

# Desarrollo de la metodología para la obtención de las derivadas aerodinámicas de estabilidad de las aeronaves mediante herramientas de mecánica de fluidos computacional

Daniel Soler Tejada

Tutor: Pedro Martí Gómez-Aldaraví



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

Julio 2018

Derivadas de  
estabilidad  
mediante CFD

Daniel Soler  
Tejada

Introducción

Fundamentos  
teóricos

Procedimiento

Resultados

Conclusiones

Preguntas

Introducción

Fundamentos teóricos

Procedimiento

Resultados

Conclusiones

Introducción

Fundamentos  
teóricos

Procedimiento

Resultados

Conclusiones

Preguntas

Introducción

Fundamentos teóricos

Procedimiento

Resultados

Conclusiones

**Introducción**

Fundamentos  
teóricos

Procedimiento

Resultados

Conclusiones

Preguntas

## Objetivos

- Metodología para calcular las derivadas de estabilidad
- Aplicación a un caso particular

## Limitaciones

- Tiempo disponible
- Recursos computacionales

### Introducción

Fundamentos  
teóricos

Procedimiento

Resultados

Conclusiones

Preguntas

## Introducción

Fundamentos  
teóricos

Procedimiento

Resultados

Conclusiones

Preguntas

## Marco de trabajo

- Derivadas aerodinámicas de estabilidad longitudinal estáticas

## Aeronave

- VALCAN Project - Air Cargo Challenge 2017

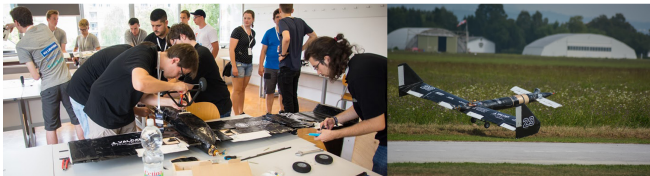
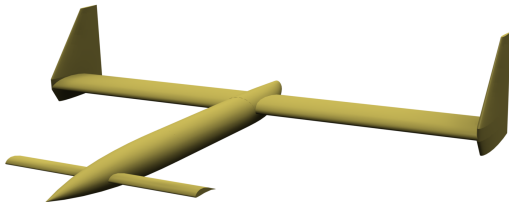


Figura 1: Vista de la aeronave.

Introducción

Fundamentos  
teóricos

Procedimiento

Resultados

Conclusiones

Preguntas

## Especificaciones

- Velocidad: 15 m/s
- Altitud: 160 m AMSL
- Planta de potencia: Eléctrica, Hélice *pusher*
- *MTOW*: 15 kg

## Dimensiones

- Superficie alar: 1,0 m<sup>2</sup>
- Cuerda alar: 0,4 m
- Envergadura alar: 2,5 m
- Longitud del fuselaje: 1,85 m

Introducción

Fundamentos  
teóricos

Procedimiento

Resultados

Conclusiones

Preguntas

Introducción

Fundamentos teóricos

Procedimiento

Resultados

Conclusiones

Introducción

**Fundamentos  
teóricos**

Procedimiento

Resultados

Conclusiones

Preguntas



¿Qué son las derivadas aerodinámicas de estabilidad?

# Modelo matemático del movimiento de un avión - Ecuaciones de Bryan

$$m(\dot{u} + qw - rv) = \textcircled{X} - mg \sin(\theta)$$

$$m(\dot{v} + ru - pw) = \textcircled{Y} + mg \cos(\theta) \sin(\phi)$$

$$m(\dot{w} + pw - qu) = \textcircled{Z} + mg \cos(\theta) \cos(\phi)$$

$$(I_{xx} I_{zz} - I_{xz}^2) \dot{p} = I_{zz} \textcircled{L} + I_{xz} \textcircled{N} + [I_{xz} (I_{xx} - I_{yy} + I_{zz})] p q + [I_{zz} (I_{yy} - I_{zz}) - I_{xz}^2] r q$$

$$I_{yy} \dot{q} = \textcircled{M} + (I_{zz} - I_{xx}) p r + I_{xz} (r^2 - p^2)$$

$$(I_{xx} I_{zz} - I_{xz}^2) \dot{r} = I_{xx} \textcircled{N} + I_{xz} \textcircled{L} + [I_{xz} (I_{yy} - I_{xx} - I_{zz})] r q + [I_{xx} (I_{xx} - I_{yy}) + I_{xz}^2] p q$$

# Modelo matemático del movimiento de un avión - Coordenadas polares

Derivadas de  
estabilidad  
mediante CFD

Daniel Soler  
Tejada

Introducción

**Fundamentos  
teóricos**

Procedimiento

Resultados

Conclusiones

Preguntas

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\alpha) \cos(\beta) & -\cos(\alpha) \sin(\beta) & -\sin(\alpha) \\ \sin(\beta) & \cos(\beta) & 0 \\ \sin(\alpha) \cos(\beta) & -\sin(\alpha) \sin(\beta) & \cos(\alpha) \end{bmatrix} \begin{pmatrix} -D \\ +Q \\ -L \end{pmatrix}$$

$$C_D = C_{D,0} + K_w (C_L - C_{L|\min D})^2$$

$$C_Y = C_{Y,0} + C_{Y,\beta} \beta + C_{Y,p} \hat{p} + C_{Y,r} \hat{r}$$

$$C_L = C_{L,0} + C_{L,\alpha} \alpha + C_{L,\dot{\alpha}} \hat{\alpha} + C_{L,q} \hat{q}$$

$$C_l = C_{l,0} + C_{l,\beta} \beta + C_{l,p} \hat{p} + C_{l,r} \hat{r}$$

$$C_M = C_{M,0} + C_{M,\alpha} \alpha + C_{M,\dot{\alpha}} \hat{\alpha} + C_{M,q} \hat{q}$$

$$C_N = C_{N,0} + C_{N,\beta} \beta + C_{N,p} \hat{p} + C_{N,r} \hat{r}$$

Introducción

**Fundamentos  
teóricos**

Procedimiento

Resultados

Conclusiones

Preguntas

$$C_D = C_{D,0} + K_w (C_L - C_{L|\min D})^2$$

~~$$C_Y = C_{Y,0} + C_{Y,\beta} \beta + C_{Y,p} \hat{p} + C_{Y,r} \hat{r}$$~~

$$C_L = C_{L,0} + C_{L,\alpha} \alpha + C_{L,\dot{\alpha}} \hat{\alpha} + C_{L,q} \hat{q}$$

~~$$C_t = C_{t,0} + C_{t,\beta} \beta + C_{t,p} \hat{p} + C_{t,r} \hat{r}$$~~

$$C_M = C_{M,0} + C_{M,\alpha} \alpha + C_{M,\dot{\alpha}} \hat{\alpha} + C_{M,q} \hat{q}$$

~~$$C_N = C_{N,0} + C_{N,\beta} \beta + C_{N,p} \hat{p} + C_{N,r} \hat{r}$$~~

Introducción

**Fundamentos  
teóricos**

Procedimiento

Resultados

Conclusiones

Preguntas

$$C_D = C_{D,0} + K_w (C_L - C_{L|\min D})^2$$

~~$$C_Y = C_{Y,0} + C_{Y,\beta} \beta + C_{Y,p} \hat{p} + C_{Y,r} \hat{r}$$~~

$$C_L = C_{L,0} + C_{L,\alpha} \alpha + \cancel{C_{L,\dot{\alpha}} \dot{\alpha}} + \cancel{C_{L,\hat{q}} \hat{q}}$$

~~$$C_l = C_{l,0} + C_{l,\beta} \beta + C_{l,p} \hat{p} + C_{l,r} \hat{r}$$~~

$$C_M = C_{M,0} + C_{M,\alpha} \alpha + \cancel{C_{M,\dot{\alpha}} \dot{\alpha}} + \cancel{C_{M,\hat{q}} \hat{q}}$$

~~$$C_N = C_{N,0} + C_{N,\beta} \beta + C_{N,p} \hat{p} + C_{N,r} \hat{r}$$~~

Introducción

**Fundamentos  
teóricos**

Procedimiento

Resultados

Conclusiones

Preguntas

$$C_D = C_{D,0} + K_w (C_L - C_{L|\min D})^2$$
~~$$C_Y = C_{Y,0} + C_{Y,\beta} \beta + C_{Y,p} \hat{p} + C_{Y,r} \hat{r}$$~~
$$C_L = C_{L,0} + C_{L,\alpha} \alpha + C_{L,\dot{\alpha}} \dot{\alpha} + C_{L,\hat{q}} \hat{q}$$
~~$$C_l = C_{l,0} + C_{l,\beta} \beta + C_{l,p} \hat{p} + C_{l,r} \hat{r}$$~~
$$C_M = C_{M,0} + C_{M,\alpha} \alpha + C_{M,\dot{\alpha}} \dot{\alpha} + C_{M,\hat{q}} \hat{q}$$
~~$$C_N = C_{N,0} + C_{N,\beta} \beta + C_{N,p} \hat{p} + C_{N,r} \hat{r}$$~~

Introducción

**Fundamentos  
teóricos**

Procedimiento

Resultados

Conclusiones

Preguntas

¿Qué es la Mecánica de Fluidos Computacional?



Introducción

Introducción

Fundamentos teóricos

Fundamentos  
teóricos

Procedimiento

**Procedimiento**

Resultados

Resultados

Conclusiones

Conclusiones

Preguntas

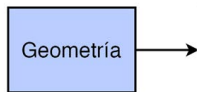


Figura 2: Diagrama del procedimiento seguido para llevar a cabo las simulaciones CFD.

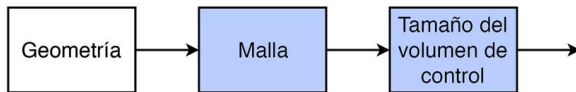


Figura 3: Diagrama del procedimiento seguido para llevar a cabo las simulaciones CFD.

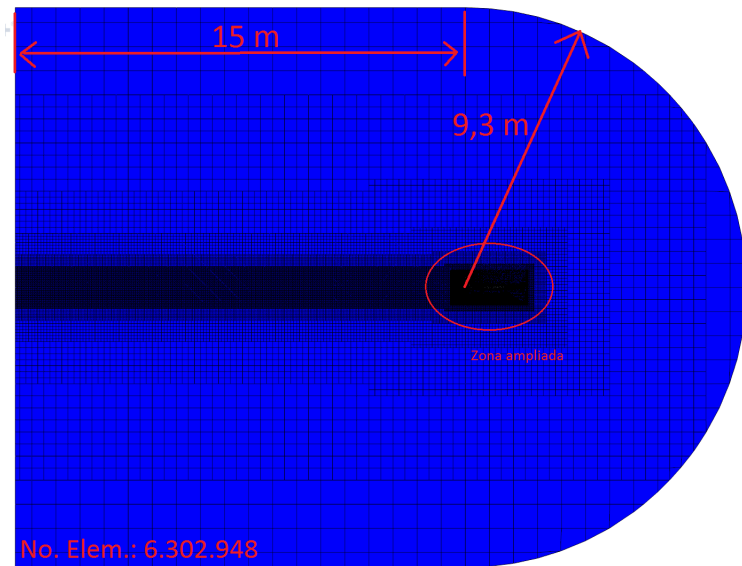


Figura 4: Vista general de la malla - Plano XZ

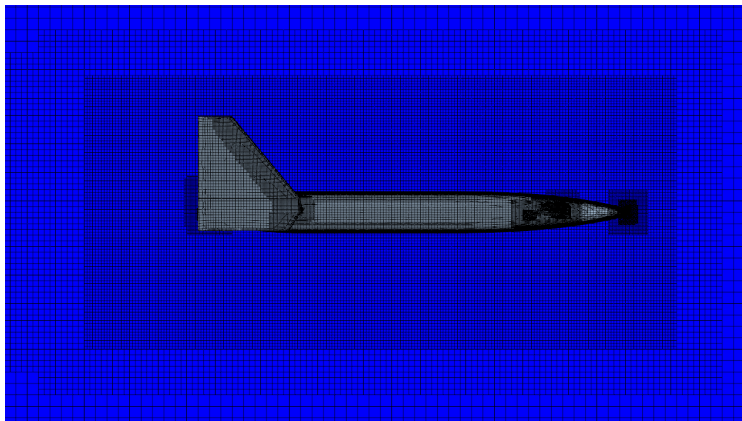


Figura 5: Vista aumentada de la malla - Plano XZ

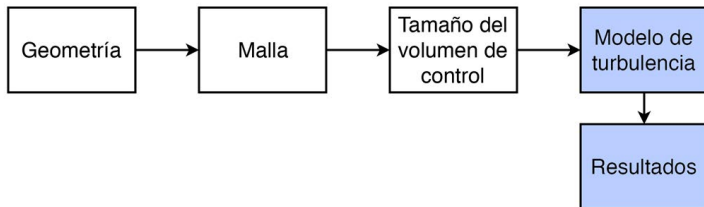


Figura 6: Diagrama del procedimiento seguido para llevar a cabo las simulaciones CFD.

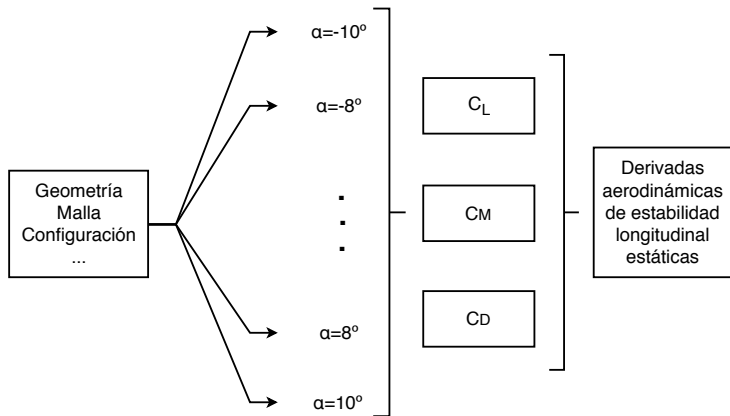


Figura 7: Diagrama conceptual del procedimiento para calcular las derivadas aerodinámicas de estabilidad longitudinal estáticas.

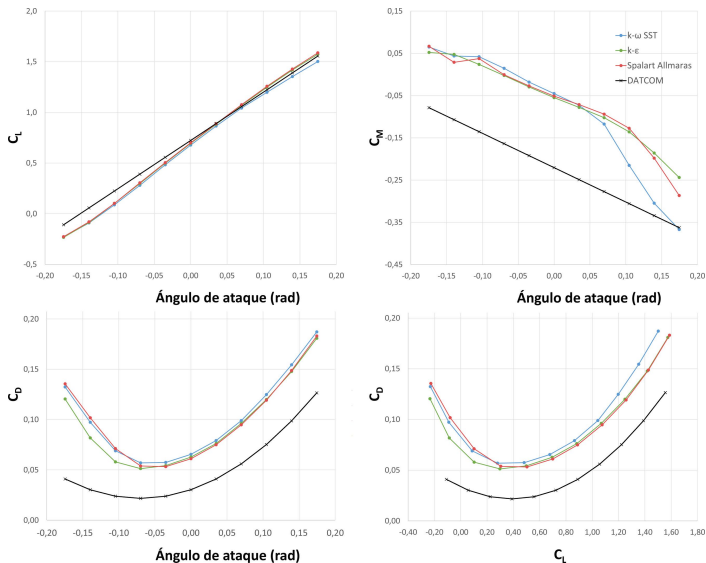


Figura 8: Resultados del análisis de sensibilidad del modelo de turbulencia.



Introducción

Introducción

Fundamentos teóricos

Fundamentos  
teóricos

Procedimiento

Procedimiento

**Resultados**

**Resultados**

Conclusiones

Conclusiones

Preguntas

## Coeficiente de sustentación

$$C_L = C_{L_\alpha} \alpha + C_{L_0}$$

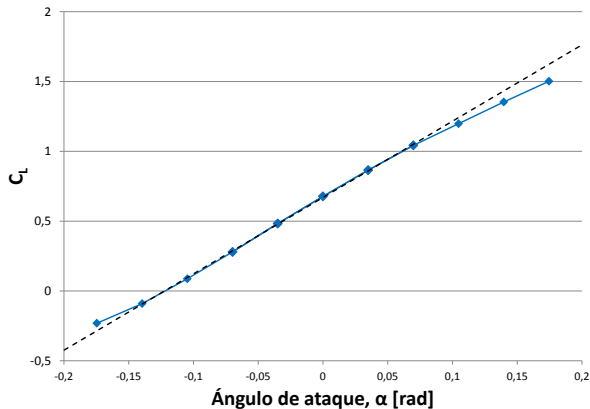


Figura 9: Ejemplo de ajuste lineal del coeficiente de sustentación para el modelo  $k - \omega$ .

Introducción

Fundamentos  
teóricos

Procedimiento

**Resultados**

Conclusiones

Preguntas

## Coeficiente de momento de cabeceo

$$C_M = C_{M_\alpha} \alpha + C_{M_0}$$

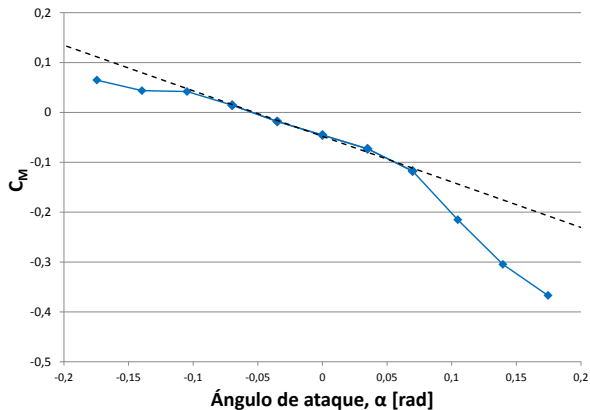


Figura 10: Ejemplo de ajuste lineal del coeficiente de momento de cabeceo para el modelo  $k - \omega$ .

Introducción

Fundamentos  
teóricos

Procedimiento

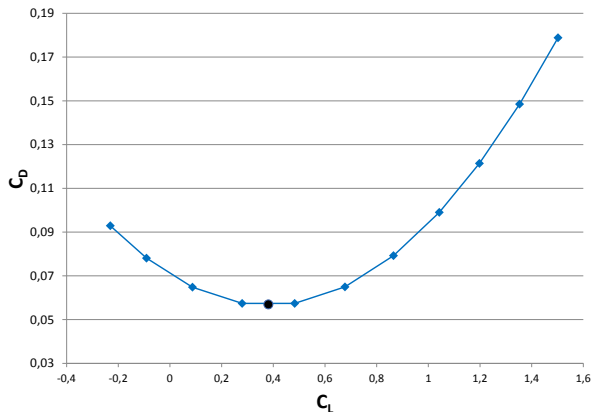
**Resultados**

Conclusiones

Preguntas

## Coeficiente de resistencia - $C_L|_{\text{mín D}}$

$$C_D = C_{D0} + K_w (C_L(\alpha) - C_L|_{\text{mín D}})^2$$



Introducción

Fundamentos  
teóricos

Procedimiento

**Resultados**

Conclusiones

Preguntas

Figura 11: Ejemplo de obtención de  $C_L|_{\text{mín D}}$  para el modelo  $k - \omega$ .

## Coeficiente de resistencia - Cambio de variable

$$C_D = C_{D0} + K_w \xi; \text{ con } \xi = (C_L - C_{L|\text{mín D}})^2$$

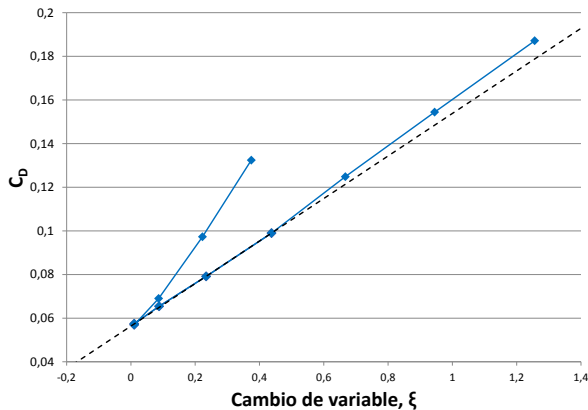


Figura 12: Ejemplo de ajuste lineal del coeficiente de resistencia para el modelo  $k - \omega$  con respecto al cambio de variable  $\xi$ .

Introducción

Fundamentos  
teóricos

Procedimiento

**Resultados**

Conclusiones

Preguntas

## Coeficiente de resistencia

$$C_D = C_{D0} + K_w (C_L(\alpha) - C_{L|\text{mín D}})^2$$

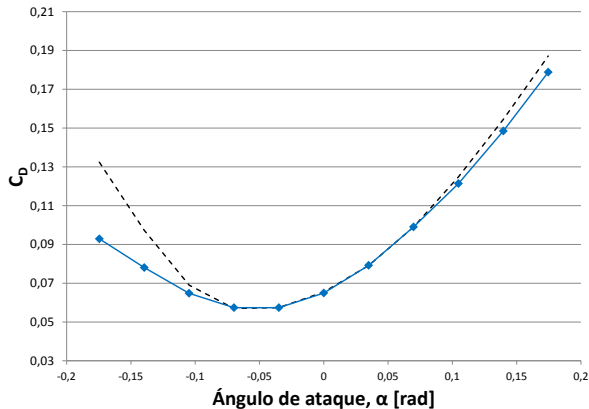


Figura 13: Ejemplo de ajuste cuadrático del coeficiente de resistencia para el modelo  $k - \omega$ .

Introducción

Fundamentos  
teóricos

Procedimiento

**Resultados**

Conclusiones

Preguntas

Derivada	$k - \omega$	$k - \epsilon$	S. A.	Simulaciones	
				Prom.	Var.
$C_{L_0}$	0,6695	0,6884	0,6944	0,6841	1,6 %
$C_{L_\alpha}$	5,4668	5,5143	5,5158	5,4990	0,4 %
$C_L _{\text{mín D}}$	0,3811	0,3983	0,4043	0,3946	2,4 %
$C_{M_0}$	-0,0479	-0,0535	-0,0489	-0,0501	4,8 %
$C_{M_\alpha}$	-0,9137	-0,7105	-0,6618	-0,7620	14,3 %
$C_{D_0}$	0,0564	0,0526	0,0527	0,0539	3,3 %
$K_w$	0,0975	0,0984	0,0937	0,0965	2,1 %

Tabla 1: Tabla resumen de los resultados de las simulaciones CFD

Introducción

Fundamentos teóricos

Procedimiento

**Resultados**

Conclusiones

Preguntas

Derivada	Simulaciones	Correlaciones	Diferencia
$C_{L_0}$	0,6841	0,7233	5,4 %
$C_{L_\alpha}$	5,4990	4,7702	15,3 %
$C_{M_0}$	-0,0501	-	-
$C_{M_\alpha}$	-0,7620	-0,8130	6,3 %
$C_{D_0}$	0,0539	0,0217	148,4 %
$K_w$	0,0965	0,0772	25,1 %

Tabla 2: Tabla comparativa de los resultados de las simulaciones y de las correlaciones semi-empíricas.



Introducción

Fundamentos teóricos

Procedimiento

Resultados

Conclusiones

Introducción

Fundamentos  
teóricos

Procedimiento

Resultados

**Conclusiones**

Preguntas

## Conclusiones del proyecto

- ✓ Método genérico
- ✓ VALCAN Project
- ✓ Correlaciones  $\rightarrow$  CFD  $\rightarrow$  Datos experimentales

## Continuación del proyecto

- Derivadas dinámicas y lateral-direccionales
- Efectos de No. Reynolds y Mach

¡Muchas gracias por su atención!

¿Tienen alguna pregunta?