absolutamente necesario el estudio de la ruta completa, para poder determinar claramente el dónde y en que magnitud se debe cambiar la actitud, esto con el fin de que el movimiento de los controles sea preciso, coordinado y suave, sin mencionar que se reducirán las cargas de trabajo, resultando en una vuelo más eficiente y seguro.

Actitud de cabeceo (Pitch). Los cambios en el cabeceo responden a movimientos de los controles de vuelo que manejan los elevadores, estos generan una rotación sobre el eje lateral de la aeronave y se miden en grados. Dependiendo del tipo de instrumento, también se pueden medir en anchos de barra. Estos cambios en la actitud de la aeronave se verán reflejados en el indicador de actitud con una indicación de nariz a arriba o abajo, según sea el caso. Tenga en cuenta que la magnitud del comportamiento deseado debe corresponder con la magnitud del cambio en el indicador de actitud, por lo tanto, el resultado dependerá en gran medida de sus cálculos previos.

Los instrumentos que están directamente ligados con un cambio en el cabeceo y que le pueden ayudar a identificar alguna desviación en este sentido son: el indicador de actitud, el altímetro, el indicador de velocidad vertical y el velocímetro. Por ejemplo, si se ajusta una actitud de ascenso con 5° de cabeceo en indicador de actitud, el altímetro deberá indicar ascenso, el indicador de velocidad vertical también y el velocímetro una disminución si no se ha ajustado la potencia. De mantener esa actitud, la velocidad podría llegar hasta cero o velocidad de pérdida, generando entonces una pérdida de altitud y una indicación de descenso abrupto en el indicador de velocidad vertical.

Figura 78. Instrumentos de indicación directa e indirecta de cabeceo



Fuente: FAA, 2012.

Actitud de banqueo o inclinación alar. Al hacer movimientos en los controles que involucren los alerones la aeronave, se va a generar una rotación sobre el eje longitudinal de la aeronave, ocasionando un viraje. Es muy importante que esos cambios sean suaves y precisos, por lo que el indicador de actitud le permite medir los grados de banqueo mediante la escala en el indicador de actitud, esta se gradúa de 0 grados, 10 grados, 20 grados, 30 grados, 60 grados y 90 grados y puede ubicarse en la parte superior o inferior del instrumento. Normalmente para operaciones de vuelo IFR no se exceden los 30° de banqueo.

Los instrumentos que están directamente ligados con el banqueo y que le pueden ayudar a detectar alguna desviación de la actitud sobre este respecto son: el indicador de actitud, el indicador de rumbos, la brújula magnética y el indicador de viraje y resbalamiento. Sin embargo, tenga presente que un cambio en la actitud respecto al banqueo afectará el equilibrio en las fuerzas actuando sobre la aeronave, por ejemplo, al inclinar el plano, la sustentación en la componente vertical de reducirá, por lo tanto, la aeronave tenderá a perder altitud, esto obligará a llevar los controles atrás para que los elevadores contrarresten esta tendencia y si no se aplica la potencia correspondiente resultará en una disminución de la velocidad.

Figura 79. Instrumentos de indicación directa e indirecta de banqueo



Fuente: FAA, 2012.

Control de potencia. Este es el resultado de establecer o mantener suavemente la velocidad aérea deseada en coordinación con los cambios de actitud. Los cambios de potencia se realizan mediante ajustes del acelerador referenciados por los indicadores de potencia. Los indicadores de potencia no se ven afectados por factores como la turbulencia o la compensación incorrecta. El conocimiento de su aeronave le permitirá determinar aproximadamente a qué distancia debe mover el (los) acelerador (es) para cambiar la potencia en una cantidad adecuada. Esto es de suma importancia puesto que reducirá sus cargas de trabajo permitiéndole realizar ajustes muy sutiles después de hacer una comprobación cruzada, resultando en una mejor desempeño y seguridad, al evitar fijaciones o sobre control, dándole relevancia al proceso de preparación del vuelo.

Los instrumentos directamente ligados con un cambio de potencia, suponiendo la aeronave en vuelo recto y nivelado son: el velocímetro e instrumentos de motor asociados, por ejemplo, manifold, R.P.M., torque, temperatura, etc., dependiendo de la aeronave.

Compensación

Una aeronave se compensa correctamente cuando mantiene una actitud deseada con todas las presiones de control neutralizadas. Un piloto puede dedicar más atención a los instrumentos de navegación y a las tareas adicionales de la cabina de vuelo cuando la aeronave está correctamente compensada.

Figura 80. Control de la potencia

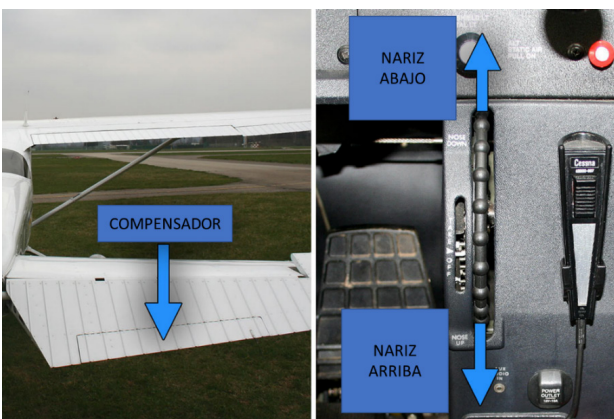


Fuente: FAA, 2012.

Una aeronave mal compensada requiere control de presiones constantes, produce tensión y fatiga, distrae la atención de los chequeos cruzados y contribuye a un control de actitud abrupto o anormal.

La compensación será diferente si es en aeronaves de ala fija o en helicópteros, así mismo, los controles varían según la aeronave, unos son mecánicos, otros eléctricos, etc. lo que es invariable es que es uno de los factores más importantes para que el vuelo sea seguro, eficiente y placentero. Se debe tener presente que cualquier cambio de actitud, potencia o velocidad, es muy probable que requiera un nuevo ajuste de compensación, al igual que tratar de establecer una actitud mediante el uso del compensador únicamente, resultará en un control errático y en aumento de las cargas de trabajo.

Figura 81. Compensador en los elevadores



Nota. En el ejemplo el compensador es del elevador y mecánico tipo rueda, sin embargo, los hay para alerones y timón de dirección (Rudder). Fuente: boldmethod.com, 2015. Adaptado por Escobar, 2022.

Habilidades esenciales

Todo piloto debe desarrollar dos habilidades fundamentales para poder mantener un control efectivo de la aeronave en la operación de vuelo IFR. El chequeo cruzado de los instrumentos y la correcta interpretación de estos. Estas deben usarse y desarrollarse coordinadamente como un solo conjunto, un excelente chequeo cruzado acompañado de una interpretación deficiente, y viceversa, puede resultar en comprometer la seguridad del vuelo o un accidente.

Chequeo cruzado

El chequeo cruzado es la observación lógica y continua de los instrumentos para la actitud, el comportamiento y la información de navegación (FAA, 2019, p. 27). Esto se convierte en un requisito para el vuelo por instrumentos y no existe un método que se recomiende y asegure el éxito en desarrollar esta habilidad, por eso se debe tener pleno conocimiento del funcionamiento de los instrumentos, sus fuentes de alimentación y la dinámica de su funcionamiento. Como ya se estableció, la actitud de la aeronave debe ser monitoreada constantemente y verificar los resultados en el rendimiento y la navegación de cualquier cambio.

La atención debe estar eficientemente dividida de forma que se pueda cubrir la totalidad de los instrumentos, determinando la actitud exacta de la aeronave, a diferencia del vuelo visual que se esta se determina por medio de referencias externas.

Como lo podrá suponer, es imposible ajustar una sola actitud y esperar que el comportamiento sea constante durante todo el vuelo, debido a que las aeronaves tienen diferentes comportamientos según las condiciones atmosféricas, por lo tanto, el chequeo cruzado se debe ejecutar de manera permanente mientras dure la operación de vuelo IFR.

Como ya se mencionó, no existe un método único e infalible para desarrollar esta habilidad, sin embargo, se pueden identificar varias técnicas que pueden ser útiles para el piloto, es recomendable ponerlas en práctica con el uso de simuladores de vuelo e identificar con cuál de ellas tiene más proeficiencia.

El método “centro y periferia”. Un piloto gasta entre el 80 y el 90 por ciento del tiempo de vuelo mirando el indicador de actitud, (es decir, el “centro”) y observa rápidamente los otros instrumentos (es decir, la “periferia”). En general, el chequeo cruzado progresa desde el indicador de actitud, hacia otro instrumento, de vuelta a este y luego nuevamente hacia afuera.

Método de “v” invertida. Consiste en movimiento de los ojos desde el indicador de actitud hacia abajo al indicador o coordinador de viraje, posteriormente arriba al indicador de actitud, abajo giro compás y nuevamente al indicador de actitud. Esto no significa que solamente se observen estos.

Método de chequeo rectangular. Consiste en la revisión de los tres instrumentos superiores (velocímetro, indicador de actitud y altímetro) y bajar a revisar los tres inferiores (variómetro, RMI o HSI e indicador de rumbo) para posteriormente, volver a subir, describiendo un rectángulo cuya orientación, a favor o en contra de las manecillas del reloj, dependerá de cada piloto.

Capítulo 1.

Manual básico de instrumentos

Este tipo de chequeo cruzado da igual cantidad de tiempo a todos los instrumentos sin importar la maniobra que se esté realizando.

Figura 82. Chequeo cruzado - método centro y periferia



Fuente: FAA, 2012.

Figura 83. Chequeo cruzado - método V invertida



Fuente: FAA, 2012.

Figura 84. Chequeo cruzado - método rectangular



Fuente: FAA, 2012.

Errores comunes del chequeo cruzado. Desde luego la familiarización con el funcionamiento de los instrumentos y la experiencia son factores que influyen en el chequeo cruzado, saber qué y cuando buscar, además de identificar las correcciones apropiadas. Un piloto con vacíos en estos conocimientos puede significar en un chequeo cruzado demasiado rápido mirando los instrumentos sin saber exactamente qué buscar.

La fijación, o dedicar toda la atención a un solo instrumento, se presenta con frecuencia y es peligroso. Por ejemplo, al hacer un viraje de 90° a la derecha, primero ajusta la actitud con 30° de banqueo, el piloto tiende entonces a fijar su atención en el indicador de rumbos para sacar los planos a nivel en el momento indicado, desconociendo que el viraje estándar durará 30 segundos, y descuida los demás instrumentos. Como resultado puede encontrarse que se habrá ejercido una tensión inconsciente en los controles y la altitud se incrementó 200 – 300 pies y por lo tanto la velocidad disminuyó notoriamente.

La omisión, esta no solo se refiere a omitir la observación de un instrumento durante el chequeo cruzado. Puede ser causada por el hecho de no anticipar indicaciones significativas del instrumento después de un cambio de actitud. Por ejemplo, al sacar planos a nivel después de virajes escarpados de 180° de recorrido, el piloto tiene la tendencia a ajustar la actitud de la aeronave únicamente basándose en el indicador de actitud y no hace una verificación constante del indicador de rumbos. Debido al error de precesión el indicador de actitud tendrá una lectura errónea temporal que se puede corregir fácilmente por medio de los demás instrumentos.

El énfasis, se presenta cuando se presta atención a un solo instrumento, en lugar de una combinación de todos los necesarios para determinar positivamente la actitud

de la aeronave. Este fenómeno es común en pilotos iniciales que tienen la tendencia a enfatizar en el instrumento que mejor comprenden y cuyos resultados son poco satisfactorios. Por ejemplo, al principio se tiene la tendencia a utilizar únicamente el indicador de actitud, esto le permite un control razonable de la aeronave, pero la altitud es imposible de mantener con precisión si no se incluye el altímetro en el chequeo.

Interpretación de los instrumentos

Esta habilidad va ligada estrechamente al nivel de estudio que tenga el piloto, es necesario que se conozca a profundidad el funcionamiento, construcción y limitaciones de cada instrumento para ser aplicado en vuelo, de acuerdo con el comportamiento de la aeronave, las maniobras realizadas y las condiciones de vuelo, entre otros factores.

La preparación y planeamiento del vuelo le ayudará en este propósito, de manera que sepa que esperar y que ajustes debe emplear en actitud y potencia para cada fase del vuelo o para cada maniobra. Por ejemplo, un T-90 Calima que hace un ascenso con 5° de cabeceo en el indicador de actitud, puede obtener un comportamiento de 500 pies por minuto con una velocidad de 90 nudos. Por su parte un T-6 Texan obtendrá un comportamiento de 2000 pies por minuto y una velocidad de 250 nudos con las mismas condiciones*. Cada piloto debe tener la capacidad de interpretar los efectos del cambio de actitud en la condición en particular.

** Valores aproximados, no corresponden con la realidad, refiérase al manual de la aeronave*

MANIOBRAS BÁSICAS POR INSTRUMENTOS

Si bien en este apartado se presenta una descripción de las maniobras básicas por instrumentos, estas se refieren solo como una guía y no remplazan los manuales de cada aeronave, que debe ser consultado para obtener información más precisa sobre los límites operacionales y datos de rendimiento. Estas maniobras requieren un alto nivel de eficiencia y no se deben intentar sin el entrenamiento y conocimiento necesario, con el fin de operar de manera segura. Las maniobras de vuelo por instrumentos pueden variar según cada aeronave, rendimiento y la aviónica disponible.

Un vuelo típico de instrumentos inicia con el despegue, un procedimiento de ascenso que normalmente supone virajes. Un crucero donde normalmente se espera un vuelo recto y nivelado. Un descenso con velocidad constante. La preparación para el aterrizaje puede incluir un procedimiento de llegada donde se pueden combinar descensos, virajes y vuelo recto y nivelado. Y la aproximación final donde se hace una transición entre el descenso y vuelo recto y a nivel para terminar con el aterrizaje. (FAA, 2021a, pp. 3-1)



Despegue por instrumentos

Un despegue por instrumentos debe realizarse teniendo una combinación de referencias externas visuales y los instrumentos de vuelo. Para este propósito es muy importante consultar el apartado de operación de aeródromos de este libro.

Desde luego, las condiciones meteorológicas presentes determinarán el nivel de atención que se debe prestar a unas u otras referencias. Se debe prestar especial atención a las técnicas de despegue por instrumentos en operaciones nocturnas y sobre agua u otras áreas de pocas referencias visuales. Por ejemplo, el despegue de un helicóptero nocturno desde una plataforma Off Shore o barco. No dude en hacer la transición a las referencias de instrumentos si sospecha de una desorientación o duda de las referencias visuales.

Vuelo recto y nivelado

Si bien, después del despegue se inicia el procedimiento de ascenso, es pertinente primero detallar el vuelo recto y nivelado por ser transversal a todas las fases de vuelo.

Figura 85. Referencias del vuelo recto y a nivel



Fuente: FAA, 2021(a). Adaptado por Escobar, 2022.

Control de cabeceo (Pitch)

Como ya se estableció, el cabeceo es la relación entre el eje longitudinal del avión y horizonte natural. Este se puede ver influenciado por varios factores según cada aeronave, por ejemplo, la velocidad y el peso. Cada aeronave tiene una actitud específica para un vuelo recto y a nivel para una velocidad determinada y constante, es importante estudiar el manual de la aeronave y conocer estos aspectos previamente al vuelo. Con velocidades de crucero lentas la actitud de la aeronave será de nariz arriba, mientras que con velocidades altas será lo contrario.

Aparte del indicador de actitud, el control de cabeceo se ejerce con el altímetro, que brinda una indicación indirecta del cabeceo, puesto que, a una potencia constante, un cambio en la altitud será el resultado de un cambio en el cabeceo. El indicador de velocidad vertical (VSI), que debe permanecer en cero. Y el indicador de velocidad aérea (ASI), que debe permanecer constante con una potencia determinada, este brinda una indicación indirecta del cabeceo, toda vez, que un aumento en la velocidad se puede interpretar como una actitud de cabeceo abajo, y viceversa.

Una buena referencia para hacer correcciones en la altitud es hacer cambios de actitud que resulten en el doble de la desviación presentada. Por ejemplo, si se tiene una desviación de 200 pies en la altitud, se recomienda ajustar la actitud de la aeronave para obtener un ascenso de 400 pies por minuto, una corrección de mayor régimen de ascenso se puede considerar como un sobre control.

Control de banqueo

El banqueo es la relación entre los planos del avión y el horizonte natural. Para mantener una trayectoria de vuelo recta y nivelada, los planos del avión se deben mantener a nivel del horizonte (suponiendo que el avión esté en vuelo coordinado).

Los instrumentos utilizados para el control del banqueo son el indicador de actitud, que permite visualizar y determinar los grados de inclinación alar respecto al horizonte de manera directa e instantánea. El indicador de rumbo, que debe permanecer constante, suponiendo una condición de no viento, y facilita una indicación indirecta de banqueo, puesto que una inclinación de los planos resulta en un cambio de rumbo. Y el coordinador de giro, que debe permanecer nivelado mientras la aeronave no presente ninguna inclinación de los planos.

Control de potencia

La potencia produce un empuje que, con el ángulo de ataque apropiado del ala, supera las fuerzas de gravedad, resistencia e inercia para determinar el rendimiento del avión. (FAA, 2012, pp. 7-8)

Tenga en cuenta que cualquier cambio en la potencia estará relacionado con un efecto en la altitud y la velocidad de la aeronave. Al aumentar la potencia durante un vuelo recto y a nivel y con la velocidad constante, la aeronave va a ascender porque al aumentar la velocidad, también aumentará la sustentación. Igualmente, en el sentido contrario. Por otra parte, si al aumentar la potencia, la altitud se mantiene constante, aumentará la velocidad.



Figura 86. Referencias del banqueo



Fuente: FAA, 2021(a).

Estos dos factores son intercambiables entre ellos, con una actitud de nariz abajo puede intercambiar altitud por velocidad y viceversa. En muchas ocasiones, por ejemplo, en una condición donde la altitud es superior a la deseada y la velocidad inferior, con un cambio de actitud se corrigen ambos y no es necesario un cambio de potencia, pero esto dependerá del nivel de interpretación de los instrumentos que se tenga.

Desde luego que conocer los ajustes de potencia de su aeronave le facilitará tener un control suave y coordinado de esta. Sin embargo, no en pocas ocasiones es necesario hacer cambios de mayor magnitud para que la aeronave reduzca o incremente su velocidad, desde luego, esto dependerá de cada aeronave en específico. Por ejemplo, suponga que su aeronave requiere de una potencia; extraída del manual, de 23 InHg. en el manifold para mantener una velocidad constante de 120 nudos y de 18 InHg. para 100 nudos. Para lograr que la aeronave reduzca su velocidad, deberá reducir la potencia inicialmente a 15 InHg. para después reajustar el valor.

Técnica de compensación

Las técnicas de compensación discutidas en la capítulo anterior son esenciales para el control de la aeronave y para reducir las cargas de trabajo en el piloto, esto le permitirá dedicar más atención a otras tareas en cabina.

Tenga en cuenta que los cambios de actitud, configuración o potencia van a requerir, en su mayoría de veces, un ajuste en la compensación.

Errores comunes durante el vuelo recto y nivelado

En cuanto a los errores relacionados con el cabeceo se pueden identificar algunos errores comunes como:

- El ajuste inapropiado del avión miniatura en el indicador de actitud para indicar que se encuentra a nivel. Recuerde que con una perilla este se puede ajustar a la actitud a nivel, esto solo se debe hacer en vuelo recto y nivelado y con una velocidad constante.
- Una interpretación deficiente de los instrumentos, por ejemplo, colocar una actitud de cabeceo abajo para incrementar la velocidad, sin advertir que lo necesario es un ajuste en la potencia, o viceversa.
- Correcciones tardías en el cabeceo o correcciones excesivas que resultan en sobre control.
- Fijación en los instrumentos relacionados con el banqueo durante los virajes, descuidando el control del cabeceo.

En cuanto al control del rumbo se pueden identificar algunos errores como, por ejemplo:

- Mala interpretación de los instrumentos relacionados con el rumbo que resultan en correcciones al lado contrario.
- Olvidar el rumbo que debe mantener según la ruta establecida.
- Mala interpretación al relacionar el régimen de cambio de rumbo con la actitud del banqueo.
- No corregir errores pequeños en el rumbo y permitir que se aumenten, esto requiere de mayores correcciones resultando en mayores cargas de trabajo.
- Correcciones con banqueo excesivo para errores pequeños.

En cuanto al control de la potencia se pueden identificar los siguientes errores comunes:

- Desconocimiento de los ajustes de potencia para cada fase de vuelo de la aeronave, estudio deficiente.
- Fijación en el instrumento de potencia, por ejemplo, manifold, al hacer ajustes.
- Hacer ajustes excesivos en la potencia que resultan en reajustes y aumento de las cargas de trabajo, esto generalmente parte del desconocimiento de los ajustes preestablecidos.



Por su parte, se pueden identificar algunos errores con respecto a la compensación:

Un ajuste inapropiado de la silla o los pedales que dificulte un movimiento suave y natural del timón de dirección.

- Desconocimiento de la operación de los controles compensadores, estudio deficiente.
- No aplicar la técnica de compensación correctamente, por ejemplo, hacer cambios de actitud solamente con el compensador.
- No identificar las causas de los cambios en la compensación, normalmente derivado de un desconocimiento de la operación de los instrumentos o principios de aerodinámica.

Ascensos y descensos rectos

Ascensos

Cada aeronave tiene por diseño una actitud para obtener el régimen de ascenso más eficiente para un determinado ajuste de potencia, velocidad y según las condiciones de peso, estos datos deben ser consultados en el manual de la aeronave. Todo piloto debe conocer los ajustes de potencia, la actitud de ascenso e indicaciones de los instrumentos para desarrollar cada tipo de ascenso. Por supuesto, estas varían con cada aeronave.

Figura 87. Referencias para el ascenso



Capítulo 1.

Manual básico de instrumentos



Fuente: FAA, 2021(a).

Ascenso normal – Se hace a una velocidad recomendada por el fabricante que es, normalmente, más alta que la velocidad de mejor régimen de ascenso, lo que ofrece un mejor control.

Mejor régimen de ascenso (V_y) – Garantiza obtener la mayor altitud en un periodo de tiempo determinado.

Mejor ángulo de ascenso (V_x) – Garantiza obtener la mayor altitud en una distancia horizontal determinada. Esta es la más usada para franqueamiento de obstáculos.

Para iniciar un ascenso se debe ajustar la actitud de la aeronave aplicando presión hacia atrás en los controles de vuelo, y mantenerla hasta que la velocidad alcance el valor determinado. Esto hará que el elevador tenga un cambio y resulte en una actitud de nariz arriba. La magnitud del ajuste en grados dependerá de cada aeronave en específico.

Simultáneamente se debe ajustar la potencia, de lo contrario la velocidad sufrirá una reducción, si la velocidad de ascenso es menor a la actual, puede hacer el ajuste de potencia después de colocar la actitud y antes de que la velocidad sea inferior a la deseada.

De igual manera, si la transición del vuelo nivelado al ascenso es suave, el VSI mostrará una tendencia inmediata al ascenso, continuará moviéndose lentamente y luego se detendrá a una velocidad adecuada a la velocidad del aire estabilizada y a su actitud inicial.



Una vez que la aeronave se establece a una velocidad y actitud constantes, aplique la técnica de compensación para reducir las presiones de los controles. Recuerde que el control del cabeceo se puede realizar mediante el indicador de actitud, el altímetro, el velocímetro y el indicador de velocidad vertical.

Si se está efectuando un ascenso con velocidad constante, el velocímetro le brindará la indicación primaria y los demás instrumentos servirán como soporte. Si, por el contrario, el ascenso se está haciendo con un régimen constante, entonces el indicador de velocidad vertical será la indicación primaria, siempre manteniendo la conciencia de no incurrir en la fijación. Si la actitud de ascenso es correcta para el ajuste de potencia seleccionado, la velocidad del aire se estabilizará a la velocidad deseada. Si la velocidad del aire es baja o alta, haga una corrección de pitch pequeña apropiada.

Figura 88. *Referencias para el descenso*



Fuente: FAA, 2021(a).

Descensos

El descenso puede realizarse a una variedad de velocidades y actitudes reduciendo la potencia, añadiendo resistencia y bajando la nariz a una actitud predeterminada. Al igual que con el ascenso que también involucra un cambio en la actitud de cabeceo, los instrumentos relacionados y que ayudan en el control son el indicador de actitud, el altímetro, el velocímetro y el indicador de velocidad vertical. Durante la transición, estos indicarán valores variables mientras se estabiliza la velocidad y la actitud, por lo que los cambios en la presión en el control, los ajustes y la interpretación de los instrumentos deben ser precisos para mantener el control de la aeronave.

Para iniciar el descenso, en primer lugar, se reduce la velocidad a una velocidad de descenso seleccionada, cuyo valor depende de cada aeronave y se hace reduciendo la potencia mientras se mantiene el vuelo recto y nivelado. Luego se hace una nueva reducción de la potencia (a un ajuste predeterminado). A medida que se ajusta la potencia, simultáneamente coloque una actitud de nariz abajo para mantener una velocidad constante y estabilice las presiones de control.

Al igual que en el ascenso, el control se mantiene con el indicador de actitud, el altímetro, el velocímetro y el indicador de velocidad vertical. Y las lecturas primarias y de soporte dependerán si se hace con velocidad o régimen de descenso constante.

Nivelada

En ascenso. Es importante comprender que la aeronave no se detendrá inmediatamente cuando el piloto haga la nivelada, esta continuará en un ascenso decreciente durante la transición al vuelo nivelado, por lo tanto, esta se debe iniciar antes de alcanzar la altitud deseada. Una buena referencia para realizar un anticipo, que variará según la velocidad vertical que se mantenga y la técnica aplicada, es anticipar el 10% de la velocidad vertical. Es decir, suponga que se está ascendiendo con una velocidad vertical de 500 pies por minuto, el anticipo será 50 pies antes de la altitud deseada, suponga que es 5000 pies, por lo tanto, cuando el altímetro marque 4950 pies.

Para nivelar aplique una presión suave y constante en los controles hacia adelante para nivelar la actitud de vuelo a la velocidad deseada. A medida que el indicador de actitud muestra el cambio de inclinación, la aguja de velocidad vertical se mueve lentamente hacia cero, la aguja del altímetro se mueve más lentamente, y la velocidad del aire muestra la aceleración.

Aplique la técnica de compensación cuando el altímetro, el indicador de actitud y el VSI demuestran vuelo recto y a nivel. La velocidad del ascenso por lo general es menor a la de crucero, por ende, cuando la velocidad aumente y esté cercana al crucero, ajuste la potencia a la configuración indicada.

En descenso. Durante los descensos ocurre el mismo fenómeno que en el ascenso, con el agravante que mientras se está más cerca al terreno se tiene con menos espacio de maniobra, por lo tanto, se debe aplicar un anticipo con el fin de no descender más allá de las altitudes o alturas publicadas, en especial durante aproximaciones, de lo contrario se verá afectada la seguridad del vuelo.



Una buena referencia es el 10% de la velocidad vertical, al igual que en el ascenso. Este procedimiento es casi de manera simultánea y, desde luego, dependerá de las condiciones que se tengan en ese momento. Por ejemplo, para nivelar el descenso si la velocidad es inferior a la de descenso, aplique potencia para ajustar la configuración de vuelo recto y a nivel, esto generará una tendencia de nariz arriba, por lo tanto, debe aplicar una ligera presión hacia adelante para mantener la actitud de descenso con el régimen constante con el elevador hasta el punto del anticipo, momento en donde debe ajustar el cabeceo para el vuelo recto y a nivel. Por contrario, si la velocidad es superior a la de descenso, se deberá reducir la potencia. Y si la velocidad es la indicada para el descenso, simultáneamente haga el cambio de actitud y la reducción de la potencia.

Cuando alcance la actitud de vuelo recto y a nivel, con la respectiva lectura en los instrumentos, aplique la técnica de compensación.

Errores comunes en ascensos y descensos

Son múltiples los errores que comúnmente se cometen al hacer ascensos y descensos por instrumentos, entre ellos destacan:

- No utilizar los ajustes indicados para aeronave en cuanto a actitud de ascenso o descenso y potencia. Bien por desconocimiento o por sobre control al colocar ajustes de mayor o menor magnitud.
- No mantener la actitud requerida. Una vez hecho el ajuste debido, la actitud no se mantiene constante, esto se puede deber a una mala interpretación de los instrumentos, por ejemplo, al notar una disminución de la velocidad durante el ascenso o viceversa. O por tener un control deficiente de la aeronave.
- Mala compensación, lo que conlleva a altas cargas de trabajo al tratar de mantener la actitud constante.
- No identificar el anticipo para nivelar.
- Coordinación incorrecta entre el cambio de cabeceo y el ajuste de potencia, esto es especialmente peligroso durante el descenso, si cambia la actitud a vuelo recto y a nivel sin incrementar la potencia, o al entrar al ascenso.

Virajes

Realizar un viraje nivelado requiere una comprensión de varios factores: ingresar al viraje; mantener el banqueo, la altitud y la velocidad aérea durante el viraje; y volviendo al vuelo nivelado. (U.S. Air Force, p. 33)

Tenga en cuenta que los virajes en el vuelo por instrumentos, como ya se estableció, deben ser de régimen estándar, es decir, 360° en 2 minutos, o lo que es igual, 3° por segundo. Esto significará que el banqueo debe garantizar que este régimen se cumpla. Una buena referencia es utilizar el 15% de la velocidad aérea verdadera (*True Airspeed*) – TAS de banqueo, a su vez, para hacer un cálculo mental más rápido, el 10% de la TAS más 5 equivale aproximadamente a ese valor. Por ejemplo, suponga que su TAS es 150 nudos, de manera que el 10% es 15 nudos, y súmele 5, por lo tanto, el

Capítulo 1.

Manual básico de instrumentos

ángulo de banqueo para obtener virajes de régimen estándar será de 20° . Ahora bien, un ángulo de banqueo de 30° debe ser suficiente para realizar los virajes de régimen estándar y este el máximo recomendado para la operación IFR.

Por otra parte, para hacer virajes de recorrido inferior a 30° , una buena referencia para determinar el banqueo es la cantidad de grados que se piensa recorrer. Por ejemplo, debe hacer un viraje de rumbo 360° a 010° , por lo tanto, el banqueo que puede usar el 10° .

Figura 89. Indicaciones de los instrumentos en viraje



Nota. Lecturas primarias y de soporte durante un viraje a nivel a la izquierda y sus equivalentes en el EFIS. Nótese que la presentación del EFIS facilita la lectura de los instrumentos al dirigir la atención a un solo lugar. Fuente: FAA, 2021(a). Adaptado por Escobar, 2022.

Para ingresar un viraje, consulte el horizonte artificial mientras aplica presiones de control suaves y coordinadas para establecer el ángulo de inclinación deseado. Normalmente es necesario aumentar el cabeceo ligeramente para contrarrestar la pérdida en el componente vertical de la sustentación debido al banqueo. El incremento de cabeceo en virajes prolongados requiere una presión positiva constante en el control del elevador. Compensar la presión en el elevador ayuda a controlar la aeronave sin problemas y mejorar la capacidad de chequeo cruzado en el viraje. Al aumentar el cabeceo, el ángulo de ataque se aumentará, por lo tanto, se requiere un aumento de la potencia para contrarrestar la resistencia inducida producida por los movimientos del elevador.

El banqueo, el cambio de cabeceo y el aumento de potencia deben aplicarse suavemente a medida que la aeronave ingresa en el viraje para evitar la necesidad de grandes correcciones durante el viraje.

Para interceptar un rumbo deseado, calcule un anticipo para sacar los planos a nivel. Una buena referencia para esto es la mitad del banqueo utilizado, es decir, suponga que está haciendo el viraje con 30° de banqueo, el anticipo será la mitad, o sea, 15° .

antes al rumbo deseado, suponga que desea sacar planos a nivel en el rumbo 090° y el viraje es por la derecha, esto significa que cuando el indicador de rumbos, HSI, etc. esté indicando el rumbo 075° se inicia a reducir el banqueo. Al alcanzar el anticipo, invierta de manera suave y simultánea la inclinación, cabeceo, compensación, y potencia utilizada para iniciar el giro. Una vez en el nuevo rumbo, verifique las desviaciones del vuelo recto y nivelado y aplique las correcciones que sean necesarias. Si bien, solo se usa para verificar la precisión de los instrumentos, es necesario que se conozca a profundidad la operación con la brújula y sus limitaciones por si es necesario utilizarla durante el vuelo por instrumentos.

Los virajes escarpados, definidos como cualquier viraje mayor a 30 grados de banqueo, se practican en condiciones simuladas de instrumentos. Las entradas de control para entrada y salida de viraje pronunciado son idénticas a un viraje normal, excepto que todas las entradas son más pronunciadas. El aumento de inclinación alar requiere más cabeceo, más contrapresión y más potencia para contrarrestar la pérdida de sustentación y el aumento de la resistencia inducida.

Figura 90. *Virajes escarpados*



Fuente: FAA, 2012.

El régimen de viraje es mucho más rápido en un viraje escarpado y requiere un anticipo más agresivo. Para los helicópteros, cualquier régimen de viraje superior al estándar se considera un viraje escarpado; la mayoría de los helicópteros practican virajes pronunciados con 30 grados de banqueo, que es el ángulo máximo de inclinación recomendado en las condiciones de instrumentos.

Durante los virajes escarpados se debe tener especial atención al control de la aeronave, ya que la pérdida en la componente vertical de la sustentación y el aumento de la carga en el plano puede alcanzar un punto donde el elevador ya no tiene capacidad de elevar la nariz y solo hace el viraje más cerrado, esto es lo que se conoce como un

espiral y se reconoce por un descenso rápido del altímetro y la velocidad vertical, con un incremento en la velocidad a pesar del efecto del elevador.

En el caso de los virajes en ascenso o en descenso, se debe combinar las técnicas abarcadas en los apartados correspondientes.

Errores comunes en los virajes

Dentro de los errores más frecuentemente encontrados a la hora de hacer virajes se destacan:

- Fijación en el banqueo o tratar de controlar una actitud a la vez, en lugar del control total de la aeronave. Es común primero concentrarse en el banqueo y luego en la actitud de cabeceo, esto debe ser prácticamente simultáneo.
- Desconocimiento de los efectos aerodinámicos al entrar en un viraje, esto crea sobre control y por lo general pérdida de altitud.
- No ajustar la actitud de cabeceo al salir del viraje, esto resulta en un aumento de la altitud debido a la actitud de nariz arriba para mantener la altitud en el viraje.
- Fijación en el indicador de rumbos para determinar el anticipo para sacar los planos a nivel, recuerde que el viraje es estándar y puede calcular fácilmente el tiempo que dura el viraje, por ejemplo, 45° duran 15 segundos, etc.
- No determinar el ángulo de banqueo adecuado para el viraje, por ejemplo, ajustar 20° de banqueo para virar 10°.
- Virar en la dirección errada, esto es muy frecuente y peligroso, existen chequeos como el CAT que previenen esto si se aplican correctamente.
- No prestar atención al inclinómetro originando un viraje no coordinado, resbalando o derrapando, dependiendo de la situación.
- Mala interpretación de los instrumentos, especialmente en virajes prolongados, al tratar de sacar planos a nivel, el piloto no reduce el banqueo, sino que lo aumenta al interpretar mal el indicador de actitud.
- Ajustes de potencia bruscos o sobre controlados.

“S Verticales”

Estas maniobras están especialmente diseñadas para facilitar el desarrollo de la habilidad del chequeo cruzado, la interpretación de los instrumentos y el control de la aeronave. De manera que se prepare al piloto para las diferentes fases del vuelo, simulando un descenso para aterrizar, etc. Cada uno puede ser volado utilizando diversas configuraciones, velocidades, regímenes, etc., ajustadas a cada aeronave.

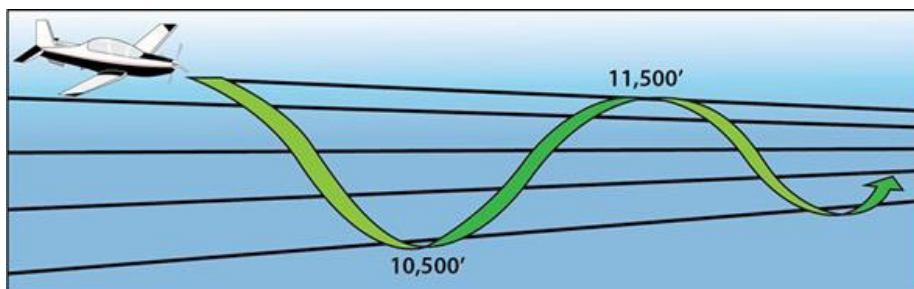
En cada una el piloto irá adquiriendo la proeficiencia necesaria para conducir un vuelo por instrumentos de manera segura, también se pueden practicar en simuladores de vuelo, esto le permitirá mejorar su desempeño en la aeronave real.

“S Vertical” Alfa

El objetivo de la “S Vertical S Alfa” es practicar una serie continua de ascensos y descensos con un régimen específico, y que se puede variar a medida que se adquiere la proeficiencia. Esto le permitirá identificar los anticipos particulares para la aeronave, las actitudes de cabeceo y ajustes de potencia para un descenso u ascenso determinado.



Figura 91. *S vertical Alfa*

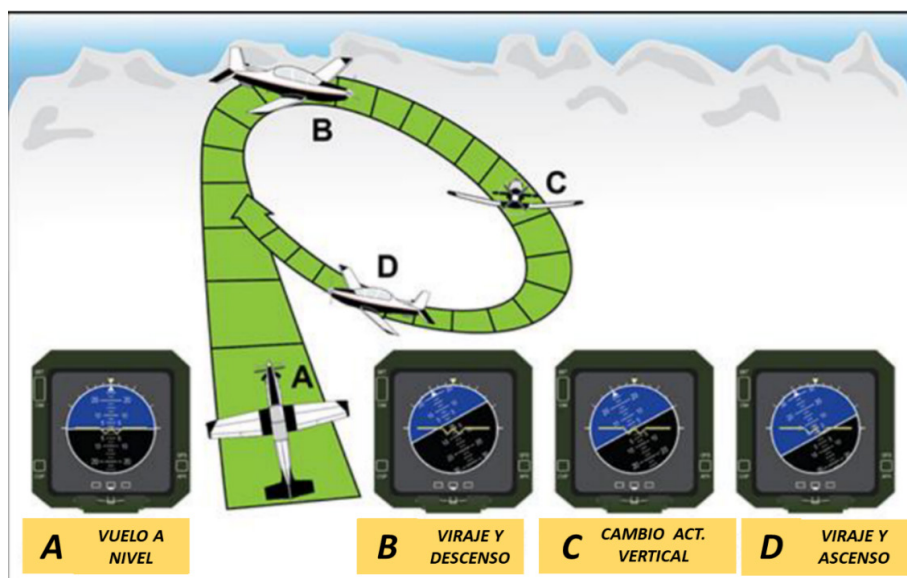


Fuente: U.S. Air Force, 2019.

“S Vertical” Bravo

Es muy similar a la “S vertical Alfa”, pero se combina con un viraje de banqueo constante durante el ascenso o descenso.

Figura 92. *S vertical Bravo*



Fuente: U.S. Air Force, 2019. Adaptado por Escobar, 2022.

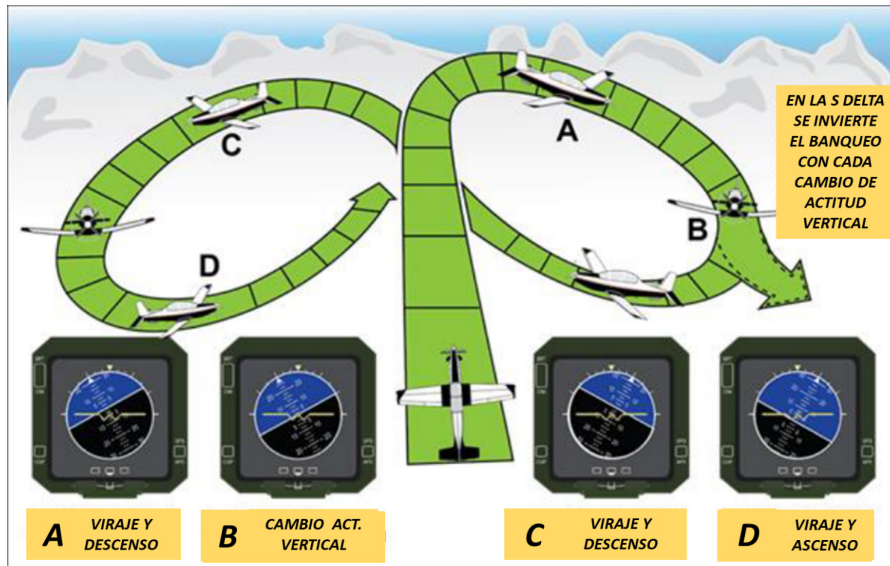
“S Vertical” Charlie y Delta

Básicamente, la S vertical Charlie es igual a la Breva descrita anteriormente, con la única diferencia que, al terminar el primer viraje, se debe iniciar la misma maniobra, pero por el otro lado, es decir, si inició con un viraje constante a la derecha, al ter-

minar la maniobra Bravo, iniciará inmediatamente por la izquierda con los mismos parámetros.

Por su parte, la S vertical Delta, es muy similar a las dos anteriores, basta con agregarle que, si el viraje inicial fue a la derecha, después de recorrer 180° en descenso, se debe iniciar un ascenso, tal cual como en las dos anteriores, pero cambiando el viraje a la izquierda, de manera con cada cambio de dirección vertical, se cambia el viraje, como describiendo un '8'.

Figura 93. S vertical Charlie y Delta



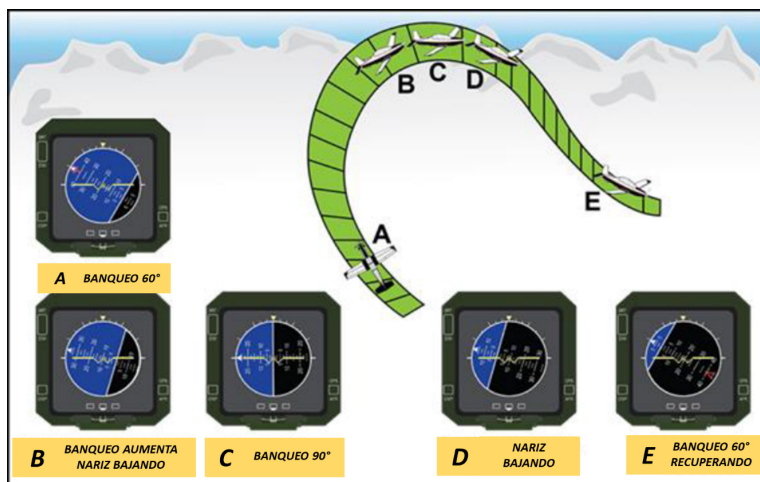
Fuente: U.S. Air Force, 2019. Adaptado por Escobar, 2022.

Wingover

Comience la maniobra desde el vuelo recto y nivelado. Después de obtener la velocidad deseada, comience un viraje ascendente en cualquier dirección mientras mantiene un banqueo de 60° en el indicador de actitud. Permita que la nariz de la aeronave comience a bajar mientras continúa aumentando el ángulo de banqueo, planeando llegar a 90° , es decir, cuando el punto del fuselaje de la aeronave en miniatura alcance la barra del horizonte. Comience a disminuir el ángulo de inclinación cuando el punto del fuselaje de la aeronave en miniatura alcance la barra del horizonte, de modo que la punta del ala de la aeronave en miniatura alcance la barra del horizonte cuando se alcancen 60° de inclinación. Mantenga la punta del ala en la barra del horizonte mientras inclina hacia una posición de nivelado de las alas. El régimen de banqueo durante la recuperación debe ser el mismo que el régimen de banqueo utilizado durante la entrada. Controle el cabeceo y el banqueo a lo largo de la maniobra por referencia al horizonte artificial. (U.S. Air Force, p. 36)



Figura 94. Wingover

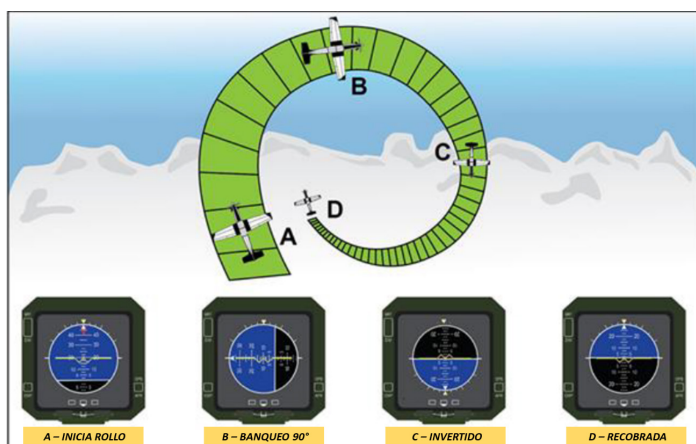


Fuente: U.S. Air Force, 2019. Adaptado por Escobar, 2022.

Rollo

Comience la maniobra desde el vuelo recto y nivelado. Después de obtener la velocidad deseada, aumente suavemente la actitud de cabeceo con los planos a nivel de 15° a 25°. Empiece un viraje en cualquier dirección y ajuste el régimen de modo que, cuando esté invertido, los planos estén nivelados a medida que el punto del fuselaje de la aeronave en miniatura pasa a través de la barra del horizonte. Continúa el giro hasta recuperar el vuelo nivelado. Toda la maniobra debe realizarse en referencia al horizonte artificial. Use suficiente presión positiva para mantener la presión normal del asiento durante toda la maniobra. (U.S. Air Force, 2019. p. 37)

Figura 95. Rollo



Fuente: U.S. Air Force, 2019. Adaptado por Escobar, 2022.



Posiciones o actitudes anormales

Una actitud o posición anormal se puede definir como un evento que no es intencional, salvo cuando se hacen de entrenamiento, donde con suficiente altitud se lleva a la aeronave a estas condiciones, donde se exceden los parámetros que normalmente se experimentan durante un vuelo por instrumentos. Es decir, una actitud de cabeceo arriba mayor a 25°, o abajo mayor a 10°. Un banqueo superior a 45°. O incluso, estar dentro de estos parámetros, pero con una velocidad inapropiada para la condición. (FAA, 2021, pp. 5-1). Estas pueden resultar de un sinnúmero de condiciones como turbulencia, un chequeo cruzado inapropiado o simplemente incapacidad para mantener el control de la aeronave, entre muchos otros. Reconocer una actitud anormal es fundamental para una recuperación exitosa. Lo más importante al notar una posición anormal, no es el cómo se llegó a ella, sino como recuperarla.

Reconocimiento de posiciones anormales

Reconozca una actitud anormal en una de dos formas: una indicación de actitud anormal en el horizonte artificial o un rendimiento anormal en los instrumentos de comportamiento. Como regla general, cuando note un régimen de movimiento, o una indicación diferente a la asociada con un instrumento para una maniobra específica, asuma que se encuentra en una posición anormal.

Recuerde que una posición anormal de nariz arriba se verá acompañada con una reducción drástica de la velocidad, aumento de la altitud, salvo en posiciones anormales extremas, el indicador de velocidad vertical y desde luego el indicador de actitud. Una de nariz abajo, se manifiesta en los mismos instrumentos, pero el movimiento será opuesto.

Confirme que una actitud anormal exista por una comparación de las indicaciones de los instrumentos de control y comportamiento antes de iniciar la recuperación en el horizonte artificial. Esto impide entrar en una actitud anormal debido a la mala interpretación de los instrumentos. Utilice fuentes de indicación de actitud independientes adicionales (horizonte artificial secundario, horizonte artificial del copiloto, etc.) para verificar la actitud real de la aeronave.

Recuperación de posiciones anormales

Cada aeronave debe tener un procedimiento establecido en el manual de vuelo para el recobro de las posiciones anormales, sin embargo, se pueden establecer algunas referencias que serán de ayuda en caso presentarse esta situación. Las acciones de recuperación deben ser compatibles con la gravedad de la actitud anormal, las características de la aeronave y la altitud disponible para la recuperación. Los siguientes principios aerodinámicos y consideraciones son aplicables a la recuperación de actitudes anormales:

- Reducir el banqueo en un descenso o aumentar el banqueo en un ascenso ayuda al control de cabeceo.
- Potencia y dispositivos de resistencia aerodinámica utilizados correctamente ayudan al control de la velocidad aérea si el manual de vuelo de la aeronave permite su uso en situaciones de actitudes anormales.
- Durante las recuperaciones de actitudes anormales, a menos que sea necesario para evitar una emergencia mayor, asegúrese de que el banqueo y la potencia no excedan las limitaciones de la aeronave.

Conocimientos aeronáuticos para el Piloto Militar.
Instructivo operacional de la Escuela Militar de Aviación
“Marco Fidel Suárez” - Volumen III

- Para horizontes artificiales con un indicador de banqueo y una escala de banqueo en la parte superior, el indicador de banqueo que siempre está alineado arriba y perpendicular a la superficie de la tierra se considera un indicador de cielo. Si se desplaza hacia el indicador del cielo para colocarlo en la mitad superior de la caja, se corrige una actitud invertida.

Tenga en cuenta que el indicador de actitud puede exceder los límites de banqueo o cabeceo, si es giroscópico, durante una posición anormal. La desorientación espacial puede agravarse durante la recuperación de una actitud anormal con un horizonte artificial inoperante. Las actitudes anormales pueden provocar una pérdida excesiva de altitud y una posible pérdida del control de la aeronave. Para aeronaves de ala fija, use los siguientes procedimientos si no hay procedimientos de recuperación de actitud anormales específicos en el manual de vuelo:

Si está en descenso, ajuste la potencia y la resistencia aerodinámica según sea necesario mientras quita el banqueo hasta nivelar en posición vertical y corrija el cabeceo a vuelo nivelado en el horizonte artificial. No aplique presiones positivas hasta que la aeronave esté a menos de 90 grados de banqueo.

Figura 96. Posiciones anormales



Fuente: goldmethod.com, s.f.

Si es una posición de nariz arriba, aplique potencia, de acuerdo con la desaceleración observada, ajuste el banqueo según sea necesario para ayudar a controlar el cabeceo y evitar cargas negativas en la aeronave y aplique para bajar la nariz. A medida que

el símbolo de la aeronave en el horizonte artificial se acerca a la barra del horizonte, ajuste el banqueo, la potencia y el cabeceo para completar la recuperación y establecer la actitud deseada de la aeronave. Tenga cuidado al recuperarse de un ascenso pronunciado para evitar exceder las limitaciones de banqueo.

Como una referencia, dependiendo de la posición específica en que se encuentre la aeronave, la mayoría de las posiciones anormales se pueden recuperar con esta secuencia:

- Nariz arriba, Incremente potencia – Baje nariz – Nivele el banqueo.
- Nariz abajo, Reduzca potencia – Nivele el banqueo – Nariz arriba suavemente.

Virajes de procedimiento

Un viraje de procedimiento es una maniobra que facilita:

- Una inversión de la dirección de vuelo, quedando alineado con la misma trayectoria de vuelo, pero en sentido contrario.
- Un descenso desde el fijo de aproximación inicial o a una altitud asignada, a una altitud permitida (normalmente la altitud del viraje de procedimiento).
- Una interceptación del rumbo de entrada a una distancia suficiente que permita a la aeronave alinearse con la aproximación final.

Según el documento 8168 Volumen II de la OACI, estas maniobras se deben planear cuando:

- La aproximación inicial empieza en el aeropuerto o muy cerca de este.
- Se necesita un viraje de 70° en el fijo inicial (IF) y no hay disponibilidad de utilizar un radial, vectores de radar o DME para guiar el viraje hacia el segmento intermedio de la aproximación.
- Se requiere de un viraje mayor a 120° o 90° si es para ILS, en fijo inicial (IF)

Existen diferentes tipos de virajes de procedimiento y no hay uno que sea el estandarizado, salvo que en la carta se indique lo contrario, en cuyo caso se debe ejecutar tal cual como está publicado el procedimiento. Estos incluyen el viraje de 45°, el viraje 80/260 y el viraje básico.

Todos se realizan normalmente a no más de 10 millas náuticas (NM) del aeropuerto. La altitud del viraje de procedimiento generalmente proporciona un mínimo de 1.000' de espacio libre de obstáculos en el área primaria y en el área secundaria se va disminuyendo progresivamente hasta cero en el exterior. (OACI, 2006(a), p. I-4-3-9) El ángulo máximo de banqueo para el procedimiento debe ser 30°.

Los virajes de procedimiento están prohibidos cuando esté publicado en la carta, cuando se están recibiendo vectores de radar hacia la aproximación final o cuando se está ejecutando una aproximación cronometrada desde un fijo de espera (holding). (FAA, 2015, pp. 4-49)



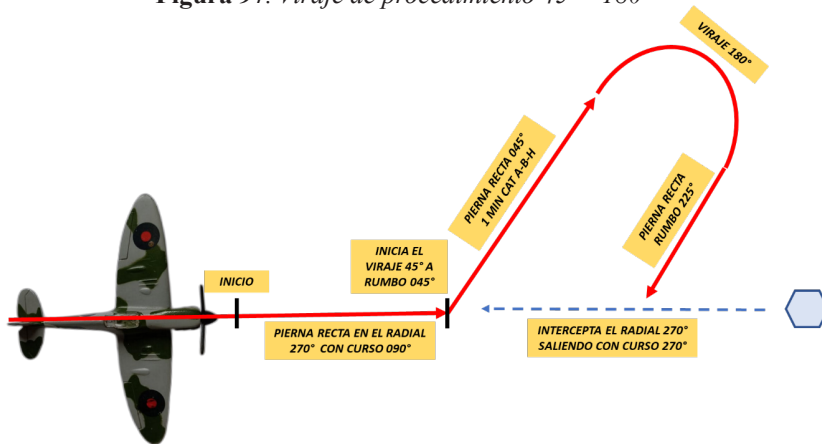
Viraje de procedimiento de 45° - 180°

Cabe resaltar que todos los virajes de procedimiento deben iniciar en una radioayuda o un fijo determinado, este procedimiento consta de:

- Una pierna de alejamiento recta con una guía de curso, por ejemplo, un radial. Esta está limitada por una distancia DME, tiempo, etc.
- Un viraje a 45° por el lado que indique la carta o el control, o a discreción del piloto.
- Una pierna recta sin guía de curso y que debe ser cronometrada, de manera que las aeronaves de categorías A.B y H es de 1 minuto. Y las demás categorías de 1 minuto y 15 segundos.
- Un viraje de 180°, por el lado contrario al viraje anterior, para interceptar el curso de la pierna de acercamiento.

Por ejemplo, suponga que se encuentra entrando a un VOR por el radial 270° y con curso 090° y va a hacer un viraje de 45° - 180° por la izquierda. Un fijo determinado por una distancia, tiempo, etc. le va a indicar el momento en que debe iniciar el viraje de 45°, es decir a rumbo 045°. Una vez tenga los planos a nivel en el rumbo 045° debe tomar el tiempo y contar 1 minuto, suponiendo que está en una aeronave CAT A. Terminado el minuto hace un viraje por la derecha de 180°, es decir a rumbo 225°. Esta pierna es recta y se debe mantener hasta interceptar el radial 270°; el mismo por el que venía entrando, pero con curso 270°, es decir invirtió su ruta.

Figura 97. Viraje de procedimiento 45° - 180°



Fuente: Escobar, 2022.

Viraje de procedimiento 80/260

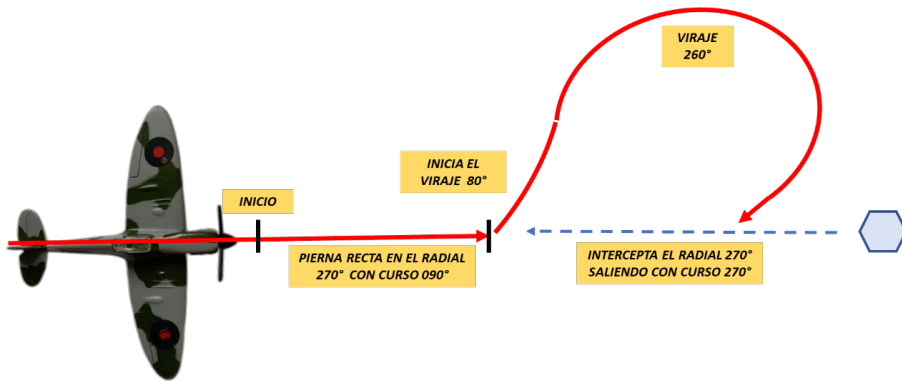
Este viraje de procedimiento consta de:

- Una pierna de alejamiento recta con una guía de curso, por ejemplo, un radial. Esta está limitada por una distancia DME, tiempo, etc.

- Un viraje a 80° por el lado que indique la carta o el control, o a discreción del piloto.
- Un viraje de 260° , por el lado contrario al viraje anterior, para interceptar el curso de la pierna de acercamiento.

Por ejemplo, en la misma situación del apartado anterior, en el punto indicado inicia un viraje por la izquierda de 80° , es decir a rumbo 010° . Inmediatamente saque planos a nivel, inicia un viraje por la derecha de 260° , es decir, a rumbo 270° para interceptar el curso en alejamiento.

Figura 98. *Viraje de procedimiento $80^\circ - 260^\circ$*



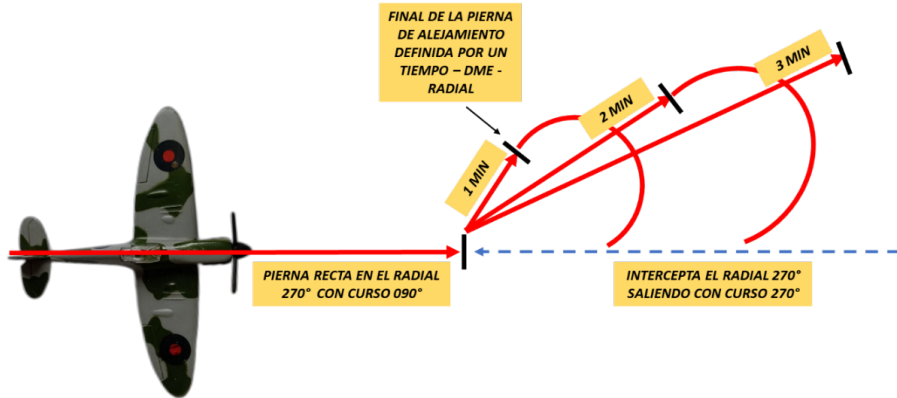
Fuente: Escobar, 2022.

Los virajes de procedimiento de $45^\circ - 180^\circ$ y $80^\circ - 260^\circ$ se consideran alternativos uno con el otro, de manera que el diseño de las áreas protegidas debe ser tal que abarque a ambos, de lo contrario, se debe especificar en la carta de navegación si hay alguno excluido.

Virajes Básicos (*Base Turn*)

Un viraje básico no difiere mucho del viraje $45^\circ - 180^\circ$, pero el viraje se debe hacer a un rumbo específico, así como se limita también por una distancia DME, tiempo, radial, etc. Desde luego que estas condiciones deben estar publicadas en una carta actualizada.

Figura 99. Viraje de procedimiento básico



Fuente: Escobar, 2022.

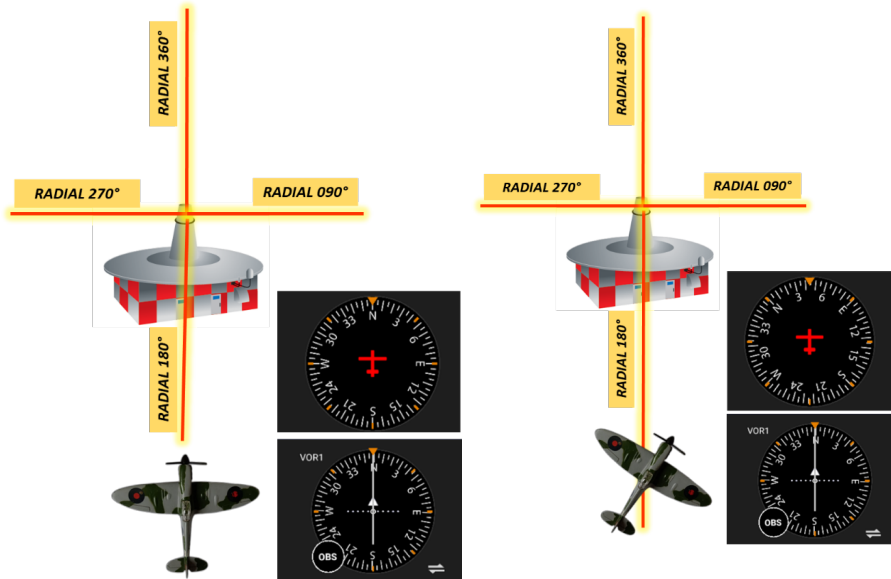
PROCEDIMIENTOS DE VUELO POR INSTRUMENTOS

En el capítulo anterior se dio una descripción detallada de las maniobras de vuelo por instrumentos, estas no son unidades individuales, sino que funcionan como parte de un todo, y en cada vuelo se deben combinar todas ellas para conducir un vuelo de manera segura. En este capítulo, se pretende ofrecer en detalle, una descripción de los procedimientos para, usando las maniobras apropiadas, desarrollar una navegación IFR.

Antes de iniciar con cualquier explicación es necesario tener absolutamente claros tres conceptos para poder abarcar el contenido del capítulo.

- **Curso:** Dirección prevista de vuelo en el plano horizontal, con respecto al Norte Magnético.
- **Rumbo:** Dirección donde apunta el eje longitudinal, o nariz, de la aeronave.
- **Radial:** Cursos emitidos por una estación VOR orientados desde la estación, es decir saliendo de la estación.

Figura 100. Curso - Rumbo - Radial



Nota. En la imagen izquierda la aeronave se encuentra en el radial 180°, con curso y rumbo 360° (N). En la imagen derecha, se encuentra en el radial 180°, con curso 360° y rumbo 045°. Fuente: Escobar, 2022.

De esta manera, se puede afirmar que una aeronave puede encontrarse en un radial, con el mismo curso y con el mismo rumbo, si las condiciones de viento, etc. son las apropiadas. E igualmente, se puede afirmar que una aeronave puede llegar a tener los tres valores diferentes, según la condición de vuelo.

Así mismo, es necesario que interiorice unos chequeos, que no son mas que nemotecnias para que siga un orden lógico de escaneo y no olvide ningún aspecto del vuelo, esto le ayudará a desarrollar vuelos más seguros y eficientes. Sin embargo, cada aeronave tiene sus propios chequeos y nemotecnias que no son remplazadas por estas.

- **C.A.T.** – Este chequeo se debe realizar antes de cada viraje en la operación instrumentos, sin embargo, no se limita solo a esta, es muy útil también en VFR.

Course – Haga un repaso del curso o rumbo en el que planea sacar planos a nivel.

Altitude – Recuerde la altitud actual y si se encuentra en ascenso o descenso, la altitud a la que planea llegar. Es importante que verifique cuantos pies le faltan para nivelar.



Conocimientos aeronáuticos para el Piloto Militar.
Instructivo operacional de la Escuela Militar de Aviación
“Marco Fidel Suárez” - Volumen III

Turn – Identifique por cual lado es el viraje.

(Ejemplo, viraje a rumbo 180°. Con 10.000 pies en ascenso para 12.000 pies, faltan 2.000 pies para nivelar. Por la derecha)

- **6T** – Este, por su parte, se debe hacer después de cada viraje, es decir cuando saque planos a nivel, o cuando cambien la actitud de la aeronave.

Tiempo – Tome el cronómetro y abra tiempo para contar un minuto o cualquier otro requerimiento de tiempo. Igualmente, verifique el tiempo que lleva de vuelo o el transcurrido desde el ultimo cambio de tanque.

Rumbo – Recuerde cual es el rumbo al que planeó sacar planos a nivel y verifique que no tenga ningún error.

Configuración – Verifique la configuración de los instrumentos, por ejemplo, si debe cambiar el OBS, etc. Igualmente, la configuración de la aeronave, reducir potencia, etc.

Radioayuda – Haga un repaso de las radioayudas que está utilizando, las que tiene en espera, cámbielas si es necesario.

Llamada – Efectúe los llamados por radio que sean necesarios, por ejemplo, con control o aproximación.

Corregir – Aplique las correcciones necesarias que haya identificado en el chequeo, curso, rumbo, altitud, etc.

- **VESSI** – Siempre que tenga que cambiar una frecuencia de navegación, use este chequeo.

- Verifique que la frecuencia es la indicada, sírvase de las cartas, no las memorice.
- Sintonicé la frecuencia en el equipo adecuado.
- Seleccione la frecuencia. Los cambios se hacen en la frecuencia de soporte, no olvide seleccionarla, de lo contrario no va a recibir indicaciones.
- Identifique la frecuencia por medio del código Morse.

- **WHOLDS** – Este chequeo es muy útil cuando se va a ingresar a un circuito de espera, se tiene la intención de hacer una STAR o directamente una aproximación.

Weather – Verifique las condiciones meteorológicas actualizadas del aeródromo, existen diferentes maneras para hacerlo, por ejemplo, el Sistema Automático de Información Terminal – ATIS o pidiendo la información al control de tránsito.

Holding – Repase las condiciones del circuito de espera, piernas de acercamiento y alejamiento, tiempos, altitud y velocidad máxima. Así mismo estudie el procedimiento de entrada correspondiente según la situación. Por otra parte, cuando se vaya a realizar una STAR, en este punto estudie el procedimiento, determine las condiciones para el descenso, velocidad, etc.

Obtain Clearance – Asegúrese de haber recibido la autorización de entrar al circuito de espera, recuerde que esto no implica una autorización para aproximar.

Let down plate – Analice la carta de aproximación y asigne las tareas a cada miembro de la tripulación, cambie las frecuencias de ser posible o sintonícelas en espera para reducir las cargas de trabajo en la aproximación.

Descent – Planee el descenso, identifique el punto donde iniciará el descenso, el régimen que mantendrá, la actitud que necesita y los ajustes de potencia.

Speed – Si su velocidad actual es superior a la máxima permitida tanto en el circuito de espera, como en la STAR, inicie una desaceleración para iniciar el procedimiento con la velocidad indicada, recuerde que esto le garantiza no sobrepasar los límites del área protegida.

- **WARTS** – Cuando se vaya a realizar un despegue, este chequeo es muy completo y le facilita cubrir todos los aspectos que debe tener en cuenta.

Wind – Verifique la dirección e intensidad del viento, observe la mangaveleta y compárelo con el METAR. Estudie el efecto que va a tener el viento en la dirección de su aeronave y planee la corrección necesaria.

Abnormal – Planee la acción necesaria en caso de alguna emergencia en la fase de despegue y asigne responsabilidades a la tripulación. Verifique si la aeronave se sostiene con un motor con las condiciones de peso, etc. actuales.

Runway – Asegúrese de que la distancia disponible de pista es adecuada según las condiciones de peso, temperatura, altitud por densidad, etc. Igualmente, si tiene pista disponible para abortar un despegue de manera segura.

Turn – Estudie el procedimiento SID correspondiente, las frecuencias de las radioayudas, los virajes necesarios, asegúrese que el régimen de ascenso requerido es posible alcanzarlo con las condiciones de peso, etc. de la aeronave, es decir verifique el rendimiento completo de su aeronave.

Speed – Haga el planeamiento de la acción que debe seguir en cada fase del despegue cuando alcance la velocidad correspondiente, V1, V2, etc.

Orientación

Lo primero, y de suma importancia, que debe hacer un piloto es orientarse para poder ejecutar los procedimientos, de lo contrario, es imposible hacerlo y se está poniendo en riesgo, tanto la vida, como la aeronave.

Usando ADF o RMI, es sencillo orientarse porque la aguja indica la posición de la estación en la rosa de los vientos.

En el caso del VOR o HSI es diferente, porque se necesita la acción del OBS para poder identificar la dirección a la que se encuentra la estación con respecto a la aeronave. Recuerde que el VOR no indica su rumbo, esto depende de la interpretación que se le da al instrumento.

Después de efectuar el chequeo VESSI, gire el OBS hasta centrar el CDI con el indicador TO-FROM en TO, identifique en el índice superior el rumbo que debe colocar para hacer dirigirse a la estación. En el caso del HSI, igual el procedimiento, pero al centrar el CDI la aguja le indicará el rumbo que debe colocar.

Figura 101. Orientación usando VOR



Nota. En el caso de VOR debe valerse del indicador de rumbos para orientarse, el HSI combina los dos instrumentos. Recuerde que los EFIS por lo general tienen un HSI electrónico y su funcionamiento es igual al análogo. Fuente: Escobar, 2022.

Radio enfilación (Homing)

La radio enfilación o *Homing* sirve para ingresar a una estación y cruzarla sin un curso determinado en una carta o por el control de tránsito. En el caso del ADF, con cualquier rumbo que mantenga la aguja centrada y con 0° de desviación. En el caso del VOR por cualquier radial que mantenga el CDI centrado.

En condiciones de no viento, la trayectoria de la aeronave será una línea recta. Pero, con viento desviándolo hacia algún lado, la trayectoria describirá una línea curva.

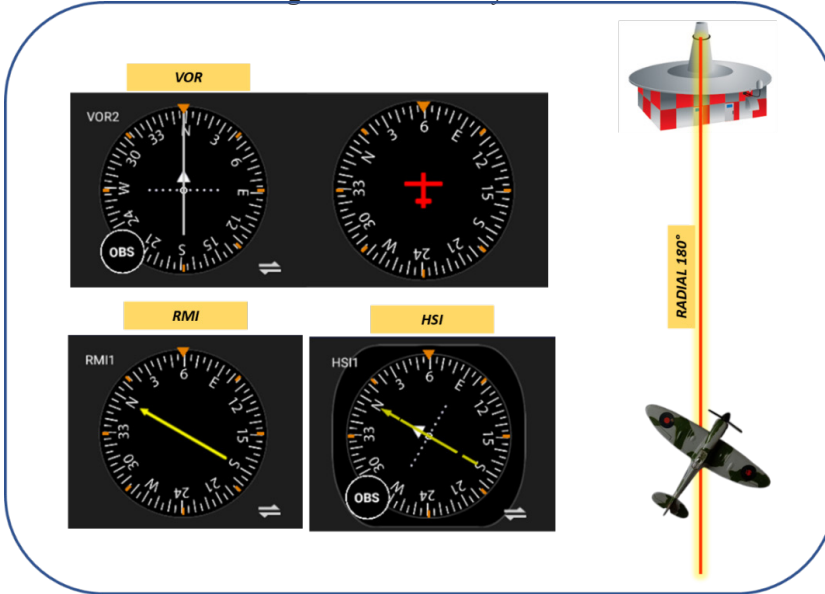
Para efectos de un Circuito de Espera, si usted se encuentra en el tramo de acercamiento, establece un rumbo para poder interceptar un curso y no lo logra dentro de los 30 segundos iniciales del tramo, deberá efectuar radio enfilación. (FACH, 2014).

Para ejecutar el proceso, debe seguir los siguientes pasos:

- Chequeo VESSI.
- Si tiene un RMI, identifique la dirección en que está la estación que le indica la aguja, vire por el lado más corto para dejar la aguja centrada y alineada con el índice.
- Si tiene un VOR, gire el OBS hasta centrar el CDI con la indicación TO e identifique el rumbo que debe colocar para la radio enfilación, haga chequeo cruzado con el indicador de rumbos y determine el lado más corto para virar y enfrentarse a la estación según la lectura en el VOR.

- Si tiene un HSI, gire el OBS hasta centrar e CDI, la aguja le marcará el rumbo de la radio enfilación, vire por el lado más corto para enfrentarse a la estación.

Figura 102. Radio enfilación



Nota. Para hacer la radio enfilación, la aeronave deberá virar por la izquierda a rumbo 360°.
Fuente: Escobar, 2022.

Intercepción de radiales

Este es un procedimiento que se lleva a cabo durante la mayor parte del tiempo de vuelo por instrumentos, por ejemplo, para pasar de una aerovía a otra, o para ejecutar un procedimiento SID o STAR. Para asegurar una correcta intercepción que produzca un ángulo suficiente para una situación en particular, deben comprenderse los siguientes conceptos:

Rumbo de intercepción

Este hace referencia a la dirección que debe asumir la aeronave para poder interceptar un radial específico, dependerá de la situación en que se encuentre la aeronave, entrando o saliendo de la estación.

Ángulo de interceptación

Es la diferencia angular entre el rumbo del avión (rumbo de interceptación) y el curso deseado. Éste, no debe exceder los 90° , ya que podría producirse el efecto contrario al deseado. Es decir, si el ángulo excede los 90° , una interceptación en alejamiento podría convertirse a una en acercamiento o viceversa y puede resultar en desorientación, especialmente en pilotos sin experiencia. El rumbo de interceptación puede ser ajustado dentro de estos límites, para asegurarse una razón de interceptación más deseable.

Régimen de interceptación

Ésta es el resultado del ángulo de interceptación, la velocidad, distancia de la estación y si se dirige hacia o desde la estación, el desplazamiento del CDI o la aguja, dependiendo del instrumento, será mayor cuando la aeronave se encuentra entrando y cerca a la estación, esto determina el anticipo que debe aplicar para la interceptación del radial.

Interceptación de radiales en acercamiento

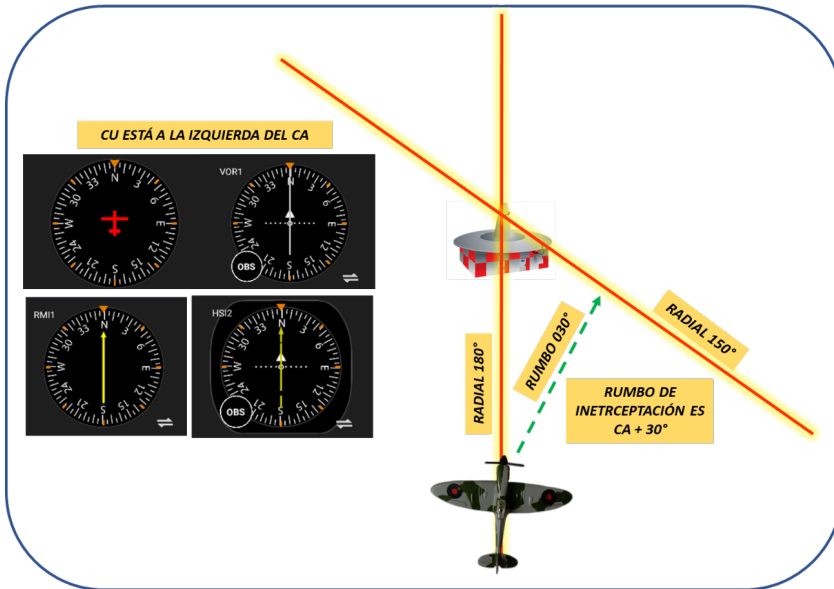
Efectúe el siguiente procedimiento para hacer una interceptación de un radial entrando a la estación:

Chequeo VESSI

- Determine el rumbo de interceptación. Recuerde que el ángulo no debe ser mayor a 90° . Una buena referencia para esto es la nemotecnia **Curso a Usar (CU) – Curso Actual (CA) $\pm 30^\circ$** , es decir, si el curso a usar o deseado se encuentra a la derecha del actual, el rumbo de interceptación será en CA menos 30° y viceversa. Suponga que se encuentra en el radial 180° con curso 360° y requiere interceptar entrando el radial 150° , el curso para entrar en ese radial será, 330° . Por lo tanto. Como el curso deseado está a la izquierda del actual, el rumbo de interceptación será el actual más 30° , es decir, $360^\circ + 30^\circ = 030^\circ$.
- Ajuste el OBS para colocar el radial a interceptar con la indicación TO, tenga en cuenta que se debe colocar en la parte inferior del instrumento puesto que se va a entrar. (este paso no aplica para RMI).
- Haga el chequeo CAT y vire al rumbo de interceptación.
- Haga el chequeo 6T y mantenga el rumbo de interceptación constante y verifique el régimen de movimiento del CDI o la aguja, según sea el caso.
- Determine el punto de anticipo, según el régimen de desplazamiento del CDI, y una vez se alcance, haga el chequeo CAT y vire al rumbo del curso seleccionado para interceptar el radial.
- Cuando tenga planos a nivel, haga chequeo 6T y las correcciones necesarias.



Figura 103. Intercepción de radiales entrando



Nota. Desde el curso actual (CA) 360° en el radial 180°, se va a interceptar el radial 150°. Observe que, en el VOR, HSI y RMI, el curso a usar (CU) 330° está a la izquierda del CA, por lo tanto, el rumbo de interceptación será CA + 30°. Recuerde que, entrando, el curso es el contra rumbo del radial, es decir 180°, para hacerlo más fácil, en especial en vuelo, es igual a 200° - 20°, por ejemplo, radial 150° + 200° = 350° - 20° = 330°. Fuente: Escobar, 2022.

Intercepción de radiales en alejamiento

El procedimiento para la interceptación de radiales en alejamiento, es decir, saliendo de la estación, no difiere mucho del explicado anteriormente. En estos casos haga el siguiente procedimiento.

Chequeo VESSI

- Determine el rumbo de interceptación. Recuerde que el ángulo no debe ser mayor a 90°. Una buena referencia para esto es la nemotecnica **Curso Actual (Ca) – Curso a Usar (CU) +/- 45°**, es decir, si el curso a usar o deseado se encuentra a la derecha del actual, el rumbo de interceptación será en CU más 45° y viceversa. Suponga que se encuentra en el radial 180° con curso 180° y requiere interceptar saliendo el radial 150°, el curso para salir en este caso es igual al radial. Por lo tanto. Como el curso deseado está a la izquierda del actual, el rumbo de interceptación será el deseado menos 45°, es decir, 150° - 45° = 105°
- Ajuste el OBS para colocar el radial a interceptar con la indicación FROM, tenga en cuenta que se debe colocar en la parte superior del instrumento puesto que se va a salir. (Este paso no aplica para RMI). Una buena referencia para comprobar que no está confundido, es verificar que el rumbo de interceptación se encuentra entre los 90° comprendidos entre el curso y el lado donde se desplazó el CDI.

Conocimientos aeronáuticos para el Piloto Militar.
Instructivo operacional de la Escuela Militar de Aviación
“Marco Fidel Suárez” - Volumen III

- Haga el chequeo CAT y vire al rumbo de interceptación.
- Haga el chequeo 6T y mantenga el rumbo de interceptación constante y verifique el régimen de movimiento del CDI o la aguja, según sea el caso.
- Determine el punto de anticipo, según el régimen de desplazamiento del CDI, y una vez se alcance, haga el chequeo CAT y vire al rumbo del curso seleccionado para interceptar el radial.
- Cuando tenga planos a nivel, haga chequeo 6T y las correcciones necesarias.

Pasada sobre la estación

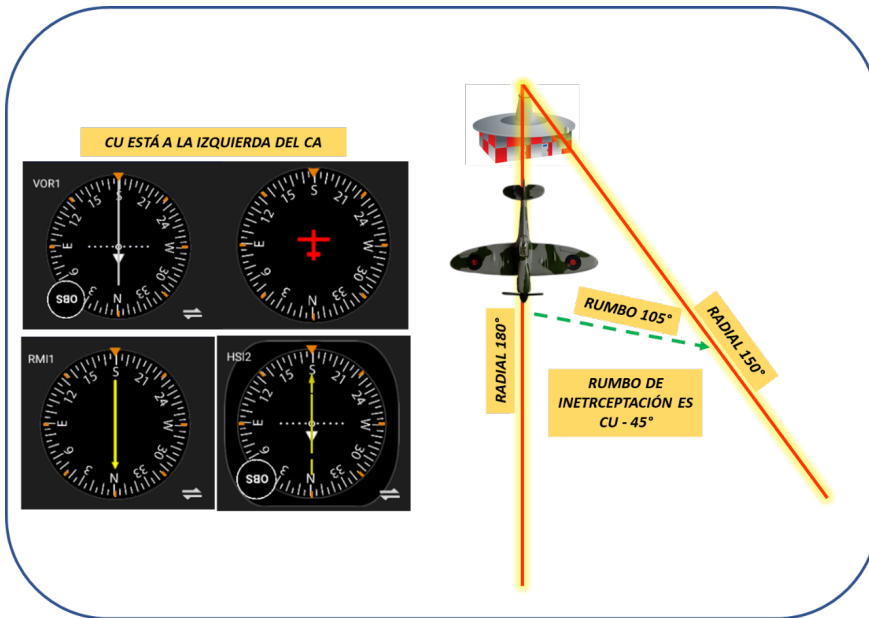
Una vez interceptado y mantenido un radial entrando, lógicamente, la distancia se irá reduciendo hasta llegar a un punto donde se encuentra sobre la estación emisora de la frecuencia, VOR, NDB, etc. En ese punto, se comenzará a salir. El paso por la estación implica una serie de indicaciones que se debe conocer para que no generen confusión. Estas pueden tomar desde unos pocos segundos, hasta 3 minutos dependiendo de la altitud.

Tenga en cuenta que, debido a la cercanía con la estación, una pequeña desviación del curso resultará en desviaciones de gran magnitud en el CDI o la aguja.

Usando un RMI, la aguja empezará a tener una indicación errática, se desplazará de un lado al otro del centro del instrumento, incluso puede llegar a tener desplazamientos hasta de 30° a cada lado, según la altitud de la aeronave. Tenga presente la distancia a la que se encuentra de la estación, bien sea por DME o por el cálculo según el tiempo y la velocidad, para que no se confunda con estas indicaciones, pero, sobre todo no intente seguirla, de ser necesario aplique correcciones de no más de 5° para mantenerse en el curso indicado. Mantenga el curso constante hasta que pase la estación y la señal se estabilice, identificará el paso cuando la aguja se desvíe 90° a uno de los lados y la cabeza se desplace hacia atrás, de manera que la cola ahora indica el curso en la parte superior del instrumento.

En el caso de VOR, lo establece el cambio positivo de TO a FROM. Esto es porque el indicador TO / FROM indica exactamente el momento en el cual se pasa de un hemisferio a otro (siempre y cuando el CDI esté centrado con TO).

Figura 104. Interceptación de radiales saliendo



Nota. Saliendo, el curso y el radial coinciden, desde el radial 180° con curso 180°, se va a interceptar el radial 150°. Observe que, en el VOR, HSI y RMI, el curso a usar (CU) se encuentra a la izquierda del curso actual (CA), por lo tanto, el rumbo de interceptación será $CU - 45^\circ$, es decir, $150^\circ - 45^\circ = 105^\circ$. Fuente: Escobar, 2022.

Mantención del curso

Fenómenos como el viento, el torque del motor, etc., pueden generar un desvío del curso seleccionado, recuerde que, en el instrumento, para el VOR y HSI, existe una escala de desviación del CDI y que cada punto corresponde a 2° . Para el caso del RMI, la desviación de la aguja a uno de los dos lados, le indicará la magnitud del desvío.

Para hacer las correcciones respectivas, primero se debe determinar la magnitud de la desviación y el lado para la corrección. El lado de corrección es fácilmente identificable cuando se tiene el curso interceptado y el instrumento correctamente configurado, para el caso del VOR. En el RMI la punta de la aguja le mostrará hacia que lado debe corregir. En el caso del VOR y HSI, la corrección se debe hacer hacia el lado que se desplace el CDI. Tenga presente que, si tiene el VOR configurado al contrario de su curso, es decir, si el curso es 180° , pero tiene configurado 360° , este funcionará con ambigüedad indicando el desvío al lado equivocado, probablemente haciéndole incurrir en un error mayor al tratar de corregir.

Haga chequeo CAT y coloque un rumbo de interceptación correspondiente al doble de la desviación, es decir, si tiene una desviación de 5° a la derecha, debe aplicar un rumbo de interceptación correspondiente al CA menos 10° . Y mantenga constante este rumbo hasta que el CDI vuelva a centrarse o la aguja indique nuevamente el curso.

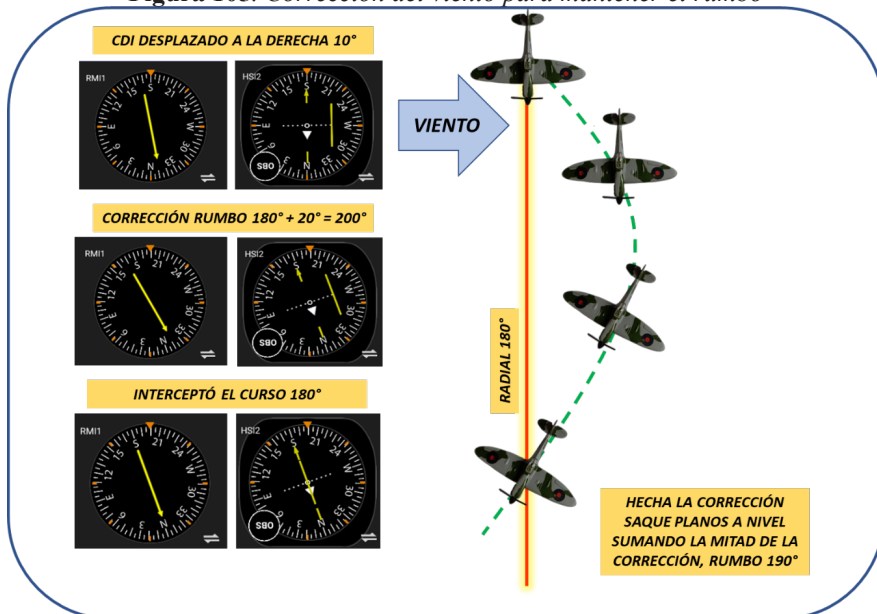
Determine el anticipo requerido y vire para interceptar el curso nuevamente, cuando saque planos a nivel, no coloque el curso inicial, porque el viento lo desviará de nuevo, debe sacar planos a nivel con un rumbo de por lo menos la mitad de la corrección más, si la corrección fue a la derecha, o menos, si fue a la izquierda. Es decir, el curso era 180°, corrigió 10° a la derecha a rumbo 190°, cuando intercepte el curso 180° de nuevo, debe sacar planos a nivel con rumbo 185°, de esta manera va a compensar el efecto del viento.

Arcos DME

Muchos de los procedimientos de salida y llegada incluyen un arco, aunque cada vez más, gracias al concepto PBN, los procedimientos se han ido simplificando a líneas rectas, lo que los hace más eficientes y permite reducir emisiones al medio ambiente. Sin embargo, aún con PBN existen procedimientos que los incluyen, como es el caso del *Radius to fix*, o los mencionados anteriormente, por lo tanto, es necesario que el piloto los conozca y tenga la habilidad de volarlos de manera correcta.

Estos tienen un área de franqueamiento de obstáculos de 4 Nm a cada lado en el área primaria cuando es en ruta, y de 2,5 Nm cuando hace parte del segmento de aproximación inicial. El objetivo del arco es que la aeronave se mantenga a una distancia DME determinada, cuyo radio mínimo es 7 Nm, mientras recorre los radiales para ingresar o salir por otro. El éxito del procedimiento radica en que la distancia en el DME se mantenga en un rango de 0,5 Nm adentro o afuera del arco.

Figura 105. Corrección del viento para mantener el rumbo



Nota. Para hacer las correcciones recuerde la nemotecnía, corregir el doble y devolver la mitad. Esto quiere decir que cuando corrija la desviación no va a regresar al curso original, va a dejar un rumbo que compense el efecto del viento. Fuente: Escobar, 2022.

Capítulo 1.

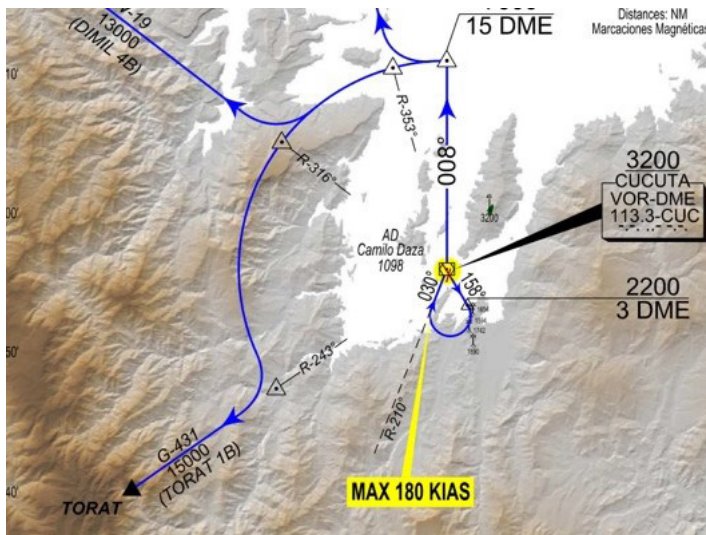
Manual básico de instrumentos

Existen diferentes formas de volar un arco, la regla 60-1, explicada en un apartado posterior, le permitirá calcular un ángulo de banqueo que le permitirá mantener el arco constante, sin embargo, esto requiere de la condición de no viento, algo prácticamente imposible de conseguir. Otra forma de hacerlo, y la más sencilla, es hacer tramos cortos y rectos de la siguiente manera:

- Antes de ingresar al arco debe calcular el radio de viraje de su aeronave o el anticipo radial – arco, esto es la distancia que recorre su aeronave con la velocidad actual para hacer un viraje. Existen diferentes métodos para este cálculo. Para velocidades inferiores a 150 nudos, un buen anticipo es de 0,5 Nm. Igualmente, calcular el 0,5% de la velocidad (GS). Sin embargo, la regla 60-1 también es útil para este propósito y lo más recomendable.

Este es el anticipo que debe aplicar, suponga que el radio de viraje es de 0,7 Nm. Y el arco, como en la figura es de 15 DME, en la milla 14,3 debe iniciar el viraje, de lo contrario, cuando saque planos a nivel su distancia será 15,7 DME y no estaría cumpliendo con la regla de no alejarse más de 0,5 Nm. Tenga muy en cuenta si el arco es saliendo o entrando a le estación, porque de esto depende si se resta o se suma el anticipo al DME publicado del arco.

Figura 106. Arco DME - Procedimiento en Cúcuta



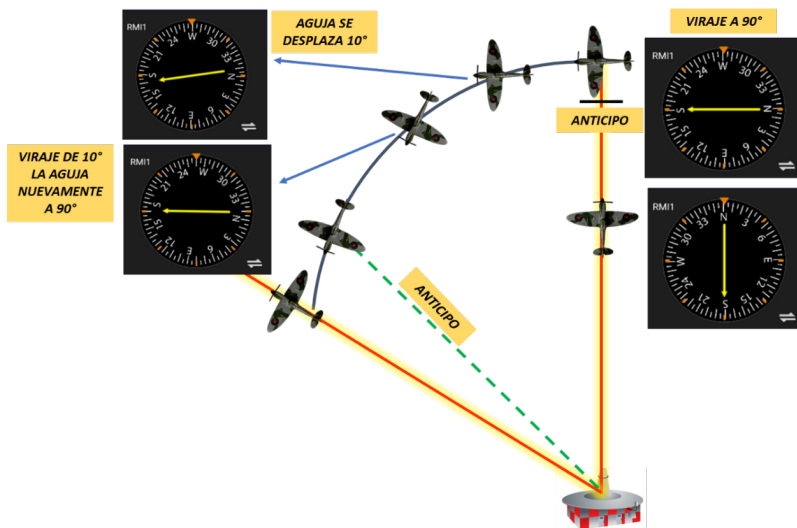
Nota. Observe que el arco es de 15 DME, el radial de inicio es el 008° y tiene varias salidas, en el Radial 353°, en el radial 316° y en el radial 243°. Desde luego, el piloto debe saber por cuál va a salir según el planeamiento del vuelo. Fuente: UAEAC, 2020.

Quando alcance el punto del anticipo, determine el lado hacia dónde va a hacer el viraje y el rumbo para sacar planos a nivel a 90° , esto no debe significar un problema si hace el chequeo CAT. Haga un viraje estándar y colóquese a 90° de la estación.

Durante el viraje debe prestar atención al DME, para establecer el punto para sacar planos a nivel. Si se encuentra por dentro del arco, es decir el DME indica una distancia menor a la del arco, saque planos a nivel antes del rumbo planeado para que la aeronave salga a la distancia requerida. Y si el DME indica lo contrario, saque planos a nivel después del rumbo planeado, para tener el efecto contrario.

- Con RMI, verifique que la aguja se encuentra a 90° y el DME indica la distancia correcta. Mantenga el rumbo constante hasta que la cabeza de la aguja se desplace 10° hacia atrás y vire la aeronave para que la aguja regrese a 90° . De esta manera hasta que recorra todo el arco, como se indica en la carta.
- Con HSI, es muy similar al procedimiento con RMI, la diferencia es que el CDI en el centro de la aguja se va a desviar a medida que se mantiene el rumbo, permita que se desplace 10° , recuerde que cada punto corresponde a 2° , para virar 10° y con el OBS colocar la aguja a 90° con el CDI centrado nuevamente.
- Con el VOR, es un poco diferente puesto que este no se puede colocar a 90° , debe hacer un chequeo cruzado con el indicador de rumbos para verificar que se encuentra a 90° de la estación, mantener el rumbo constante hasta que el CDI se desplace 10° y virar la aeronave, para volver a centrar el CDI utilizando el OBS.
- Determine una radial que le servirá como anticipo para salir del arco al radial indicado, según sea el caso, este se conoce como anticipo arco – radial y lo puede calcular fácilmente usando la regla 60-1. Para velocidades inferiores a 150 nudos, un buen anticipo es de 5° . Cuando alcance el anticipo, vire 90° para salir del arco, verifique que el anticipo le permitió salir en el radial indicado y con el CDI centrado, de lo contrario, haga las correcciones necesarias. El uso de un buen anticipo debe permitirle que no sean necesarias correcciones, o que sean muy pequeñas.

Figura 107. Técnica de tramos cortos para ejecutar un arco DME



Nota. Técnica de tramos cortos en un arco DME usando un RMI, siempre calcule sus anticipos para que su vuelo sea más eficiente y reduzca las cargas de trabajo. Fuente: Escobar, 2022(a).

Correcciones en el arco. El efecto del viento puede desviarlo del arco y hacer que se aleje o se acerque a la estación, por lo que debe aplicar correcciones, de manera que se mantenga dentro del rango de 0,5 Nm, más o menos del MDE del arco. Tenga en cuenta que si la aguja del RMI no se encuentra a 90° , la aeronave se estará alejando, si la cabeza se encuentra por debajo, y acercando en caso contrario.

Distancia menor. Cuando se encuentra desviado hacia adentro del arco, la corrección dependerá de que tanta distancia tiene de menos, respecto al DME. Si es poca, 0,5 Nm o menos, basta con no virar y mantener el rumbo constante, la aeronave tenderá a salir. Si la distancia es superior a 0,5 Nm, entonces debe corregir 10° por cada media milla de desvío.

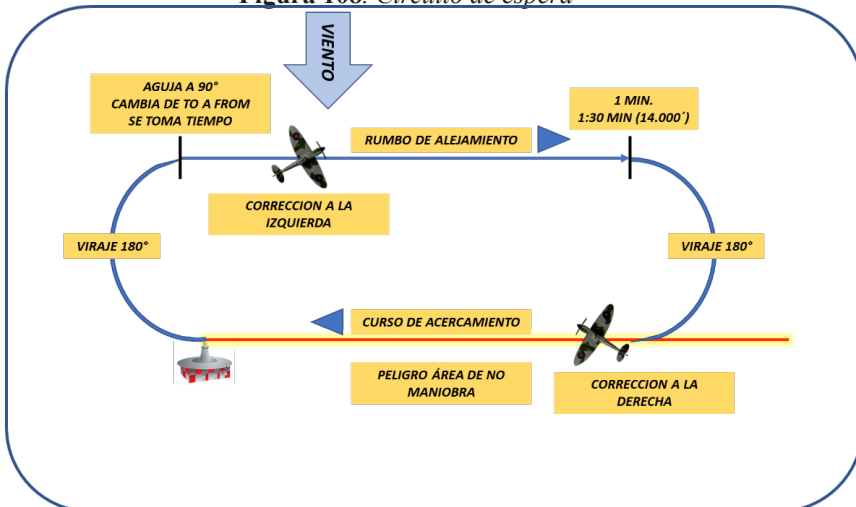
Distancia mayor. En este caso debe corregir inmediatamente, de lo contrario la aeronave seguirá saliendo, aplique una corrección de 20° por cada media milla de desvío.

Circuitos de espera VOR/DME

La espera es un procedimiento publicado y diseñado para que una aeronave tenga un espacio seguro donde aguardar alguna autorización de control de tránsito, hacer descensos, hacer separación de tráfico, etc.

El patrón de espera estándar es un diseño de hipódromo que consta de dos virajes a la derecha de 180° , que deben ser virajes estándar de 3° por segundo, y dos tramos rectos llamados tramo de acercamiento y tramo de alejamiento. El patrón de espera es no estándar cuando los virajes se hacen a la izquierda.

Figura 108. Circuito de espera

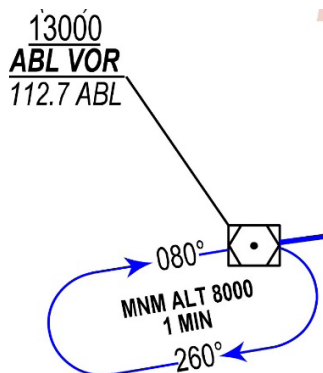


Nota. Los circuitos de espera no estándar tienen los virajes a la izquierda, si no se tiene información clara del lado del viraje, siempre se asume que es estándar. Si pasados 30 segundos en el acercamiento, no ha interceptado el curso, es buena idea hacer radio enfilación. Fuente: Escobar, 2022.

El tramo de acercamiento es un curso con la guía de alguna radioayuda. El tramo de alejamiento es un rumbo, es decir no tiene guía y debe durar 1 minuto o 1 minuto 30 segundos con una altitud superior a los 14.000 pies. Tenga en cuenta que, al no tener guía en el tramo de alejamiento, la corrección del efecto del viento se va a dificultar, por lo tanto, determine la corrección en el curso de acercamiento y aplíquelo al lado contrario.

El tiempo se comienza a tomar cuando la aeronave se encuentra en el tramo de alejamiento y a 90° de fijo. En caso de tener un RMI, cuando la aguja indique 90°. Con un VOR y HSI, cuando cambie el indicador de TO a FROM. Y en caso de ser un fijo lejano a la radioayuda, por ejemplo, una distancia DME, cuando se tenga los planos a nivel.

Figura 109. Circuito de espera en la carta



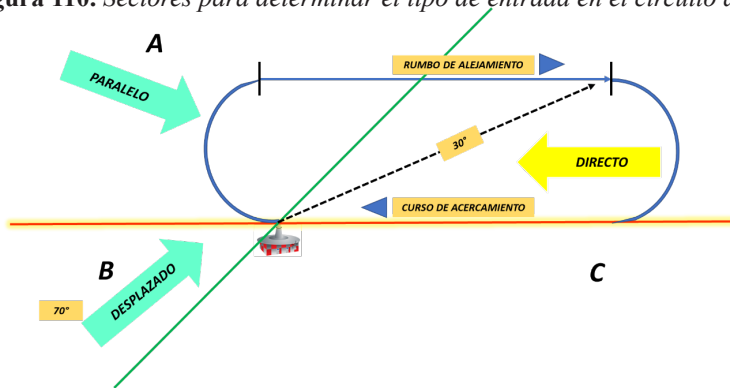
Fuente: UAEAC, 2020.

Cuando el circuito de espera no se encuentra publicado, pero el ATC da la instrucción de espera, este debe emitir instrucciones de espera completas, el fijo del circuito, el curso de acercamiento, extensión de la pierna, lado de los virajes y un tiempo aproximado para recibir instrucciones y cualquier demora adicional cuando una aeronave se autorice a un fijo distinto del aeródromo de destino. Se espera que el piloto realice la espera como se muestra en la carta apropiada (es decir, en el procedimiento o ruta asignados) si el patrón de espera es publicado y el controlador no emite instrucciones de espera completas.

Técnicas de entrada al circuito de espera. Los circuitos de espera están diseñados para acomodar los tráficos en tres entradas, basándose en el rumbo de la aeronave. Tienen un área de flexibilidad de 5° a cada lado, para las áreas donde limitan las entradas, de manera que, si el rumbo de la aeronave coincide con el límite de dos entradas, el piloto tiene la facultad de escoger cual va a ejecutar. Estas son: Entrada directa, en paralelo y desplazado, esta última se ha conocido históricamente como gota.

Para esta división del espacio aéreo se debe prolongar el acercamiento y trazar una línea imaginaria a 70° hacia el lado de no maniobra, que se prolonga recta hasta el lado de la espera.

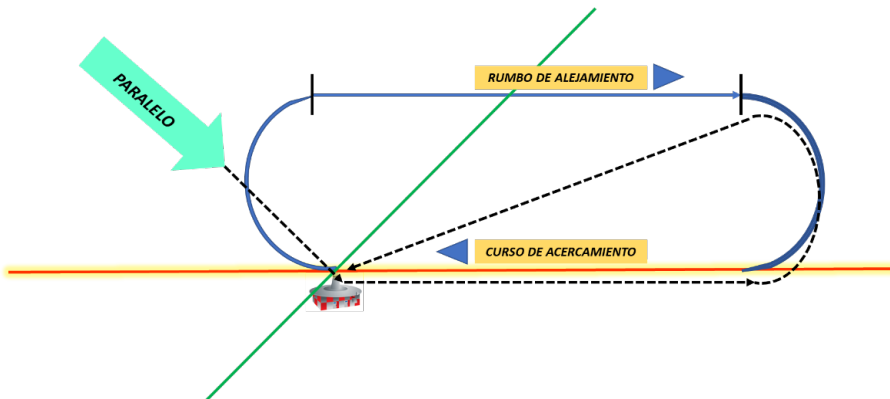
Figura 110. Sectores para determinar el tipo de entrada en el circuito de espera



Fuente: Escobar, 2022.

Entrada en paralelo. Todas las aeronaves que se acerquen por el sector A, deben cruzar el fijo e interceptar el radial del acercamiento con el curso de salida, o colocar el rumbo de alejamiento para quedar paralelo al tramo de alejamiento. Al cruzar el fijo se abre tiempo, de acuerdo con los criterios de la altitud que tenga, suponga que por un minuto. Pasado el minuto, se debe virar por el lado contrario de los virajes del circuito, esto lo mantendrá dentro del área protegida y hacer radio enfilación a la estación o el fijo. Cuando lo cruce, vire de acuerdo con los criterios del circuito al tramo de alejamiento y haga el procedimiento normal. Puede reportar como establecido en el circuito una vez haya interceptado el curso de acercamiento.

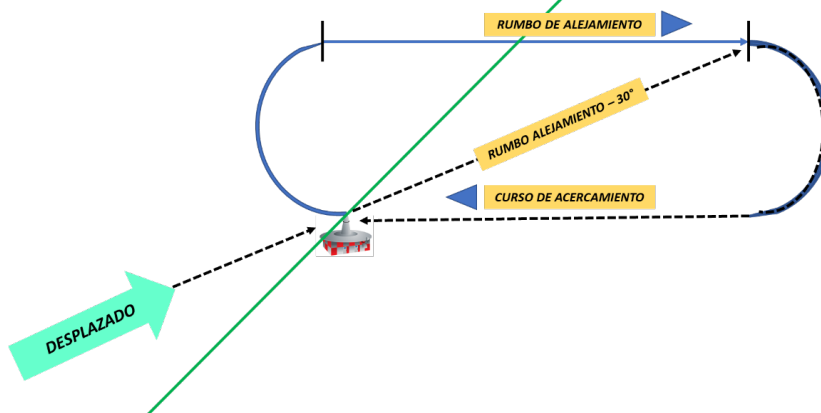
Figura 111. Entrada en paralelo



Fuente: Escobar, 2022.

Entrada en desplazado. Al cruzar el fijo desde el sector B, se debe colocar un rumbo de alejamiento en desplazado, este equivale al rumbo del alejamiento menos 30°, si el circuito es estándar, y más 30° si es no estándar. Se toma el tiempo, y transcurrido el minuto, se vira por el lado de los virajes del circuito para interceptar el curso de acercamiento. Se puede decir que es equivalente a un paralelo al revés y viceversa. Puede reportar como establecido cuando intercepte el curso de acercamiento por segunda vez.

Figura 112. Entrada en desplazado



Fuente: Escobar, 2022.

Entrada directa. La entrada directa es la más sencilla y corresponde al sector C, cuando cruce el fijo, vire al tramo de alejamiento e inicie el procedimiento directamente. Puede reportar como establecido cuando intercepte el curso de acercamiento.

Un método para identificar el tipo de entrada adecuada el circuito de espera de manera más gráfica y práctica para el piloto en cabina es observando el instrumento de navegación que esté utilizando el curso de acercamiento publicado y ubicarlo dentro de tres áreas.

Figura 113. Tipos de entrada en el instrumento



Fuente: Escobar, 2022.

Si se encuentra entre los 160° formados por 80° a cada lado de la parte superior del instrumento, la entrada será directa, si, por el contrario, se encuentra en la parte inferior, específicamente en el cuadrante inferior derecho, será paralelo, y desplazado en el otro cuadrante. Esto aplica para circuitos estándar. Para los no estándar, simplemente se invierten los cuadrantes inferiores, el paralelo estará a la izquierda y viceversa.

Velocidad máxima de espera. En las cartas está publicada la velocidad máxima del circuito, esta se calcula de manera que la aeronave no sobrepase los límites del área protegida. Si por alguna razón, por ejemplo, turbulencia, formación de hielo, etc. No puede mantener dicha velocidad, de aviso al ATC inmediatamente o si no puede cumplir con alguna parte del procedimiento de espera. De lo contrario, todas las aeronaves deben mantener las siguientes velocidades en los circuitos de espera.

Capítulo 1. Manual básico de instrumentos

Tabla 3. Velocidad máxima en el circuito de espera

Altitud / Nivel (MSL)	Velocidad Aérea (KIAS)	
	Condiciones Normales	Turbulencia
Hasta 14,000 pies inclusive (CAT A y B)	170	170
Hasta 14,000 pies inclusive (CAT C a E)	230	280
Por encima de 14,000 pies a 20,000 pies (inclusive)	240	280 o 0.8 Mach, lo que sea menor
Por encima de 20,000 pies a 34,000 pies (inclusive)	265	280 o 0.8 Mach, lo que sea menor
Por encima de 34,000 pies	0.83 Mach	0.83 Mach

Notas:

1. Los niveles mostrados representan altitudes o FL correspondientes según el ajuste del altímetro en uso.
2. Los pilotos deben obtener la autorización de ATC para esperar a las velocidades reservadas para condiciones de turbulencia, a menos que las publicaciones pertinentes indiquen que el área de espera puede acomodar a las aeronaves que vuelan a estas altas velocidades de espera. (T-0).
3. La velocidad máxima de espera para helicópteros es de 100 nudos hasta 6.000 pies inclusive y 170 nudos por encima de 6000 pies.

Fuente: U.S. Air Force, 2019. Adaptado por Hernández & Trujillo, 2020.

Distancia máxima de espera. La distancia máxima de espera está calculada según los criterios de tiempo de 1 minuto a 14,000 pies MSL y 1.5 minutos por encima de 14,000 pies MSL, a menos que el ATC indique lo contrario. Sin embargo, en ocasiones se puede publicar un radial de limitación. En los casos de espera donde la distancia desde el fijo de espera hasta la estación VOR/DME es corta, se puede especificar un radial como límite, por ejemplo, cuando es esencial la conservación del espacio aéreo. En cuyo caso los tramos donde aplique el radial limitante se volarán hasta este, así el tiempo no alcance el minuto y se debe iniciar el viraje.

PLANIFICACIÓN DEL VUELO

La planificación del vuelo es uno de los factores de mayor importancia después del vuelo mismo, quizás se ubica en el mismo nivel de importancia que este. Una buena planificación le va a permitir reducir las cargas de trabajo y que su vuelo sea más seguro y placentero. Recuerde que si hay un error desde el planeamiento es muy probable que este vaya al vuelo. Dentro de este apartado no se cubre la meteorología por existir un libro exclusivo para tal, refiérase a Meteorología aplicada para la seguridad de las operaciones aéreas.

Verifique toda la información concerniente al vuelo, NOTAMS, METAR, TAF, AIP, etc. y diligencia un plan de vuelo. Verifique que en el libro de vuelo no hay anotaciones de mantenimiento o ya se corrigieron.

Salida

Fundamentalmente, tres factores afectarán directamente el despegue y el procedimiento de salida. El rendimiento de la aeronave, donde la responsabilidad de verificar que la aeronave tiene la capacidad de volar de manera segura recae en el piloto. El procedimiento de salida. Y el gradiente de ascenso.

En cuanto al rendimiento, se debe tener en cuenta que una aeronave despegando, por lo general, se encuentra operando con alto peso y en muchas ocasiones en los límites permisibles. Esto afecta la maniobrabilidad, especialmente con altitudes por densidad altas.

Por su parte, el procedimiento de salida debe ser escogido de acuerdo con la capacidades de la aeronave, el entrenamiento del piloto y la información disponible. Recuerde que no hacer una SID también es una opción si no se siente seguro, no la entiende, o peor aún, no tiene el procedimiento.

Tenga siempre presente una ruta de escape, en una aeronave despegando, una vez que sobrepasa la velocidad de decisión, el piloto está obligado a despegar. El chequeo WARTS le ayudará a planificar cualquier anomalía y el procedimiento que llevará a cabo para sortearla. Por lo general, los Pilotos no analizan con profundidad los procedimientos de emergencia durante una salida en caso de falla de la aeronave o las radios ayudas utilizadas, para proseguir a alguna alternativa o regresar al aeropuerto de salida.

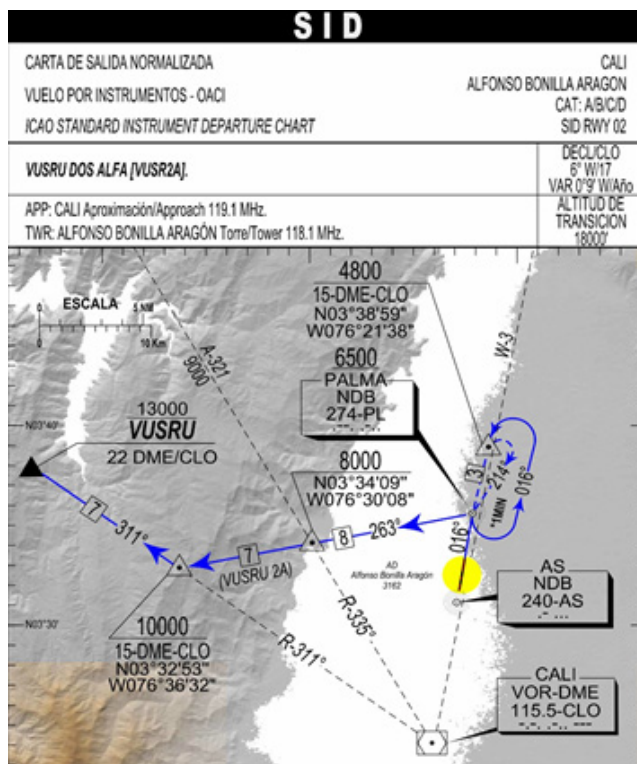
Conocer a profundidad y entender los procedimientos de salida es vital para la planificación y ejecución del vuelo de manera segura. Las decisiones que se tomen pueden depender en gran medida de la información allí contenida o de la interpretación que se le da a esta. Si no conoce las cartas de un país, tómese un tiempo para estudiarlas y analizarlas antes de iniciar una operación de vuelo IFR, aunque se tiene un estándar mundial, se presentan ciertas variaciones.

Salidas estandarizadas por instrumentos (SID)

Un procedimiento de salida está diseñado para proveer franqueamiento de obstáculos a una aeronave inmediatamente después del despegue y hasta que intercepte el segmento en ruta. (OACI, 2006(a), pp. I-3-1-1) Estos parten de la base que la operación es normal y no sufre ninguna emergencia, por eso, es responsabilidad del piloto garantizar que, durante un procedimiento de emergencia o anormal, se mantenga el franqueamiento de obstáculos.

El propósito de un procedimiento SID, es economizar el tiempo necesario para hacer una salida, y, así mismo, el espacio aéreo requerido. Es importante que el piloto esté familiarizado con el diseño de estos procedimientos, esto facilitará su interpretación.

Figura 114. Carta de salida estandarizada IFR - Cali



Fuente: AIP Colombia, 2020.

Algunos de los factores que determinan el diseño del procedimiento y que es importante conocer son:

Franqueamiento mínimo de obstáculos – MOC. El procedimiento garantiza un franqueamiento de obstáculos basándose en una superficie de identificación de obstáculos – OIS, un gradiente de ascenso del procedimiento y un área que se extiende, por lo general, entre 5 y 10 Nm, dependiendo si el procedimiento incluye virajes o es directo, comprendida entre los ángulos de 15° formados a lado y lado del final de la pista – DER. Si se cumplen las condiciones mencionadas anteriormente, y el obstáculo no penetra el OIS, el procedimiento garantiza un franqueamiento de obstáculos de 48 pies por milla náutica.

Identificación de obstáculos en superficie (OIS). Con el objetivo de determinar un procedimiento de salida para un aeropuerto determinado se comienza por buscar obstáculos en una proyección de 40:1 desde el final de pista. Esta elevación es equivalente a una gradiente de 2,5% o 152 pies por milla náutica. Según el criterio de la OACI, el OIS inicia a 16 pies de altura sobre el final de la pista – DER. Esta identificación de obstáculos involucra expertos como topógrafos,

entre otros, no se hace de manera aleatoria y se debe validar periódicamente para verificar que no haya erigido algún obstáculo nuevo, una antena, por ejemplo.

Gradiente de procedimiento. El gradiente se encuentra publicado en la carta y corresponde al 2,5% del OIS más un 0,8%, es decir, 3.3% como gradiente mínimo de procedimiento, esto es equivalente a 200 pies por milla náutica. A menos que una gradiente mayor esté publicada, una aeronave despegando está obligado a cumplir como mínimo los 200 pies por milla náutica en todas las salidas estandarizadas.

Figura 115. Gradiente de diseño de procedimiento de una carta de salida estandarizada IFR

Gr. (%)	KTS	90	110	130	150	180	200	
PDG	4.6	ft/min	419	512	606	699	838	932

Nota. En la imagen se observa un PDG mayor al mínimo estandarizado de 4.6%, esto puede obedecer a varios factores, principalmente el terreno. Esto es muy común en Colombia debido a la topografía. Fuente: AIP, Colombia.

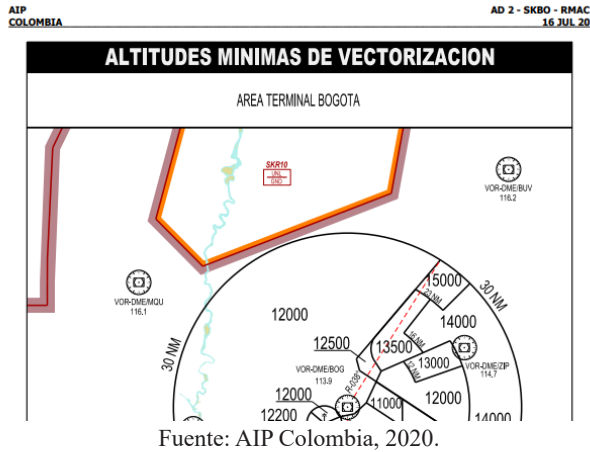
Altura de cruce de final de pista – RECH. Los procedimientos están diseñados asumiendo que la aeronave cumple con los requisitos de gradiente mínimo, con la precisión en la ejecución de la ruta y con una altitud mínima de cruce en el umbral o final de la pista. Esta altura va desde 0 a 35 pies sobre el final de pista, para la OACI el estándar es 16 pies. Este factor cobra importancia cuando se considera que, si se despega desde una pista con un criterio de 35 pies y no se cumple, se estará volando bajo los mínimos de diseño de la salida. Para una mayor seguridad, asuma que siempre se debe cruzar el umbral con mínimo 35 pies sobre el terreno.

Salidas por radar

Tenga muy presente que la guía por medio de vectores de radar no exime al piloto de mantener la separación con el terreno o los obstáculos. Para este propósito existe la carta de altitudes mínimas de vectorización para cada aeródromo en específico y que cuente con esta capacidad.

Observe los rumbos, altitudes o niveles de vuelo y el punto al cual está autorizado por parte del controlador. Si le cabe alguna duda respecto a alguna instrucción, consulte nuevamente. De no ser posible cumplir alguna restricción de altitud es necesario que el piloto comunique esta situación al controlador. En ocasiones puede ocurrir que el controlador le asigne un rumbo para volar de manera visual antes de iniciar la guía por vectores, asegúrese de haber entendido la autorización antes de despegar.

Figura 116. Carta de altitudes mínimas para vectorización - TMA de Bogotá



Comunicaciones

Durante la planificación del vuelo revise las frecuencias a utilizar durante toda la navegación y repase la secuencia lógica de aquellas que va a ocupar. No las memorice, use un formato para este propósito. Esto es importante ya que le permitirá no perder tiempo en vuelo realizando chequeos que pudieron haber sido planificados en tierra. Incluya frecuencias alternas, es muy frecuente que haya planeado despegar, por ejemplo, de la pista 13L en Bogotá y le autoricen la 13R, prevea esas situaciones para que su vuelo sea más eficiente.

Es importante conocer y ceñirse a la fraseología estandarizada para no generar confusión en el control o en los otros tráficos.

Autorizaciones

Antes de iniciar cualquier operación de vuelo por instrumentos, se debe recibir una autorización por parte del control de tránsito. Esto con el fin de mantener una separación entre tráficos en un espacio aéreo específico.

La autorización incluirá el aeródromo de destino al que se autoriza proceder, la SID autorizada, la ruta de vuelo (aerovías), la altitud o nivel de vuelo que debe volar en orden, ajuste altimétrico, código transponder, instrucciones de espera si es necesario y la frecuencia de comunicaciones para la salida. El piloto debe colacionarlas, es decir repetir las instrucciones como las recibió para que el control tenga la certeza de que entendió. Para un piloto con poca experiencia esto puede ser un verdadero desafío, se recomienda que lleve una piñera y tome nota para que colacione de manera correcta, de lo contrario, no lo van a dejar salir.

Por ejemplo:

"Bonilla Aragón autoriza al FAC 2422, proceder a Buenaventura, vía (salida estándar instrumentos) SIGIR 5C, SIGIR, VOR de Buenaventura. Subir y mantener 11.000 pies. QNH 29,92. Código transponder XXXX. Hacer espera en SIGIR con 11.000 pies con curso de acercamiento 287° hasta recibir autorización de Cali aproximación frecuencia 119.1".

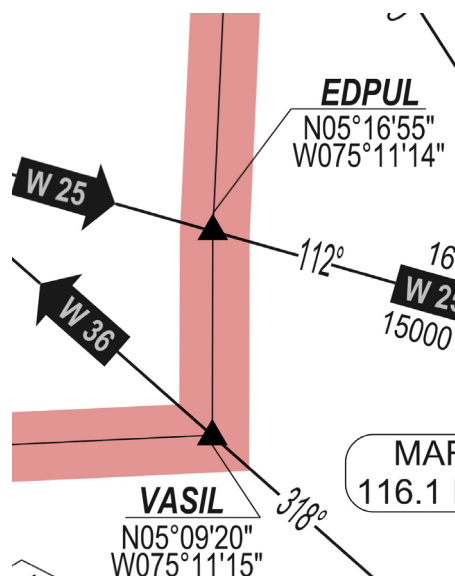
Como se puede observar, es mucha información en un periodo de tiempo muy corto y con altas cargas de trabajo.

Reportes de posición

Cuando se le solicite un reporte de posición o cuando se encuentre en un fijo de reporte obligatorio, estos se identifican en las cartas mediante un triángulo negro ($\blacktriangle$), deberá hacerlos de la siguiente manera, salvo que el control de tránsito indique lo contrario, o, por ejemplo, se cuente con otras tecnologías que lo suplan.

- Identificación de la Aeronave.
- Posición que está reportando.
- Hora UTC sobre dicha posición.
- Nivel de Vuelo o altitud.
- Hora UTC estimada próximo punto.
- Nombre del punto subsiguiente.
- Información adicional pertinente, trate de no congestionar la frecuencia.

Figura 117. Fijos de reporte obligatorio en una carta de navegación IFR



Fuente: AIP Colombia, 2020.

Reportes adicionales

Además de los reportes anteriores, los siguientes son los llamados normales que el ATC espera recibir:

- Cuando se abandona una altitud o nivel de vuelo.
- Al iniciar una aproximación.
- Al realizar una aproximación frustrada para solicitar instrucciones o pedir autorización para una acción específica.

Los siguientes no son necesarios si se encuentra bajo cobertura radar con ATC:

- Hora y altitud o nivel de vuelo en que se alcanza un fix de espera (circuito) o punto al que fue autorizado.
- Dejando un circuito de espera o punto asignado.
- Corrección de la estimada a un fix cuando ésta cambia más de 2 minutos.

Procedimientos en ruta

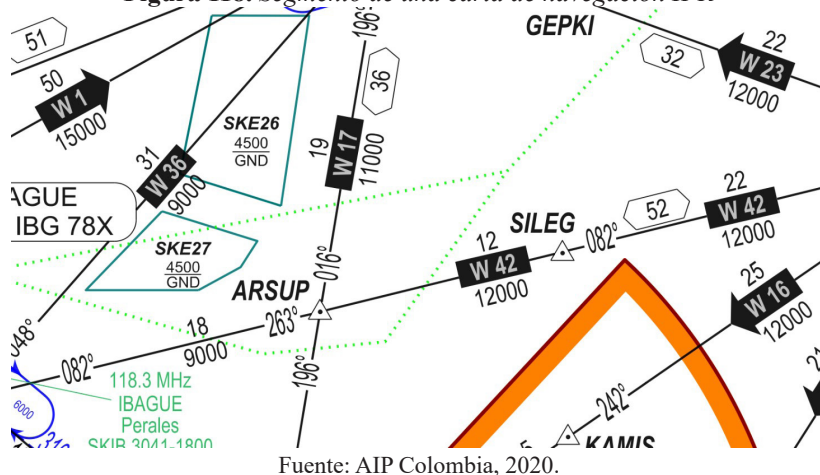
Los procedimientos en ruta varían según la ruta propuesta, el entorno de tráfico y las instalaciones del ATC que controlan el vuelo. Algunos vuelos IFR están bajo vigilancia por radar y controlados desde la salida hasta la llegada y otros dependen totalmente de la navegación del piloto.

Recuerde que, para determinar una ruta entre dos aeropuertos o aeródromos, debe valerse de las cartas como los TMA, las cartas de aerovías superiores o inferiores según corresponda al nivel de vuelo que va a utilizar. Así como se hizo con las frecuencias de comunicaciones, se debe considerar el tipo de radioayudas existentes, escribirlas en un orden lógico, de manera que las encuentre fácilmente y reduzca las cargas de trabajo, planee además rutas alternas.

Estudie los MEA y cualquier otra información relevante de las aerovías a utilizar. Verifique los fijos (intersecciones) y las distancias entre éstos y las radioayudas. Recuerde que todas las distancias aparecen en millas náuticas y los cursos como rumbos magnéticos.



Figura 118. Segmento de una carta de navegación IFR



Estudie posibles aeródromos alternos durante la ruta por si se presenta una emergencia, durante el crucero puede experimentar piernas largas sin cambios de actitud que lo pueden llevar a perder la conciencia situacional, para que esto no le suceda, es una buena idea hacer un chequeo 6T y verificar que no ha tenido ninguna desviación por viento, etc. Igualmente, esté atento a aplicar la técnica de corrección por viento explicada con anterioridad.

Descenso y arribo a un terminal aéreo

La preparación para la llegada y el aterrizaje inicia mucho antes del descenso, se debe hacer un planeamiento detallado puesto que en esta fase es donde se concentra la mayor carga de trabajo para el piloto y ajustar una actitud precisa le va a permitir dividir la atención en las otras tareas, recuerde que el chequeo WHOLDS es una buena herramienta para este momento. No espere a hacerlo hasta el último momento, aproveche los momentos del crucero donde las cargas de trabajo se reducen.

Los procedimientos ATC y el trabajo requerido en la cabina varían dependiendo de las condiciones meteorológicas, densidad de tráficos, equipamiento del avión y la disponibilidad de servicio radar.

El piloto puede solicitar un descenso en ruta para acomodar mejor su procedimiento de llegada, tenga presente que no puede descender por debajo de la MEA, de lo contrario estará poniendo en riesgo su integridad. Debe esperar a que el control lo autorice para iniciar el descenso, mantenga la última altitud asignada hasta recibir la autorización. En ocasiones, cuando el tráfico es bajo, el control puede emitir una autorización “a discreción del piloto” esto significa que puede descender como mejor le convenga para su vuelo, pero, con la salvedad que si deja libre un nivel de vuelo o una altitud no podrá regresar a él, a menos que se le autorice.

Capítulo 1. Manual básico de instrumentos

La interpretación de las cartas de navegación es vital para evitar el vuelo controlado contra el terreno.

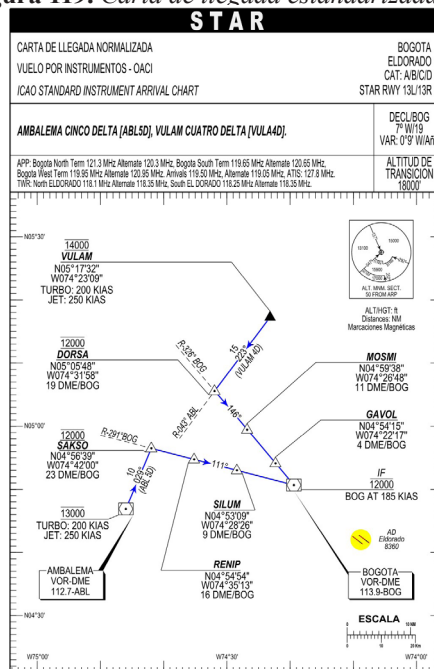
Rutas de llegada estandarizada por instrumentos (STAR)

Estas cartas de llegada normalizada vuelo por instrumentos, consisten en rutas determinadas y su objetivo es simplificar los procedimientos y autorizaciones para aviones arribando en áreas de alta densidad de tráfico. Normalmente se extienden hasta 25 Nm y tienen un área de protección que se reduce, en un ángulo de 30° a cada lado, desde la 4 Nm del segmento en ruta, hasta mantener el mismo criterio de la aproximación inicial que es explicado en el apartado aproximaciones. En esta área se ofrece un franqueamiento de obstáculos de 1000 pies en el área primaria y se reduce desde el borde interior hasta cero en el borde exterior de la secundaria.

Recuerde que el piloto puede rechazar la STAR si no la conoce, u otro motivo que considere afecta su seguridad, pero si la acepta y lo autorizan, es su responsabilidad tener le procedimiento actualizado, Si tiene alguna duda, no vacile en rechazar la STAR y solicitar el descenso en un circuito de espera o por vectores de radar.

El punto final del procedimiento es el límite de la autorización. Una autorización para una STAR “no es una autorización para una aproximación”. En el evento de pérdida de comunicaciones, una vez que alcance el límite de la STAR usted está autorizado para realizar cualquier procedimiento de aproximación.

Figura 119. Carta de llegada estandarizada IFR



Antes de iniciar una STAR asegúrese de haber verificado y planeado el descenso correspondiente, que tiene la capacidad para volar a, o por debajo de, la velocidad máxima publicada y de cumplir con los requisitos de navegación exigidos por el procedimiento.

Aproximación

Una de las fases importantes del vuelo por instrumentos es la aproximación. Es una serie de maniobras destinadas a ubicar a la aeronave en una posición, tal que le permita un aterrizaje seguro. Existen varios tipos de aproximaciones, VOR, ADF, ILS, RNAV, etc. Todas son importantes y poseen distintos grados de complejidad, por lo que requieren de una planificación previa por parte del piloto.

Las aproximaciones por lo general se componen de tres segmentos, inicial, intermedio y final. Sin embargo, es común encontrar procedimientos donde omiten el inicial y la aproximación inicia directamente en el intermedio, depende de factores como la topografía, el flujo de tráfico, etc.

El segmento inicial tiene como objetivo permitir la transición del segmento en ruta al de aproximación, configurar la aeronave para el descenso y reducir la velocidad. Tiene un área primaria de franqueamiento de obstáculos de 2.5 Nm a cada lado, y 2.5 Nm más de área secundaria. Un gradiente normal de descenso es de 4.0% y puede ser aumentado por necesidades específicas hasta 8.0%

El segmento intermedio cuyo objetivo es preparar la aeronave para ingresar el segmento final, esto es, se debe configurar la aeronave, ajustar velocidad y potencia para el aterrizaje. Su área de franqueamiento de obstáculos, de 500 pies en el área primaria y se reduce a cero en el borde exterior de a secundaria. Esta se reduce desde la correspondiente al segmento inicial hasta la del segmento final, en un ángulo que dependerá del largo del procedimiento, máximo 15 Nm y mínimo 5 Nm. El gradiente máximo de descenso es de 5.2%, y si tiene restricción de velocidad inferior a 165 nudos, 13.2%.

El segmento final tiene como propósito alinear la aeronave con la pista y hacer el descenso para el aterrizaje. El franqueamiento de obstáculos y otros factores dependerá del tipo de aproximación y se cubrirán en el apartado de cada una de ellas. Este segmento puede resultar en dos clases de aproximación según el alineamiento que se obtenga con la pista, directas o circulares.

Directa

Es aquella que el ángulo formado entre la prolongación del eje de pista y el rumbo de aproximación final es inferior a 30° y estas no se interceptan a una distancia menor a 1.400 metros.

Circular

Es aquella que el ángulo formado entre la prolongación del eje de pista y el rumbo de aproximación final es mayor de 30° y/o el gradiente de descenso en el área de aproximación final no cumple con los criterios de la OACI. En este caso se debe completar una maniobra visual al final de la aproximación para alinear la aeronave con la pista.

Aproximaciones de no precisión

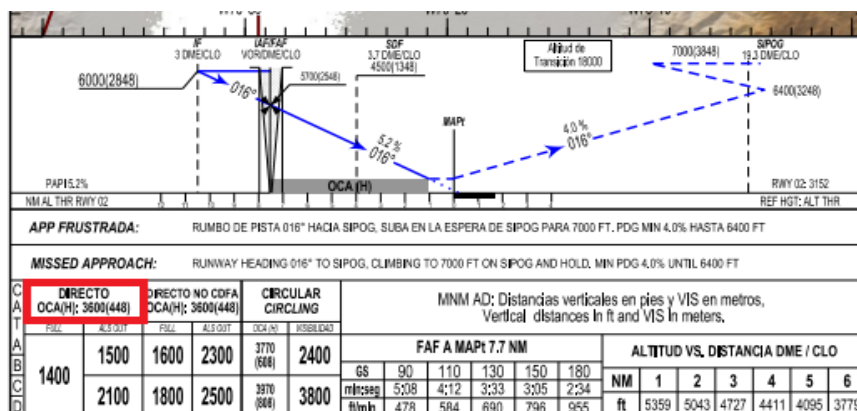
Es un procedimiento de aproximación por instrumentos basado en un sistema de navegación que proporciona información de desviación del curso, pero no información de desviación del planeo vertical, por ejemplo, VOR, NDB, LNAV. Esta inicia en el fijo de aproximación final – FAF, permite un descenso hasta la altitud mínima de descenso – MDA, que toma como referencia la elevación del umbral, y termina en el punto de aproximación frustrada – MAP. En ese punto, el piloto debe tener contacto visual con la pista o con las ayudas terrestres, como las luces de pista, etc. para tomar la decisión de aterrizar o frustrar.

Es importante que antes de cruzar el FAF en aproximación el piloto tenga conocimiento de los siguientes factores, si no están en la carta se deben calcular. Recuerde que el chequeo WHOLDS es muy útil en este punto.

- El tiempo desde el FAF al MAP
- El punto de descenso visual – VDP
- El régimen de descenso según la categoría de la aeronave.
- La altitud mínima de descenso – MDA
- Los mínimos de visibilidad según la categoría de la aeronave.
- El procedimiento de aproximación frustrada.

Punto de descenso visual – VDP. Este le permitirá hacer un descenso diferente al publicado en la carta, de manera que alcance la MDA antes y pueda interceptar una trayectoria de descenso de 3° a la pista. Esto es importante cuando el MAP coincide con el umbral de la pista y esta es corta.

Figura 120. Cuadro de mínimos de aproximación IFR de una IAC



Nota. En un cuadro rojo se resalta el lugar donde se puede leer el HAT entre paréntesis en una carta de aproximación de no precisión en Cali. Fuente: AIP Colombia, 2021.

El VDP se encuentra en la mayoría de las cartas de aproximaciones de no precisión que cumplen con el criterio, sin embargo, se puede calcular fácilmente. De la carta



Conocimientos aeronáuticos para el Piloto Militar.
Instructivo operacional de la Escuela Militar de Aviación
“Marco Fidel Suárez” - Volumen III

obtenga la altura sobre el umbral – HAT, la encuentra en el cuadro de mínimos entre paréntesis.

El gradiente de descenso de 3° es 300 pies por milla náutica, divida el HAT por el gradiente mencionado y obtendrá la distancia que hay desde el umbral hasta el VDP.

Del mismo cuadro de mínimos se obtiene la distancia del FAF al MAP, basta con restar el resultado de la división anterior y esa es la distancia del FAF al VDP. Tenga en cuenta que los valores de tiempo y régimen de descenso de la carta son con referencia a la distancia FAF – MAP, por lo que deberá calcular unos nuevos.

Por ejemplo, suponga que el HAT es 410 pies, entonces:

$$410/300 = 1,36 \text{ Nm. (esta es la distancia desde la pista al VDP)}$$

Ahora suponga que la distancia FAF – MAP es de 8.5 Nm, entonces:

$$8.5 - 1.3 = 7,2 \text{ Nm. (esta es la distancia FAF – VDP)}$$

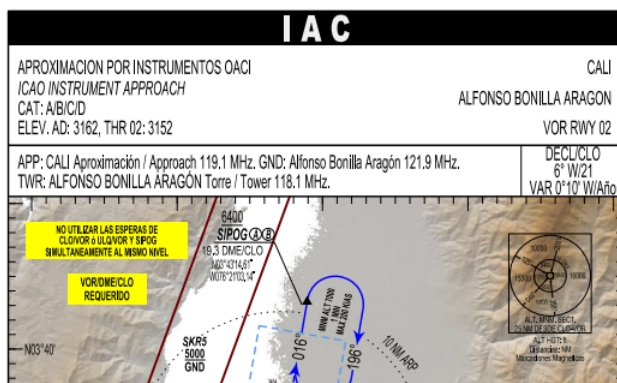
Ya con esa distancia le es posible calcular tiempo y régimen de descenso usando la regla 60-1. Tenga en cuenta que la velocidad de la aproximación es velocidad terrestre – GS, entonces debe ajustar la IAS para que la GS sea la indicada en la carta y hacer el cálculo con esa misma velocidad GS. Así mismo, los efectos del viento en la GS que le harán variaciones en los parámetros de descenso, por ejemplo, un viento de frente resultará en menor velocidad y, por lo tanto, se incrementará el régimen de descenso.

Gradiente máximo de descenso El gradiente máximo de descenso para una aproximación directa de no precisión es de 5.2%.

Figura 121. Segmento de carta de aproximación IFR de no precisión - VOR

AD 2 - SKCL - IAC 4
30 DEC 21

AIP
COLOMBIA

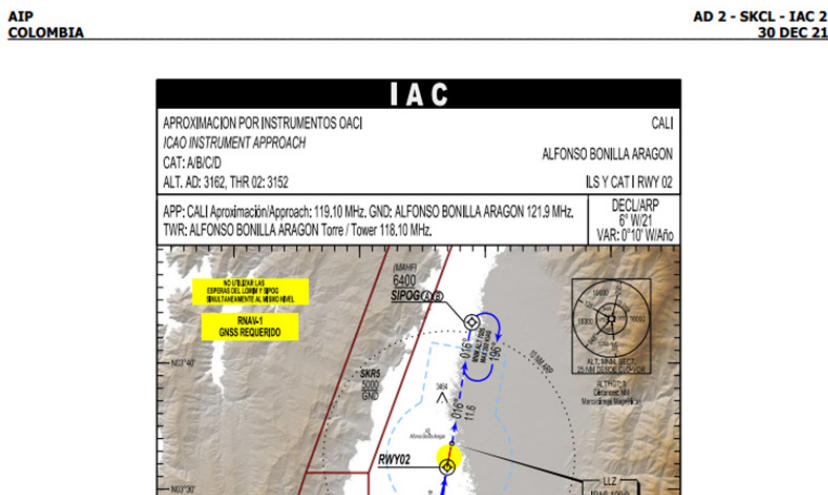


Fuente: AIP Colombia, 2021.

Aproximaciones de precisión

Una aproximación de precisión es una aproximación de instrumentos que se basa en un sistema de navegación que proporciona información de desviación del curso y el planeo.

Figura 122. Segmento de carta de aproximación IFR de precisión - ILS



Fuente: AIP Colombia, 2021.

Vertical que cumple con los estándares de precisión del Anexo 10 de la OACI (es decir, PAR, ILS y GLS). Esta inicia en el punto de aproximación final – FAP y termina al alcanzar la altitud de decisión – DA o la altura de decisión – DH. Esta, por el contrario, no permite el cálculo del VDP. Se recomienda ver la sección del ILS en este documento donde se explica detalladamente su funcionamiento y limitaciones.

Categorías de aproximación

El piloto debe reducir la velocidad de la aeronave de acuerdo con el manual de vuelo de la aeronave antes de alcanzar el IAF. Una aproximación estabilizada dentro del IAF es vital para una aproximación y aterrizaje exitosas.

Las velocidades indicadas se emplean para determinar el radio de viraje. Los mínimos meteorológicos y las características de las áreas de protección para las aproximaciones directas, circulando y frustrada, están determinadas de acuerdo con la categoría de la aeronave. Estas son calculadas según la velocidad de pérdida en configuración de aterrizaje – Vso, más un 0.3, es decir 1.3 Vso. Si decidiera maniobrar a velocidades sobre el límite de velocidad de su categoría, se emplearán los mínimos publicados para la categoría superior.



Tabla 4. Categorías de aproximación

Categoría de Aeronave	Rango de Velocidades para el Segmento de Aproximación Inicial (KIAS)	Rango de Velocidades para el Segmento de Aproximación Final (KIAS)
A	90 a 150 (110*)	70 a 100
B	120 a 180 (140*)	85 a 130
C	160 a 240	115 a 160
D	185 a 250	130 a 185
E	185 a 250	155 a 230
H	70 a 120**	60 a 90**
CAT H (PinS)***	70 a 120	60 a 90

* Velocidad máxima para procedimientos de inversión e hipódromo.

** Velocidad máxima para los procedimientos de inversión e hipódromo hasta 6,000 pies inclusive es de 100 nudos y la velocidad máxima para los procedimientos de inversión y hipódromo por encima de 6,000 pies es de 110 nudos.

*** Los procedimientos de helicóptero de "Punto en el espacio" (PinS) basados en GNSS básicos se pueden diseñar utilizando velocidades máximas de 120 nudos para los segmentos iniciales e intermedios y 90 nudos en los segmentos de aproximación final y frustrada, o 90 nudos para segmentos iniciales e intermedios y 70 nudos en segmentos finales y de aproximación frustrada según la necesidad operativa.

Fuente: U.S. Air Force, 2019. Adaptado por Hernández & Trujillo, 2020.

Aproximación frustrada

El objetivo de una aproximación frustrada es proveer de una trayectoria de vuelo libre de obstáculos que permita al piloto retornar al espacio aéreo de ruta o al segmento inicial de una aproximación. Se debe ejecutar una aproximación frustrada cuando:

- Arribado al punto de aproximación frustrada (MAPt), no se haya establecido contacto visual con la pista, habiendo alcanzado o no la MDA.
- Cuando el piloto estime que no es posible un aterrizaje seguro.
- Cuando ATC lo ordene.

Por lo tanto, deberá estar familiarizado con el procedimiento de aproximación frustrada establecido antes de comenzar el descenso. El segmento de la aproximación frustrada de un procedimiento de aproximación instrumental comienza en el punto de aproximación frustrada – MAPt y termina en el límite de la autorización de la frustrada.

El criterio de construcción de este tipo de procedimientos especifica que una frustrada debe ser simple e indicar una altitud y un límite de autorización. Con el objetivo de mantenerse dentro del área de franqueamiento de obstáculos, se considera que la aproximación frustrada debe ser iniciada en el MAPt a una altitud no menor a la DA o MDA, según sea el caso, y el ascenso debe ser de al menos con una gradiente de 152 pies por NM (2.5%) a menos que una gradiente mayor sea especificada.

Considerando que el área de seguridad comienza en el MAPt, no inicie ningún viraje antes de este punto, incluso si la decisión de frustrar ya ha sido tomada, de lo contrario podrá exceder los límites del espacio aéreo protegido. Por otro lado, la ejecución del procedimiento puede ser comenzada antes del punto de inicio.

La planificación será lo más importante de una aproximación frustrada, y se aplicarán los procedimientos que correspondan a la aeronave con respecto a la frustrada. Después de encontrarse en ascenso, notifique a la agencia de ATC, estableciendo sus intenciones y/o solicitando autorización para una nueva aproximación.

Alternos

Para iniciar un vuelo, los mínimos meteorológicos de salida de un aeródromo no deberán ser inferiores a los mínimos aplicables para el aterrizaje en ese aeródromo, salvo que se disponga de un aeródromo de alternativa de despegue que se encuentre dentro de los siguientes tiempos de vuelo: (UAEAC, 2019).

Para los aviones con dos motores, una hora de tiempo de vuelo a la velocidad de crucero con un motor inoperativo, determinada a partir del manual de operación de la aeronave, calculada en condiciones ISA y de aire en calma utilizando el peso (masa) de despegue real.

Para los aviones con tres o más motores, dos horas de tiempo de vuelo a la velocidad de crucero con todos los motores en marcha, determinadas a partir del manual de operación de la aeronave, calculada en condiciones ISA y de aire en calma utilizando al peso (masa) de despegue real.

Para los aviones que se utilizan en operaciones con tiempo de desviación extendido (EDTO), cuando no está disponible ningún aeródromo de alternativa que cumpla los criterios de distancia de los subpárrafos (1) o (2), el primer aeródromo de alternativa disponible situado dentro de la distancia equivalente al tiempo de desviación máximo aprobado del explotador, considerando el peso (masa) de despegue real. (UAEAC, 2019).

Alternos en ruta. Los aeródromos de alternativa en ruta, estipulados para las operaciones con tiempo de desviación extendido de aviones con dos motores de turbina, se seleccionarán y se especificarán en el plan operacional de vuelo y en el plan de vuelo para los servicios de tránsito aéreo (UAEAC, 2019).

Alternos de destino. Para todo vuelo que haya de efectuarse, bien sea bajo reglas de vuelo visual o reglas de vuelo por instrumentos, se seleccionará y especificará, al menos, un aeródromo de alternativa de destino en el plan operacional de vuelo y en el plan de vuelo ATS. (UAEAC, 2019).

Para la elección del aeródromo alternativa debe tener en cuenta los criterios de pista disponible de acuerdo con la categoría de su aeronave y el peso actual. Igualmente, verificar que tengan combustible y las condiciones de la pista, atención del control de tránsito, etc.



Alternos para helicópteros. Para todo vuelo de helicópteros que haya de efectuarse, bien sea bajo reglas de vuelo visual o reglas de vuelo por instrumentos, se seleccionará y especificará al menos un helipuerto, aeródromo o lugar de aterrizaje de alternativa de destino en el plan de vuelo.

Combustible

El cálculo de combustible para una misión IFR en aeronaves de ala fija se debe considerar:

- Volar hasta el aeródromo de aterrizaje previsto y luego hasta el aeródromo de alternativa más distante indicado en el plan de vuelo. (UAEAC, 2019).
- Si se trata de un vuelo nacional, disponer de una reserva de combustible final equivalente a, por lo menos, 45 minutos de vuelo a altitud normal de crucero. (UAEAC, 2019)
- Si se trata de un vuelo internacional, disponer de una reserva de combustible final equivalente a, por lo menos, 30 minutos de vuelo a altitud normal de crucero, más un combustible de contingencia correspondiente al 5% del tiempo total requerido para volar del aeródromo de origen al aeródromo de destino. (UAEAC, 2019)

Y para aeronaves de ala rotatoria se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Volar hasta el helipuerto o lugar de aterrizaje al cual se proyecta el vuelo, realizar una aproximación y una aproximación frustrada. (UAEAC, 2019).
- Volar hasta el helipuerto o lugar de aterrizaje de alternativa especificado en el plan de vuelo y ejecutar una aproximación al mismo. (UAEAC, 2019).
- Disponer de combustible final de reserva para volar durante 30 minutos a la velocidad de espera a 450 m (1.500 ft) por encima del helipuerto o lugar de aterrizaje de alternativa, en condiciones normales de temperatura, efectuar la aproximación y aterrizar. (UAEAC, 2019).
- Disponer de una cantidad adicional de combustible para compensar el aumento de consumo en caso de posibles contingencias. (UAEAC, 2019).

ANEXO A. REGLA 60-1

La regla de 60-1, es una proporción basada en fundamentos matemáticos y en las dimensiones del planeta tierra. De la cual se deriva un conjunto de fórmulas matemáticas, que proporcionan cálculos predeterminados al aviador profesional con los que se mejoran la precisión y la conciencia situacional mientras se vuela. Es aplicable tanto en el plano vertical como en el horizontal, haciéndola utilizable durante todas las fases del vuelo. (Escuadrilla de simuladores FRASCA 242T FAC).

La regla 60-1 es una técnica para establecer cambios de cabeceo y anticipos que nos ayudan a determinar:

Capítulo 1.

Manual básico de instrumentos

- Intercepciones de rumbo
- Anticipaciones y cálculos en el arco
- Puntos de descenso en ruta
- Puntos de descenso visual
- Velocidades Verdaderas, etc.

Estos cálculos son válidos siempre que el piloto mantenga (lo más cerca posible) una velocidad aerodinámica, un cabeceo o una inclinación constante. Según la aplicación que le estemos dando a la regla 60- 1.

Permite calcular los cambios de cabeceo necesarios para establecer una actitud adecuada, utilizando el concepto de control y comportamiento (ajustar cabeceo, compensar, efectuar chequeo cruzado y reajustar si es necesario) durante el vuelo.

Los cálculos de la regla 60-1 resultan en un vuelo más preciso, se requieren menos y más pequeños cambios de actitud, lo que reduce las cargas de trabajo y aumenta su capacidad para dedicar más esfuerzos cognitivos a otras áreas críticas del vuelo.

Cuando se vuela el avión con mayor precisión, se requieren menos y más pequeños cambios de actitud. Esto da como resultado que el avión sea volado más económicamente.

Explicación matemática

Para determinar el ancho de 1° a 60 Nm. Primero se debe determinar el valor de 360°, lo que equivale al perímetro de la circunferencia. Es decir, $2 \times \pi \times \text{radio}$

Si se reemplaza el valor del radio considerando que este es 60 Nm. Tenemos:

$$\begin{aligned} \text{P.C.} &= 2 \times 3,1416 \times 60 \\ &= 376,99 \text{ Nm.} \end{aligned}$$

Ya se consiguió el valor de los 360°, ahora para obtener el valor de 1°, se debe dividir el valor de la circunferencia por los 360°:

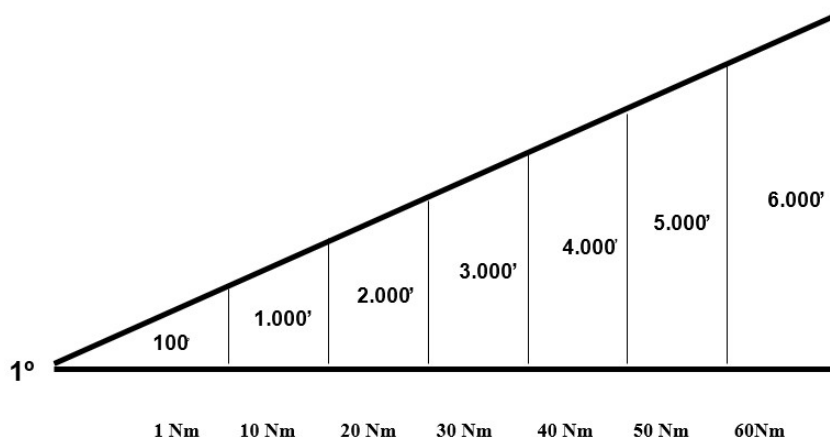
$$376.99 / 360^\circ = 1,0472 \text{ Nm.}$$

Si se aproxima el resultado a 1 Milla Náutica se obtiene que a 60 Nm. de distancia de la estación, 1° tiene un ancho aproximado de 1 Nm.

En el plano vertical el cálculo también se aplica; sin embargo, como en aeronáutica las altitudes se miden en pies y una milla náutica equivale a 6076 pies, este valor se aproxima a 6.000 pies, obteniendo que, a 60 Nm. de la estación, 1° equivale a 1 Nm. o 6.000 pies.

Análisis del plano vertical

Como se mencionó anteriormente la relación: distancia de la estación vs. ancho del grado, se mantiene constante a medida que se va acercando a la estación. Esta relación se puede graficar de la siguiente manera:



Fuente: IAAFA, 2002.

El largo de 1° a 1 Nm, es igual a 100 pies. 1° = 100 pies/Nm. Esta es la relación básica para los cálculos de cabeceo. La relación (1° = 100 Pies/Nm.) es una constante matemática, si cambiamos la distancia (Nm.) o el ángulo (grados), la altitud (pies) cambia en el mismo factor para mantener la relación constante:

Para 1 Nm. distancia	1°	=	100'	a	1 Nm.
Para 10 Nm. distancia	1°	=	1.000'	a	10 Nm.
Para 10° a 1 Nm.	10°	=	1.000'	a	1 Nm.
Para 10° a 10 Nm.	10°	=	10.000'	a	10 Nm.

Lo que se trata decir es que si se cambia la distancia (NM.), se multiplica la altitud (pies) por el mismo factor. Si se cambia el ángulo (grados), se multiplica la altitud (pies) por el mismo factor. Si se cambia ambos (ángulo y distancia) se multiplica la altitud por ambos factores. Los datos matemáticos involucrados no son importantes; pero si lo es la constante 1° = 100 Pies/Nm.

Determinación de la velocidad (TAS)

Como la aeronave se mueve en el espacio a una velocidad determinada, se hace necesario incluir esta velocidad en los cálculos. La forma de lograrlo es estableciendo una relación, entre la Velocidad Verdadera (TAS, en Nm./min) de la aeronave y el ángulo de cabeceo.

Capítulo 1.

Manual básico de instrumentos

La TAS aumenta sobre la Velocidad Indicada (IAS), a un régimen de 2% por cada 1.000 pies de aumento en altitud. Basado en esta afirmación se desprende la siguiente fórmula:

$$\text{TAS} = \text{IAS} + (2\% \text{ por cada } 1.000 \text{ pies}) \times (\text{IAS})$$

Ejemplo: Suponga que está manteniendo un Nivel de Vuelo 200 y una velocidad indicada de 270 Kn.

$$\text{TAS} = 270 + (2\% \times 20) \times 270$$

$$\text{TAS} = 270 + (0.40) \times 270$$

$$\text{TAS} = 378 \text{ nudos}$$

Este mismo cálculo se puede realizar a partir de los niveles de vuelo de la siguiente manera:

$$\text{TAS} = \text{IAS} + (\text{FL} / 2)$$

Ejemplo: Suponga que tiene el mismo nivel de vuelo 200 del ejemplo anterior y la misma velocidad indicada 270, al remplazar en la formula:

$$\text{TAS} = 200 + (270 / 2)$$

$$\text{TAS} = 370 \text{ nudos}$$

Otra manera de hacer el cálculo de la TAS es partir del número MACH, recuerde que muchas aeronaves lo usan para determinar su velocidad, de la siguiente manera:

$$\text{TAS} = (\text{Nº Mach}) \times 600$$

Ejemplo: Suponga que su aeronave tiene una velocidad de 0,6 MACH, es decir, vuela a 0,6 la velocidad del sonido, al remplazar en la formula.

$$\text{TAS} = 0.6 \times 600$$

$$\text{TAS} = 360 \text{ nudos}$$

Determinación de las Millas Náuticas por Minuto

Una vez que hemos determinado la TAS, podemos obtener las NM./min esto le va a facilitar hacer muchos cálculos y es recomendable que lo haga, sin embargo, tenga en cuenta que, si decide utilizar la TAS en nudos, es decir, millas náuticas por hora, los valores de los cálculos de tiempo le van a dar en decimales de hora.

Como ya se estableció, los nudos equivalen a millas náuticas por hora, esto indica que, para hallar la velocidad en millas náuticas por minuto, lo único que se debe hacer es dividir el valor de la TAS en 60. Igualmente, para calcularlo a partir del número MACH, se debe multiplicar por 10.

$$\text{TAS} / 60 = \text{Millas Náuticas por minuto.}$$
$$\text{N}^\circ \text{ Mach} \times 10 = \text{Millas Náuticas por minuto.}$$

Determinación velocidad vertical (VVI)

Si se confronta la TAS en Nm./min con los 100 Pies/Nm. que equivale a 1° , se tendrá la velocidad vertical para ascenso o descenso en una pendiente de 1° . Esta relación se traduce en la siguiente formula:

$$\text{VVI} = (\text{ALTITUD POR RECORRER} / \text{DISTANCIA}) \times \text{Nm/min}$$

De la fórmula se puede extraer que el gradiente, que es igual a altitud / distancia, al multiplicarlo por la TAS en Nm/min, se halla la velocidad vertical.

Esto también es posible calcularlo a partir del número MACH si se multiplica por 1000.

$$\text{V.V.I } 1^\circ = (\text{N}^\circ \text{ Mach}) \times 1.000$$

Si modificamos el ángulo, las fórmulas quedarán de la siguiente forma:

$$\text{V.V.I.} = \text{Grados de cabeceo} \times (\text{Nm./min}) \times 100$$
$$\text{V.V.I.} = \text{Grados de cabeceo} \times (\text{N}^\circ \text{ Mach}) \times 1.000$$

De estas fórmulas se puede concluir entonces que los grados de cabeceo equivalen al gradiente / 100.

Ejemplo. Suponga que va a ascender 4000 pies en una distancia horizontal de 15 Nm, entonces el gradiente será:

$$\text{GRAD} = (4000 / 15)$$

$$\text{GRAD} = 266,6 \text{ pies por milla náutica}$$

Así mismo, hallado el gradiente, se puede remplazar en la fórmula suponiendo que tiene una velocidad de 1,8 Nm/min. así:

$$\text{VVI} = 2,6^\circ \times 1,8 \text{ Nm/min} \times 100 \text{ (constante)}$$
$$\text{VVI} = 478,8 \text{ pies/min}$$

Recuerde que los grados de cabeceo se obtienen del gradiente, por lo tanto, al multiplicar Nm/min x Pies/Nm las millas náuticas se eliminan y el resultado será pies/minuto.

Ángulo de banqueo estándar

Antes de comenzar un viraje, el piloto debe determinar el ángulo de inclinación lateral. Los factores que se deben considerar son: la velocidad verdadera y el régimen de viraje deseado.

$$\text{Ángulo de banqueo estándar} = (\text{TAS} / 10) + 5$$

Y el anticipo para sacar planos a nivel será la mitad del banqueo estándar.

Anticipación para nivelada

10% de la velocidad vertical - VVI

Ejemplo: Para un ascenso a 1500 ft/min la anticipación debe ser de 150 ft.

Cono de confusión

La zona del espacio situada directamente encima del VOR se conoce como cono de confusión. En ella se produce la transición del área FROM al área TO o viceversa.

En esta frontera entre las áreas TO y FROM del VOR, los instrumentos experimentan una falta de precisión y pueden actuar de modo errático por unos instantes. De ahí lo de confusión. Sin embargo, una vez superada esta frontera, la transición se completa y las lecturas del VOR vuelven a ser válidas. A mayor altura el cono de confusión se hace más grande:

$$\text{Cono de confusión} = \text{Altura sobre la estación} / 6000$$

Anticipo radial/arco

Para intercepciones de un arco desde un radial, se realiza un cambio de dirección de 90° (sin corrección de deriva). El avión no realiza dicho viraje en un punto, se desplaza determinada distancia en función de la velocidad a la que vuela. A esa distancia se le define como radio de viraje.

$$\text{Radio de Viraje} = \text{TAS (Nm. / min)} - 2 = \text{Nm}$$

$$\text{Radio de Viraje} = \text{TAS (Nm/min)}^2 / 10 = \text{Nm}$$

El radio de viraje, en millas, es el anticipo que el piloto debe tener en cuenta para comenzar su viraje, con 30° de inclinación alar, para salir interceptado en el arco deseado, (tenga presente que estos cálculos son sin considerar el viento).

Anticipo arco/radial

Hasta el momento se ha visto la aplicación de la regla 60-1 en el plano vertical; si trasladamos esta aplicación al plano horizontal, debemos utilizar una unidad de medida acorde; por lo cual hablamos a partir de ahora en Nm.

Conocimientos aeronáuticos para el Piloto Militar.
Instructivo operacional de la Escuela Militar de Aviación
“Marco Fidel Suárez” - Volumen III

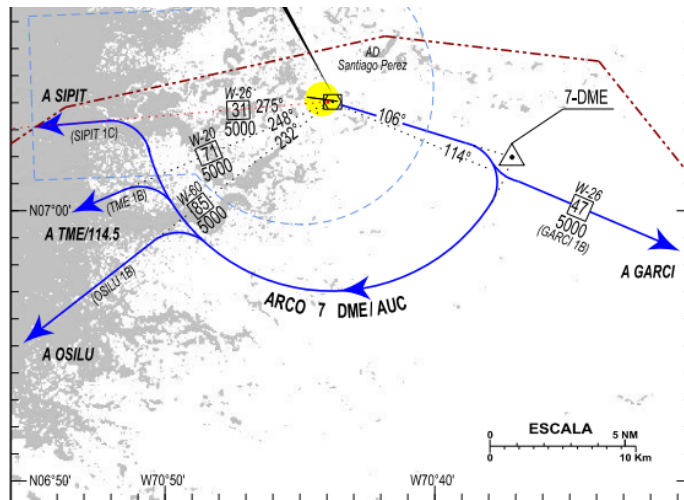
El ancho de 1o a 60 Nm equivale a 1 Nm y esta relación se mantiene a medida que nos acercamos a la estación. Esta relación le permite determinar cuántos Radiales por Milla Náutica hay a distintas distancias.

$$\text{Radiales por Milla Náutica (Rad/Nm)} = 60 / \text{DME}$$

Con esta información solo resta **incluir el radio de viraje** del avión en el cálculo, obteniendo de esta manera el anticipo en radiales para interceptar un radial proviniendo desde un arco.

$$\text{Anticipo Arco} - \text{Radial} = (60/\text{DME}) \times \text{Radio de Viraje}$$

Determinación distancia y tiempo a volar en un arco



Fuente: AIP Colombia, 2022.

Distancia

Primero se debe determinar el total de grados entre dos radiales que definen el arco; es decir el radial que cruza nuestro avión y el radial de destino. Luego se divide el arco matriz 60, entre el arco que se está volando. El resultado será la equivalencia de radiales en una milla náutica a esa distancia de la estación.

Por ejemplo, de la carta se extrae el DME del arco, que para el caso es 7.

$$60/7 = 8,5 \text{ Radiales / Milla Náutica}$$

Es decir que en una milla náutica se abarcan 8,5 radiales en un arco de radio 7 DME.

Luego se divide el total de grados calculados, entre el resultado de la relación radiales/milla náutica. El resultado será la cantidad de millas náuticas a volar, manteniendo el

Capítulo 2. Operación de Aeródromos

arco. En la carta se puede observar que el arco inicia el radial 106° y suponga que va a hacer le procedimiento OSILU 1B y abandonar por el radial 232°, el total de radiales es 126°.

Distancia del arco = Cantidad de radiales / Radiales / Milla Náutica

Distancia del arco = 126° / 8,5 Rad/Nm

Distancia del arco = 14,8 Nm

Tiempo

Para obtener el tiempo que demorará en alcanzar el radial, se determina primero su TAS en Nm./Min. Se divide la distancia a recorrer entre la TAS (Nm./Min.); el resultado dará el tiempo que demorará en alcanzar el radial deseado, manteniendo el arco.

$$\text{Tiempo} = \text{Distancia del arco} / \text{Velocidad (Nm/min)}$$

Determinación de inclinación alar constante para arco DME

Con esta fórmula podrá calcular el banqueo necesario para que, al mantenerlo constante, el arco se pueda ejecutar, desde luego que no se está teniendo en cuenta el factor viento y por eso la técnica de tramos cortos resulta más práctica

Se divide la constante (30) por el DME del arco que vuela, El resultado de la división, multiplíquelo por el radio de viraje en millas náuticas.

$$\text{Inclinación constante} = (30/\text{DME}) \times \text{Radio de Viraje}$$

2.

Operación de Aeródromos

ST. Enrique Peña Bañol

ST. Iván Mateo Ramírez Peñaloza

OD18. Andrea Falla Rubiano

<https://orcid.org/0000-0002-4277-2143>

TE. (RA) Luis Fernando Escobar Nieto

<https://orcid.org/0000-0001-9213-1793>

Escuela Militar de Aviación “Marco Fidel Suárez”

Fuerza Aeroespacial Colombiana



INTRODUCCIÓN

Toda vez que, normalmente un vuelo debe iniciar y terminar en un aeródromo, sin importar si es un aeródromo controlado, pequeño, militar o uno de operación internacional, reviste de gran importancia conocer, entender y aplicar las normas y procedimientos correctos que garanticen la seguridad tanto en tierra como en vuelo y en sus alrededores. El planeamiento del vuelo debe iniciar con un estudio detallado del aeródromo de origen y destino, así como también el alterno.

Hoy en día los aeropuertos son complejos ecosistemas donde se mezclan operaciones de todo tipo y es imperante que las tripulaciones sepan desempeñarse en ellos de manera correcta y segura, máxime cuando la Fuerza Aeroespacial Colombiana tiene hoy día un desempeño global.

En las siguientes páginas se presentarán datos relevantes sobre el funcionamiento, características, la información disponible, señales y luces entre otros, presentes en los diferentes aeropuertos, que le ayudarán a entender, desempeñarse o administrar, dependiendo del rol que desempeñe, un aeródromo moderno.

GENERALIDADES

Los diferentes servicios que prestaban los aeródromos surgieron al mismo tiempo en que nació la aviación comercial, esto sucedió en la primera década del siglo XX. Una vez que se pusieron en operación los aeródromos, se reconoció una necesidad y era que alguien empezara a informar a los pilotos de las condiciones de pista, dirección del viento y la existencia de otros aviones o vehículos en la zona por medio de banderas, haces de luz o radio, entre otros (Euston, 1996).

Colombia cuenta con 590 aeropuertos y campos de aterrizaje; 74 de estos son propiedad de la Aerocivil, 14 les pertenecen a los departamentos, 94 son municipales, 9 son militares; hay 185 dedicados a la fumigación y 214 son privados (Semana, 2019).

Según datos de *Flight Safety Foundation – FSF*, se estima que por cada 1000 salidas se presenta un accidente o incidente en tierra, aproximadamente 27.000 por año en el mundo, dando como resultado un aproximado de 243.000 personas afectadas en su integridad; aproximadamente 9 por cada 1000 salidas. Esto, aparte de afectar la seguridad de la industria aeronáutica, tiene un costo cercano a los 10 billones de dólares, discriminado en 5,8 billones de dólares en lesiones de empleados de la industria y un adicional 4,2 en costos derivados de los accidentes en tierra (Flight Safety Foundation, 2007).

Por su parte, la *Federal Aviation Administration – FAA* afirma en el manual *The human factors for airport operations*, que la mayoría de los accidentes en tierra

responden a algún tipo de error humano o violación de los procedimientos; que uno de cada 10 empleados de la industria de la aviación sufre una lesión al año por accidentes en tierra, haciendo de esta una de las labores más peligrosas y que generan más impacto en los costos de la industria; y, que cada dólar invertido en programas de seguridad va generar un ahorro de aproximadamente 6 dólares (Federal Aviation Administration, 2007).

Definiciones y abreviaturas

La presente parte, definiciones y abreviaturas, fue adoptada mediante el reglamento aeronáutico de Colombia número 6 capítulo 1, Gestión del Tránsito Aéreo, publicada en la Aerocivil el 20 de diciembre del 2015 y se incorpora al diseño sobre la correcta operación en aeródromos para el aprendizaje de los cadetes de la Fuerza Aérea Colombiana.

Aeródromo. Área definida de tierra o de agua (que incluye todas sus edificaciones, instalaciones y equipos) destinada total o parcialmente a la llegada, salida y movimiento en superficie de aeronaves.

Aeronave. Toda máquina que puede sustentarse en la atmósfera por reacciones del aire que no sean las reacciones de esta contra la superficie de la tierra.

Aeropuerto. Todo aeródromo especialmente equipado y usado regularmente para pasajeros y/o carga y que, a juicio de la UAEAC, posee instalaciones y servicios de infraestructura aeronáutica suficientes para ser operado en la aviación civil.

Aerovía. Área de control o parte de ella dispuesta en forma de corredor.

Alcance visual en pista (RVR). Distancia hasta la cual el piloto de una aeronave, que se encuentra sobre el eje de una pista, puede ver las marcas y /o luces que delimitan la superficie o que señalan el eje de la pista medida mediante mecanismos electrónicos aprobados.

Altitud. Distancia vertical entre un nivel, punto u objeto considerado como punto, y el nivel medio del mar (MSL).

Altura. Distancia vertical entre un nivel, punto u objeto considerado como punto, y una referencia especificada.

Área de aterrizaje. Parte del área de movimiento destinada al aterrizaje o despegue de aeronaves.

Avión (aeroplano). Aerodino propulsado por motor, que debe su sustentación en vuelo principalmente a reacciones aerodinámicas ejercidas sobre superficies que permanecen fijas en determinadas condiciones de vuelo.

Calle de rodaje. Vía definida en un aeródromo terrestre, establecida para el rodaje de aeronaves y destinada a proporcionar enlace entre una y otra parte del aeródromo, incluyendo:

- a) Calle de acceso al puesto de estacionamiento de aeronave. La parte de una plataforma designada como calle de rodaje y destinada a proporcionar acceso a los puestos de estacionamiento de aeronaves solamente.
- b) Calle de rodaje en la plataforma. La parte de un sistema de calles de rodaje situada en una plataforma y destinada a proporcionar una vía para el rodaje a través de la plataforma.
- c) Calle de salida rápida. Calle de rodaje que se une a una pista en un ángulo agudo y está proyectada de modo que permita a los aviones que aterrizan virar a velocidades mayores que las que se logran en otras calles de rodaje de salida y logrando así que la pista esté ocupada el mínimo tiempo posible.

Categoría de aproximación de aeronave. Clasificación de aeronaves basada en la velocidad 1.3. Vso. (al peso máximo certificado de aterrizaje). Son aquellos valores establecidos para las aeronaves por la autoridad certificante del Estado de Fabricación.

- a) Categoría «A»: Velocidad menor a 91 nudos.
- b) Categoría «B»: Velocidad mayor a 91 nudos, pero menor a 121 nudos.
- c) Categoría «C»: Velocidad de 121 nudos o más, pero menos de 141 nudos.
- d) Categoría «D»: Velocidad de 141 nudos o más, pero menos de 166 nudos.
- e) Categoría «E»: Velocidad de 166 nudos o más.

Control de tráfico aéreo. Servicio operado por la autoridad competente para promover un flujo de tráfico aéreo oportuno, seguro y ordenado

Dependencia. Organismo, entidad, oficina o instalación que preste un servicio.

Documentación Integrada de Información Aeronáutica. Conjunto de documentos que comprenden los siguientes elementos:

- a) Las AIP, con las enmiendas correspondientes.
- b) Suplementos de la AIP.
- c) NOTAM y PIB.
- d) AIC.
- e) Listas de verificación y listas de NOTAM válidos.

Elevación. Distancia vertical entre un punto o nivel de la superficie de la tierra y el nivel del mar. Elevación del aeródromo. La elevación del conjunto más alto del área de aterrizaje

Espacio aéreo con servicio de asesoramiento. Espacio aéreo de dimensiones definidas, o ruta designada, dentro de los cuales se proporciona servicio de asesoramiento de tránsito aéreo.



Capítulo 2. Operación de Aeródromos

Faro aeronáutico. Faro utilizado para indicar la posición de un aeródromo. Gestión de afluencia del tránsito aéreo (ATFM). Servicio establecido con el objetivo de contribuir a una circulación segura, ordenada y expedita del tránsito aéreo asegurando que se utiliza al máximo posible la capacidad ATC, y que el volumen de tránsito es compatible con las capacidades declaradas por la autoridad ATS competente.

Incidente. Todo suceso relacionado con la utilización de una aeronave, que no llegue a ser un accidente, que afecte o pueda afectar la seguridad de las operaciones aéreas.

Luces de ángulo de aproximación. Sistema de luces debidamente calibrado que da un régimen constante de descenso para la aproximación final.

Calle de rodaje. Luces aeronáuticas de superficie, dispuestas a lo largo de una calle de rodaje, para indicar la ruta que debe seguir una aeronave durante el rodaje.

Luces de obstáculo. Luces aeronáuticas de superficie destinadas a señalar los obstáculos.

Luces de pista. Luces aeronáuticas de superficie dispuestas a lo largo de una pista que indican su dirección o límites.

Luces de umbral de pista. Luces aeronáuticas de superficie, emplazadas de tal manera que indiquen los límites longitudinales de la parte de la pista utilizable.

Luz aeronáutica de superficie. Toda luz dispuesta especialmente para que sirva de ayuda a la navegación aérea, excepto las que ostentan las aeronaves. Mínimos de utilización de aeródromo. Las limitaciones de uso de un aeródromo, bien sea para despegue o para aterrizaje, corrientemente expresadas en términos de visibilidad, de altitud de decisión (DH) o de altitud mínima de descenso (MDA) y de las condiciones de nubosidad.

Navegación de aérea (RNAV). Método de navegación que permite la operación de aeronaves en cualquier trayectoria de vuelo deseada, dentro de la cobertura de las ayudas para la navegación referidas a la estación, o dentro de los límites de las posibilidades de las ayudas autónomas o de una combinación de ambas.

Obstáculo. Todo objeto fijo (ya sea temporal o permanente) o móvil, o parte de este, que esté situado en un área destinada al movimiento de las aeronaves en la superficie o que sobresalga de una superficie definida destinada a proteger a las aeronaves en vuelo.

Pista. Área rectangular definida en un aeródromo terrestre preparada para el aterrizaje y el despegue de las aeronaves.

Plan de vuelo. Información especificada que, respecto a un vuelo proyectado o a parte de un vuelo de una aeronave, se somete a las dependencias de los servicios de tránsito aéreo.

Plataforma. Área definida, en un aeródromo terrestre, destinada a dar cabida a las aeronaves para los fines de embarque o desembarque de pasajeros, correo o carga, abastecimiento de combustible, estacionamiento o mantenimiento.

Procedimiento de aproximación que no es de precisión (NPA). Procedimiento de aproximación por instrumentos en el que se utiliza guía lateral pero no guía vertical.

Procesador de datos de vuelo (FDP). Sistema asociado a todo sistema automatizado de control de servicio de tránsito aéreo que permite el procesamiento automático de los planes de vuelo al código transponder de cada aeronave y la operación automática de los planes de vuelo repetitivos.

Publicación de información aeronáutica (AIP). Publicación expedida por cualquier Estado, o con su autorización, que contiene información aeronáutica, de carácter duradero, indispensable para la navegación aérea.

Punto de espera de la pista. Punto designado destinado a proteger una pista, una superficie limitadora de obstáculos o un área crítica o sensible para los sistemas ILS/MLS, en el que las aeronaves en rodaje y los vehículos se detendrán y se mantendrán a la espera, a menos que la torre de control de aeródromo autorice otra cosa.

Punto de espera intermedio. Punto designado destinado al control de tránsito, en el que las aeronaves en rodaje y los vehículos se detendrán y mantendrán a la espera hasta recibir una nueva autorización de la torre de control de aeródromo.

Punto de notificación. Lugar geoFigura especificado, con referencia a la cual puede notificarse la posición de una aeronave.

Punto de referencia de aeródromo (ARP). Punto designado, situado en el plano horizontal, en el centro del área de aterrizaje o cerca de él, a una elevación correspondiente a la elevación media del área utilizable de aterrizaje.

Radiotelefonía. Forma de radiocomunicación destinada principalmente al intercambio vocal de información

Rodaje. Movimiento autopulsado de una aeronave sobre la superficie de un aeródromo, excluidos el despegue y el aterrizaje.

Rumbo (de la aeronave). La dirección en que apunta el eje longitudinal de una aeronave, expresada generalmente en grados respecto al norte (geoFigura, magnético, de la brújula o de la cuadrícula).

Ruta ATS. Ruta especificada que se ha designado para canalizar la corriente del tránsito según sea necesario para proporcionar servicios de tránsito aéreo.

Servicio. Expresión empleada en sentido abstracto para designar funciones servicio prestado.

Servicio de control de aeródromo. Servicio de control de tránsito aéreo para el tránsito de aeródromo.

Capítulo 2. Operación de Aeródromos

Superficie de aterrizaje. Parte de la superficie del aeródromo que la autoridad aeronáutica haya declarado como utilizable para el recorrido normal en tierra de las aeronaves que aterrizan en una dirección determinada.

Superficie de despegue. Parte de la superficie del aeródromo que la autoridad aeronáutica haya declarado como utilizable para el recorrido normal en tierra de las aeronaves que despegan en una dirección determinada.

Superficies de despeje. Áreas imaginarias oblicuas y horizontales, que se extienden sobre cada aeródromo y sus inmediaciones, en las cuales está limitada la altura de los obstáculos a la circulación aérea; correspondiendo a la UAEAC su determinación y la altura máxima de las construcciones y plantaciones bajo dichas superficies.

Torre de control de aeródromo. Dependencia establecida para facilitar servicio de control de tránsito aéreo al tránsito de aeródromo.

Tránsito de aeródromo. Todo el tránsito que tiene lugar en el área de maniobras de un aeródromo, y todas las aeronaves que vuelan en las inmediaciones de este.

Umbral. Comienzo de la parte de pista utilizable para el aterrizaje.

Vuelo VFR. Vuelo efectuado de acuerdo con las reglas de vuelo visual.

Vuelo IFR. Vuelo efectuado de acuerdo con las reglas de vuelo por instrumentos.

ACC. Centro de Control de Área.

AGA. Aeródromos, rutas aéreas y ayudas terrestres.

AIC. Circular de Información Aeronáutica (Aeronautic Information Circular).

AIG. Investigación y prevención de accidentes.

AIP. Publicación de Información Aeronáutica (Aeronautic Information Publication).

AIS. Servicios de Información Aeronáutica (Aeronautic Information Service).

ALS. Sistema de Luces de Aproximación (Approach Light System).

APP. Oficina de Control de Aproximación o Servicio de Control de Aproximación.

ARO. Oficina de Notificación de los Servicios de tránsito aéreo.

ATC. Control de Tránsito Aéreo (Air Traffic Control).

CAT. Categoría.

CTA. Área de Control.

CTR. Zona de Control.

CVR. Registro de la Voz en el Puesto de Pilotaje.



Conocimientos aeronáuticos para el Piloto Militar.
Instructivo operacional de la Escuela Militar de Aviación
“Marco Fidel Suárez” - Volumen III

IFR. Reglas de Vuelo Por Instrumentos (Instrument Flight Rules).

ILS. Sistema de Aterrizaje por Instrumentos (Instrument Landing System)

IMC. Condiciones Meteorológicas de Vuelo por Instrumentos.

NOTAM. Aviso distribuido por medios de Telecomunicaciones (AFTN) que contiene información relativa al establecimiento, condición o modificación de cualquier instalación aeronáutica, servicio, procedimiento o peligro, cuyo conocimiento oportuno es esencial para el personal encargado de las operaciones de vuelo.

OACI (ICAO). Organización de Aviación Civil Internacional (International Civil Aviation Organization).

OIA. Oficina donde se prestan los servicios de Información Aeronáutica.

PANS. Procedimientos para los Servicios de Navegación Aérea.

PAPI. Luces Indicadoras de Trayectoria de Aproximación de Precisión

QDM. Rumbo Magnético.

QFE. Presión atmosférica a la elevación del aeródromo.

QNH. Reglaje de la subescala del altímetro para obtener elevación estando en tierra.

R. Derecha.

RAC. Reglamento del Aire y Servicios de tránsito aéreo.

RTF. Radiotelefonía, o radiotelefonista. Alcance Visual en la Pista.

RWY. Pista (Runway).

SAR. Búsqueda y Salvamento.

TDZ. Zona de Toma de Contacto.

TKOF. Despegue (Take Off).

TMA. Área de Control Terminal.

UAEAC. Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil.

Tipos de aeródromos

Hay dos tipos de aeródromos que se pueden evidenciar en Colombia, aeródromos controlados y no controlados, estos se pueden subdividir conforme al artículo 1810 del Código de Comercio en públicos y privados. Los aeródromos públicos son todos los civiles de propiedad del Estado, los aeródromos militares que son operados por entes y agencias del gobierno; por otra parte, están los que aun siendo de propiedad privada, están destinados al uso público, para la operación de aeronaves destinadas a prestar servicios bajo remuneración a personas distintas al propietario. Los demás son privados (Aeronáutica civil, 2020).

Aeródromos controlados

Un aeródromo controlado es aquel que cuenta con una torre de control operativa, el control del tráfico aéreo (ATC) es el encargado de facilitar un flujo continuo, ordenado y seguro de tránsito aéreo donde el tipo de operaciones requieran este tipo de servicio. Los pilotos que maniobran en aeródromos controlados están obligados a mantener una comunicación constante por radio con los controladores aéreos para confirmar el cumplimiento de las instrucciones dadas por el controlador, si en caso de que el piloto no pueda realizar la operación, él debe notificar al ATC de la novedad para solicitar nuevas instrucciones (Federal Aviation Administration, 2008).

Aeródromos no controlados

Al contrario de un aeródromo controlado, los aeródromos no controlados son aquellos que no cuentan con una torre de control operativa, los pilotos no tienen la obligación de comunicarse por radio. Sin embargo, es una buena práctica operativa que los pilotos transmitan sus intenciones en la frecuencia especificada para beneficio de otro tráfico en la zona o por la frecuencia RTF 122.9 MHZ para aeródromos sin servicios de tránsito aéreo establecidos, esto con el fin de tener mayor seguridad operacional en los aeródromos no controlados (Aeronáutica Civil, 2014).

En caso de realizar una operación en aeródromos no controlados los pilotos de aeronaves que están llegando deberán mantener escucha y comunicarse en la frecuencia designada desde por lo menos 10 millas antes del aeródromo hasta el aterrizaje. Los pilotos de aeronaves saliendo deberán escuchar y comunicarse, en la frecuencia designada, desde el encendido de los motores y hasta 10 millas fuera del aeródromo. Los pilotos de aeronaves en sobrevuelo alrededor del aeródromo a la altura del tránsito de aeródromo deberán mantenerse a la escucha y comunicarse en la frecuencia designada mientras estén dentro de 10 millas alrededor del aeródromo (Aeronáutica Civil, 2014).

Fuentes de datos aeródromos

A lo largo del proceso de formación en vuelo de un Cadete de la Escuela Militar de Aviación “Marco Fidel Suárez”, se verá obligado a ejecutar misiones en diferentes aeródromos por esto es importante que acuda a los datos recientes del aeródromo.

Esta información le proporcionará al Cadete datos importantes para su conocimiento tales como frecuencias de comunicación, servicios disponibles del aeródromo, pistas cerradas o alguna clase de construcción en ellas, algunas de las fuentes de comunicación son:

- Las cartas Aeronáuticas.
- Directorios de Aeródromos/Instalaciones (A/FD).
- Aviso a los aviadores (NOTAMs).

Las cartas aeronáuticas ofrecen información específica sobre el aeródromo y esto le permitirán al Cadete orientarse al interpretar la información.

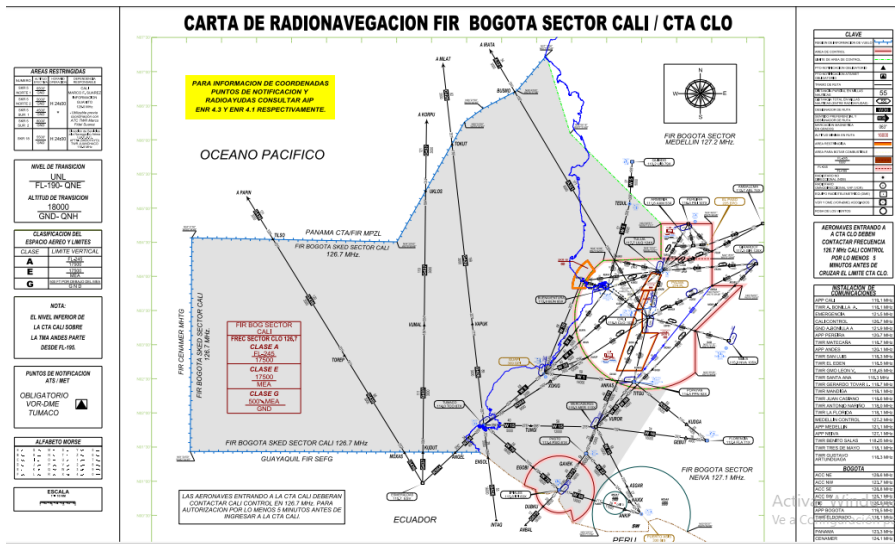
Los Directorios de Aeródromos/Instalaciones (A/FD) suministran información específica y completa de los aeródromos, los (A/FD) proporcionan anuncios especiales tales: rutas IFR, puntos VFR, servicio de meteorología, lista de VOR y boletines de cartas aeronáuticas (Aeronáutica Civil, 2015).

Los NOTAMS proveen información más actualizada y urgente que le permitirá al cadete saber cambios que afecten en el sistema de espacio aéreo nacional, meteorología, cierres de calles de rodaje y restricciones de vuelo.

Cartas Aeronáuticas

Las cartas aeronáuticas son la representación de una porción de la tierra, su relieve y construcciones, diseñada especialmente para satisfacer los requisitos de la navegación aérea por parte de la Autoridad Aeronáutica (Reglamento Aeronáutico de Colombia, 2018). Además, las cartas aeronáuticas proporcionan información específica sobre los aeropuertos indicando información bastante valiosa para la operabilidad en los aeródromos.

Figura 1. *Carta de Navegación*



Fuente: (Aerocivil, 2019).

En el ejemplo anterior, se puede observar la carta de radionavegación de la zona de Cali que muestra las diferentes radioayudas, frecuencias, rutas, altitudes y espacios aéreos que se pueden navegar en esa zona. Además, indica los distintos aeródromos que se pueden encontrar en este lugar y cómo es posible llegar a ese destino.

Avisos a los aviadores (NOTAM)

La información aeronáutica de tiempo crítico, que es de naturaleza temporal o no lo suficientemente conocido de antemano para permitir la publicación en las cartas aeronáuticas o en otras publicaciones operativas reciben difusión inmediata a través de Sistema Nacional NOTAM (Aeronautical Information Manual, 2017).

NOTAM

La información NOTAM es aquella información aeronáutica eso podría afectar la decisión de un piloto de hacer un vuelo. Eso incluye información como aeropuertos o aeródromo cierres primarios de pistas, calles de rodaje, rampas, obstrucciones, comunicaciones, espacio aéreo, cambios en el estado de ayudas de navegación, ILS, disponibilidad del servicio de radar y otra información esencial para el plan en ruta, terminal u operaciones de aterrizaje (Aeronautical Information Manual, 2017). Asimismo, esta información se publica por medio del Servicio Fijo Aeronáutico (AFS). Teniendo en cuenta esto los NOTAMs se distribuye en tres series según la aeronáutica civil colombiana (Aeronáutica civil, 2019).

Serie A de distribución Internacional. Contiene información sobre aeródromos, instalaciones, servicios y procedimientos disponibles para la Aviación Civil Internacional.

Serie B de distribución Nacional. Contiene información referente a: Establecimiento, cierre o cambios importantes que afecten las operaciones de aeródromos o pistas de uso privado dentro del territorio colombiano.

Serie C / D de distribución Nacional. Contiene información de interés para los vuelos nacionales.

Figura 2. Ejemplo de NOTAM

C 5561 / 16	FIR/UIR BOGOTA 1608031635 / PERM , PRESENCIA DE PARAPENTE EXER CTN RDO 03NM CENTRO 033811N0762901W FJGND G17500FT AMSL
-------------	--

Fuente: (Aeronáutica Civil, 2020).

Clave de referencia de aeródromo

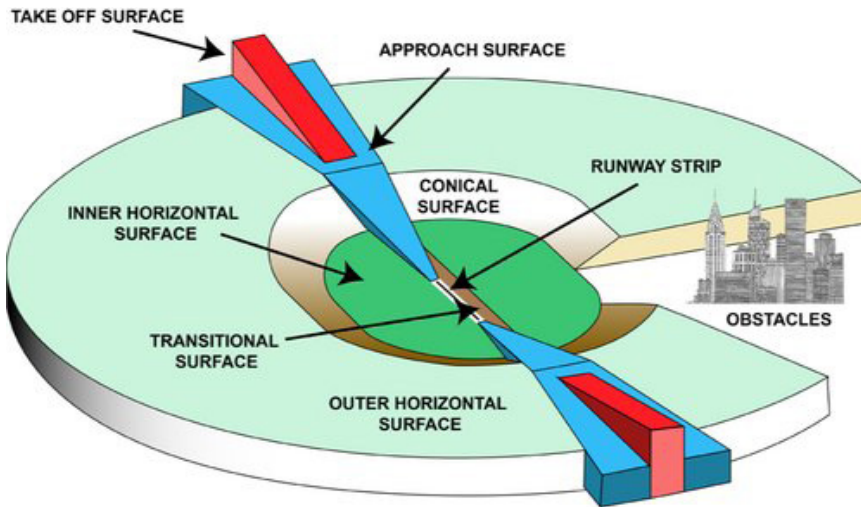
La clave de referencia está compuesta por dos elementos relacionados con las características y dimensiones del diseño de la aeronave, el primero es el número basado en longitud del campo de referencia de la aeronave, el segundo es la letra basada en envergadura de aeronave y ancho exterior entre ruedas del tren de aterrizaje principal. En la siguiente figura se puede evidenciar mejor esta clave de referencia:

Tabla 1. Clave de aeródromo

Elemento 1 de la clave		Elemento 2 de la clave		
Número de clave	Longitud del campo de referencia	Letra de clave	Envergadura	Ancho del tren de aterrizaje principal
1	Menos de 800 m	A	Hasta 15 m	Hasta 4.5 m
2	Desde 800 m Hasta 1200 m	B	Desde 15 m Hasta 24 m	Desde 4.5 m Hasta 6 m
3	Desde 1200 m Hasta 1800 m	C	Desde 24 m Hasta 36 m	Desde 6 m Hasta 9 m
4	Desde 1800 m En adelante	D	Desde 36 m Hasta 52 m	Desde 9 m Hasta 14 m
		E	Desde 52 m Hasta 65 m	Desde 9 m Hasta 14 m
		F	Desde 65 m Hasta 80 m	Desde 14 m Hasta 16 m

Fuente: (Sistema Regional de Cooperación para la Vigilancia de la Seguridad Operacional, 2014).

Figura 4. Ejemplo de superficies limitadoras de obstáculos



Fuente: (Public Authority for Civil Aviation , 2018).

Muchos Estados consideran que una superficie horizontal exterior es necesaria para evitar la presencia de construcciones mayores a 30 m del nivel del terreno o 150 m sobre el nivel del aeródromo en un radio de 15.000 m del centro del aeródromo, con el ánimo de evitar afectaciones a la seguridad y/o eficiencia del vuelo. Además, invitan a los constructores de nuevas estructuras a proteger los intereses de la aviación (OACI, 1983, p. 1). A excepción, claro está, de un área que se encuentre restringida por un accidente natural y la estructura no lo sobrepase, esto se conoce como el principio de escudo.

La intención es proteger el área donde se puede desarrollar una circular ancha o se puedan presentar rutas de llegada alejadas del circuito o sendas de ascenso en procedimientos de salida o aproximaciones frustradas.

El propósito principal de la superficie horizontal interna es mantener libre el espacio aéreo para una circular visual después de ejecutar un descenso instrumentos a una pista diferente a la que se va a usar para el aterrizaje. En un radio de 4000 m respecto a los límites de la pista se evitan construcciones u obstáculos superiores a 45 m respecto a una línea *datum* del aeródromo (OACI, 1983, p. 2). El área cónica a su vez es una continuación del área horizontal interior, se extiende en su periferia inclinada hacia afuera y hacia arriba.

El área dedicada a proteger las aeronaves en la fase final de aproximación y aterrizaje se denominan superficie de aproximación y transición respectivamente, la inclinación y dimensiones variarán de acuerdo con la categoría del aeródromo y el tipo de aproximación, visual, no precisión, etc. Los obstáculos en esta área deben ser removidos en la medida de lo posible, o marcados e iluminados si la remoción es imposible. De

similares características es la superficie de despegue y ascenso dedicada a proteger la aeronave en estas fases de vuelo.

Por otra parte, conocidas como la zona libre de obstáculos – OFZ, se encuentran alrededor de una pista con aproximación de precisión las superficies, interior de aproximación, interior de transición y de aterrizaje interrumpido. Esta área no debe tener obstáculos de ninguna clase, salvo que hagan parte del sistema de ayudas para la aproximación (Public Authority for Civil Aviation , 2018, p. 10).

De acuerdo con el Reglamento Aeronáutico Colombiano RAC-14, en las pistas de operación VFR, para aproximaciones de no precisión y de precisión CAT I, se establecerán las siguientes superficies limitadoras de obstáculos:

- Superficie cónica.
- Superficie horizontal interna.
- Superficie de aproximación.
- Superficie de transición.

De igual manera, las pistas para aproximaciones de precisión CAT II y III contarán con las siguientes superficies limitadoras de obstáculos:

- Superficie cónica.
- Superficie horizontal interna.
- Superficie de aproximación y de aproximación interna.
- Superficie de transición.
- Superficie de transición interna.
- Superficie de aterrizaje interrumpido.

En la Figura 6 se puede consultar los valores de pendientes y alturas; las cuales no podrán ser mayores a las allí especificadas y otras medidas como longitudes, entre otros; las cuales no podrán ser inferiores, correspondientes para cada superficie limitadora de obstáculos de acuerdo con el RAC 14.

Indicadores de dirección de viento

Es importante que un piloto sepa la dirección del viento. En instalaciones con una torre de control operativa, esta información es proporcionada por el control de tránsito. El Servicio de información de vuelo – FSS, también puede proporcionarla si se encuentra ubicado en un aeropuerto en particular o de forma remota disponible a través de una salida de comunicación remota (RCO), o solicitando información en la frecuencia de aeródromos no controlados. Cuando ninguno de estos servicios está disponible, es posible determinar la dirección del viento y la pista en uso mediante indicadores de viento visuales. Un piloto debe verificar estos indicadores de viento incluso cuando



Conocimientos aeronáuticos para el Piloto Militar.
Instructivo operacional de la Escuela Militar de Aviación
“Marco Fidel Suárez” - Volumen III

se proporciona información en la frecuencia de aeródromos no controlados porque no hay garantía de que la información siempre sea exacta (Sabsafety, 2021).

El indicador de dirección del viento puede ser un cono o manga de viento, tetraedro, o T de viento. Estos generalmente se encuentran ubicados cerca de la pista en una posición central y se puede encontrar en el centro de un círculo segmentado, que identifica la dirección del patrón de tráfico si no es el estándar de la izquierda. (Federal Aviation Administration, 2016, p. 20)

Tabla 2. Dimensiones y pendientes de las superficies limitadoras de obstáculos – Pistas para aproximaciones

Superficies y Dimensiones	Aproximación visual				Aproximación de no precisión			Aproximación de precisión		
	Número de clave				Número de calve			Número de clave		
	1	2	3	4	1-2	3	4	1-2	3-4	3-4
CÓNICA										
Pendiente	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
Altura	35m	55m	75m	100m	60m	75m	100m	60m	100m	100m
HORIZONTAL INTERNA										
Altura	45m	45m	45m	45m	45m	45m	45m	45m	45m	45m
Radio	2000m	2500m	4000m	4000m	3500m	4000m	4000m	3500m	4000m	4000m
APROXIMACIÓN INTERNA										
Ancho	-	-	-	-	-	-	-	90m	90m	120m
Distancia desde el umbral	-	-	-	-	-	-	-	60m	60m	60m
Longitud	-	-	-	-	-	-	-	900m	900m	900m
Pendiente	-	-	-	-	-	-	-	2,50%	2%	2%
APROXIMACIÓN										
Longitud del borde interior	60m	80m	150m	150m	80m	150m	150m	140m	280m	280m
Distancia desde el umbral	30m	60m	60m	60m	60m	60m	60m	60m	60m	60m
Divergencia a cada lado	10%	10%	10%	10%	15%	15%	15%	15%	15%	15%
Primera sección										
Longitud	1600m	2500m	3000m	3000m	2500m	3000m	3000m	3000m	3000m	3000m
Pendiente	5%	4%	3,33%	2,5%	3,33%	2%	2%	2,5%	2%	2%
Segunda sección										
Longitud	-	-	-	-	-	3600m	3600m	1200m	3600m	3600m
Pendiente	-	-	-	-	-	2,5%	2,5%	3%	2,5%	2,5%
Sección horizontal										
Longitud	-	-	-	-	-	8400m	8400m	8400m	8400m	8400m
Longitud total	-	-	-	-	-	1500m	1500m	1500m	1500m	1500m
DE TRANSICIÓN										
Pendiente	20%	20%	14,3%	14,3%	20%	14,3%	14,3%	14,3%	14,3%	14,3%
DE TRANSICIÓN INTERNA										
Pendiente	-	-	-	-	-	-	-	40%	33,3%	33,3%
ATERIZAJE INTERRUPTIDO										
Longitud del borde interior	-	-	-	-	-	-	-	90m	120m	120m
Distancia desde el umbral	-	-	-	-	-	-	-	-	1800m	1800m
Divergencia a cada lado	-	-	-	-	-	-	-	10%	10%	10%
Pendiente	-	-	-	-	-	-	-	4%	3,33%	3,33%

Fuente: Reglamento Aeronáutico de Colombia 14 – (Adaptado por Escobar, 2021).

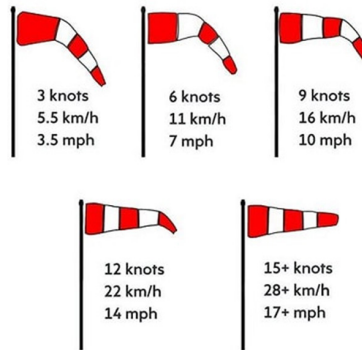
El anexo 14 de la OACI recomienda que el tamaño de los sacos de viento no sea inferior a 3,6 metros y un diámetro de 0,9 metros en su parte más ancha, igualmente se debe utilizar un color que contraste con el medio ambiente y que garantice la identificación de la dirección e intensidad del viento desde al menos 300 metros, preferiblemente naranja o rojo. En la Figura 5 se ilustra la manera de interpretar el saco de viento para determinar su intensidad.

Los indicadores de viento se deben colocar en un lugar visible y en el centro de un círculo de diámetro 15 metros y la franja debe tener un ancho de 1,2 metros con un color que facilite el contraste, preferiblemente blanco. En caso de presentar operación nocturna se debe instalar iluminación.

Capítulo 2. Operación de Aeródromos

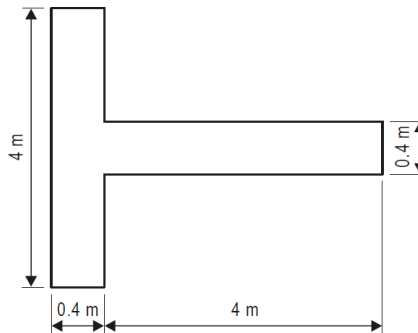
De igual manera, se suele instalar junto al indicador de viento, una señal de dirección de aterrizaje en forma de T o L. Su función es facilitar la identificación de la dirección del viento con respecto a la de la pista, e igualmente indicar al piloto el sentido de los virajes en el patrón de tráfico en el caso que sea diferente al estándar izquierdo. En la Figura 6 se especifica las medidas recomendadas por el anexo 14 de la OACI para la T indicadora de la dirección de aterrizaje.

Figura 5. *Identificación de la velocidad del viento*



Fuente: (Sabsafety, 2021).

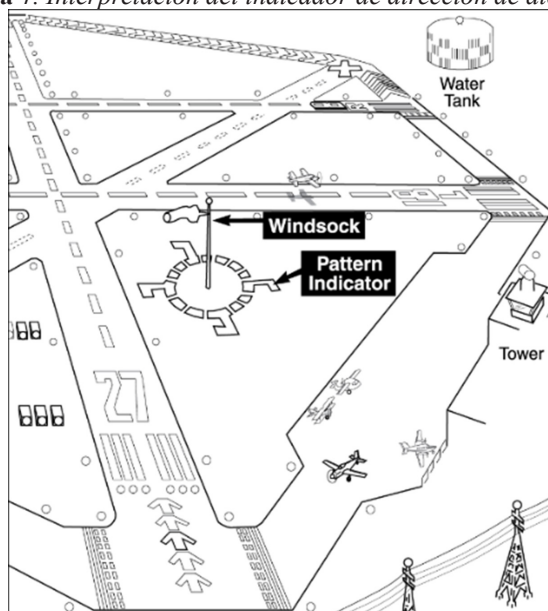
Figura 6. *Medidas de la T indicadora de dirección de aterrizaje*



Fuente: (OACI, Anexo 14).

En la Figura 9 encontrará un ejemplo de cómo se interpreta el indicador de dirección de aterrizaje, en el ejemplo se observa que, si la pista en uso es la 27, el sentido de los virajes en el patrón de tráfico es izquierdo. Pero, si la pista en uso es la 09, el sentido de los virajes es derecho. Y de igual manera sucede con la pista 18 y 36.

Figura 7. Interpretación del indicador de dirección de aterrizaje



Fuente: (Learntoflyblog.com, 2021).

MARCAS

En todos los aeródromos se encuentran marcas y señales que tienen como propósito el brindar información importante y muy útil a las tripulaciones en la fase de despegue, aterrizaje y movimientos en tierra.

Estos signos utilizados en los aeródromos como ayudas de navegación de superficie, también se pueden encontrar marcas pintadas en la superficie, mientras que otros se encuentran verticalmente en la pista. (Aeronautica civil, 2020) y su objetivo es facilitar una operación ordenada y segura de manera que la seguridad operacional no se vea comprometida.

Según el informe anual de la Agencia de Seguridad Aérea Europea – EASA 2019, se presentó una disminución en los accidentes no fatales en la operación de aeródromos con 32 casos, respecto a la media de la década de 46.3, pero se evidenció un incremento en incidentes serios con 14 casos, respecto a 9,6 reportados entre 2008 y 2017.

Esto evidencia una realidad y la importancia de conocer e interpretar las marcas y señales encontradas en los aeródromos, así mismo, que estas presenten una uniformidad y estandarización que permitan operar con seguridad y eficiencia de un aeródromo a otro. Si se llegase a encontrar algún deterioro, confusión o ineffectividad con respecto a las marcas y señales, se debe reportar inmediatamente a la autoridad competente respectiva.

Marcas de pista

Las marcaciones de la pista varían de acuerdo con las características operacionales llevadas a cabo en el aeródromo y el tipo de tráfico al que está destinado a efectuar (Federal Aviation Administration, 2016, p. 5). Por ejemplo, una pista VFR básica puede solo presentar marcas de línea central y el número de la designación de la pista.

Las marcas de la pista deben ser de color blanco y en caso de que dos o más pistas se intercepten se deben interrumpir las marcas y dar prioridad a la de mayor importancia de acuerdo con el criterio del anexo 14 de la OACI, así:

1. Pistas para aproximaciones de precisión.
2. Pistas para aproximaciones de no precisión.
3. Pistas para aproximaciones visuales.

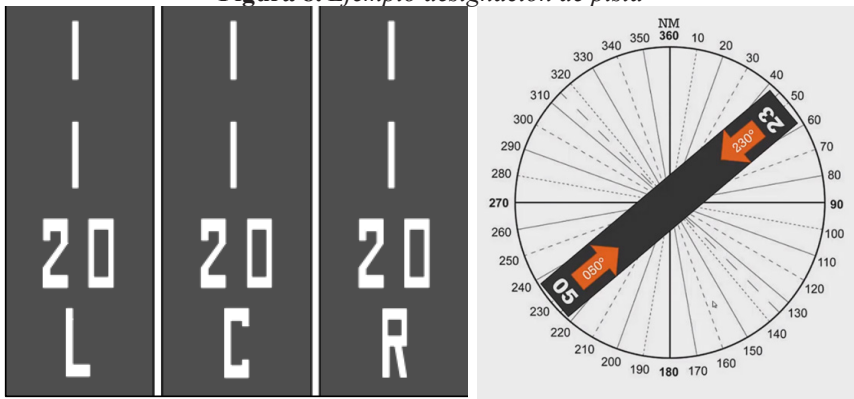
De manera similar, ocurre cuando se presenta una intersección con una calle de rodaje.

Marca de designación de pista

La marca de designador consta de un número de dos dígitos ubicado en el umbral que representa el entero más próximo a la décima del azimuth magnético del eje de la pista a partir del norte magnético visto en la dirección de la aproximación (Aeronáutica civil, 2020, pág. 104). En el caso de orientaciones magnéticas desde los 10° hasta los 90° se representarán precedidos por un cero, por ejemplo 01 representa la orientación 10°, 02 la orientación 20° y así sucesivamente.

Ciertos aeródromos tienen dos o incluso tres pistas con la misma dirección, esto se conoce como pistas paralelas, en dicho caso se diferenciarán mediante una letra debajo del designador de la pista que significa, *left*, *center*, *right*, de acuerdo sea el caso (Federal Aviation Administration, 2008).

Figura 8. Ejemplo designación de pista



Fuente: (Organización de Aviación Civil Internacional, 2016).

En el anterior ejemplo podemos observar tres pistas paralelas en un aeródromo, el cual nos indica la orientación magnética que tiene la pista y la letra inicial en la cual se refiere al lugar donde está ubicada, pista 20L (izquierda), C (Centro) y R (Derecha).

Marcas de centro de pista

Estas son una serie de rayas uniformes situadas en todo el eje central de las pistas pavimentadas que se extienden entre las marcas de designación de pista. La longitud de una raya y un intervalo deben ser iguales y mínimo de 50 y máximo de 75 metros.

El ancho de las rayas variará dependiendo del propósito de la pista, si es para aproximaciones de precisión CAT II o III, será de 0,9 metros, si es para CAT I o de no precisión código de aeródromo 3 o 4, será de 0,45 metros y 0,3 metros para los códigos 1 o 2, o aproximaciones que no son instrumentos.

Figura 9. *Marcas de centro de pista*



Fuente: (Pinterest, 2010).

Marcas de umbral de pista

Estas marcas están ubicadas simétricamente a cada lado del centro de pistas pavimentadas para aproximaciones instrumentos o visuales código 3 o 4. Ayudan a identificar el inicio de pista disponible para aterrizar. La cantidad de marcas en el umbral de la pista depende al ancho de la pista.

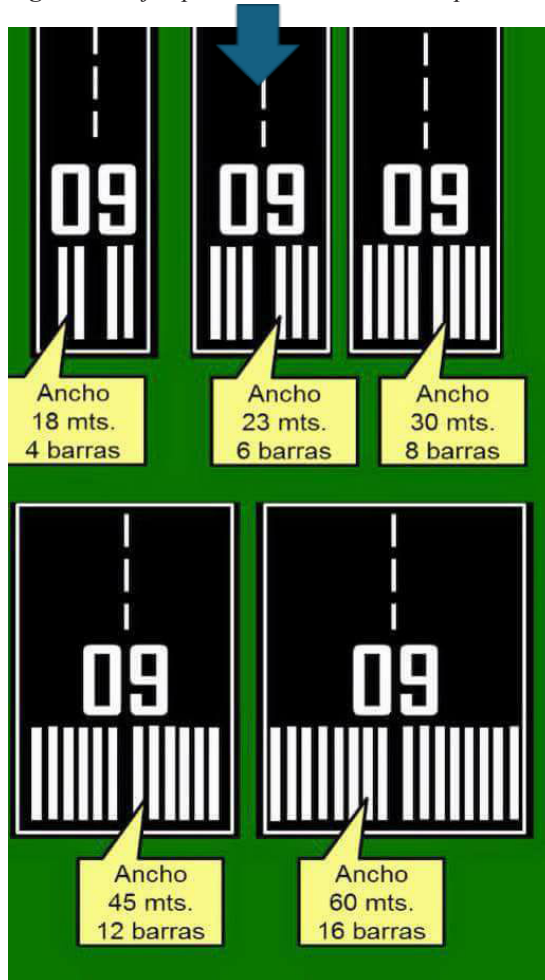
Capítulo 2. Operación de Aeródromos

Tabla 2. *Designaciones marcas de umbral de pista.*

ANCHO	FRANJAS
18m	4
25m	6
30m	8
45m	12
60m	16

Fuente: (Peña – Ramírez, 2020).

Figura 10. *Ejemplo marcas de umbral de pista*



Fuente: (Aviación es mi pasión, 2017).



Marca de la señal del punto de visada

Son unas líneas rectangulares a cada lado del centro de pista, son utilizadas como punto de referencia para aeronaves en aproximación y aterrizaje. Según el anexo 14 de la OACI la posición de la marca de visada y sus medidas dependen a la distancia entre umbrales como se puede observar en la Tabla 3.

Para pistas dotadas de un sistema indicador de aproximación visual, el principio de la marca de visada debe coincidir con el origen de la pendiente del sistema.

Tabla 3. Designación punto de visada

Ubicación y dimensión	Distancia disponible para el aterrizaje			
	menor a 800m	800 m pero menor a 1200 m	1200 m pero menor a 2400 m	Mayor a 2400 m
Distancia entre el umbral y el inicio de la marca	150 m	250 m	300 m	400 m
Longitud	30-45 m	30-45 m	45-60 m	45-60 m
Ancho	4 m	6 m	6-10 m	6-10 m
Espacio lateral entre las marcas	6 m	9 m	18-22,5 m	18-22,5 m

Fuente: (OACI, 2016 – Adaptado por Escobar, 2021).

Los espacios laterales entre las marcas del punto de visada pueden variar para evitar la contaminación derivada del caucho de las llantas.



Fuente: (Academia de Aviación, 2011).

Marca de punto de contacto

El área de contacto se sitúa delante del umbral y es donde se pretende que las aeronaves tomen el primer contacto con la pista en el momento del aterrizaje. Está demarcada; para pistas con aproximaciones de precisión cuyo código es 2,3 y 4, por una serie de pares de rectángulos simétricos a cada lado del centro de pista que se extienden desde el umbral en intervalos de 150 metros, salvo en el caso que coincidan con una señal de punto de visada o se encuentren a menos de 50 metros de esta, en cuyo caso se eliminarán.

El número de pares dependerá de la distancia de aterrizaje disponible y en caso de que sea necesario colocar la señal en ambos sentidos de la pista, la distancia entre umbrales. En la Tabla 4 se presentan los valores correspondientes con el Reglamento Aeronáutico de Colombia No. 14.

Tabla 4. Marcas de punto de contacto

Distancia de aterrizaje disponible o distancia entre umbrales	Pares de señales
Menor a 900 metros	1
De 900 a 1200 metros inclusive	2
De 1200 a 1500 metros inclusive	3
De 1500 a 2400 metros inclusive	4
Mayor a 2400 metros	6

Fuente: (UAEAC, 2016 – Adaptado por Escobar, 2021).

Estas marcas que se encuentran especificadas en el anexo 14 de la OACI y en el RAC 14, se pueden presentar en dos patrones como se puede observar en la Figura 11. Para la configuración A, las marcas no tendrán una longitud inferior a 22.5 y un ancho de 3 metros. Respecto al patrón B, las marcas conservarán la misma longitud indicada anteriormente, pero el ancho no será inferior a 1,8 metros con una separación mínima entre las marcas adyacentes de 1,5 m.

La separación lateral de las marcas tiene la misma configuración indicada para el punto de visada.

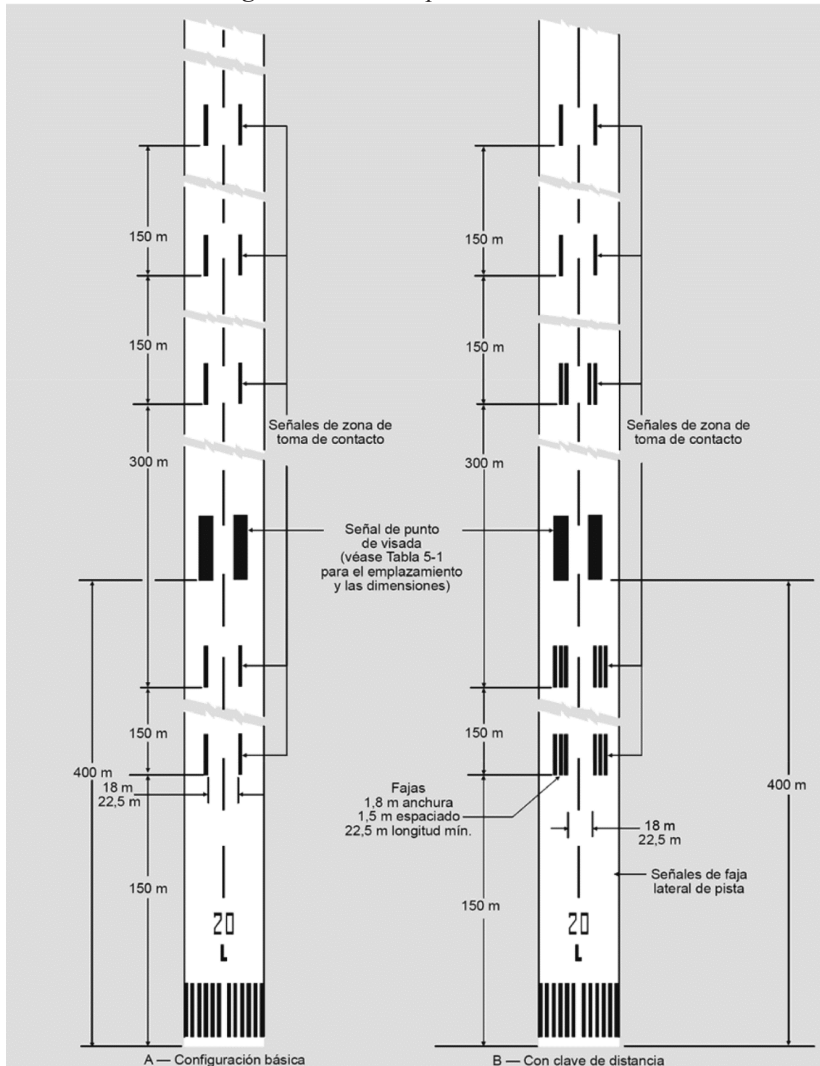
Marcas de borde de pista

Las marcas de borde de pista son las líneas continuas que están ubicadas en los dos bordes a lo largo de la pista para delimitar el área disponible para la operación y facilitar el contraste entre la pista y terreno circundante. Estas deben estar presentes en todas las pistas destinadas a aproximaciones de precisión.

Cuando las marcas no coincidan con el borde de la pista, por ejemplo, cuando el ancho es mayor a 60 metros, estas se deben colocar a 30 metros a cada lado del eje central. El ancho de la marca varía según el ancho de la pista, para pistas de 30 metros o más, estas serán como mínimo de 0,9 metros y de 0,45 m para pistas más estrechas.

Igualmente, para pistas sin pavimentar se debe proveer una señal de borde de pista que será una serie de banderas de color blanco separadas a 50 metros entre sí y con una altura no mayor a 1,5 metros (Aeronáutica civil, 2020, p. 111). (Fig.12)

Figura 11. Señales punto de contacto



Fuente: (Gobierno de España - Ministerio de la presidencia, relaciones con las cortes y memoria democrática, 2021).

Figura 12. *Marcas de borde de pista*



Fuente: (Diario del viajero, 2011).

Finalmente, las marcas de pista requeridas varían según la operación a la que va a ser seleccionada y el tipo de tráfico al que está destinado a efectuar. De acuerdo con la OACI, las marcas obligatorias que debe tener un aeródromo según su tipo de operación se pueden consultar en la Tabla 5, presentada a continuación.

Tabla 5. *Requisitos marcas de pista*

Marca	Pista VFR	Pista IFR de no precisión	Pista IFR de precisión
Centro de pista	X	X	X
Designador de pista	X	X	X
Umbral de pista		X	X
Aiming Point		X	X
Touch Down Zone (TDZ)			X
Borde de pista			X

Fuente: (Organización de Aviación Civil Internacional, 2016).

Marcas previas al umbral

Marcas de umbral desplazado y reubicado

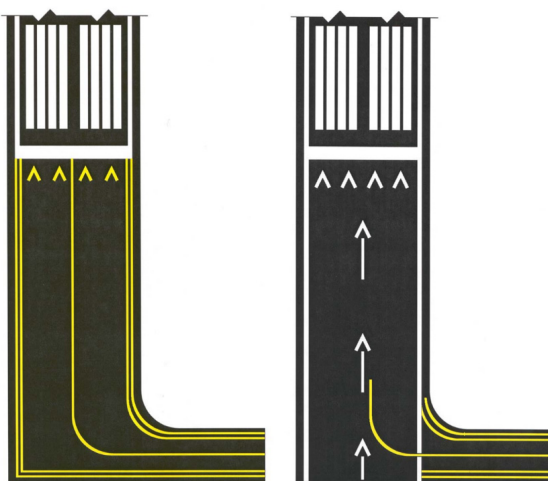
En algunas ocasiones es necesario, debido a la construcción, el mantenimiento de la pista o para cerrar simplemente una parte de esta según la necesidad, la reubicación temporal del umbral de la pista acortando, obviamente, su longitud. En este caso, se debe emitir un NOTAM informando la distancia que no está disponible para el uso (Tabla 5).

Así mismo, como el cierre temporal no tiene un tiempo definido, se puede optar por señalar el umbral reubicado mediante una franja blanca de aproximadamente 1,8 metros que se extiende a lo ancho de la pista, indicando el nuevo punto donde inicia la distancia disponible para el aterrizaje (Federal Aviation Administration, 2019, p. 100).

Un umbral desplazado está ubicado de manera permanente en un punto que no sea el inicio designado de la pista. Las marcas consisten en una franja similar a la usada en el umbral reubicado, precedida por unas flechas blancas ubicadas en el centro de la pista. Estas indican el área que no debe ser utilizada para el aterrizaje (Organización de Aviación Civil Internacional, 2016, p. 8) (Figura 13).

Cuando la porción de pista que precede al umbral desplazado es mayor a 60 metros y no está disponible para el uso de ninguna clase, se debe agregar unas cabezas de flecha de color amarillo de 0,9 metros de ancho y que cubran todo el ancho de la pista en intervalos de aproximadamente 30 metros (Figura 14).

Figura 13. *Ejemplo umbral desplazado y reubicado*

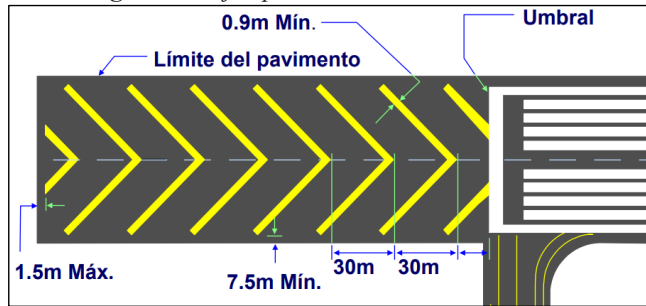


Fuente: (Air Information Manual, 2019).

Marca de la zona anterior al umbral

Estas marcas se utilizan cuando el área pavimentada previa al umbral o a la pista, es mayor a 60 metros y no es adecuada para el uso de aeronaves, consiste en una serie de marcas tipo CHERVON, usualmente amarillas en el sentido de la pista, esta área puede ser utilizada como *stopway* en caso de emergencia. La Figura 14 contiene las características que exige la OACI en el anexo 14 para esta marca.

Figura 14. Ejemplo marca anterior al umbral



Fuente: (Organización de Aviación Civil Internacional, 2016).

Marcas de las calles de rodaje

En las calles de rodaje también se debe proporcionar al piloto la mayor información que le permita desarrollar las operaciones aéreas de manera segura y es importante que se conozcan e interpreten de la manera correcta las marcas de calle de rodaje. Estas son de color amarillo, lo que pretende evitar confusiones con las marcas de pista y comprenden la línea de centro, la línea de borde, y áreas críticas de ILS, entre otros.

Se debe prestar especial atención en la demarcación de los puntos de espera cuando se intercepta con una pista para prevenir incursiones no autorizadas, la Agencia Europea de Seguridad Aérea – EASA en 2019 identificó como prioridad 1 con un riesgo alto las operaciones de aeronaves en movimiento en tierra, identificando las áreas donde se ubica el mayor riesgo en incursiones en pista, excursión de pista y calle de rodaje y colisión en pista.

Línea de centro de calle de rodaje

Es una línea continua de ancho entre 15 y 30 centímetros y proporciona una guía para que el rodaje se haga por un camino establecido conservando el eje tanto en rectas como en curvas. La aeronave debe permanecer centrada sobre la línea mientras haga uso de la calle de rodaje, ejerciendo una precaución permanente ya que esto no le garantiza la separación de los planos o rotores con otras aeronaves.

En una intersección de la pista con una calle de rodaje, la línea de centro marcará una curva hasta colocarse paralela a la línea de centro de pista y se prolongará por 60 metros por lo menos cuando el número clave sea 3 y 4 y 30 metros cuando sea 1 y 2 (Aeronáutica civil, 2020).

Línea de centro mejorada

Su propósito es alertar al piloto cuando se está acercando a un punto de espera de una pista. Consiste en una serie de rayas paralelas a la línea de centro que se extienden hasta 47 metros antes del punto de espera (Figura 15).

Figura 15. *Línea de centro mejorada*



Fuente: (The Denver Post, 2007).

Línea de borde de calle de rodaje

Su propósito es delimitar el borde de la calle de rodaje, en especial si este no corresponde con el límite del pavimento. Existen dos tipos, dos líneas continuas de aproximadamente 15 centímetros de ancho y separadas esta misma distancia entre sí, estas se usan para separar la calle de rodaje de las bermas o de otras superficies que no deben ser ocupadas por las aeronaves.

El segundo tipo consiste en una serie de rayas dobles con las mismas dimensiones mencionadas, y una longitud de 4,5 metros y separadas 7,5 metros entre sí. Se usan para separar las calles de rodaje de otras superficies donde se espera haya movimientos de aeronaves, por ejemplo, rampas.

Figura 16. *Línea de borde de calle de rodaje*



Fuente: (Peninsulaclarion.com,2016).

Marcas de bermas (*shoulders*)

En muchas ocasiones las calles de rodaje y en general todas las superficies pavimentadas de un aeródromo tienen unas bermas a los lados que se instalan con el propósito de prevenir la erosión por el agua y aunque en apariencia se ven iguales a la calle de rodaje, su resistencia puede ser mucho menor y no están diseñadas para soportar la operación de aeronaves.

Una serie de líneas amarillas después de la línea de borde de calle de rodaje le indicará que esa superficie no puede ser usada.

Señales de dirección marcadas en la calle de rodaje

En ocasiones no es posible ubicar las señales para las calles de rodaje, por ejemplo, en intersecciones, o se hace necesario complementarlas. En ese caso, se recurre a pintarlas sobre la superficie, junto a la línea de centro, con un fondo amarillo y letras negras. Siempre que se indique un viraje a la izquierda, la marca estará ubicada a la izquierda de la línea de centro y viceversa

Figura 17. *Marcas de bermas (*shoulders*)*



Fuente: (taiwannews.com, 2018).

Figura 18. *Señales de dirección marcadas en la calle de rodaje*



Fuente: (Federal Aviation Administration, 2016).

Señales de ubicación marcadas en la calle de rodaje

Al igual que las de dirección estas se usan como complemento de las señales ubicadas al lado de la calle de rodaje y para evitar confusiones por parte de los pilotos al facilitar la confirmación de la posición donde se encuentra ubicada la aeronave. Siempre se ubican al lado derecho de la línea de centro de la calle de rodaje y tienen un fondo negro con letras amarillas.

Figura 19. *Señales de ubicación marcadas en la calle de rodaje*



Fuente: (skyharbor.com, 2008).

Marcas de punto de espera

Cuando se encuentra en una intersección con la pista, esta marca significa que se debe detener la aeronave y no se debe continuar hasta recibir autorización por parte del ATC, en aeródromos controlados, o hasta no asegurar la separación adecuada con otras aeronaves, vehículos, etc., en no controlados.

Se compone de cuatro líneas amarillas a lo ancho de la superficie, dos continuas y dos fragmentadas, la parte donde se encuentran las líneas continuas es donde se debe hacer la espera, sin excepciones.

Punto de espera de pista en calle de rodaje

Por lo general indica el punto donde inicia el área de seguridad de la pista (RSA), por lo tanto, significa que la aeronave debe detenerse por completo y no continuar el rodaje si no ha recibido autorización del ATC. Esta puede estar acompañada de la línea de centro de calle de rodaje mejorada o no, dependiendo de la operación del aeródromo.

De igual manera, el piloto debe tener la precaución de que ninguna parte de la aeronave sobrepase este punto cuando se detenga antes de entrar a una pista y cuando se encuentre saliendo, debe garantizar que toda la aeronave sobrepase el punto de espera para considerar que abandonó la pista.

En la Figura 20 se puede observar el punto de espera en una calle de rodaje con línea de centro mejorada, desde el punto donde se debe hacer la espera.

Figura 20. *Punto de espera en calle de rodaje*



Fuente: (Federal Aviation Administration, 2016).

Punto de espera en pista

Es idéntica y tiene el mismo propósito que la marca abarcada anteriormente, pero ubicada sobre la franja de pista. Se usa para alertar a los pilotos cuando deben detenerse, por ejemplo, cuando hay pistas que se cruzan; estos puntos se conocen como *Hold Short Ops* o cuando una de estas se usa con propósitos de rodaje.

Figura 21. *Punto de espera en pista*



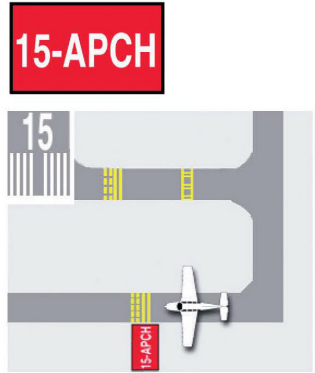
Fuente: (AOPA.org, 2012).

Punto de espera en calle de rodaje en área de aproximación

Debido al diseño de algunos aeródromos, es necesario que una calle de rodaje cruce el área de aproximación o despegue de una pista. En ese caso, la señal de punto de espera debe aparecer indicando que, de no detener por completo la aeronave, se estará interfiriendo en la aproximación de otra aeronave comprometiendo la seguridad.

Siempre debe estar complementada con una marca de color rojo y letras blancas que indica la proximidad del área de salida (*departure*) o aproximación (*approach*) y el designador de la pista.

Figura 22. *Punto de espera en calle de rodaje en área de aproximación*



Fuente: (AOPA.org, 2012).

Punto de espera en área de ILS

Esta marca consiste en dos líneas continuas de color amarillo a lo ancho de la calle de rodaje y separadas 1,2 metros entre sí y conectadas por pares de líneas con una separación de 3 metros entre cada par.

Su propósito, de nuevo debido al diseño de algunos aeródromos, es prevenir la interferencia en la aproximación ILS de alguna aeronave, ya que la señal del equipo localizador se puede ver afectada por el paso de una aeronave frente a ella, conociendo esta como el área crítica. Igualmente, se complementa con una marca de idénticas características a la abarcada en el apartado anterior, con la sigla ILS.

Figura 23. *Punto de espera en área de ILS*



Fuente: (twitter.com/jatoaviation, 2017).

Punto de espera intermedio

Cuando se presenta una intersección entre calles de rodaje es posible encontrar una marca de color amarillo a lo ancho de estas que consiste en una serie de rayas de 0,9 metros separadas uniformemente. Esta se debe emplazar a suficiente distancia del borde que se está intersectando de manera que se garantice la debida separación entre las aeronaves.

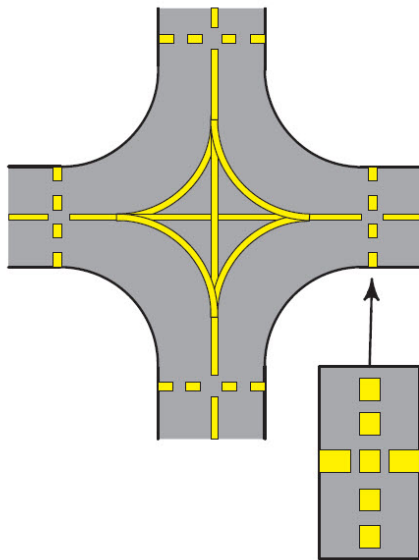
Sin embargo, en caso de no presentar la marca, el piloto debe detener la aeronave a una distancia tal, que no se vea disminuida la separación ni comprometida la seguridad (Fig. 24).

Señales de posición en el punto de espera marcadas en la superficie

Como ya se mencionó, las marcas de los puntos de espera deben ir complementadas con unas de color rojo y letras blancas, en los casos en que se va a intersectar una pista o un área crítica de ILS, aproximación o despegue y cuando el ancho del punto de espera es superior a los 60 metros.

Estas se ubican en el lado izquierdo de la línea de centro y antes de las dos líneas continuas, su propósito principal es facilitar la identificación del punto de espera y así prevenir posibles incursiones en la pista (Figura 25).

Figura 24. Punto de espera intermedio



Fuente: (liveatc.net, 2014).

Líneas de seguridad en plataforma

Cuando las aeronaves deben compartir cualquier superficie con vehículos, se debe delimitar claramente la vía por donde estos van a circular. Los bordes se pueden demarcar de dos maneras, con dos líneas juntas de rayas blancas intercaladas, o una línea blanca constante en cada borde.

Los carriles dentro de estos bordes se separarán mediante una serie de rayas blancas en el medio similares a las encontradas en cualquier carretera (Figura 26).

Figura 25. Señales de posición marcadas en la superficie en el punto de espera



Fuente: (airportimprovement.com, 2013).

Figura 26. Líneas de seguridad en plataforma



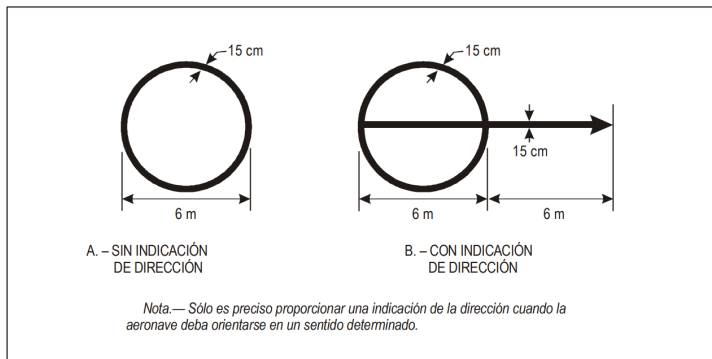
Fuente: (thehog.com, 2019).

Punto de verificación VOR en aeródromo

De requerirse, se puede establecer un punto definido para que las aeronaves hagan la verificación de precisión del VOR en el aeródromo. En ese caso, se debe demarcar el área con un círculo de color blanco de 6 metros de diámetro, descrito por una línea de 15 centímetros de ancho. Desde luego, este punto debe ser de fácil acceso para las aeronaves y lógicamente no debe interferir con el tráfico normal del aeródromo.

En ocasiones, es necesario señalar el curso que se debe usar en la verificación, en ese sentido, se demarcará una línea blanca de iguales características que cruza el círculo por la mitad y se extiende por lo menos 6 metros fuera de este, con una flecha indicando la dirección determinada. Aunque es común encontrar también la flecha dentro del círculo.

Figura 27. *Punto de verificación VOR en aeródromo*



Fuente: (Aeronáutica civil-RAC14, 2020).

Marcas de pista cerrada

Estas marcas tienen cierta variación según el cierre sea temporal o permanente, pero son muy similares.

Para una pista que ha sido cerrada permanentemente se debe inhabilitar el sistema de iluminación, tachar las marcas de umbral, designación y zona de contacto, y adicionalmente se debe marcar una “X” amarilla en cada extremo y a intervalos de 300 metros.

Si el cierre es temporal y dependiendo de la razón, la duración y la configuración del aeródromo, pueden o no presentarse marcas. Si el periodo es muy corto, se puede notificar a través de un NOTAM, pero en caso de requerirse, se debe ubicar una “X” amarilla, únicamente en los extremos de la pista.

Sin embargo, estas deben ser tratadas como áreas peligrosas y no los esfuerzos en prevención no se limitan solo a estas marcas, es común el uso de barricadas o señales como una “X” erguida con iluminación si se considera necesario.

Figura 28. Pistas cerradas



Fuente: (Airfields-freeman.com,2019; Pointcook.org,2021).

LETREROS

Además de las marcas, se hace necesario un sistema de señales, que consiste en una serie de letreros o carteles estandarizados, ubicados en los costados de las superficies para el movimiento en tierra de las aeronaves, de esta manera, se provee información que es necesaria para una operación segura y eficiente en el aeródromo.

El uso de estos letreros permite a las aeronaves y vehículos involucrados en la operación del aeródromo, identificar con suficiente tiempo la ruta que le ha sido asignada, lo que pretende garantizar la eficiencia y seguridad.

Según el documento 9157 de la OACI, *Aerodrome Design Manual*, estos se pueden dividir en dos clases, mandatorios u obligatorios e informativos. Un letrero mandatorio estará ubicado en un punto donde una aeronave o vehículo no puede continuar el rodaje sin una autorización por parte del control de tráfico.

Por su parte, un letrero informativo se presentará cuando se observe la necesidad de informar una ubicación, dirección, destino o cualquier información que contribuya con la eficiencia y la seguridad de la operación del aeródromo.

Todos los criterios de diseño de los letreros en términos de visibilidad, legibilidad, etc. están contenidos, y pueden ser consultados en el documento 9157 y el Anexo 14 de la OACI, es necesario resaltar la importancia de la estandarización de este sistema y el mantenimiento continuo que debe realizarse.

Deben estar ubicados de manera que se garantice su franqueamiento por hélices, motores o planos, en la Tabla 6 se puede consultar la altura máxima de acuerdo con el anexo 14 de la OACI.



Tabla 6. *Distancias relativas al emplazamiento de los letreros de guía para el rodaje*

Altura de la señal (mm)				Distancia perpendicular desde el borde del pavimento de la calle de rodaje al borde del letrero	Distancia perpendicular desde el borde del pavimento de la pista al borde del letrero
Número de código	de	Indicación	Placa frontal	Instalación (máx.)	
1 o 2		200	300	700	5-11 m
1 o 2		300	450	900	5-11 m
3 o 4		300	450	900	11-21 m
3 o 4		400	600	1100	11-21 m

Fuente: (OACI-Anexo 14, adaptado por: Escobar, 2021).

Letreros obligatorios

Con ellos se pretende señalar cuando se está acercando a una pista o a una área crítica y a un área de acceso prohibido, todos tienen un fondo rojo y letras blancas.

Letrero de punto de espera de pista

Como su nombre lo indica, están ubicados en un punto de espera en la intersección de una calle de rodaje con una pista, o de una pista con otra. Los números de la inscripción coinciden con los umbrales de la pista que se está intersecando.

En caso de que el punto de espera esté ubicado en una cabecera, el letrero solo contendrá la designación de esta; e indicar la categoría de aproximación CAT I, II o III como corresponda si cuenta con la operación ILS. Lógicamente, si se encuentra en la intersección de dos pistas, se debe proveer un letrero para cada una de ellas.

Figura 29. *Letrero de punto de espera en pista*



Fuente: (Roadwayelectric.com, 2021; web.benesch.com, 2021).

Capítulo 2. Operación de Aeródromos

Letreros de área crítica y de paso prohibido

Como ya se discutió en el apartado de marcas, según el diseño de algunos aeródromos, es posible que una calle de rodaje cruce por un área de aproximación o despegues e interfiera con esta operación, en dicho caso el letrero debe contener la designación de la pista y separado por una raya la sigla APCB abreviatura de *approach*.

De igual forma, cuando se acerca al área crítica del ILS, también discutido en el apartado de marcas, en cuyo caso contendrá esta sigla, abreviatura de *instrument landing system*.

Un letrero de fondo rojo con un círculo y una raya en el medio blancos se usa cuando se pretende que una aeronave no ingrese en alguna área, por ejemplo, en calles de rodaje que funcionan en una sola vía, o en general donde se considere que se pueda presentar una confusión con respecto a la ruta de rodaje en el aeródromo.

Figura 30. Letreros con instrucciones obligatorias

Designación de pista de un extremo de la pista (Ejemplo)	25	Indica un punto de espera de la pista en un extremo de la pista
Designación de pista de los dos extremos de una pista (Ejemplo)	25-07	Indica un punto de espera de la pista localizado en la intersección de calle de rodaje/pista que no sea el extremo de la pista
Punto de espera de Categoría I (Ejemplo)	25 CAT I	Indica un punto de espera de la pista de Categoría I en el umbral de la pista 25
Punto de espera de Categoría II (Ejemplo)	25 CAT II	Indica un punto de espera de la pista de Categoría II en el umbral de la pista 25
Punto de espera de Categoría III (Ejemplo)	25 CAT III	Indica un punto de espera de la pista de Categoría III en el umbral de la pista 25
Punto de espera de Categorías II y III (Ejemplo)	25 CAT II/III	Indica un punto de espera de la pista de Categoría II/III en el umbral de la pista 25
Punto de espera de Categorías I, II y III (Ejemplo)	25 CAT I/II/III	Indica un punto de espera de la pista de Categoría I/II/III en el umbral de la pista 25
PROHIBIDA LA ENTRADA		Indica que está prohibida la entrada a una zona
Punto de espera de la pista (Ejemplo)	B2	Indica un punto de espera de la pista (conforme a 3.12.3)

Fuente: (OACI-Anexo 14, 2016).

Letreros informativos

Los letreros informativos permiten a la aeronaves y vehículos hacer un monitoreo continuo de su posición en el área de movimientos. De esta manera, se constituyen en una ayuda para la operación segura y eficiente del aeródromo.

Estos incluyen los letreros de ubicación o emplazamiento, dirección, destino, pista libre, salida de pista y despegue desde una intersección (International Civil Aviation Organization, 2004, p. 104).

Letreros de ubicación o emplazamiento

Consisten en un fondo negro con letras amarillas; aunque algunos, como el de pista libre o área crítica del ILS, tienen una configuración diferente, y están destinados a facilitar la identificación de la ubicación donde se encuentra la aeronave, bien sea una calle de rodaje o una pista entre otros.

Según el anexo 14 de la OACI, se deben emplazar en la medida de lo posible al lado izquierdo de las calles de rodaje y en caso de letreros en la pista a la derecha o izquierda según corresponda con la salida correspondiente.

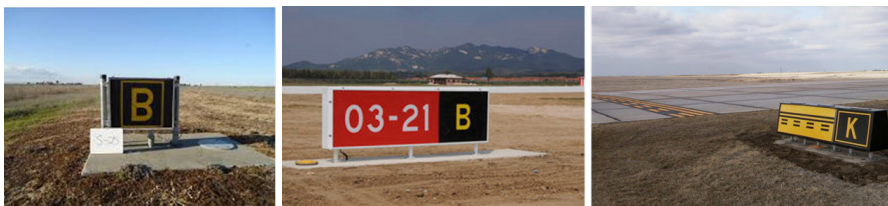
Letreros de emplazamiento en calle de rodaje y en pista

Como ya fue mencionado, su intención es facilitar la ubicación con respecto a la calle de rodaje o pista donde se encuentra ubicada la aeronave.

En el caso de las primeras, se presenta la letra correspondiente y puede estar acompañada con la designación de pista, con una indicación de dirección, o de área crítica, según corresponda. En varias ocasiones, en un aeródromo se puede presentar más de una calle de rodaje designada con la misma letra, en cuyo caso se designará también con un número, por ejemplo, A6 o A19.

Las señales de pista, indicará por su parte, el número o designación de pista que corresponde a la ubicación de la aeronave.

Figura 31. Letreros de emplazamiento en calle de rodaje



Fuente: (riovistacity.com, 2011; aeroexpo.online, 2021; FAA, 2016).

Figura 32. *Letrero de emplazamiento en pista*



Fuente: (FAA, 2004).

Letrero de pista libre y límite de la aérea crítica de ILS

Su configuración varía para tener un fondo amarillo con letras negras y contienen las mismas marcas ubicadas en el pavimento, su intención es proporcionar a los pilotos una indicación adicional de que está cruzando un punto de espera al abandonar la pista (Figura 33) o que se encuentra en el límite del área crítica del ILS respectivamente.

Figura 33. *Letrero de límite del área crítica de ILS*



Fuente: (studentpilotnews.com, 2021).

Letreros de dirección

Su configuración es un fondo amarillo con letras negras. En su inscripción se encuentra la designación de la calle de rodaje que precede a donde se encuentra ubicada actualmente la aeronave y donde se tiene la intención de que continúe el rodaje o que se haga una espera, según corresponda el caso, más una flecha que indica la dirección que se ha de seguir.

En la medida de lo posible se debe ubicar al lado izquierdo de las calles de rodaje asociadas y en caso de requerir un giro a la izquierda, por ejemplo, deberá encontrarse la flecha al lado izquierdo del letrero y viceversa.

Figura 34. *Letrero de dirección*



Fuente: (lycti.com, 2021).

Letreros de destino

Tiene una configuración idéntica a los de dirección abarcados anteriormente, pero su intención es indicar un destino dentro del sistema del aeródromo, por ejemplo, FBO, rampas, cabeceras de pista, entre muchos otros.

Siempre cuentan con una flecha que indica la dirección que debe seguirse para alcanzar el destino mencionado. En ocasiones, cuando dos o más destinos comparten una misma ruta, se encuentran separados por un punto.

Cuando se encuentren complementados por un letrero de emplazamiento y se indique un viraje a la derecha, por ejemplo, el de destino o dirección se debe ubicar a la derecha de este, o viceversa (Figura 35).

Figura 35. *Letreros de destino*



Fuente: (dgr.com, 2018; flightliteracy.com, 2021).

Otros letreros informativos

Este ítem recoge diferentes letreros que se pueden encontrar en aeródromos con información importante para las aeronaves.

Cuando dé cuenta con un punto de chequeo del VOR en el aeródromo, se indicará mediante la marca en el pavimento y la señal correspondiente, esta tiene un fondo amarillo y letras negras e indica la frecuencia relacionada, la marcación donde se debe verificar y la distancia si está disponible el DME.

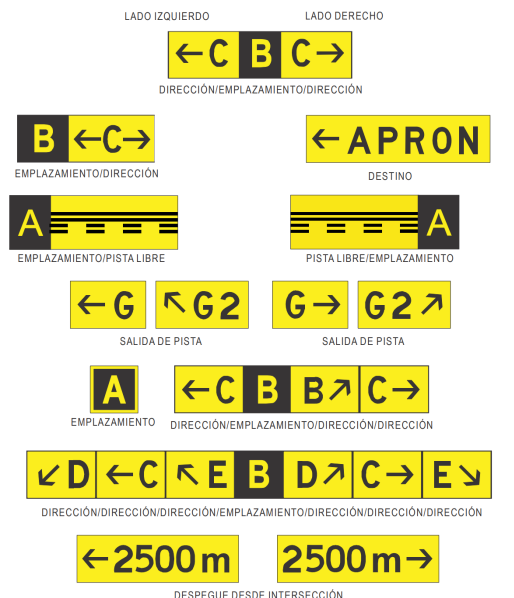
En algunos aeródromos también se puede encontrar los letreros de pista remanente a cada lado de esta en una configuración de fondo negro con letras blancas, el numero de la inscripción representa la cantidad de pista remanente en miles de pies.

Figura 36. Letreros de pista remanente y punto de chequeo del VOR



Fuente: (flightliteracy.com, 2021; OACI-Anexo 14, 2016).

Figura 37. Letreros de información



Fuente: (OACI-Anexo 14, 2016).

Igualmente, si se contempla la posibilidad de ejecutar un despegue desde una intersección, bien sea de entre dos pistas o pista con calle de rodaje, el letrero indicará la distancia disponible para la maniobra en metros (Figura 37).

LUCES

La premisa de cero errores en la seguridad dentro de las operaciones aéreas es uno de los pilares que mantiene a la industria aeronáutica como una de las más seguras, con cifras tan bajas de accidentalidad, que según el plan de seguridad operacional para la región SAM de la OACI (2018), para el año 2017 se ubicaba, para Suramérica en 1,54 accidentes por cada millón de salidas, "ligeramente menor a la tasa mundial de 1,56" (OACI, 2018, p. 20).

Todas las luces concernientes a la seguridad de la pista deben estar de acuerdo con los *Standard and Recommended Practices - SARPs* de la OACI, se debe tener en cuenta que se puede generar confusión en los pilotos si no se tiene una estandarización en cuanto este tema, un punto de espera con luces de demasiados colores pueden ser difíciles de interpretar y elevar el riesgo de una incursión en la pista (Airport Council International, 2014).

De esta manera, el anexo 14 de la OACI, en el capítulo 5 brinda las recomendaciones y requisitos de seguridad que se debe tener en cuenta para no afectar las operaciones, por ejemplo, con luces ajenas al aeródromo que puedan causar confusión o generar un peligro.

En cuanto a las emisiones de láser que puedan afectar la seguridad de las aeronaves, se deben establecer zonas específicas donde el uso de estas tecnologías está prohibida o restringida (Figura 38).

Laser-beam free flight zone – LFFZ: Este espacio aéreo situado en inmediaciones del aeródromo debe estar libre de emisiones de laser en un radio de 2 nm de la pista con una extensión de 1 nm en cada cabecera y hasta 2000 pies AGL (OACI, 2003, pp. 5-2).

Laser-beam critical flight zone – LCFZ: 10 nm alrededor del punto de referencia del aeródromo ARP y hasta 10000 pies AGL, los laser deben tener una irradiancia menor a 5 W/cm² (OACI, 2003, págs. 5-2).

Laser-beam sensitive flight zone – LSFZ: El espacio aéreo fuera del LFFZ y la LCFZ, pero no necesariamente contiguo a ellas donde se considera que el efecto de una irradiancia mayor a 100 W/cm² pueda causar una ceguera por flash (encandilar) que afecte la seguridad de un vuelo (OACI, 2003, pp. 5-2).

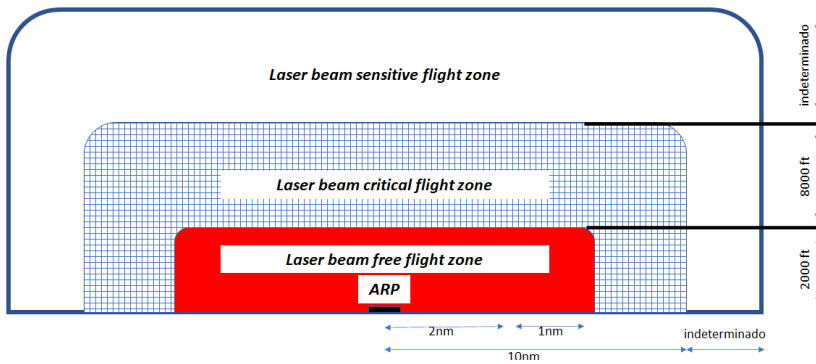
Capítulo 2. Operación de Aeródromos

De igual manera, sobre luces terrestres que puedan causar confusión a las aeronaves, o luces aeronáuticas que lo hagan con naves marinas cuando el aeródromo se encuentra en cercanías con puertos navegables, por ejemplo.

Faro de aeródromo

El propósito principal del faro del aeródromo es facilitar a los pilotos su identificación durante la noche cuando las operaciones predominantes son bajo reglas de vuelo visual, frecuentemente la visibilidad se encuentra reducida o se dificulta identificar el aeródromo debido a luces terrestres a su alrededor (OACI, 2018, p. 31).

Figura 38. Zonas protegidas de emisiones láser



Fuente: (Escobar 2021).

La intensidad no debe ser menor a 2000 cd y debe estar ubicado de manera que se garantice su visibilidad desde cualquier azimut, igualmente para una mayor efectividad, “tiene una distribución vertical de la luz entre 1 y 10° sobre el horizonte” (Federal Aviation Administration, 2016, p. 16).

El faro tiene una luz de color alternada con una blanca, en el caso de estar ubicado en tierra, esta es de color verde y amarilla en caso de ser un aeródromo en agua. Si se llegase a presentar la situación de que el aeródromo presta los servicios tanto en tierra como en agua, el faro tendrá el color de la que se considere la operación principal.

Iluminación de aproximación

El propósito del sistema de iluminación de aproximación es proporcionar al piloto un método visual que facilite la transición entre el vuelo bajo reglas instrumentos IFR y el vuelo bajo reglas visuales VFR para la fase del aterrizaje.

Se compone por una compleja combinación de luces de señalización, cuyo propósito es ilustrar el inicio de la pista o umbral y hasta qué punto se extiende la zona de toma

de contacto, TDZ por sus siglas en inglés. Dependiendo del tipo de aproximación pueden variar y extenderse hasta una distancia de 2400 a 3000 pies, en el caso de ser de precisión; o de 1400 a 1500 pies en el caso de ser de no precisión.

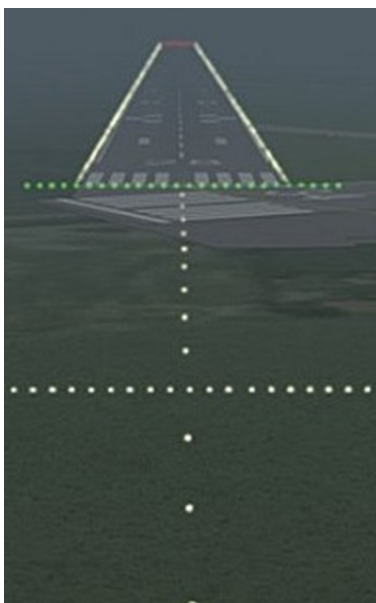
En algunos aeródromos el sistema incluye una guía visual para el piloto representada en una luz intermitente secuenciada, que semeja una bola de luz desplazándose hacia la pista a gran velocidad, dos veces por segundo (Aeronautical Information Manual, 2017, pp. 2-1-1).

Sistemas de luces de aproximación

El sistema de luces para la aproximación depende en gran medida del tipo de operación que se presenta en la pista, por ejemplo, una pista destinada para aproximaciones bajo reglas de vuelo VFR, diferirá notablemente de una de no precisión, de una de precisión, y a su vez, de una CAT-I, II o III, respectivamente.

Sistema de luces de aproximación simple. Su principal uso es pistas donde las aproximaciones son VFR o IFR de no precisión. Consiste en una fila de luces fijas que se extienden desde el umbral hasta una distancia de aproximadamente 420 m como una extensión del eje central de la pista, complementada por una fila de luces formando una T. El color de estas luces debe ser fácilmente identificable y diferenciarse de los colores usados en otras partes del aeródromo (Figura 39).

Figura 39. *Sistema de luces de aproximación simple*



Fuente: (theairlinepilots.com).

Sistema de luces de aproximación de precisión CAT-I. Consiste en una serie de luces fijas de color blanco, ubicadas hasta 900m a partir del umbral a manera de extensión de la línea central de la pista. Están dispuestas así, los primeros 300m una fila sencilla, los 300m intermedios 2 filas y los restantes, tres filas de luces. Igualmente cuenta con una serie de luces perpendiculares de aproximadamente 30m que se van disminuyendo en tamaño para producir un efecto lineal (Figura 40).

Figura 40. Sistema de luces de aproximación de precisión CAT-I



Fuente: (forums.eagle.ru).

Sistema de luces de aproximación de precisión CAT-II-III. Este sistema difiere del abarcado anteriormente en sus primeros 300m a partir del umbral, en donde se encontrarán una línea de luces fijas de color rojo a cada lado del centro con unas líneas perpendiculares de luces blancas dispuestas de manera que la ubicada a 150 m se extiende entre las dos líneas rojas y la que se encuentra a 300m se extiende 15m a cada lado de la línea de centro (Figura 41).

Sistema indicador de senda de aproximación de precisión (PAPI)

El *precision approach path indicator* – PAPI puede ser utilizado tanto en operaciones diurnas como nocturnas, se encuentra ubicado a la izquierda de la pista y consiste en cuatro luces dispuestas en una fila perpendicular a la pista, de manera que el piloto las observe desde la aproximación e indican la senda de planeo normalmente de 3° , aunque en ocasiones es necesario incrementar el ángulo dependiendo del terreno y los obstáculos, con la salvedad de que debe concordar con el ángulo de planeo del sistema ILS.

Figura 41. Sistema de luces de aproximación de precisión CAT-II-III



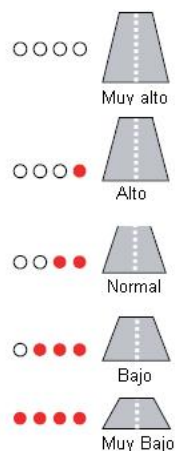
Fuente: (wykop.pl).

Desde luego, el uso de este sistema exige una superficie de protección contra obstáculos que varía en su longitud y divergencia de acuerdo con el código de la pista entre 60m y 300m y un ángulo a cada lado entre 10° y 15° , en concordancia con lo estipulado en el anexo 14 de la OACI.

En la Figura 42 se observa la interpretación de las señales que el sistema PAPI ofrece al piloto, donde, a parte del código de colores de las luces, se puede apreciar la perspectiva de la pista en aproximación (Barbosa, s.f., p. 155).

- Cuando la aeronave se encuentre muy por encima de la pendiente de aproximación el piloto verá cuatro luces de color blanco.
- Cuando la aeronave se encuentre por encima de la pendiente de aproximación el piloto verá de color rojo la luz más cercana a la pista y de color blanco las otras tres luces.
- Cuando la aeronave se encuentre en la pendiente de aproximación o muy cerca de ella el piloto verá de color rojo las dos luces más cercanas a la pista y de color blanco las dos restantes.
- Cuando la aeronave se encuentre por debajo de la pendiente de aproximación el piloto verá de color rojo las tres luces más cercanas a la pista y de color blanco la restante.
- Cuando la aeronave se encuentre muy por debajo de la pendiente de aproximación el piloto verá de color rojo las cuatro luces, siendo esta situación. (Barbosa, s.f., p. 156).

Figura 42. Luces PAPI



Fuente: (el vuelo por instrumentos. blogspot.com, 2014).

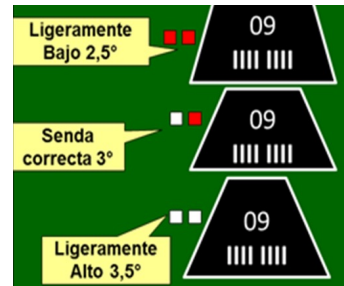


Sistema indicador de senda de planeo de precisión abreviado (APAPI)

El sistema APAPI cumple básicamente el mismo principio del PAPI, el cual fue descrito en el apartado anterior, con la salvedad de que consta solo de dos elementos ubicados de igual manera a la izquierda de la pista y cumple la misma función, en la Figura 43 se encuentra explicado la manera de interpretar las señales ofrecidas por el sistema.

- Cuando la aeronave se encuentre por encima de la pendiente de aproximación el piloto verá de color blanco las dos luces.
- Cuando la aeronave se encuentre en la pendiente de aproximación o muy cerca de ella, el piloto verá de color rojo la luz más cercana a la pista y de color blanco la otra luz.
- Cuando la aeronave se encuentre por debajo de la pendiente de aproximación el piloto verá de color rojo las dos luces (Barbosa, s.f., p. 156).

Figura 43. Luces PAPI

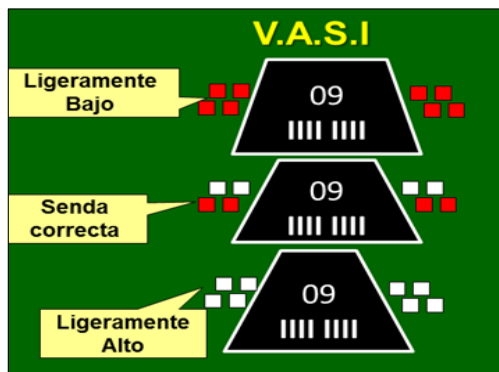


Fuente: (el vuelo por instrumentos.blogspot.com, 2014).

Indicador visual de pendiente de aproximación (VASI)

El *visual approach slope indicator* – VASI consiste en 2,4,6,12 o 16 luces ubicadas al lado izquierdo de la pista en el caso de ser 2,4 o 6; y a ambos lados en los otros casos. El principio básico del VASI es el del color, diferenciación entre rojo y blanco. Cada unidad de luz proyecta un haz de luz que tiene un segmento blanco en la parte superior de la viga y segmento rojo en la parte inferior. Las unidades de luz están dispuestas de modo que el piloto que usa los VASI durante un acercamiento verá la combinación de luces que se muestra a continuación (Aeronautical Information Manual, 2017)

Figura 44. Ejemplo luces VASI



Fuente: (elvueloporinstrumentos.blogspot.com, 2014).

El propósito del sistema es proporcionar una guía para el descenso visual durante la fase de aproximación a la pista, es de resaltar que, a partir del 1 de enero de 2020, este sistema fue abolido (OACI, 2108, p. 40).

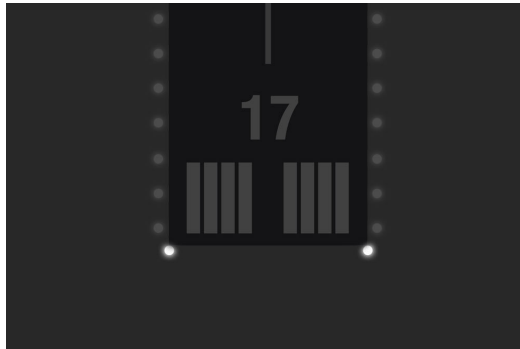
Iluminación de pista

La pista es un complejo que consta de varias partes que deben ser debidamente demarcadas, las luces tienen el propósito de facilitar al piloto su identificación para garantizar una operación segura en las fases de despegue y aterrizaje. Así como, prevenir una incursión indebida o involuntaria en las áreas de seguridad de esta.

Desde luego, que estos sistemas deben cumplir con unos requisitos exigentes de calidad para garantizar la seguridad de las operaciones en estas fases, por ejemplo, deben tener la capacidad de soportar el peso de la aeronave más pesada que se espera en la pista y la máxima presión de las llantas; así mismo, las especificaciones de calor emitido y altura máxima de 12 mm sobre el pavimento son fundamentales para evitar daños en las llantas (OACI, 2004, p. 1).

Luces de identificación del umbral de pista

Figura 45. *Luces de identificación del umbral de pista*



Fuente: (boldmethod.com, 2021).

Conocidas como REIL por su abreviatura en inglés, consiste en dos luces intermitentes o estroboscópicas de color blanco, ubicadas en las esquinas del umbral de la pista, su propósito es identificar rápidamente y de manera positiva el extremo de la pista durante una aproximación, lo que es muy efectivo en caso de baja visibilidad, una pista con bajo contraste con el terreno o rodeada de muchas luces y especialmente cuando el umbral se encuentra desplazado y es necesario hacerlo más visible. Generalmente son unidireccionales con vistas a la aproximación, pero es común también encontrar bidireccionales (OACI, 2012).

Luces de extremo de pista

Se deben instalar en las pistas que cuentan con luces de borde de pista y consisten en dos líneas mínimo de 6 luces; aunque en operaciones CAT-III deben aumentar de acuerdo con el ancho de la pista para que la separación no sea mayor entre cada una, ubicadas simétricamente a cada lado de la línea del centro. Son unidireccionales y de color rojo, están enfrentadas hacia la pista de manera que una aeronave despegando o aterrizando pueda identificar el final de esta con facilidad.

Figura 46. *Luces de extremo de pista*



Fuente: (en.wikipedia.org, 2021).

Luces de borde de pista

El propósito de estas luces es facilitar la identificación del límite de la pista cuando esta tiene operación nocturna o de aproximaciones de precisión, de igual manera, cuando se presenten despegues con mínimos operacionales por debajo de 800 metros de RVR, de acuerdo con las recomendaciones emitidas por la OACI en el Anexo 14.

Son dos filas de luces paralelas ubicadas a lo largo de la pista y equidistantes de la línea central. Cuando, por alguna razón, no coincidan con el borde se deben situar a un máximo de 3 m afuera.

Su color es blanco, salvo cuando se presenta el umbral desplazado, en cuyo caso, serán de color rojo en el espacio entre el inicio de la pista y el umbral. Y la distancia que resulte menor entre los últimos 600 m o la tercera parte de la longitud de la pista en dirección del despegue, en ese caso, son de color amarillo. En la figura 48 se puede observar la disposición de los colores, rojo para el umbral desplazado y amarillo para el final de la pista. (Figura 47)

Luces de umbral y barra de ala

Cuando una pista cuente con luces de borde, se debe instalar las luces de umbral, o en los casos de ser, de aproximación visual o de no precisión, pero que cuenten con umbral desplazado.

Las luces de umbral consisten en una línea de luces verdes fijas y orientadas hacia la aproximación, que se encuentran perpendiculares al centro de pista y son emplazadas en el inicio de las distancias declaradas para aterrizaje.

Figura 47. *Luces bordes de pista*



Fuente: (globalairspaceolutions.com, 2014).

Por su parte, las luces de barra de ala tienen las mismas características y se ubican desde el borde de la pista hasta una distancia no mayor a 10m hacia afuera; su propósito es brindar una forma adicional de ubicar el umbral a los pilotos, en especial cuando este está desplazado, temporal o definitivamente. En la Figura 47 se puede observar la línea verde que cruza la pista y se extiende varios metros fuera de ella.

Luces de eje de pista

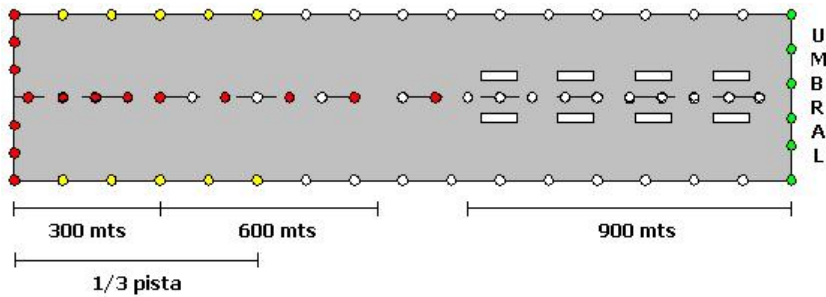
En aeródromos con operaciones de aproximación de precisión CAT-II y CAT-III es mandatorio por parte de la OACI contar con luces de eje de pista. Según la Agencia Europea de Seguridad Aérea – EASA, estas, junto con las marcas, son las principales señales usadas por los pilotos como guía visual y direccional en los aterrizajes y despegues, también facilitan la identificación de la distancia remanente de pista con su código de colores, lo que aumenta la seguridad en operaciones con meteorología adversa o nocturnas (EASA, 2021).

Un estudio hecho en Australia por la *Australian Transport Safety Bureau – ATSB* en 2010, demostró que un factor contribuyente en los despegues con alineación incorrecta es precisamente la falta de luces de eje de pista. (Australian Transport Safety Bureau, 2021, p. 19). Lo que demuestra la necesidad de instalarlas para operaciones con mínimos de visibilidad inferiores a los 400 m; o mayor si la velocidad de las aeronaves es elevada, especialmente cuando el ancho de pista es superior a los 50 m.

Consiste en una serie de luces ubicadas en el centro de la pista, o máximo a 60 cm de este cuando no se posible que su ubicación coincida. Son fijas y de color blanco los

primeros 900 m, desde allí y hasta 300 m antes el umbral, se alternan con rojo, y los últimos 300 m son todas de color rojo. Con excepción de pistas cuya distancia sea inferior a 1800 m, en cuyo caso las luces alternadas de color rojo y blanco se extienden desde la mitad de la pista declarada, hasta 300 m antes del umbral.

Figura 48. *Ejemplo luces de eje de pista*



Fuente: (Nomenclatura aeronáutica, 2013).

Luces de zona de toma de contacto en la pista

Estas son instaladas en pistas con operaciones de CAT-II y CAT-III y su propósito es el de facilitar la identificación de la zona de toma de contacto – TDZ por su abreviatura en inglés.

Consiste en pares de barretas ubicadas simétricamente a cada lado de la línea central de pista y separadas entre ellas entre 30 y 60 m; dependiendo del ancho de la pista, aunque recomienda la OACI en el anexo 14 que se debe aplicar una separación de 30 m para facilitar las operaciones de baja visibilidad.

Una barreta se compone de mínimo 3 luces y su longitud no debe ser mayor de 4,5, ni menor de 3 m, igualmente, la separación entre ellas no debe ser mayor de 1,5 m, de manera que desde la perspectiva de la aeronave en aproximación se dé un efecto lineal.

Se ubican desde umbral y tienen una extensión de 900 m cuando la extensión de la pista lo permita, en caso de que esta sea menor a 1800 m, las luces se reducirán de manera que no se extiendan más allá de la mitad de la pista (Figura 49).

Figura 49. Ejemplo luces de toma de contacto



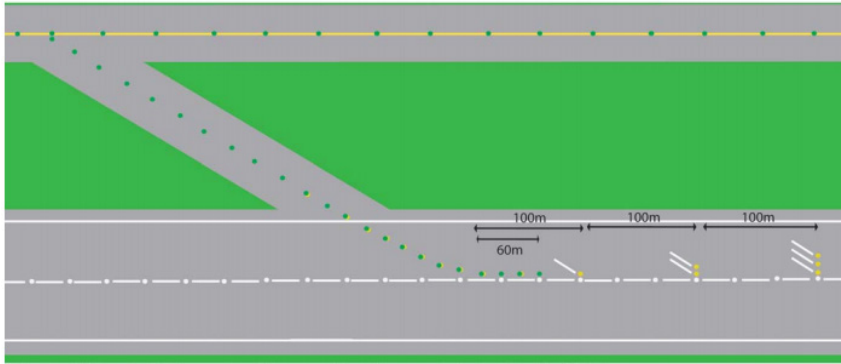
Fuente: (boarddocs.com).

Luces indicadoras de calle de salida rápida

Para operaciones en condiciones de baja visibilidad; con condiciones de alcance visual inferior a 350 m, o cuando el aeródromo presenta alta densidad de tránsito, es conveniente la instalación de luces que permitan al piloto identificar la distancia a la calle de salida rápida más cercana, de manera que se eleva la alerta situacional y facilitar el tiempo necesario para que la aeronave desacelere a una velocidad optima de rodaje. Esto último, es especialmente importante para tener en cuenta por parte de los pilotos, la *International Federation of Airline Pilots Association* – IFALPA recuerda que el propósito de las calles de rodaje rápidas es descongestionar la pista y no terminar la carrera de aterrizaje. De igual manera, recomienda ejercer una extrema precaución cuando esta cruza otra pista puesto que el riesgo de una incursión es elevado (IFALPA, 2007).

Las RETIL por su abreviatura en inglés, consisten en una línea de luces fijas de color amarillo enfrentadas hacia la aproximación, estas son ubicadas al lado del eje de la pista donde se encuentra la calle de rodaje y separadas mínimo 2 m de este. Se ubican a 300 m de la calle de rodaje e inician con 3 luces, 100 m adelante se reducen a 2 y a partir de los siguientes 100 m, cuando alcance la calle de rodaje respectiva se convierten en 1 para indicar el eje de esta (Figura 50).

Figura 50. Luces indicadoras de calle de salida rápida



Fuente: (IFALPA, 2007).

Luces de calle de rodaje

El propósito de la iluminación de las calles de rodaje es garantizar que no solo las tripulaciones de vuelo, sino también los operadores de vehículos involucrados en la operación del aeródromo sigan la ruta correcta durante procedimientos en condiciones de baja visibilidad o nocturnos y asegurar que se detengan dentro de los límites de autorización del ATC (Skybrary, 2019).

La alta concentración de calles de rodaje en un aeródromo puede conducir a confusiones por parte de los pilotos para identificar los bordes o la ruta correcta, en especial en diseños complejos y con radios de viraje pequeños. Este fenómeno se le conoce como *sea of blue* (OACI, 2004, p. 2) y por esto, la OACI anima a los operadores de aeródromos a utilizar las luces de eje de calle de rodaje y a evitar las luces de borde en los casos en que se pueda obtener una guía adecuada mediante iluminación de superficie.

Luces de eje de calle de rodaje

Este sistema de iluminación se debe instalar en las calles de salida de pista, calles de rodaje, instalaciones de deshielo y plataformas destinadas a ser usadas en operaciones con mínimos de visibilidad inferiores a 350 m, sin embargo, se puede prescindir de ellas dependiendo de la densidad de tránsito y si las luces de borde y las señales ofrecen una guía adecuada.

Su propósito es proporcionar una guía continua entre el eje de la pista y los puestos de estacionamiento de las aeronaves, por lo que su haz de luz debe ser tal que solo sea visible cuando se encuentre en la calle de rodaje o en su proximidad.

Si la calle de rodaje no es una de salida de pista o una pista que hace parte de una ruta normalizada para el rodaje, estas serán de color verde fijo. Por el contrario, si es

una calle de salida, las luces se alternarán entre verde y amarillo desde su comienzo cerca al eje de la pista hasta el perímetro del área crítica del ILS o hasta el borde de la superficie de transición que indica el área de seguridad de esta, lo que resulte más lejos, a partir de este punto todas las luces serán verdes.

Luces de eje de calle de rodaje en calles de rodaje. El espaciado recomendado por el anexo 14 de la OACI entre las luces es de 30 metros, aunque dependiendo de las condiciones meteorológicas predominantes se puede espaciar a no más de 60 m y para operaciones con mínimos de visibilidad RVR inferiores a 350 m se recomienda 15 m. Igualmente, en las curvas se deben separar de manera que se aprecie claramente el radio de la Figura 51.

Luces de eje de calle de rodaje en calles de salida rápida de pista. Deben iniciar por lo menos 60 m antes de la calle y extenderse hasta un punto donde se considere que la aeronave haya alcanzado la velocidad normal de rodaje, es recomendable que no exista una separación de más de 15 m entre cada luz (Figura 51).

Luces de eje de calle de rodaje en otras salidas de pista. En este caso las luces se deben instalar en el punto donde el eje de la calle de rodaje inicia la curva separándose del eje de la pista y extenderse hasta el punto donde la aeronave abandone el área de seguridad de la pista (Figura 53).

Luces de eje de calle de rodaje en pistas. Como ya mencionó algunas pistas hacen parte de rutas normalizadas para el rodaje, en cuyo caso las luces no deben tener una separación mayor a 15 m entre ellas.

Luces de borde de calle de rodaje

Las luces de borde de calle de rodaje serán luces fijas de color azul. Estas luces serán visibles por lo menos hasta 75° por encima de la horizontal y desde todos los ángulos de azimut necesarios para proporcionar guía a los pilotos que circulen en cualquiera de los dos sentidos. Se instalarán luces de borde de calle de rodaje en los bordes de una plataforma de viraje en la pista, apartaderos de espera, instalaciones que hayan de usarse de noche y en las calles de rodaje que no dispongan de luces de eje de calles de rodaje y que estén destinadas a usarse de noche.

Luces de punto de espera intermedio

Este sistema consiste en tres luces fijas unidireccionales de color amarillo, visibles en el sentido de la aproximación hacia el punto de espera intermedio, con una distribución luminosa similar a las luces de eje de calle de rodaje, si las hubiere. Las luces estarán dispuestas simétricamente a ambos lados del eje de calle de rodaje y en ángulo recto respecto al mismo, con una separación de 1,5 m entre luces.

Luces de la barra de parada

El propósito de las barras de parada es proveer una protección adicional en las intersecciones de las calles de rodaje y las pistas, con el ánimo de prevenir las incursiones mediante el aumento de la visibilidad de los puntos de espera, reforzando el control de aeronaves y vehículos en estos puntos e incrementando la defensa contra el error de los controladores al identificarlos (Flight safety australia, 2018).

Las barras de parada consistirán en luces de color rojo que serán visibles en los sentidos previstos de las aproximaciones hacia la intersección o punto de espera de la pista, espaciadas a intervalos de 3 m, y colocadas transversalmente en la calle de rodaje.

El circuito eléctrico está concebido de manera que, si se prenden las luces de la barra de parada, se apagarán las de la calle de rodaje más allá de este punto hasta por lo menos 90 m y viceversa.

Luces de protección de pista

Las incursiones en pista han venido siendo un problema en la industria desde hace un tiempo, esto debe ser atendido por los operadores de aeródromos y autoridades aeronáuticas como prioridad y aplicar tecnologías con el ánimo de prevenirlas (Eurocontrol, 2017).

Las *Runway Guard Lights* tienen dos configuraciones, la primera y más utilizada, consiste en un par de luces elevadas de color amarillo e intermitentes, ubicadas a cada lado del punto de espera en una intersección de una calle de rodaje con una pista. La otra configuración se presenta como una línea de color amarillo transversal al eje de la calle de rodaje y abarcando todo el ancho de esta, con un espaciamiento de 3 m cada luz. Su propósito es advertir a los pilotos y operadores de vehículos en las calles de rodaje que se encuentran próximos a ingresar a una pista en uso, su color amarillo debe ser interpretado como una precaución al acercarse a la pista y un recordatorio sobre la autorización que se debe recibir para continuar el rodaje (Eurocontrol, 2017).

Figura 51. Luces de calle de rodaje



Fuente: Avionicajoglar.blogspot,
2016. Adaptado por Escobar,
2021.



Figura 52. Luces de calle de rodaje



Fuente: (community.infiniteflight.com, 2018 adaptado por Escobar, 2021).

Luces de situación de la pista

Este sistema autónomo e independiente del control de tráfico que tiene como objetivo alertar a los pilotos y automóviles involucrados en la operación del aeródromo para que se detengan cuando la situación en la pista no es segura (Federal Aviation Administration, 2020).

En el año 2008 la *Federal Aviation Administration* invirtió más de 200 millones de dólares en la instalación de este sistema en los principales aeropuertos del país como Atlanta, Baltimore y Boston, entre otros, en una iniciativa para la prevención de las incursiones en pista (News, 2008). El sistema se compone de dos partes que pueden interactuar entre sí, pero también lo hacen de manera individual (Figura 53).

Luces de entrada a la pista – REL. Se encuentran ubicadas en el piso a un lado de las luces de eje de la calle de rodaje y se extienden desde el punto de espera hasta el borde de la pista. Cuando el sistema detecta la necesidad de una advertencia, se iluminan las luces de color rojo.

Luces de espera – THL. Se ubican en la pista a 1,8 m de las luces de centro y consisten en pares de luces rojas fijas que se extienden hasta una distancia de 450 m. Su funcionamiento es idéntico a las REL.

Capítulo 2. Operación de Aeródromos

Estas luces hacen parte de un sistema avanzado de guía y control de superficie que recibe señales de varios radares y equipos de abordaje para presentar una imagen precisa de las aeronaves y vehículos en el área de movimientos. El sistema correlaciona los planes de vuelo con la ubicación real y al detectar un conflicto de tráfico, activa la alerta encendiendo las luces (Federal Aviation Administration, 2020).

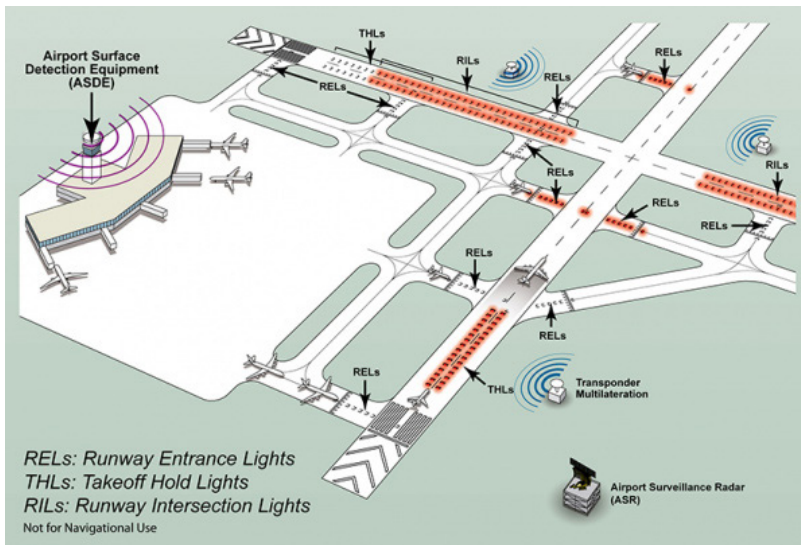
Cuando una aeronave se encuentre a 1 nm del umbral en aproximación final, el sistema enciende las REL para prevenir una incursión en la pista, a medida que la aeronave disminuye su velocidad y pasa las calles de rodaje, los radares detectan su posición y apaga las luces que ya no presenten un riesgo de colisión, pero mantiene encendidas las que se encuentren a 30 segundos adelante.

Cuando se encuentra en posición de despegar y otra aeronave o un vehículo se encuentra en la pista o muy cerca de ingresar a ella, el sistema lo detecta y enciende las luces THL en la pista para alertar al piloto para que no inicie la carrera de despegue. Una vez se detecte que ya la pista está libre las luces se apagarán, pero esto no significa una autorización puesto que se debe solicitar al ATC.

Luces de obstrucción

Las obstrucciones están marcadas o iluminadas para advertir a los pilotos de su presencia durante el día y la noche. Los obstáculos que se consideren un peligro para la operación en el aeródromo deben ser fácilmente identificables, tanto dentro como fuera del perímetro. Pueden estar marcados o encendidos en cualquiera de las siguientes condiciones (Sabsafety, 2021).

Figura 53. *Luces de situación de pista*



Fuente: (skybrary.aero, 2019).

- **Luces de obstrucción rojas:** parpadean o emiten un rojo constante color durante las operaciones nocturnas y las obstrucciones están pintados de naranja y blanco para las operaciones diurnas.
- **Luces de obstrucción blancas de alta intensidad:** destello alto luces blancas de intensidad durante el día con la intensidad reducida por la noche.
- **Iluminación dual:** una combinación de balizas rojas intermitentes y luces rojas estables para operación nocturna y alta luces blancas de intensidad para operaciones diurnas.

SUMARIO

La seguridad del vuelo inicia en la preparación de las tripulaciones y todos los involucrados en las operaciones aéreas, los aeródromos son complejos espacios donde convergen aeronaves, vehículos, personal y otros factores que constituyen un reto para la seguridad.

El conocer, interpretar de manera correcta y sobre todo respetar y cumplir con el sistema de señalización e iluminación de los aeródromos garantiza que el piloto mantenga una alerta situacional alta para prevenir eventos de seguridad en estas áreas y fases de vuelo que son muy importantes, recuerde que el vuelo no termina hasta que la aeronave se detenga y la planta motriz sea apagada.

El estudio de la estructura del aeródromo, el sistema de luces y las dependencias que operan en él, es fundamental para el éxito de su vuelo, toda vez que allí inician y terminan, y siempre tenga en cuenta su alterno en su planeamiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Academia de Aviación. (4 de 02 de 2011). *Ayudas visuales en los Aeropuertos-señalizaciones cap. 1*. Obtenido de <http://www.pasionporvolar.com/ayudas-visuales-en-los-aeropuertos-senalizaciones/>
- Adsuar Joaquín, 2011, *Navegación Aérea, Conocimientos Teóricos para la Licencia de Piloto Privado*, Paraninfo, Madrid.
- Aerocivil. (15 de 08 de 2019). *AIP Colombia*. Obtenido de <http://www.aerocivil.gov.co/servicios-a-la-navegacion/servicio-de-informacion-aeronautica-ais/Documents/52%20CTA%20CALI.pdf>
- Aeronáutica Civil. (29 de 09 de 2014). *AIS-COLOMBIA*. Obtenido de http://www.aerocivil.gov.co/servicios-a-la-navegacion/servicio-de-informacion-aeronautica-ais/Documents/AIC_C20_2014.pdf
- Aeronáutica Civil. (29 de 09 de 2014). *AIC*. Obtenido de http://www.aerocivil.gov.co/servicios-a-la-navegacion/servicio-de-informacion-aeronautica-ais/Documents/AIC_C20_2014.pdf
- Aeronáutica Civil. (20 de 12 de 2015). *RAC 6*. Obtenido de <http://www.aerocivil.gov.co/normatividad/VERSION%20DIC%2031%202015/RAC%20%206%20-%20Gesti%C3%B3n%20de%20Tr%C3%A1nsito%20A%C3%A9reo.pdf>
- Aeronáutica Civil. (06 de 01 de 2019). *AUERONAUTICA CIVIL*. Obtenido de <http://www.aerocivil.gov.co/servicios-a-la-navegacion/servicio-de-informacion-aeronautica-ais/listas-de-verificacion-y-listas-de-notam-validos>
- Aeronáutica Civil. (31 de 12 de 2020). *RAC 14*. Obtenido de <https://www.aerocivil.gov.co/normatividad/RAC/RAC%20%2014%20-%20Aer%C3%B3dromos%20,%20Aeropuertos%20%20y%20%20Helipuertos.pdf>
- Aeronáutica Civil. (26 de 01 de 2020). *Resumen NOTAM C/D*. Obtenido de <http://www.aerocivil.gov.co/servicios-a-la-navegacion/servicio-de-informacion-aeronautica-ais/Documents/Charlie1.pdf>
- Aeronautical Information Manual. (10 de 12 de 2017). *Airport manual*. Obtenido de https://www.faa.gov/air_traffic/publications/media/AIM_Basic_dtd_10-12-17.pdf?fbclid=IwAR06RDdWWhuvCFsYFh4OqOOLID-dHYufc_19I-q4Wdrpcik42QRfzJpJ6s
- Airport Council International. (2014). *Runway Safety Handbook*. Montreal: ACI,World. Recuperado el 20 de 04 de 2021, de https://applications.icao.int/tools/RSP_ikit/story_content/external_files/ACI%20Runway%20Safety%20Handbook%202014%20v2%20low.pdf
- Australian Transport Safety Bureau. (24 de 04 de 2021). *atsb.gov.au*. Obtenido de <https://www.atsb.gov.au/media/1543486/ar2009033.pdf>



Conocimientos aeronáuticos para el Piloto Militar.
Instructivo operacional de la Escuela Militar de Aviación
“Marco Fidel Suárez” - Volumen III

- Aviación es mi pasión. (12 de 03 de 2017). marcacion umbral de pista. Estados Unidos.
- Barbosa, S. I. (s.f.). Precision approach path indicator. *Electromundo*. Recuperado el 21 de 04 de 2021, de <https://www.icao.int/SAM/eDocuments/ARTICULO%20REV%20ELETROMUNDO.pdf>
- Barco, H., Rojas, E., & Restrepo, E. (2012). Física: Principios de electricidad y magnetismo. Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/51068/9789587612837.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Britannica.com, s.f. *Gyroscope*, <https://www.britannica.com/technology/gyroscope> (07 de febrero de 2022)
- Cáceres, R. (2017). *Meteorología aplicada a la seguridad de las operaciones aéreas*. Escuela de posgrados de la Fuerza Aérea Colombiana, Bogotá.
- Caruso, M. (1997). Applications of Magnetoresistive Sensors in Navigation Systems, *SAE international*. <https://saemobilus.sae.org/content/970602/> (04 de febrero de 2022)
- Corbasí, A. (1998). *Sistemas de Navegación: Desde el compás magnético a la navegación por satélite*, McGraw-Hill, Madrid.
- Código de Comercio de Colombia, Decreto 410 de 1971, 1971, <https://www.camara-baq.org.co/wp-content/uploads/2021/03/CodigodeComercio-2.pdf> (17 de enero de 2022)
- Diario del viajero. (18 de 01 de 2011). *diario del viajero*. Obtenido de <https://www.diariodelviajero.com/tecnologia/el-movimiento-del-polo-magnetico-obliga-a-reenumerar-las-pistas-de-los-aeropuertos>
- Dirección General de Aeronáutica Civil Chile – DGAC, 2005, *Léxico, Definiciones y Acrónimos de la D.G.A.C. Cuarta edición*. https://www.dgac.gob.cl/wp-content/uploads/2017/08/lexico_12032014.pdf (31 de enero de 2022)
- EASA. (24 de 04 de 2021). *easa.europa.eu*. Obtenido de <https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/EASA-centre-line-lights.pdf>
- Eurocontrol. (20 de 11 de 2017). European action plan for the prevention of runway incursions - apendix J. Recuperado el 25 de 04 de 2021, de <https://www.eurocockpit.be/sites/default/files/2017-12/EAPPRI%20v.3%2C%202017.pdf>
- Euston. (1996). *euston*. Obtenido de (<https://www.euston96.com/aerodromo/>)
- Federal Aviation Administration. (2007). *The human factors for airport operations*. Recuperado el 2 de Marzo de 2021, de https://www.faa.gov/about/initiatives/maintenance_hf/library/documents/media/support_documentation/opsman_ramp_final.pdf
- Federal Aviation Administration. (2008). *pilot's handbook of aeronautical knowledge*. estados unidos: U.S. department of transportation.

Capítulo 2. Operación de Aeródromos

- Federal Aviation Administration. (2009). *FAA-H-8083-G Advanced Avionics Handbook*. Airman Testing Standards Branch, Oklahoma City.
- Federal Aviation Administration. (2011). *FAA-H-8083-18 Flight Navigator Handbook*, Airman Testing Standards Branch, Oklahoma City.
- Federal Aviation Administration. (2012). *FAA-H-8083-15B Instruments Flying Handbook*. Airman Testing Standards Branch, Oklahoma City.
- Federal Aviation Administration. (2015). *FAA-H-8083-16A Instruments Procedures Handbook*. Airman Testing Standards Branch, Oklahoma City.
- Federal Aviation Administration. (2016). *FAA-8083-25B Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge*, Airman Testing Standards Branch, Oklahoma City.
- Federal Aviation Administration. (2016). *Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge - Chapter 14*. Oklahoma City: Airman Testing Stdandards Branch.
- Federal Aviation Administration. (2018). *FAA-H-8083-31A Aviation Maintenance Technician Handbook – Airframe Vol.2*, Airman Testing Standards Branch, Oklahoma City.
- Federal Aviation Administration. (15 de 8 de 2019). *Air Information Manual* . Recuperado el 24 de 3 de 2021, de https://www.faa.gov/air_traffic/publications/media/aim_basic_8-15-19.pdf
- Federal Aviation Administration. (05 de 02 de 2020). *faa.gov*. Recuperado el 25 de 04 de 2021, de https://www.faa.gov/air_traffic/technology/rwsl/
- Federal Aviation Administration. (09 de 09 de 2020). *faa.gov*. Recuperado el 25 de 04 de 2021, de <https://www.faa.gov/nextgen/programs/adsb/atc/assc/>
- Federal Aviation Administration, 2021(a), *FAA-H-8083-3C Airplane Flying Handbook*. Airman Testing Standards Branch, Oklahoma City.
- Federal Aviation Administration. (31 de enero de 2022). *Air information Publication – AIP, En route, General Rules and Procedures*. https://www.faa.gov/air_traffic/publications/atpubs/aip_html/part2_enr_section_1.8.html
- Flight safety australia. (28 de 11 de 2018). *flightsafetyaustralia.com*. Recuperado el 24 de 04 de 2021, de <https://www.flightsafetyaustralia.com/2018/11/runway-safety-and-stop-bars-contributing-to-enhanced-safety/#:~:text=Stop%20bars%20are%20a%20series,the%20associated%20runway%20holding%20position.>
- Flight Safety Foundation. (2007). Recuperado el 2 de Marzo de 2021, de <https://flightsafety.org/toolkits-resources/past-safety-initiatives/ground-accident-prevention-gap/>



Conocimientos aeronáuticos para el Piloto Militar.
Instructivo operacional de la Escuela Militar de Aviación
“Marco Fidel Suárez” - Volumen III

- Fuerza Aérea de Chile. (2014) *Manual de vuelo por instrumentos*. Escuela de vuelo por instrumentos, Los Cerillos. https://issuu.com/eflyacademy/docs/11.1_manual_de_vuelo_por_instrumentos_fach_2014 (27 de enero de 2022)
- Global Aviation, 2013, *IR Flight Training Handbook*, <https://docplayer.net/6559941-Ir-flight-training-handbook.html> (31 de enero de 2022)
- Hernández J. Solá de los Santos J. Fernández R. (2019). Estudio empírico de las corrientes de Foucault, combinando un campo magnético con el campo gravitatorio, *Grupo Heurema Departamento de Física y Química I.E.S. Cervantes*. http://www.lajpe.org/sep19/13_3_04.pdf (04 de febrero de 2022)
- Hoffman-Wellembert B., Litchtenegger, H. & Collins, J. (2001). *GPS Theory and Practice*, Springer-Verlag Wien, Viena.
- Honeywell Aerospace Electronic Systems. (2000). *SPZ-7600 Integrated Flight Control System Pilot's Manual*, Honeywell, Phoenix.
- Honeywell Aerospace Electronic Systems. (2016). *Airbus Pegasus FMS for the A-330 and A-320 series*, Honeywell, Phoenix. https://aerospace.honeywell.com/content/dam/aerobt/en/documents/learn/platforms/brochures/C61-1647-000-000_ATR_TechnicalSummary_PegasusFMS_Airbus_A330_A320.pdf (11 de febrero de 2022)
- International Air Transport Association – IATA. (2015). *FMS Data Entry Error Prevention Best Practices*, IATA, Montreal-Geneva <https://www.iata.org/contentassets/b6eb2adc248c484192101eddl36015/fms-data-entry-error-prevention-ed-1-2015.pdf> (11 de febrero de 2022)
- Luque, J. s.f., *Espectro electromagnético y espectro radioeléctrico*, Autores científico-técnicos y académicos. pp. 17-31. https://www.acta.es/medios/articulos/ciencias_y_tecnologia/062017.pdf (26 de enero de 2022)
- Marcano Elis, 2003, *Manual de información aeronáutica operaciones de aeronaves procedimientos IFR ICAO/FAA*. <https://es.calameo.com/read/004695941d-d916454a8f4> (19 de enero de 2022)
- IFALPA. (2007). *ifalpa.org*. Recuperado el 24 de 04 de 2021, de <https://www.ifalpa.org/media/2181/07sab012-misuse-of-rapid-exit-taxiways.pdf>
- International Civil Aviation Organization . (2004). *Doc 9157 - Aerodrome Design Manual*.
- News, R. A. (2008). FAA expands runway status nationwide. 40. Recuperado el 25 de 04 de 2021, de <http://web.b.ebscohost.com/mindefensa.basesdedatos/proxy.com/ehost/detail/detail?vid=5&sid=15985df9-f151-42dc-8e69-ba5ba3b311a3%40pdv-v-sessmgr03&bdata=JnNpdGU9ZWhtvc3Qtb-Gl2ZQ%3d%3d#AN=46985797&db=asr>

Capítulo 2. Operación de Aeródromos

- Nomenclatura aeronáutica. (25 de 11 de 2013). *nomenclaturaaero*. Obtenido de <http://nomenclaturaaero.blogspot.com/2013/11/luces-de-la-pista.html>
- OACI. (1983). *Doc. 9137 Airport services manual. Part. 6*.
- OACI. (2003). *Doc. 9815 Manual on laser emitters and flight safety*. Recuperado el 21 de 04 de 2021, de <https://usermanual.wiki/Document/ICA-O20DOC20981520Manual20on20Laser20Emitters20and20Flight20Safety202003.133220521/view>
- OACI. (2004). *Document 9157 - Aerodrome design manual - Part 4 - Capter 9*. Montreal .
- OACI. (21 de 08 de 2005). *anexo 14*. Obtenido de Diseño y operación de aérodromos: <https://www.icao.int/SAM/Documents/2005/AIRPORTPAVEMENT/05%20Distancias%20Declaradas.pdf>
- OACI. (2005). *Global Navigation Satellital System (GNSS) Manual*, [https://www.icao.int/Meetings/PBN-Symposium/Documents/9849_cons_en\[1\].pdf](https://www.icao.int/Meetings/PBN-Symposium/Documents/9849_cons_en[1].pdf)
- Organización de Aviación Civil Internacional – OACI, 2009, *Anexo 4 Cartas Aeronáuticas*. <https://www.anac.gov.ar/anac/web/uploads/normativa/anexos-oaci/anexo-4.pdf> (25 de enero de 2022)
- OACI. (2006). *Doc. 8168, Aircraft Operations Vol I, Flight Procedures*. http://www.chcheli.com/sites/default/files/icao_doc_8168_vol_1.pdf (25 de enero de 2022)
- OACI. (2006a). *Doc. 8168, Aircraft Operations Vol II, Flight Procedures*.
- OACI. (2010). *Anexo 5 – Unidades de medida que se emplearán en las operaciones aéreas y terrestres*. <https://www.anac.gov.ar/anac/web/uploads/normativa/anexos-oaci/anexo-5.pdf> (28 de enero de 2022)
- OACI. (2012). Taller sobre ayudas visuales para la navegación aérea. Lima. Recuperado el 21 de 04 de 2021, de https://www.icao.int/SAM/Documents/VISUALAIDS.11/3_Presentacion%20Luces_CGP.pdf
- OACI. (26 de 01 de 2018). *Anexo 14 Aeródromos Vol I - Chapter 5*. OACI.
- OACI. (2018). *Plan de seguridad operacional para la región SAM*. Recuperado el 21 de 04 de 2021, de https://www.icao.int/SAM/Documents/2018-SSP7/SAM-SP_Marzo2018_BorradorFinal_es.pdf
- OACI. (2108). *Anexo 14 Aeródromos Vol I - Chapter 5*. OACI.
- Organización de Aviación Civil Internacional. (2016). Anexo 14 - Capitulo 5. Obtenido de <https://www.icao.int/NACC/Documents/Meetings/2016/OACIFAA/ICA-D2-P02.pdf>
- Olivares, J. (2015). *Análisis del sistema de navegación por satélite europeo EGNOS para su integración con VRS*, [Tesis doctoral Universidad Politécnica de Valencia] Archivo digital. [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/61981/Olivares%20-%20An%C3%A1lisis%20del%20sistema%20de%20nave-](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/61981/Olivares%20-%20An%C3%A1lisis%20del%20sistema%20de%20nave)



[gaci%C3%B3n%20por%20sat%C3%A9lite%20europeo%20EGNOS%20para%20su%20integraci%C3%B3n%20con%20....pdf?sequence=1](#) (24 de enero de 2022)

Palomo, R. (2006). Aviónica y Sistemas de Navegación. 4º *Ingeniero Aeronáutico, Universidad de Sevilla*. <http://agamenon.tsc.uah.es/Asignaturas/it/rd/apuntes/5-4.pdf> (20 de enero de 2022)

Public Authority for Civil Aviation . (12 de 06 de 2018). *caa.gov.om*. Obtenido de <https://caa.gov.om/upload/files/regulations/paca-manuals/guidance-for-obstacle-management.pdf>

Reglamento Aeronáutico de Colombia. (19 de 05 de 2018). *RAC 204*. Obtenido de <http://www.aerocivil.gov.co/normatividad/RAC/RAC%20%20204%20-%20Cartas%20%20Aeron%C3%A1uticas.pdf>

Sabsafety. (2021). Obtenido de <http://sabsafety.com/windsock-uae.html>

Segura, A. (2015). *El concepto de onda electromagnética y su medio de propagación a partir de las teorías de Maxwell y los trabajos de Hertz* [Trabajo de grado, Universidad Pedagógica Nacional de Colombia] <http://repository.pedagogica.edu.co/bitstream/handle/20.500.12209/2141/TE-17815.pdf?sequence=1> (26 de enero de 2022)

Serwey R. & Jewett, J. (2009). *Física, Electricidad y Magnetismo*, Cengage Learning, México D.F.

Semana. (20 de 05 de 2019). *semana*. Obtenido de <https://www.semana.com/contenidos-editoriales/el-tiempo-vuela/articulo/las-pistas-de-aeropuertos-mas-dificiles-de-colombia/616576?fbclid=iwar17cqhqdpkfzp0d-lqwywoeljhxyxp8nvpjrj-yh9of4jahkgecouttan0>

Sistema Regional de Cooperacion para la Vigilancia de la Seguridad Operacional. (2014). *icao*. Obtenido de https://www.icao.int/SAM/Documents/2014-DGAC-PER-WKSHOP/2_LAR%20154.pdf

Skybrary. (23 de 06 de 2019). *Skybrary.aero*. Recuperado el 24 de 04 de 2021, de https://www.skybrary.aero/index.php/Taxiway_Lighting

Space Geodesy Group. (s.f.). https://lweb.cfa.harvard.edu/space_geodesy/ATLAS/gps_es.html (24 de enero de 2022)

Unidad Administrativa Especial Aeronáutica Civil. (2019). *Reglamento Aeronáutico de Colombia – RAC 4, normas de Aeronavegabilidad y Operación de Aeronaves*. <https://www.aerocivil.gov.co/normatividad/RAC/RAC%20%204%20-%20Normas%20%20de%20Aeronavegabilidad%20%20y%20%20Operaci%C3%B3n%20de%20aeronaves.pdf> (02 de febrero de 2022)

Capítulo 2. Operación de Aeródromos

- Unidad Administrativa Especial Aeronáutica Civil. (2021a). *Air Information Publication Colombia – AIP, En ruta, ENR 3.0 Rutas ATS*. <https://www.aerocivil.gov.co/servicios-a-la-navegacion/servicio-de-informacion-aeronautica-ais/aip> (17 de enero de 2022)
- Unidad Administrativa Especial Aeronáutica Civil. (2021b). *Air Information Publication Colombia – AIP, En ruta, ENR 1.3 Reglas de Vuelo por Instrumentos*. <https://www.aerocivil.gov.co/servicios-a-la-navegacion/servicio-de-informacion-aeronautica-ais/Documents/04%20ENR%201.3.pdf> (22 de enero de 2022)
- Unidad Administrativa Especial Aeronáutica Civil. (2020a). *Air Information Publication Colombia – AIP, En ruta, ENR 5.1 Reglas Generales*. <https://www.aerocivil.gov.co/servicios-a-la-navegacion/servicio-de-informacion-aeronautica-ais/Documents/31%20ENR%205.1.pdf> (17 de enero de 2022)
- Unidad Administrativa Especial Aeronáutica Civil. (2021c). *Reglamento Aeronáutico de Colombia – RAC 211, Gestión de tránsito aéreo*. <https://www.aerocivil.gov.co/normatividad/RAC/RAC%20%20211%20-%20Gesti%C3%B3n%20de%20Tr%C3%A1nsito%20A%C3%A9reo.pdf> (18 de enero de 2022)
- Unidad Administrativa Especial Aeronáutica Civil. (2020b). *Reglamento Aeronáutico de Colombia – RAC 14, Aeródromos, Aeropuertos y Helipuertos*. <https://www.aerocivil.gov.co/normatividad/RAC/RAC%20%2014%20-%20Aer%C3%B3dromos%20,%20Aeropuertos%20%20y%20%20Helipuertos.pdf> (17 de enero de 2022)
- Unidad Administrativa Especial Aeronáutica Civil. (2020c). *Reglamento Aeronáutico de Colombia – RAC 91, Reglas generales de vuelo y operación*. <https://www.aerocivil.gov.co/normatividad/RAC/RAC%20%2091%20-%20Reglas%20%20Generales%20de%20Vuelo%20y%20Operaci%C3%B3n.pdf> (17 de enero de 2022)
- Unidad Administrativa Especial Aeronáutica Civil. (2020d). *Reglamento Aeronáutico de Colombia – RAC 204, Cartas Aeronáuticas*. <https://www.aerocivil.gov.co/normatividad/RAC/RAC%20%20204%20-%20Cartas%20Aeron%C3%A1uticas.pdf> (25 de enero de 2022)
- Unidad Administrativa Especial Aeronáutica Civil. (2021d). *Air Information Publication Colombia – AIP, En ruta, TMA de Bogotá*. <https://www.aerocivil.gov.co/servicios-a-la-navegacion/servicio-de-informacion-aeronautica-ais/Documents/46%20TMA%20BOGOTA.pdf> (19 de febrero de 2022)



Conocimientos aeronáuticos para el Piloto Militar.
Instructivo operacional de la Escuela Militar de Aviación
“Marco Fidel Suárez” - Volumen III

- Unidad Administrativa Especial Aeronáutica Civil. (2020e). *Reglamento Aeronáutico de Colombia – RAC 1, Cuestiones preliminares, Disposiciones iniciales, Definiciones y Abreviaturas*. <https://www.aerocivil.gov.co/normatividad/RAC/RAC%20%201%20-%20%20Definiciones.pdf> (31 de enero de 2022)
- Unidad Administrativa Especial Aeronáutica Civil. (2020f). *Reglamento Aeronáutico de Colombia – RAC 204, Cartas aeronáuticas*. [https://www.aerocivil.gov.co/normatividad/RAC/RAC%20%20204%20-%20Cartas%20Aeron%-C3%A1uticas.pdf](https://www.aerocivil.gov.co/normatividad/RAC/RAC%20%20204%20-%20Cartas%20Aeron%C3%A1uticas.pdf) (19 de febrero de 2022)
- Universal Avionics System Corporation. (2017). *TAWS – Terrain Awareness and Warning System*. https://www.uasc.com/docs/default-source/documents/brochures/uasc_taws_brochure.pdf?sfvrsn=2 (13 de febrero de 2022)
- U.S. Air Force (2001). *Air Force Pamphlet 11-216 Flying Operations Air Navigation*.
- U.S. Air Force. (2019). *Air Force Manual – AFMAN 11-217, Flight Operations*. <https://www.columbus.af.mil/Portals/39/afman11-217.pdf> (14 de febrero de 2022)
- U.S. Army. (2007). *Instrument Flight for Army Aviators FM 3-04.240*.
- U.S. Department of Transportation - Federal Aviation Administration. (2015)., *FAA-H-8083 Instruments Procedures Handbook*, Flight Procedures Standard Branch, Oklahoma City.
- Young, H. & Freedman, R. (2013). *Física Universitaria Vol. 1, Décimo tercera edición*. Pearson, México.

Imágenes de apoyo

- Alamy. (s. f.). Boeing 747 Attitude Display Indicator (ADI). Recuperado el 10 de febrero de 2022, de <https://www.alamy.com/boeing-747-attitude-display-indicator-adi-image63077992.html>
- AOPA. (2020, mayo). On instruments: Basic attitude flying. Recuperado el 14 de febrero de 2022, de <https://www.aopa.org/news-and-media/all-news/2020/may/pilot/on-instruments-basic-attitude-flying>
- Astronautics. (s. f.). Air data computers. Recuperado el 9 de febrero de 2022, de <https://astronautics.com/products/displays/air-data-computers/>
- B737.org.uk. (s. f.). Probes. Recuperado el 28 de enero de 2022, de <http://www.b737.org.uk/probes.htm>
- Boldmethod. (s. f.). 4 types of trim tabs. Recuperado el 14 de febrero de 2022, de <https://www.boldmethod.com/learn-to-fly/systems/4-types-of-trim-tabs/>

Capítulo 2. Operación de Aeródromos

- Chief Aircraft. (s. f.). Miniature Color Video Camera CAMCVC2LA. Recuperado el 3 de febrero de 2022, de <https://www.chiefaircraft.com/ca-mcvc-2l-a.html>
- Comisión Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL). (s. f.). Espectro radioeléctrico. Recuperado el 26 de enero de 2022, de <http://www.conatel.gob.ve/espectro-radioelectrico/>
- DHgate. (s. f.). Creative scientific educational metal finger gyroscope toy. Recuperado el 7 de febrero de 2022, de <https://es.dhgate.com/product/creative-scientific-educational-metal-finger/496493797.html>
- Doyle, W. J. (s. f.). The interpretation of the HSI (Horizontal Situation Indicator) on the ILS. Recuperado el 20 de enero de 2022, de <https://docplayer.net/47326959-The-interpretation-of-the-hsi-horizontal-situation-indicator-on-the-ils.html>
- Ecured. (s. f.). Iluminación de aeropuertos. Recuperado el 20 de enero de 2022, de https://www.ecured.cu/Iluminaci%C3%B3n_de_aeropuertos
- Esquema.net. (s. f.). Espectro electromagnético. Recuperado el 26 de enero de 2022, de <https://esquema.net/espectro-electromagnetico-2/>
- Honeywell. (s. f.). Radar altimétrico KRA-405B. AeroExpo. Recuperado el 13 de febrero de 2022, de <https://www.aeroexpo.online/es/prod/honeywell/product-169927-18287.html>
- iStock. (s. f.). Palancas de empuje Airbus A320 en el pedestal central. Recuperado el 11 de febrero de 2022, de <https://www.istockphoto.com/es/foto/palancas-de-empuje-airbus-a320-en-el-panel-de-instrumentos-del-pedestal-central-gm1255621381-367391779>
- KIDK. (s. f.). Sistema de aterrizaje por instrumentos (ILS) [vector]. iStock. Recuperado el 21 de enero de 2022, de <https://www.istockphoto.com/es/vector/sistema-de-aterrizaje-por-instrumentos-gm578823814-99525119>
- PJRC. (s. f.). Air data computer. Recuperado el 9 de febrero de 2022, de <https://www.pjrc.com/air-data-computer/>
- Revista 400. (2021, 20 de octubre). Valentino Rossi está listo para su despedida en casa. Recuperado el 7 de febrero de 2022, de <http://revista400.cc/index.php/2021/10/20/valentino-rossi-esta-listo-para-su-despedida-en-casa/>
- SigovivoHD. (2021, 13 de diciembre). El trompo: Un tradicional juego que reúne grandes y chicos. Recuperado el 7 de febrero de 2022, de <https://sigovivo-hd.com/2021-12-13/el-trompo-un-tradicional-juego-que-reune-grandes-y-chicos-magia-pura-en-las-manos>
- Sottovoce. (s. f.). Hypotheses.org. Recuperado el 26 de enero de 2022, de <https://sottovoce.hypotheses.org/147>

Conocimientos aeronáuticos para el Piloto Militar.
Instructivo operacional de la Escuela Militar de Aviación
“Marco Fidel Suárez” - Volumen III

The Airline Pilots Forum. (s. f.). The Airline Pilots Forum & Resource [Blog]. Recuperado el 4 de febrero de 2022, de <https://www.theairlinepilots.com/forum/viewtopic.php?t=917>

Universidad de Buenos Aires. (s. f.). Tubo de Pitot y aeronavegación. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Recuperado el 28 de enero de 2022, de <http://materias.df.uba.ar/flqa2016c1/tubo-de-pitot-y-aeronavegacion/>

Diagramación y diseño:

Paola Forero Tamayo

Correo: jpaolaforet@gmail.com

<https://www.lmpromocionales.com/>

Este libro fue diagramado utilizando fuentes tipográficas Times New Roman en sus respectivas variaciones a 10 puntos para su contenido y títulos.

Diseño de portada:

Las imagen de esta publicación fue generada con el apoyo de herramientas de inteligencia artificial [OpenAI - ChatGPT].

Impreso en el mes de noviembre de 2025.

100 ejemplares

Little Monkey BTL - Agencia de Publicidad

Calle 22L # 123a - 93

Bogotá, Cundinamarca

Colombia

Cel: (+57) 318 769 9552 / (+57) 317 639 0344

El vuelo bajo reglas instrumentales (IFR) constituye uno de los mayores retos en la formación de un piloto militar, ya que exige disciplina, precisión y confianza absoluta en los sistemas de la aeronave. En condiciones de baja visibilidad, el piloto debe guiarse exclusivamente por los instrumentos de vuelo, donde cualquier error puede comprometer la seguridad de la tripulación y el éxito de la misión.

Este Instructivo operativo, diseñado para las tripulaciones de la Fuerza Aeroespacial Colombiana, busca estandarizar los conocimientos necesarios para la certificación en vuelo IFR, tomando como referencia las regulaciones del espacio aéreo nacional y las características geográficas y climáticas del país.

El Volumen III de la serie *Conocimientos aeronáuticos para el Piloto Militar* está compuesto por dos capítulos fundamentales: 1. Manual básico de instrumentos, que desarrolla los principios y técnicas para la correcta interpretación de los sistemas de a bordo; y 2. Operación de aeródromos, que ofrece lineamientos para la planificación, ejecución y seguridad de las operaciones en distintos escenarios aeroportuarios, tanto militares como civiles.

Con un enfoque pedagógico y práctico, esta obra se consolida como un documento de referencia oficial de la Escuela Militar de Aviación “Marco Fidel Suárez”. Su propósito es garantizar que cada alumno de vuelo adquiera las competencias necesarias para desempeñarse con seguridad y eficacia bajo reglas instrumentales, fortaleciendo así la proyección nacional e internacional de la Fuerza Aeroespacial Colombiana.

FUERZA AEROSPACIAL
COLOMBIANA



ISBN: 978-628-96705-6-1

