

“ANÁLISIS CRÍTICO-HISTÓRICO  
DE LAS TEORÍAS PIONERAS  
SOBRE LA ESTABILIDAD LONGITUDINAL  
DE LOS AVIONES (1799-1913)”

ÍNDICE

Índice General .....	2
Lista de Tablas .....	11
Lista de Figuras .....	12
Nomenclatura .....	22
Capítulo 1 .....	27

---

Introducción.

---

- 1.1 Generalidades
- 1.2 Un problema de Aerodinámica.
- 1.3 Estabilidad Estática
- 1.4 Estabilidad Dinámica
- 1.5 Nota sobre las características del presente trabajo.  
Bibliografía.

Capítulo 2 .....	36
------------------	----

---

Teorías aerodinámicas a finales del siglo XIX, en los temas relacionados con el estudio de la estabilidad de aviones.

---

- 2.1 Introducción. Placa plana sometida a una corriente de aire.
- 2.2 La denominada “Resistencia Aerodinámica Específica del Aire”
- 2.3 La Resistencia aerodinámica de una placa plana con incidencia variable.

- 2.4 Relación entre la función  $f(\alpha)$  y los coeficientes aerodinámicos asimilables a los clásicos  $CL(\alpha)$  y  $CD(\alpha)$
  - 2.5 La posición del centro de presión  $x_{CP}(\alpha)$ . Perfiles planos y perfiles con curvatura.
    - 2.5.1 Posición del centro de presión de una placa plana.
    - 2.5.2 Centro de presión de superficies curvas.
  - 2.6 Inicio de la teoría matemática de perfiles bidimensionales.
  - 2.7 Conclusiones.
  - 2.8 Anexo I. Centro Aerodinámico y Centro de presión.
- Bibliografía.

---

Capítulo 3      George Cayley (1773-1854)      70

- 3.1 Nota biográfica.
  - 3.2 Documentos de referencia objeto de estudio.
  - 3.3 Descripción del contenido.
    - 3.3.1 “On Aerial Navigation”, Parte I.
    - 3.3.2 “On Aerial Navigation”, Parte II.
  - 3.4 El timón horizontal móvil.
  - 3.5 Sobre el Modelo de Planeador de 1804.
  - 3.6 Sobre el Modelo de Planeador de 1808.
  - 3.7 Sobre el Modelo de Planeador de 1818.
  - 3.8 Sobre el Modelo de Planeador de 1849 (1853).
  - 3.9 Sobre The Governable Parachute (1852)
  - 3.10 Conclusiones
- Bibliografía

---

Capítulo 4      Alphonse Pénaud (1850-1880)      87

- 4.1 Nota Biográfica.
  - 4.2 Documentos de Referencia.
  - 4.3 Descripción de contenido. El estabilizador automático.
    - 4.3.1 Otros proyectos.
  - 4.4 Conclusiones
- Bibliografía

- 5.1 Nota biográfica
- 5.2 Documento de referencia objeto de estudio.
- 5.3 Descripción del contenido.
  - 5.3.1 Las Gráficas Polares de la Fuerza Aerodinámica.
    - 5.3.2 La Posición del Centro de Presión.
    - 5.3.3 Control del Momento de Cabeceo.
- 5.4 Conclusiones.
- Bibliografía.

- 6.1 Nota Biográfica.
- 6.2 Documentos de referencia.
- 6.3 Descripción de contenido.
  - 6.3.1 “Sobre el vuelo de planeo de las aves”. (1891)
  - 6.3.2 “Sobre el ángulo óptimo de vuelo de un aeroplano”. (1897)
  - 6.3.3 “Sobre la Caída en el Aire de Cuerpos Ligeros Alargados con Giro Alrededor de su Eje Longitudinal”. (1906)
  - 6.3.4 “Descripción elemental de la Dinámica de los Aeroplanos”. (1913)
- 6.4 Estabilidad angular en cabeceo.
- 6.5 Conclusiones
- Bibliografía

- 7.1 Nota Biográfica.
- 7.2 Documento de referencia.
- 7.3 Descripción de contenido.
- 7.4 Conclusiones
- Bibliografía

- 
- 8.1 Nota Biográfica.
  - 8.2 Documento de referencia.
  - 8.3 Descripción del Contenido.
  - 8.4 Conclusiones
  - Bibliografía

---

Capítulo 9 H. G. Bryan (1864-1928) & W. E. Williams (1881-1962) 149

---

- 9.1 Nota Biográfica.
- 9.2 Documento de Referencia
- 9.3 Descripción de contenido.
  - 9.3.1 Polinomio Característico del Sistema Lineal.
  - 9.3.2 Derivadas Aerodinámicas.
  - 9.3.3 Condición Fundamental de Estabilidad.
  - 9.3.4 Cálculo de las Derivadas Aerodinámicas.
  - 9.3.5 Hipótesis Aerodinámicas.
  - 9.3.6 Formulación genérica de las Derivadas Aerodinámicas.
  - 9.3.7 Aplicaciones numéricas a casos particulares.
    - 9.3.7.1 Análisis de la estabilidad aplicado a una sola lámina sustentadora.
    - 9.3.7.2 Planeadores formados por dos planos.
  - 9.3.8 Efecto del Momento de Inercia sobre la estabilidad.
  - 9.3.9 Carácter de las oscilaciones alrededor del equilibrio.
- 9.4 Conclusiones.
- 9.5 Resumen Crítico
- Bibliografía

---

Capítulo 10 Ferdinand Ferber (1862-1909) 177

---

- 10.1 Nota Biográfica.
- 10.2 Documento de referencia.
- 10.3 Descripción de contenido.
  - 10.3.1 Ley de equivalencia de las superficies.
  - 10.3.2 Ecuaciones generales del movimiento.
    - 10.3.2.1 Ecuaciones de las fuerzas.

- 10.3.2.2 Ecuaciones de los momentos.
- 10.3.2.3 DescrNota complementaria: “Las velocidades angulares”.
- 10.3.3 Estudio del vuelo estacionario sin motor en un plano vertical.
  - 10.3.3.1 El “*Pseudo Teorema*” de Ferber.
- 10.3.4 Estudio de la Estabilidad.
- 10.4 Conclusiones.
- Bibliografía

---

Capítulo 11 F. W. Lanchester (1868-1946) 200

---

- 11.1 Nota Biográfica.
- 11.2 Documentos de Referencia.
- 11.3 Descripción de Contenido.
  - 11.3.1 “Aerodynamics” [1].
    - 11.3.1.1 Sobre la placa plana balastada.
  - 11.3.2 “Aerodnetics” [2].
    - 11.3.2.1 Trayectorias “Fugoides”.
    - 11.3.2.2 Efecto de la resistencia aerodinámica y del momento de inercia sobre la estabilidad.
    - 11.3.2.3 Ecuación completa de la Estabilidad.
    - 11.3.2.4 Ejemplo de aplicación. Análisis de la estabilidad de un planeador de Otto Lilienthal.
    - 11.3.2.5 Comentario.
- 11.4 Consideraciones Críticas.
- 11.5 Anexo. Introducción al Modelo Aerodinámico de Lanchester para la sustentación de un perfil.
  - 11.5.1 Sustentación de un ala finita sometida a un ángulo de ataque pequeño.
- Bibliografía.

---

Capítulo 12 Rodolphe Soreau (1865-1935) 228

---

- 12.1 Nota Biográfica.
- 12.2 Documento de Referencia.
- 12.3 Descripción del contenido. Introducción.
  - 12.3.1 Forma matemática de la expresión  $f(\alpha)$ .
  - 12.3.2 Efecto del alargamiento alar.

- 12.3.2.1 Conclusión sobre la función  $\lambda(\alpha)$
- 12.3.3 Sustentación y Resistencia de un ala plana inclinada un ángulo pequeño.
  - 12.3.3.1 Coeficiente de Eficacia K y Calidad Q del ala.
- 12.3.4 Sobre el Centro de Presión.
- 12.3.5 Introducción al estudio del vuelo estacionario en un plano vertical.
  - 12.3.5.1 Estudio del empenaje horizontal.
- 12.3.6 Mecánica del Vuelo en equilibrio.
  - 12.3.6.1 Consecuencia I.
  - 12.3.6.2 Consecuencia II.
- 12.4 Estudio de la Estabilidad de un aeroplano.
  - 12.4.1 Estabilidad Longitudinal Automática.
- 12.5 Consideraciones críticas.
  - Bibliografía

---

Capítulo 13 Paul Painlevé (1863-1933) 252

- 13.1 Nota Biográfica.
- 13.2 Documentación de referencia.
- 13.3 Descripción de contenido.
  - 13.3.1 Modelo aerodinámico.
  - 13.3.2 Estabilidad en vuelo de planeo de una placa plana.
  - 13.3.3 Vuelo estacionario en un plano vertical.
- 13.4 Estabilidad en ángulo de asiento longitudinal.
- 13.5 Estabilidad en velocidad.
- 13.6 Comentarios.
  - Bibliografía

---

Capítulo 14 G. de Bothezat (1882-1940) 268

- 14.1 Nota Biográfica.
- 14.2 Documento de Referencia.
- 14.3 Descripción de Contenido.
  - 14.3.1 Extracto del Prólogo de P. Painlevé.
- 14.4 Introducción.
  - 14.4.1 Fuerzas que actúan sobre el aeroplano.
  - 14.4.2 Efecto de una velocidad angular alrededor de un eje perpendicular a su plano de simetría (sobre un ala plana sometida a una corriente uniforme).

- 14.4.3 Características fundamentales del aeroplano.
  - 14.4.3.1 Regímenes de traslación rectilínea de un aeroplano.
  - 14.4.3.2 Régimen de ascenso o descenso con pendiente pequeña.
- 14.5 Noción de Par (Momento) Central.
  - 14.5.1 Aparato sin empenajes horizontales.
  - 14.5.2 Aparato con superficie de cola.
  - 14.5.3 Aparato con empenaje horizontal delantero.
- 14.6 Análisis del fuselaje.
- 14.7 El problema general de la estabilidad del aeroplano. La Estabilidad Longitudinal.
  - 14.7.1 Conclusiones preliminares sobre la Estabilidad Longitudinal.
  - 14.7.2 Investigación por el Método de Klein.
  - 14.7.3 Conclusiones.
- 14.8 Ecuaciones generales de la dinámica de un aeroplano en tres dimensiones.
- 14.9 Conclusiones generales.
  - Bibliografía

## Capítulo 15 G. H. Bryan (1864-1928) & E. H. Harper (1880-1916) 300

---

- 15.1 Nota Biográfica.
- 15.2 Documento de Referencia
- 15.3 Descripción del contenido.
  - 15.3.1 Ecuaciones generales del movimiento.
  - 15.3.2 Concepto de “Derivada Aerodinámica”.
  - 15.3.3 Separación en dos sistemas no acoplados.
  - 15.3.4 Estudio del Sistema Simétrico.
    - 15.3.4.1 Los coeficientes del Polinomio Característico.
  - 15.3.5 Las denominadas “Primitivas Condiciones de Estabilidad”
- 15.4 Expresión de las derivadas aerodinámicas para alas planas.
  - 15.4.1 Derivadas Rotatorias.
  - 15.4.2 Derivadas Aerodinámicas.
- 15.5 Estudio de casos particulares para planos sustentadores estrechos.
- 15.6 Estabilidad longitudinal de un sistema de un plano sustentador.
  - 15.6.1 Separación de las oscilaciones largas y cortas.
    - 15.6.1.1 Oscilaciones Cortas.
    - 15.6.1.2 Oscilaciones Largas.
  - 15.6.2 Carácter de las oscilaciones.

- 15.6.2.1 Oscilaciones cortas.
- 15.6.2.2 Oscilaciones largas.
- 15.6.3 Comparación de la parte real de las raíces.
- 15.7 Efecto de la inclinación de la trayectoria en la estabilidad.
- 15.8 Estudios complementarios y conclusiones sobre el movimiento Simétrico.
- 15.9 Problemas pendientes de estudio.
- 15.10 Análisis Crítico-Histórico
- 15.11 ANEXO I.  
Bibliografía

---

## Capítulo 16 Emile Auguste Duchêne (1869-1046) 350

---

- 16.1 Nota Biográfica.
- 16.2 Documento de referencia.
- 16.3 Descripción del contenido.
  - 16.3.1 Sobre la resistencia aerodinámica.
  - 16.3.2 Vuelo estacionario en un plano vertical.
  - 16.3.3 Vuelo Oblicuo: ascendente o descendente.
- 16.4 Centro de Presión.
- 16.5 Estabilidad (estática) Longitudinal.
- 16.6 Estabilidad Longitudinal Automática.
  - 16.6.1 Aviones consistentes en un solo plano.
  - 16.6.2 Aviones consistentes en dos planos
- 16.7 Función de la cola en el amortiguamiento de las oscilaciones.
- 16.8 Influencia del momento de inercia  $I_{yy}$  en la estabilidad.
- 16.9 Conclusiones  
Bibliografía

---

## Capítulo 17 T. Von Kármán (1881-1963) & E. Trefftz (1888-1937) 371

---

- 17.1 Nota Biográfica.
- 17.2 Documento de referencia.
- 17.3 Descripción del contenido.
  - 17.3.1 Estudio de la Estabilidad Estática.
    - 17.3.1.1 Nota complementaria sobre la Curva Metacéntrica.
  - 17.3.2 Ecuaciones del movimiento. Ecuación de Estabilidad.
    - 17.3.2.1 Estabilidad neutral.
    - 17.3.2.2 Estabilidad muy grande.

- 17.3.3 Posibilidad de existencia de raíces reales de la ecuación de Estabilidad. (Método de Klein).
  - 17.3.3.1 Valores típicos de  $p$  y de  $q$ .
- 17.3.4 Estudio de la posibilidad de existencia de raíces reales mediante las Envolventes.
- 17.3.5 Raíces imaginarias. Estabilidad de las oscilaciones.
- 17.3.6 Zona Límite de Estabilidad.
- 17.3.7 Representación gráfica de las raíces.
- 17.3.8 Cálculo aproximado de las raíces de la Ecuación de Estabilidad (raíces complejas).
- 17.3.9 Aplicaciones prácticas.
- 17.4 Conclusiones
- 17.5 Anexo.
- Bibliografía.

## Capítulo 18. Sinopsis de aportaciones.

---

421

- (1) G. Cayley.
- (2) A. Pénaud.
- (3) O. Lilienthal.
- (4) N. E. Zhukowsky.
- (5) A. F. Zahm.
- (6) W. Wright & O. Wright.
- (7) H. G. Bryan & W. E. Williams.
- (8) F. Ferber.
- (9) F. W. Lanchester.
- (10) R. Soreau.
- (11) P. Painlevé.
- (12) G. De Bothezat.
- (13) G. H. Bryan.
- (14) E. A. Duchêne.
- (15) T. V. Kármán & E. Trefftz.

- Conclusiones.
- Bibliografía
- Anexo. Selección de libros de referencia y autores citados

## Capítulo 19. BIBLIOGRAFÍA.

---

451

