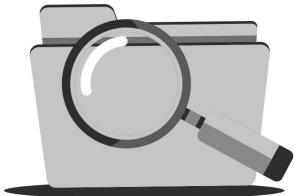


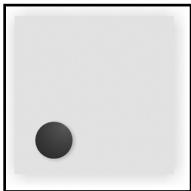
ANTONIO CREUS SOLE

ESTE LIBRO
SE PUEDE COMPRAR EN...



www.editdiazdesantos.com

INICIACIÓN A LA AERONÁUTICA



Agradecimientos

Este libro ha sido posible gracias a la experiencia en temas aeronáuticos adquirida en la empresa GAVINA (Grupo Aviación y Náutica S.L.) de la que fui socio fundador. Los diversos aspectos relacionados con la creación de una escuela de vuelo de pilotos privados, el pilotaje de los aviones Robin de la escuela, su transporte en vuelo desde la fábrica de Dijon (Francia) hasta el aeropuerto de Sabadell, las demostraciones, y todas las actividades que comporta su manejo, me inclinaron a plasmar en este libro mi afición por la aviación.

Desde el punto de vista comercial, el mundo de la aviación no es fácil. Es necesario buscar alumnos y pilotos que utilicen los aviones como entrenamiento, y dentro de la dureza del trabajo, compensa, no solo los ratos de vuelo sino también el contacto y el apoyo de los alumnos y pilotos. Entre ellos debo agradecer especialmente la ayuda del doctor Oriol Doménech que nos infundió ánimos en los momentos difíciles y que nos facilitó durante un tiempo su propio despacho para impartir las clases teóricas. Tengo también una deuda de gratitud con el anterior Director del aeropuerto de Sabadell don Antonio Navarro, por su apoyo general a las empresas sitas en el aeropuerto, y con el Jefe de la Torre de Control de Sabadell, don Juan Esteban Linares, por sus valiosos conocimientos aeronáuticos.

También unas palabras de agradecimiento a los instructores que hicieron posible la calidad de enseñanza de las clases prácticas de la Escuela, en especial a don Miguel Zendrera, por su dedicación y su entusiasmo.

Asimismo debo mencionar a los amigos y compañeros pilotos asiduos de GAVINA, Juan Arriaga, Miquel Barroeta, Víctor Esquerra,

Francesc Hombravella y Remy Vincent, entre otros, por las comidas y cenas periódicas hablando de aviones y por el clima aeronáutico creado en el entorno amigable del hangar de GAVINA de Josep Quera.

Agradezco a mi mujer Carmen y a mi hija Ariadna su ayuda, su paciencia y su comprensión por el tiempo que he dejado de dedicarles a lo largo de las muchas horas empleadas en este libro.

ANTONIO CREUS SOLE



Índice

Prólogo	XV
Capítulo 1 •• Introducción: las aeronaves.....	1
Capítulo 2 •• Aerodinámica	5
2.1. El aire	5
2.2. Las alas	7
2.2.1. Generalidades	7
2.2.2. Teorema de Bernouilli	7
2.2.3. Coeficientes C_L y C_D	9
2.2.4. Sustentación y resistencia	10
2.2.5. Curva polar	11
2.2.6. Perfil aerodinámico de un ala	12
2.2.7. Torbellinos de punta del ala	14
2.2.8. Dispositivos de freno e hipersustentadores	15
Capítulo 3 •• Motores	21
3.1. Motor de combustión interna	21
3.1.1. Generalidades	21
3.1.2. Ciclo de funcionamiento	23
3.1.3. Sistema de refrigeración	25
3.1.4. Sistema de lubricación	26
3.1.5. Combustible	27
3.1.6. Control de la salida de potencia. La hélice	27
3.1.7. Potencia del motor	32
3.2. Turbina de gas	34
3.3. Avión con motor cohete	36
3.4. Mochila individual de chorro de aire (<i>JetPack</i>)	37

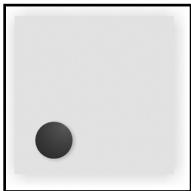
3.5.	Avión con motor eléctrico alimentado con baterías	37
3.6.	Avión con motor eléctrico alimentado con pilas de hidrógeno	38
Capítulo 4 •• Estructura de la aeronave		41
4.1.	Tipos de fuselaje	41
4.2.	Estructura del ala	42
4.3.	Empenaje o cola	44
4.4.	El fuselaje y tren de aterrizaje	45
4.5.	El morro	46
4.6.	Accesorios	46
4.7.	Sistema de combustible	47
4.8.	Sistema hidráulico	49
4.9.	<i>Fly-by-wire</i>	49
Capítulo 5 •• Comportamiento de la aeronave en vuelo		53
5.1.	Fuerzas que actúan sobre el avión en vuelo	53
5.2.	Pérdida	55
5.3.	Barrena	57
5.4.	Mandos y superficies de vuelo	58
5.5.	Carga y centrado	61
5.6.	Maniobras de vuelo	62
5.6.1.	Estabilidad	63
5.6.2.	Virajes	65
5.6.3.	Despegue	67
5.6.4.	Aterrizaje	68
5.7.	Maniobras básicas	71
5.7.1.	Técnicas usuales en pilotaje	71
5.7.2.	Pilotaje en vuelo instrumental	73
Capítulo 6 •• Los instrumentos del avión		77
6.1.	Instrumentos de vuelo	78
6.1.1.	Anemómetro	78
6.1.2.	Altímetro	84
6.1.3.	Variómetro	89
6.1.4.	Brújula magnética	91
6.1.5.	Instrumentos giroscópicos	93
6.2.	Instrumentos del motor	98

6.2.1.	Palanca del gas.....	99
6.2.2.	Mando de calefacción del carburador.....	99
6.2.3.	Mando de la mezcla aire-gasolina	101
6.2.4.	Selector de magnetos/Starter	104
6.2.5.	Tacómetro	104
6.2.6.	Indicador de la presión de admisión (<i>manifold - MP</i>).....	104
6.2.7.	Contador de horas y minutos.....	109
6.2.8.	Manómetro de aceite.....	109
6.2.9.	Termómetro de aceite.....	110
6.2.10.	Indicador de presión de combustible	110
6.2.11.	Indicador de nivel de combustible.....	111
6.2.12.	Amperímetro	112
6.2.13.	Termómetro del aire del carburador	112
6.2.14.	Termómetro de la culata del cilindro	112
6.2.15.	Indicador de temperatura del gas de escape	113
6.2.16.	Termómetro del aire exterior.....	114
6.2.17.	Vacuómetro	114
6.2.18.	Reloj	115
6.2.19.	Cuadro de luces.....	115
6.2.20.	Monitor de cilindros.....	115
6.3.	Instrumentos de navegación	119
6.3.1.	ADF (<i>Automatic Direction Finder</i>)	119
6.3.2.	VOR (<i>Very High Frequency Omnidirectional Range</i>)	120
6.3.3.	Navegación de área (RNAV)	123
6.3.4.	Respondedor (<i>Transponder</i>)	124
6.3.5.	Sistema PCAS (<i>Portable Collision Avoidance Systems</i>)	125
6.3.6.	El sistema TCAS (<i>Traffic-Alert and Collision Avoidance System</i>)	126
6.3.7.	LORAN (<i>Long Range Navigation</i>)	128
6.3.8.	GPS (<i>Global Positioning System</i>)	128
6.3.9.	Indicador radiomagnético (RMI).....	131
6.3.10.	RLG (<i>Ring Laser Gyro</i>)	131
6.3.11.	ILS (<i>Instrument Landing System</i>).....	132
6.3.12.	Indicador de situación horizontal (HSI)	134
6.3.13.	Sistema de aumento de área local (LAAS: <i>Local Area Augmentation System</i>)	135
6.4.	Equipos de comunicaciones	136
6.5.	Cabina de cristal (<i>glass cockpit</i>)	137
Capítulo 7 •• Meteorología	143	
7.1.	Generalidades	143

7.1.1.	La atmósfera	144
7.1.2.	Medición de la temperatura	145
7.1.3.	Transferencia del calor	146
7.1.4.	Medición de la presión atmosférica	147
7.2.	Vientos	150
7.2.1.	Gráficos de isobaras	151
7.2.2.	Efecto de la rotación de la Tierra: fuerza de Coriolis	153
7.2.3.	Viento de gradiente, viento geostrófico	154
7.2.4.	Sistemas prevalentes en la presión en el mundo	155
7.2.5.	Efectos locales del viento en la superficie	156
7.2.6.	Ondas de montaña	158
7.2.7.	Notificación de la velocidad del viento	160
7.2.8.	Corriente de chorro	160
7.3.	Nubes	161
7.4.	Frentes	164
7.5.	Peligros del vuelo dentro de las nubes	165
7.6.	Información meteorológica	169
Capítulo 8 •• Espacio aéreo y derecho aeronáutico	175
8.1.	Introducción al derecho aéreo	175
8.2.	Reglas de vuelo	175
8.3.	Clasificación del espacio aéreo	176
8.4.	Regla semicircular	179
8.5.	Plan de vuelo	182
8.6.	Notams	184
8.7.	Procedimientos en socorro o urgencia	184
8.8.	Títulos y licencias de piloto	185
8.9.	Mantenimiento de los aviones	221
Capítulo 9 •• Navegación	223
9.1.	Generalidades	223
9.2.	La Tierra	223
9.2.1.	Coordenadas: longitud y latitud	224
9.2.2.	Coordenadas UTM	224
9.3.	Cartas, mapas y publicaciones	225
9.4.	Rumbos geográfico y magnético – Declinación	227
9.5.	Cálculo de rumbos y distancias	227

9.6.	Triángulo de velocidades	228
9.7.	Navegación observada y a la estima	230
9.8.	Navegación por instrumentos	232
Capítulo 10 •• Fisiología aeronáutica y factores humanos		245
10.1.	Forma física	245
10.1.1.	Forma física deficiente	245
10.1.2.	Régimen alimenticio	245
10.1.3.	Dolencias leves comunes	246
10.1.4.	Medicamentos	247
10.1.5.	Estrés	249
10.1.6.	Alcohol	249
10.1.7.	Tabaco	250
10.2.	Hipoxia	251
10.3.	Hiperventilación	254
10.4.	Gases comprimidos	255
10.4.1.	Sistema gastrointestinal	255
10.4.2.	Senos paranasales	255
10.4.3.	Cavidades dentarias	256
10.4.4.	Oídos	256
10.4.5.	Disbarismo	256
10.4.6.	Descompresión	257
10.5.	Sistema normal de orientación	257
10.5.1.	Vista	257
10.5.2.	Oído interno	258
10.5.3.	Orientación espacial	260
10.5.4.	Ilusiones sensoriales	261
10.6.	Factores humanos	264
10.6.1.	Generalidades	264
10.6.2.	Modelos y tipos de errores	265
10.6.3.	Vuelo en las cabinas de cristal	267
Capítulo 11 •• El vuelo		269
11.1.	Generalidades	269
11.2.	La preparación	269
11.3.	En el avión	273
Capítulo 12 •• Las otras aeronaves		283
12.1.	Los aerostatos	283

12.1.1. El globo	283
12.1.2. El dirigible	284
12.2. Ala rotatoria	284
12.2.1. El autogiro	284
12.2.2. El helicóptero	288
12.3. Los planeadores	290
12.4. Avión con motor cohete	291
12.5. Avión con motor eléctrico alimentado con baterías o con pila de combustible de hidrógeno	292
12.6. Aviones de construcción amateur	292
12.7. Ultraligeros	293
12.8. Ala delta	297
12.9. Parapente	297
12.10. Cohetes y naves espaciales	298
Capítulo 13 •• Historia de la aviación	301
13.1. Los orígenes	301
13.2. Los pioneros prácticos	303
13.3. Los aviones de la segunda guerra mundial	306
13.4. Los logros espectaculares	307
13.5. Los autogiros y helicópteros	310
13.6. El espacio	312
Capítulo 14 •• Profesiones relacionadas con la aviación	317
14.1. Controladores	317
14.2. Mecánicos de aviación	322
14.3. Tripulantes de cabina de pasajeros (TCP)	328
Apéndice	335
Glosario de términos aeronáuticos	353
Bibliografía	361



Prólogo

Este libro está pensado como introducción a la aeronáutica para el lector que se inicia en estos conocimientos, bien sea por curiosidad, o cómo no, con la idea de ser piloto algún día, y como complemento para los estudiantes, los pilotos y los instructores de vuelo. El objetivo del autor ha sido doble, por un lado escribir de un modo riguroso y preciso que no deje nada al azar ni a la improvisación, y por el otro intentar conseguir un relato novelesco, relajado, agradable y poético.

Cuando se vuela un avión se puede realizar con dos mentalidades distintas. Una muy cerebral, estudiando los movimientos necesarios en las palancas y los mandos para evitar que el aparato se estrelle y pase a ser un montón de chatarra, y la otra, con el corazón, viviendo el vuelo y las reacciones del avión, a través de los mandos, como si estos fueran una prolongación de los miembros del piloto. En este segundo caso, el alma del aparato se va incorporando poco a poco a la personalidad del piloto, con lo que el oficio de volar se convierte en un arte en forma análoga a la del pintor que mejora sus cuadros de día en día. Y es así como el piloto siente el placer de volar, como una mezcla embriagadora entre la visión del paisaje desde el aire y la habilidad de llevar un aparato tan complicado y a la vez tan sencillo como es un avión. Además, lo mismo que el aficionado al mar, que admira las infinitas formas que éste presenta a lo largo del día, el piloto se mueve en un medio, la atmósfera, que cambia continuamente de condiciones y de aspecto, de tal manera que ningún vuelo es igual a otro. El piloto que no tenga el propósito de mejorar su técnica en cada vuelo es como el artista pintor que pinta siempre los mismos cuadros sin perfeccionar su estilo. Puede tener muchas horas de vuelo, pero si no las ha practicado a conciencia, cualquier día tomará la decisión errónea de salir a volar.

en condiciones marginales de tiempo que personalmente no podrá asumir con seguridad; en lugar de renunciar al vuelo y quedarse en tierra, el vuelo se le planteará como una cuestión de desafío personal frente a la atmósfera.

Un avión es una máquina que es fruto del trabajo continuo de perfeccionamiento de todos los actores que intervienen (fabricantes, pilotos, compañías explotadoras, etc.). La tripulación de un gran avión de pasajeros dispone de la última versión de los instrumentos (cabina de vidrio o glass cockpit) que le permiten navegar y volar con seguridad. Cuando la sofisticación es extrema no es infrecuente ver a un piloto de un avión de transporte o de pasajeros, volar en sus ratos libres con una avioneta o con un ultraligero para congraciarse de nuevo con la atmósfera y con la tierra. El piloto es libre para volar simplemente los fines de semana desde un único aeropuerto local, o bien para realizar viajes a otros aeropuertos, incluso fuera del país, practicando la fraseología aeronáutica en otro idioma o en inglés (idioma internacional en aviación).

En otras palabras, mientras se sienta íntimamente, el volar es lo que uno quiere que sea, puede ser la profesión para toda la vida, o bien una diversión que ayude a relajarse y a trabajar a pleno ritmo durante el resto de la semana.

1

Introducción: las aeronaves

Las aeronaves son vehículos diseñados para volar, cualquiera que sea su modo de sustentación o propulsión. Se clasifican en más ligeros que el aire y más pesados que el aire.

Los más ligeros que el aire (aerostatos) contienen un gas (hidrógeno, helio, aire caliente) que les proporciona sustentación. Son:

- **Globos:** que flotan en el aire sin dirección, sometidos al capricho de los vientos, y los dirigibles dotados de motor y timones que pueden maniobrarse en todas direcciones.



Figura 1.1. *Globo y dirigibles. Fuente: Ultramagic y Good Year.*

Los más pesados que el aire (aerodinos) son:

- **Alas fijas:** que aseguran la sustentación por la acción dinámica del aire sobre unos planos fijos. Se clasifican en:

- *Avión*: dotado de un fuselaje, las alas, el empenaje, los timones y uno o varios motores que impulsan el aparato.
- *Planeador*: que no dispone de motor y es remolcado hasta una cierta altura. El piloto, para mantenerse en el aire, busca ascendencias cuya velocidad vertical sea mayor que la de descenso del aparato.
- *Ultraligero*: avión de un peso máximo limitado, de chasis tubular, con alas recubiertas de tela o bien de material composite, que puede ser de dos o tres ejes de mando, o tener el chasis suspendido del ala (modelo pendular).
- *Ala delta*: formada por alas tubulares recubiertas de tela de las que va suspendido el piloto y que gobierna por el desplazamiento de su cuerpo.
- *Parapente*: formado por unas alas que se hinchan con el viento de la marcha, de las que va suspendido el piloto y que gobierna con unos cables que pliegan lateralmente las puntas. Puede ser motorizado.



Figura 1.2. Alas fijas (*avión, planeador, ultraligero, Ala delta* y *parapente sin motor y motorizado*).

- **Alas rotatorias:** que disponen de palas giratorias que actúan como alas proporcionando la sustentación, y que se clasifican en:
 - *Autogiro:* que asegura la sustentación con una hélice de gran diámetro que gira libremente por la acción del aire de la marcha.
 - *Helicóptero:* que se sostiene por una hélice de gran diámetro, que actúa como un ala y es accionada por un motor.
 - *Tilt rotor (rotor inclinable):* que combina dos hélices inclinables (propellers) para la suspensión y la propulsión. En vuelo vertical las hélices actúan como las palas de un helicóptero y, a medida que se van inclinando hacia delante, el aparato gana velocidad hasta convertirse en un avión.



Figura 1.3. Alas rotatorias (*autogiro, helicóptero y rotor orientable –tilt rotor*).

2

Aerodinámica

2.1. EL AIRE

El aire es el fluido en el que se mueve el avión. Los gases que componen el aire son O₂, N₂, CO₂ y otros gases nobles en muy pequeña proporción. El aumento de temperatura incrementa la energía de las moléculas de los gases, de tal modo que aumenta su volumen. La presión influye también en el volumen ocupado por el aire. Un aumento de presión reduce el volumen, mientras que una disminución de presión lo aumenta. La presión, el volumen y la temperatura del aire se influyen mutuamente, según las siguientes fórmulas básicas que los relacionan:

Ecuación de los gases perfectos:

$$\frac{\text{Presión} * \text{Volumen}}{\text{Temperatura absoluta}} = \text{Constante}$$

Ley de Boyle-Mariotte:

$$\text{Presión} * \text{Volumen} = \text{Constante}$$

La unidad de presión es el *pascal*, que es la presión que ejerce una fuerza de un newton (fuerza que produce una aceleración de 1 metro/segundo cada segundo sobre un kilogramo masa) sobre una superficie de un metro cuadrado. Se abrevia Pa. Otras equivalencias son:

1 milibar (mb)

$$= 100 \text{ Pascal (Pa)} = 1 \text{ Hectopascal (Hpa)} = 0,02953 \text{ pulgadas columna de mercurio ('c.d.Hg)}$$

$$1 \text{ atmósfera (atm)} = 1.013,2 \text{ milibares (mb)} = 760 \text{ mm mercurio} = 29,92 \text{ pulgadas columna mercurio ('c.d.Hg)} = 1,033 \text{ kg/cm}^2$$

La unidad de volumen es el *metro cúbico* (m³).

La unidad de temperatura es el *grado centígrado*, con 0 °C como punto de congelación del agua y 100 °C como punto de ebullición del agua. Otras equivalencias son:

- *Grados Fahrenheit* (°F) (congelación del agua a 32 °F y ebullición del agua a 212 °F).
- *Grados Kelvin* (°K) (0 °K es el punto de energía nula de las moléculas y el punto de congelación del agua es de 273,15 °Kelvin (K)).

El avión vuela en el seno del aire en condiciones de presión, temperatura y volumen que cambian durante el vuelo, lo que dificulta la comparación de las características de los diferentes modelos de aviones y sus actuaciones (performances). Por este motivo se ha creado una definición de *atmósfera tipo o estándar*.

La *atmósfera tipo o estándar* es la atmósfera ideal definida por la OACI (Organización de Aviación Civil Internacional), como la que a nivel del mar tiene una temperatura de 15 °C y una presión atmosférica de 1.013,2 mb (29,92 " de Hg o 760 mm Hg) y 0% de humedad. La temperatura va disminuyendo con la altura en una relación de 2 °C/1.000 pies (6,5 °C/1000 m) hasta una altitud de 36.090 pies (11.000 m) donde es constante e igual a -56,5 °C. En la Tabla 2.1 figuran los valores de la presión y de la temperatura según la altura, de la atmósfera tipo internacional (*International Standard Atmosphere*).

Tabla 2.1. *Atmósfera tipo internacional (ISA) (OACI, 1962).*

Altura (pies)	t °C	mb	" Hg	Altura (pies)	t °C	mb	" Hg
0	15	1013,2	29,92	16.000	-15,7	572	16,89
1.000	14,0	977	28,86	17.000	-17,7	549	16,22
3.000	13,0	942	27,82	19.000	-20,7	506	14,95
4.000	10,1	908	26,82	20.000	-25,6	466	13,76
5.000	8,1	875	25,84	23.000	-29,6	428	12,65
6.000	6,1	843	24,9	25.000	-33,5	392	11,61
7.000	4,1	812	23,98	27.000	-37,5	361	10,64
8.000	1,1	782	23,09	29.000	-40,5	329	9,74
9.000	-0,8	752	22,23	30.000	-45,4	301	8,9
10.000	-3,8	724	21,39	33.000	-49,4	274	8,12
11.000	-5,8	697	20,58	35.000	-53,4	250	7,4
13.000	-7,8	670	19,8	37.000	-56,5	227	6,73
14.000	-9,8	644	19,03	39.000	-56,5	207	6,1
14.000	-11,7	619	18,3	40.000	-56,5	188	5,54
15.000	-14,7	595	17,58				

2.2. LAS ALAS

2.2.1. Generalidades

Las partes principales de un avión son las *alas*, que producen la sustentación; el *empenaje* o la cola del avión con su *timón de altura* y su *timón de dirección* que gobiernan el vuelo; el *fuselaje*, que une los elementos anteriores, y el *tren de aterrizaje*. La parte delantera del avión suele albergar el motor y el panel de instrumentos, aparte de servir de referencia visual al piloto durante el vuelo.



Figura 2.1. Partes principales de un avión.

El avión genera la fuerza de sustentación en las *alas*, al moverse a una cierta velocidad a través del aire. El ala es de sección redondeada por delante, casi plana por su parte inferior y afilada por detrás. La parte superior se llama *extradós* y la parte inferior *intradós*. Su forma provoca un estrechamiento de los filetes de aire que chocan con el ala durante el vuelo.

2.2.2. Teorema de Bernouilli

El *teorema de Bernouilli* relaciona la presión (*p*) y la velocidad (*v*) del aire (densidad) entre dos puntos situados a la misma altura en el seno de un flujo de corriente, según la fórmula:

$$p + \frac{\rho * v^2}{2} = \text{constante}$$

Por consiguiente, un aumento de la velocidad del aire se traduce en una disminución de la presión, mientras que una disminución en la velocidad comporta un aumento. En el ala, las partículas de aire que pasan por encima y las que pasan por debajo, deben llegar al mismo tiempo al borde de salida.

Por lo tanto, la velocidad del aire es mayor en la parte superior del ala (*extradós*), que tendrá así una menor presión (succión). En la parte inferior (*intradós*), al ser menor

la velocidad del aire por oponerse el ala al movimiento, existirá una mayor presión. La diferencia de presiones entre el *extradós* y el *intradós*, produce una fuerza hacia arriba que es la fuerza de sustentación que soporta el peso del avión.

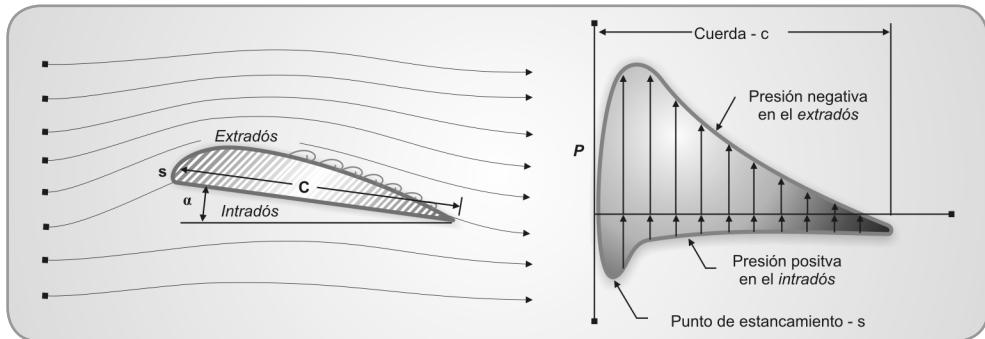
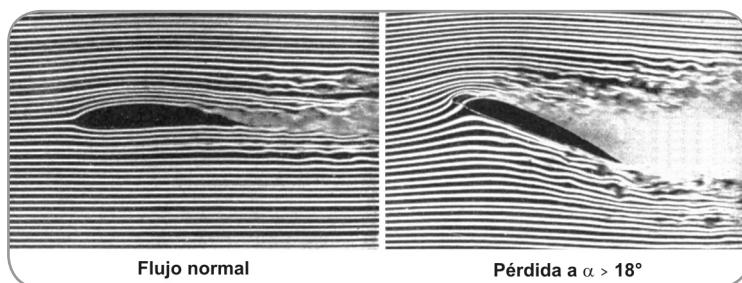


Figura 2.2. Ala de un avión.

La componente perpendicular será la *sustentación* propiamente dicha, mientras que su componente horizontal será la *resistencia* al avance.

El *ángulo de ataque* es el ángulo que forma el perfil del ala con la dirección del viento. Al aumentarlo, las partículas que pasan por la parte superior del ala alargan más su recorrido, por lo que aumentan todavía más su velocidad y por consiguiente se incrementa la succión sobre el ala y el avión asciende. Lo contrario ocurre cuando disminuye el ángulo de ataque.

La *capa límite* es la distancia que existe entre la superficie del ala, donde la velocidad de las partículas de aire que fluyen es nula debido al rozamiento, y la corriente libre, donde la viscosidad entre las capas ya no influye y la velocidad ya es igual a la del movimiento del avión con respecto al aire. La capa límite se desprende del ala para valores grandes del ángulo de ataque, lo que se llama *pérdida*. Los dispositivos que impiden su desprendimiento (flap ranurado, aspiradores de capa límite, etc.) retardan la entrada en pérdida del avión. En los aviones existe un dispositivo en el ala llamado avisador de pérdida que hace sonar una bocina en la cabina del piloto cuando el avión está próximo a la pérdida en unos 3 a 6 nudos (5 a 10 km/h).



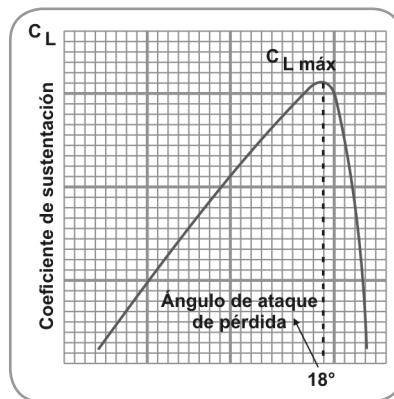


Figura 2.3. Flujo normal, pérdida en un ala y avisador de pérdida.

2.2.3. Coeficientes C_L y C_D

Realizando experimentos en un túnel aerodinámico con un perfil asimétrico de ala y midiendo la *sustentación L* y la *resistencia D* a diferentes ángulos de ataque α , se obtiene un coeficiente C_L sin dimensiones.

$$C_L = \frac{L}{q * S}$$

Siendo: L = sustentación

q = presión dinámica ($q = \frac{1}{2} v^2$)

S = superficie alar

De modo análogo se obtiene el coeficiente de resistencia C_D definido como el cociente:

$$C_D = \frac{D}{q * S}$$

Siendo: D = resistencia

q = presión dinámica ($q = \frac{1}{2} v^2$)

S = superficie alar

En la figura se representa el valor de C_L en función del ángulo de ataque:

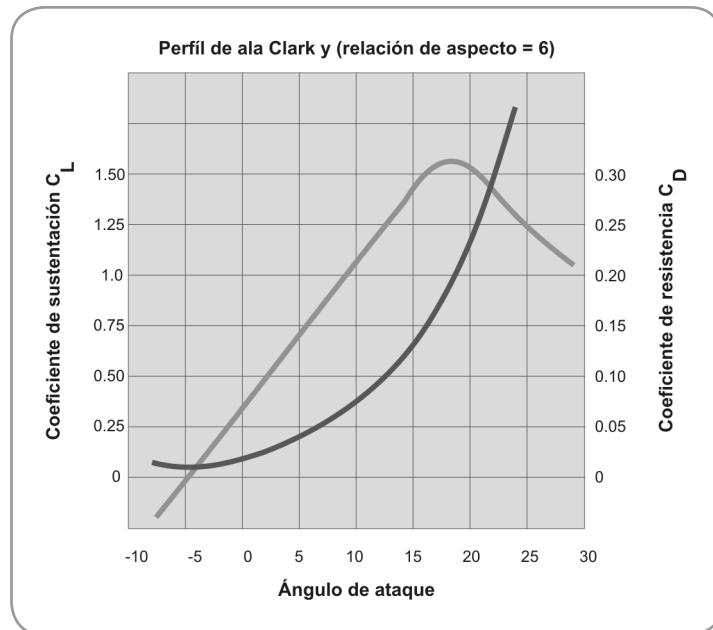


Figura 2.4. Coeficientes de sustentación C_L y resistencia C_D para un perfil de ala Clark Y.

En la curva se aprecia que la sustentación L aumenta proporcionalmente al ángulo de ataque, y que se anula (entrada en pérdida) cuando el ángulo de ataque α es de unos 18° . En estas condiciones, y debido a la fuerza centrífuga, los filetes de aire son incapaces de seguir el perfil alar y lo abandonan en forma de remolinos. Se observa que el coeficiente de resistencia C_D es mínimo para un ángulo de ataque ligeramente negativo y que después crece exponencialmente.

2.2.4. Sustentación y resistencia

Cuando el avión vuela en horizontal, el peso es igual a la sustentación, es decir:

Como el coeficiente de sustentación C_L es función del ángulo de ataque α , se deduce que para transportar un peso determinado puede realizarse a varias velocidades con distinto ángulo de ataque α , y que a mayor velocidad menor será el ángulo de ataque.

$$W = \frac{1}{2} \rho * V^2 * S * C_L$$

La resistencia es:

$$D = \frac{1}{2} \rho * V^2 * S * C_D$$