



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

# AERODINÁMICA NO-ESTACIONARIA DE PERFILES

## ANÁLISIS TEÓRICO Y NUMÉRICO

Autor: Lucas Bernácer Soriano

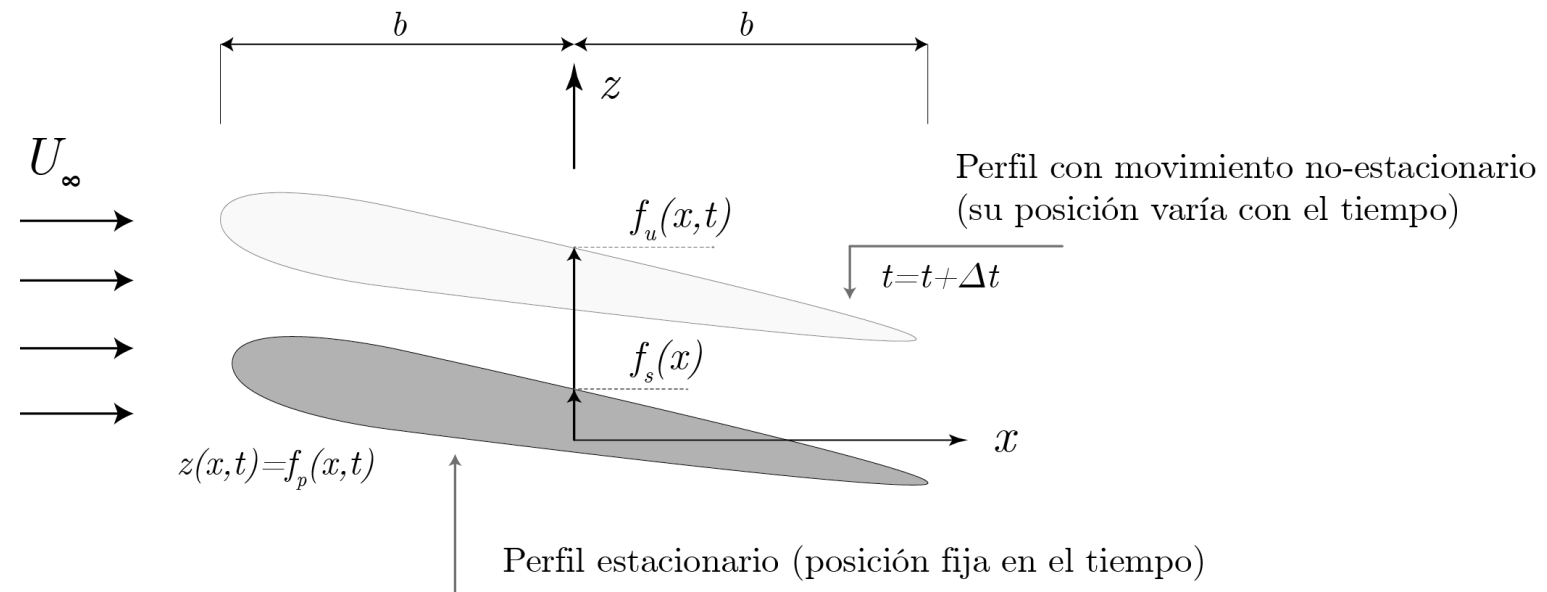
Tutor: Mario Lázaro Navarro

- Teoría potencial linealizada
- Aerodinámica no-estacionaria
- Efectos de la estela
- Método de los paneles
- Resolución de los casos de estudio
- Conclusiones

- Régimen incompresible
- Flujo gobernado por la ecuación de Laplace
- Posibilidad de trabajar con flujos elementales
- Singularidades tipo torbellino
- Resolución del problema sustentador

- Particularización para el caso no-estacionario
- Teoría de pequeñas perturbaciones

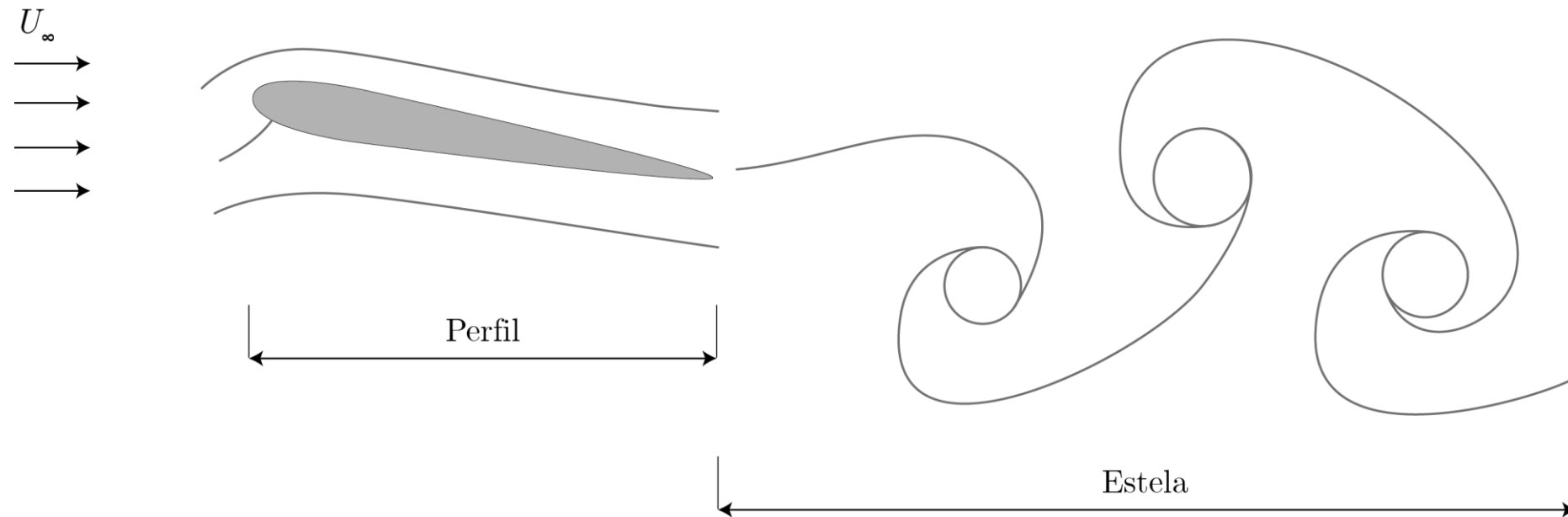
- Particularización para el caso no-estacionario
- Teoría de pequeñas perturbaciones



- Particularización para el caso no-estacionario
- Teoría de pequeñas perturbaciones
- Posibilidad de desarrollar soluciones analíticas

- Perfil en movimiento
- Interacción con el medio fluido
- Dependencia de velocidades y aceleraciones

- Aparición de vórtices en la estela del perfil
- Balance de circulación en el campo fluido debe ser nulo

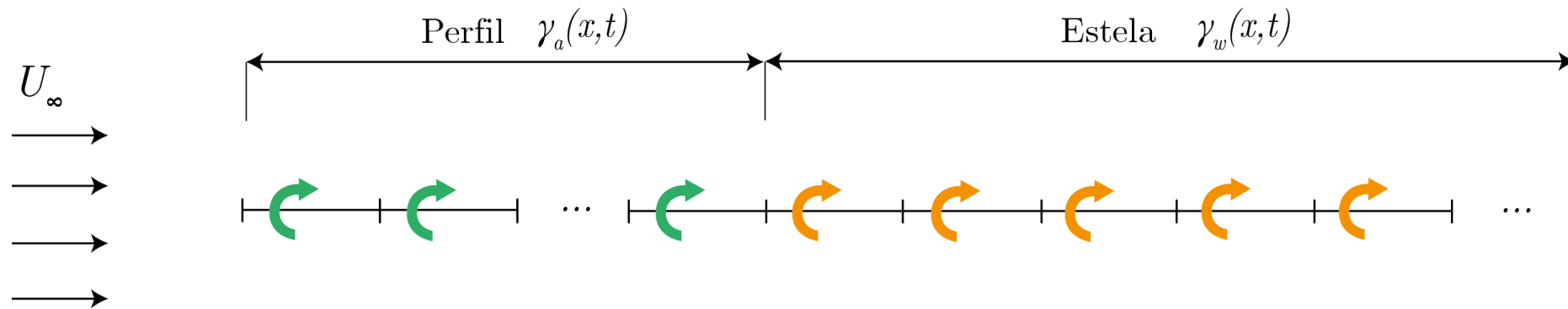




- Distribución de torbellinos dependiente del tiempo
- Los torbellinos se extienden a lo largo de la estela

$$\gamma(x, t) = \begin{cases} 0 & -\infty < x \leq -b \\ \gamma_a(x, t) & -b < x < b \\ \gamma_w(x, t) & b \leq x < \infty \end{cases}$$

- Distribución de torbellinos dependiente del tiempo
- Los torbellinos se extienden a lo largo de la estela



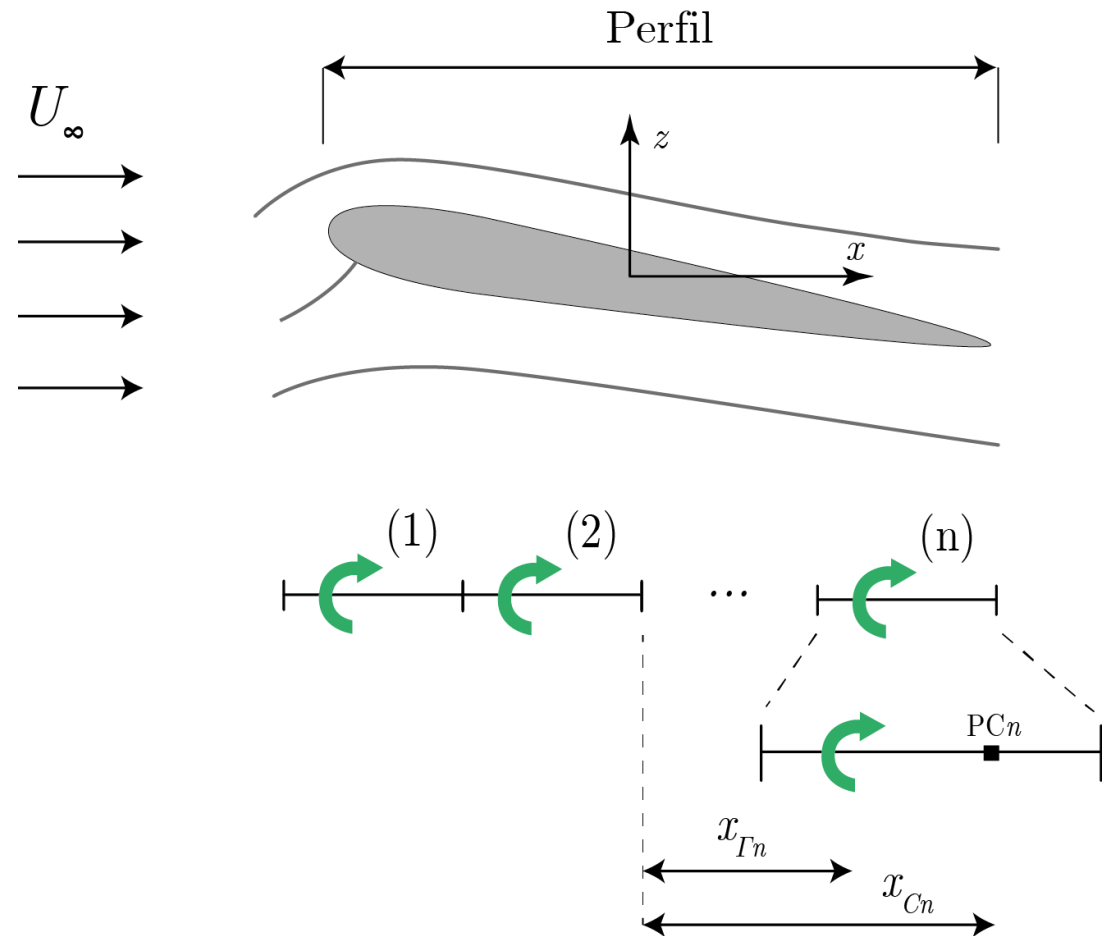
- Influencia de la frecuencia reducida en movimientos armónicos

$$\kappa = \pi \frac{T_{paso}}{T_{oscil}} = \frac{\omega b}{U_{\infty}} , \quad T_{paso} = \frac{2b}{U_{\infty}} , \quad T_{oscil} = \frac{2\pi}{\omega}$$

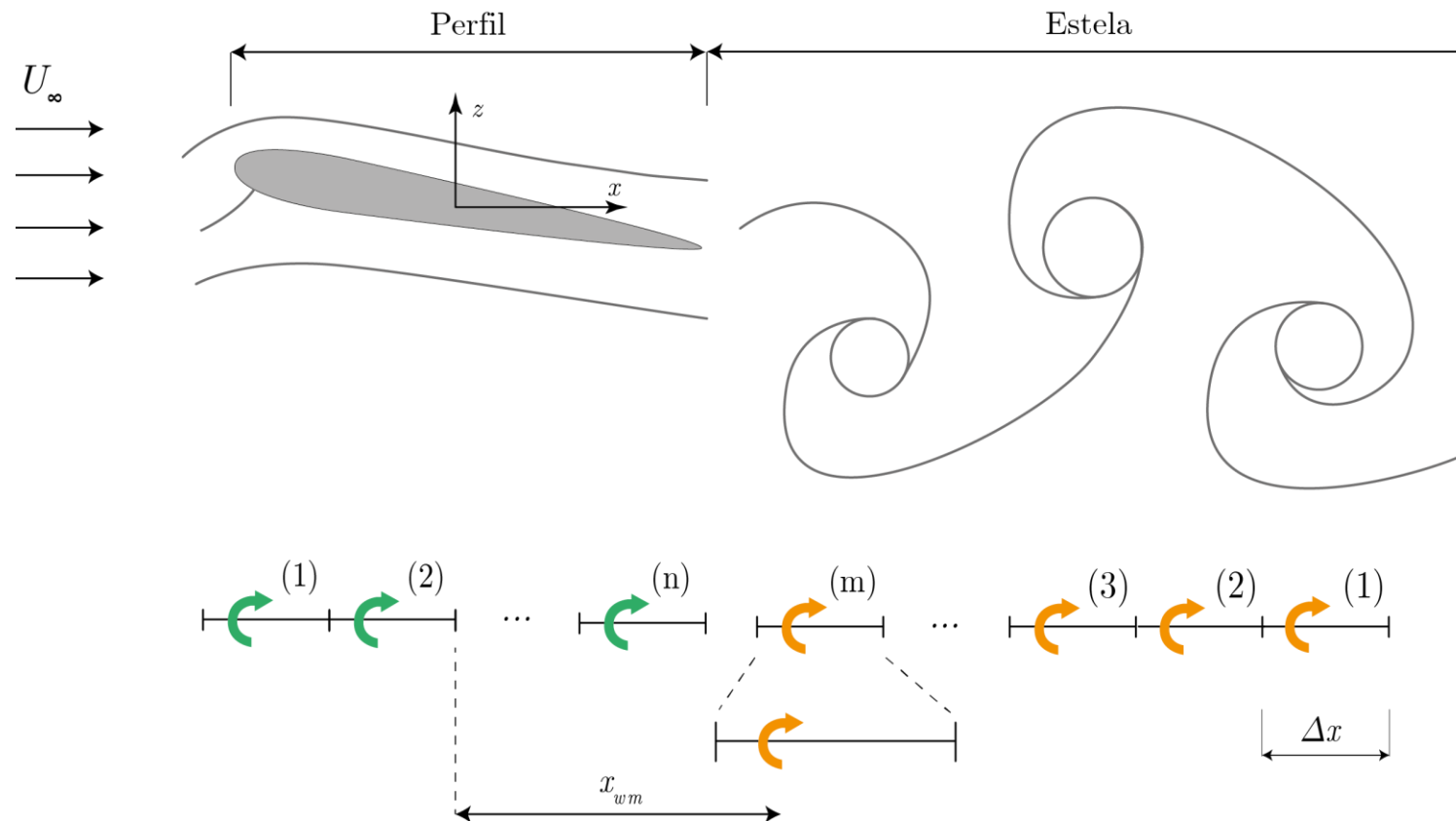
- Controla el efecto sustentador de los torbellinos de la estela

- El cuerpo de estudio se recubre de singularidades
- Comportamiento del flujo como línea de corriente
- Paneles aproximados en la línea media

- Discretización del perfil en  $n$  paneles
- Localización de un torbellino en cada panel
- Se asumen paneles de igual longitud



- Discretización de la estela en  $m$  paneles



- Discretización temporal conforme los paneles de la estela

$$t = m \Delta t$$

- Desprendimiento de un torbellino con cada paso temporal
- Los torbellinos de la estela se desplazan aguas abajo
- La estela garantizan el balance nulo de circulación

Las ecuaciones del esquema numérico provienen de:

- Conservación de vorticidad ( $m$  ecuaciones)

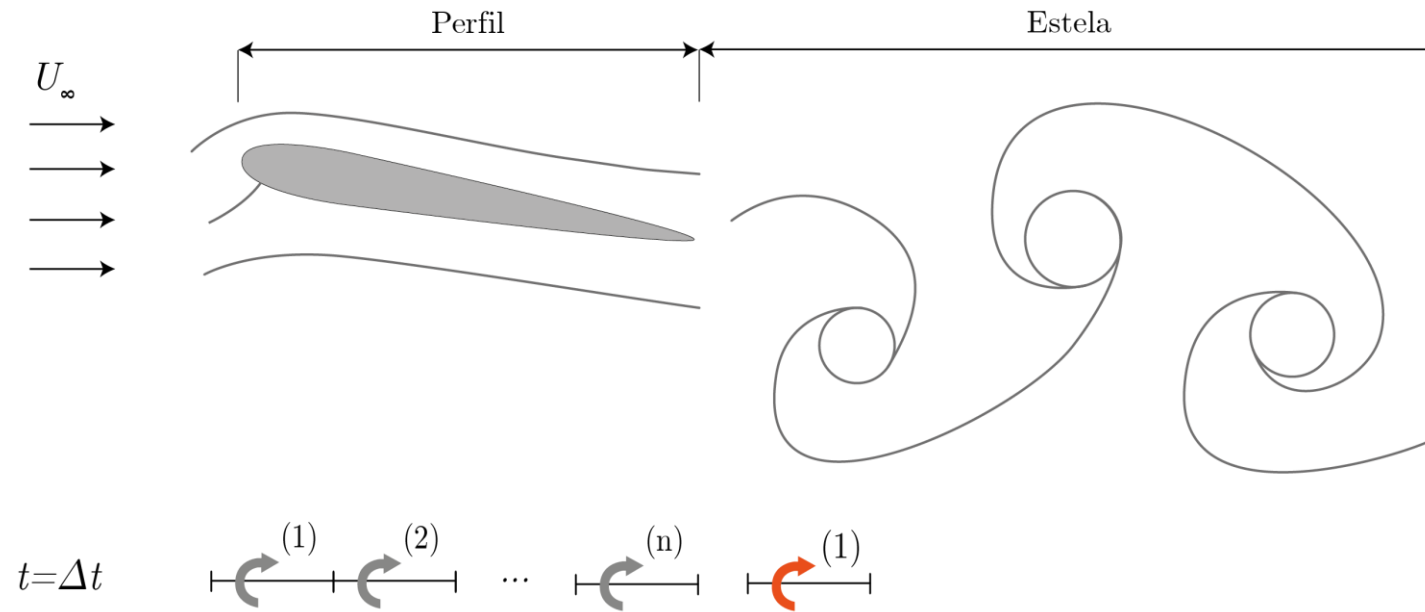
$$\sum_{k=1}^n \Gamma_k^{(j)} + \Gamma_{w1} + \Gamma_{w2} + \dots + \Gamma_{wj} = 0, \quad 1 \leq j \leq m$$

- Condición de contorno sobre el perfil ( $n \times m$  ecuaciones)

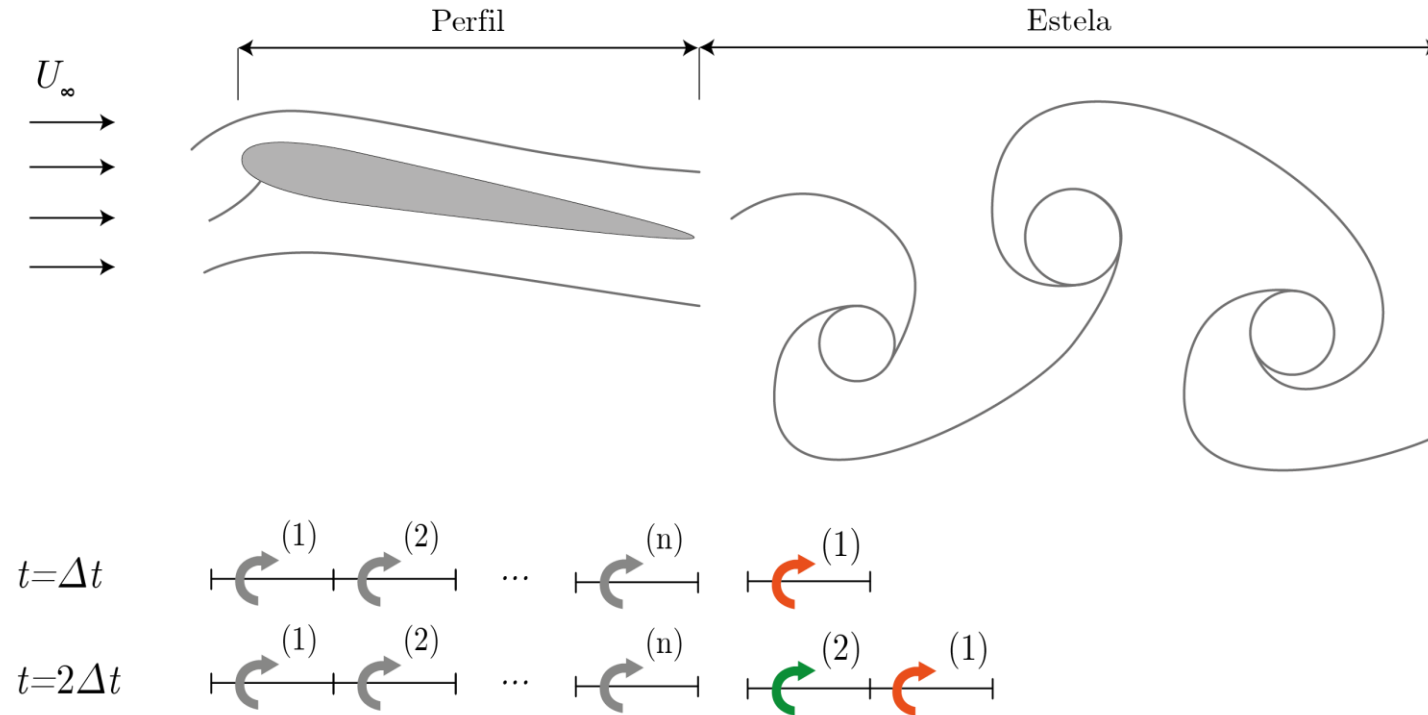


- En total se resuelven  $m(n+1)$  incógnitas
- Siendo las incógnitas la circulación de cada torbellino
- $m$  correspondientes a los torbellinos en la estela
- $n \times m$  dadas por los torbellinos del perfil con cada paso temporal

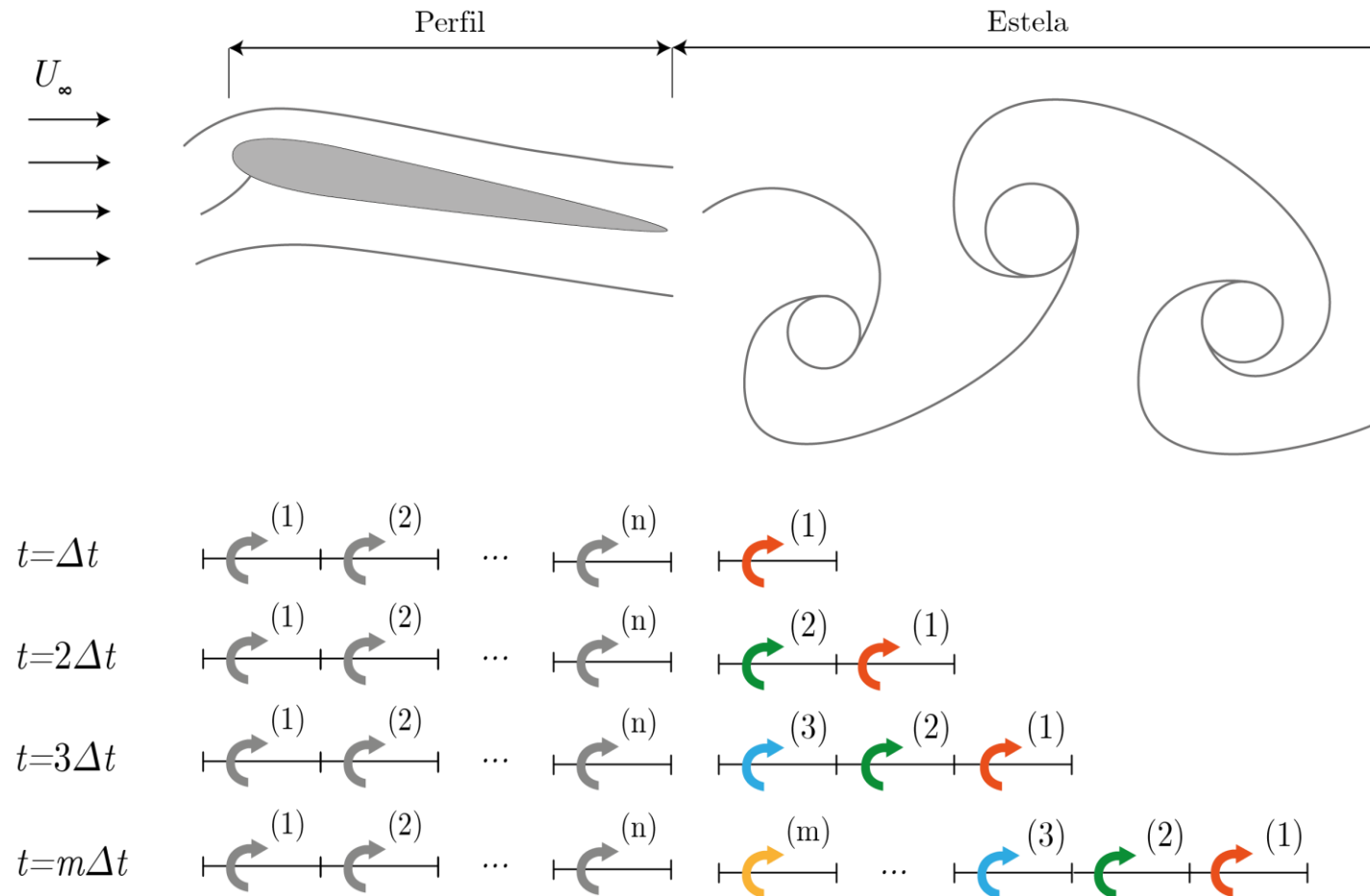
# Método de los paneles



# Método de los paneles

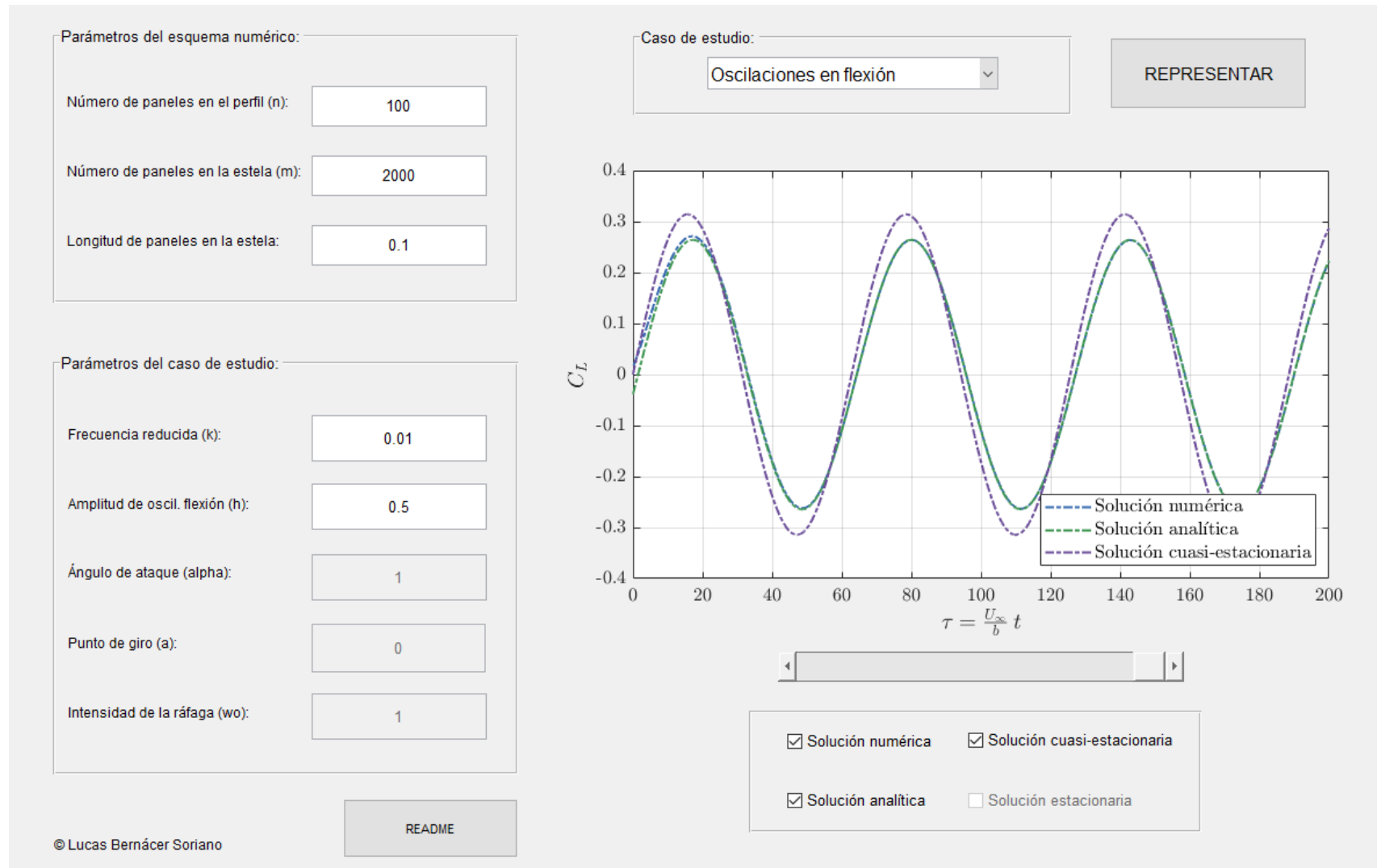


# Método de los paneles

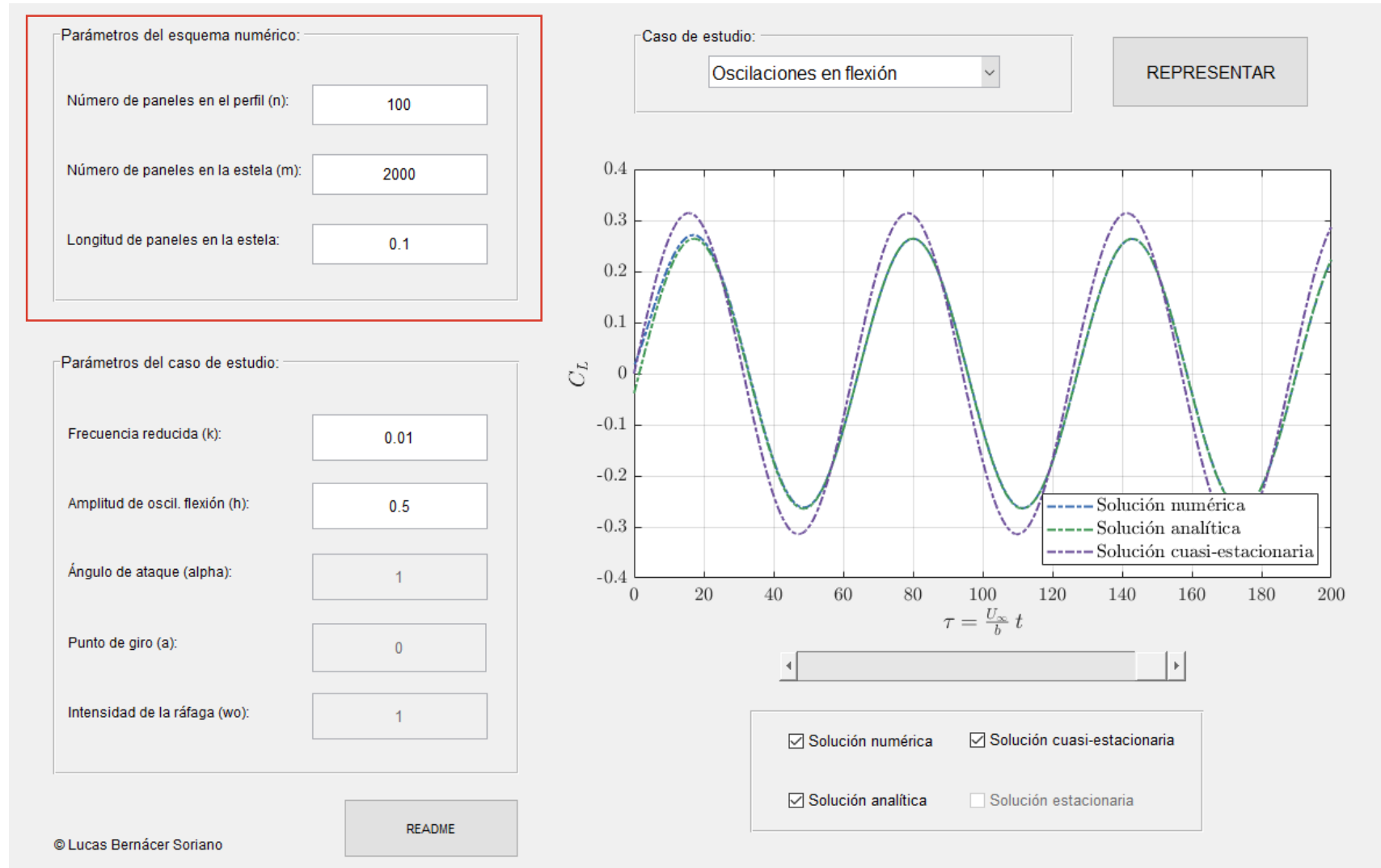


- Uso de una interfaz gráfica desarrollada en *Matlab*
- Ofrece las soluciones a cuatro casos de estudio
- Agiliza y facilita el acceso a las soluciones
- Permite realizar comparaciones con soluciones analíticas

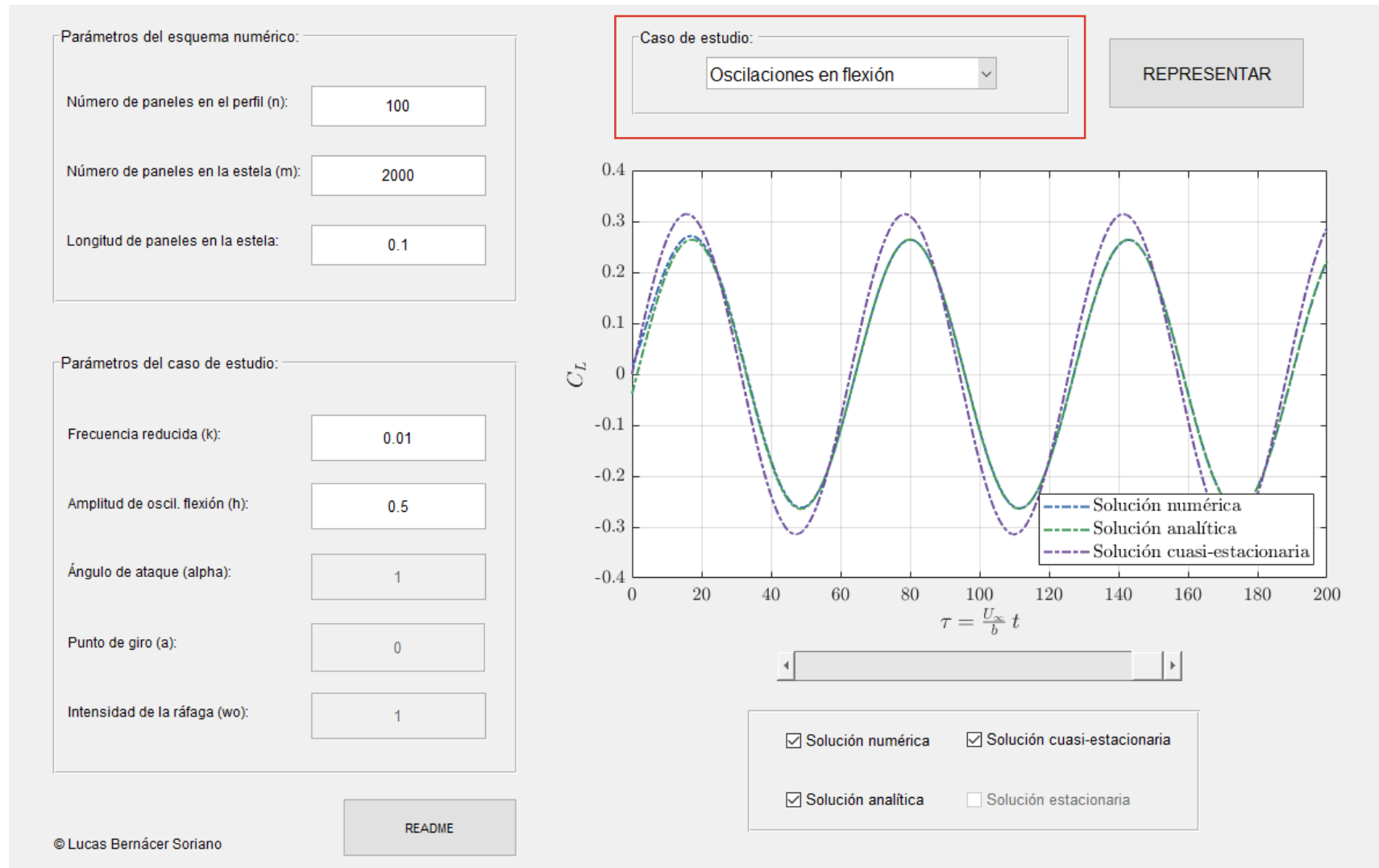
# Resolución de los casos de estudio



# Resolución de los casos de estudio

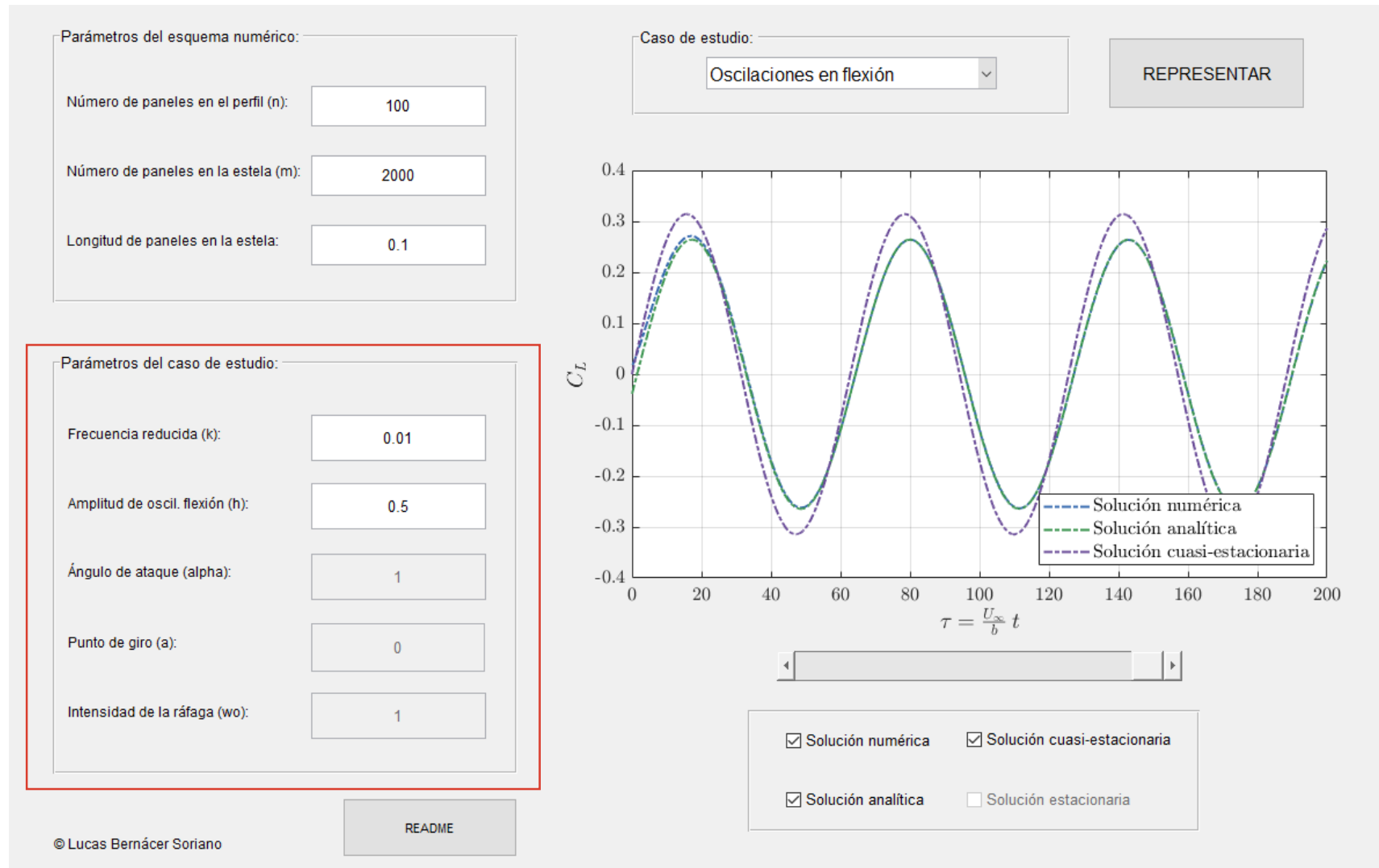


# Resolución de los casos de estudio

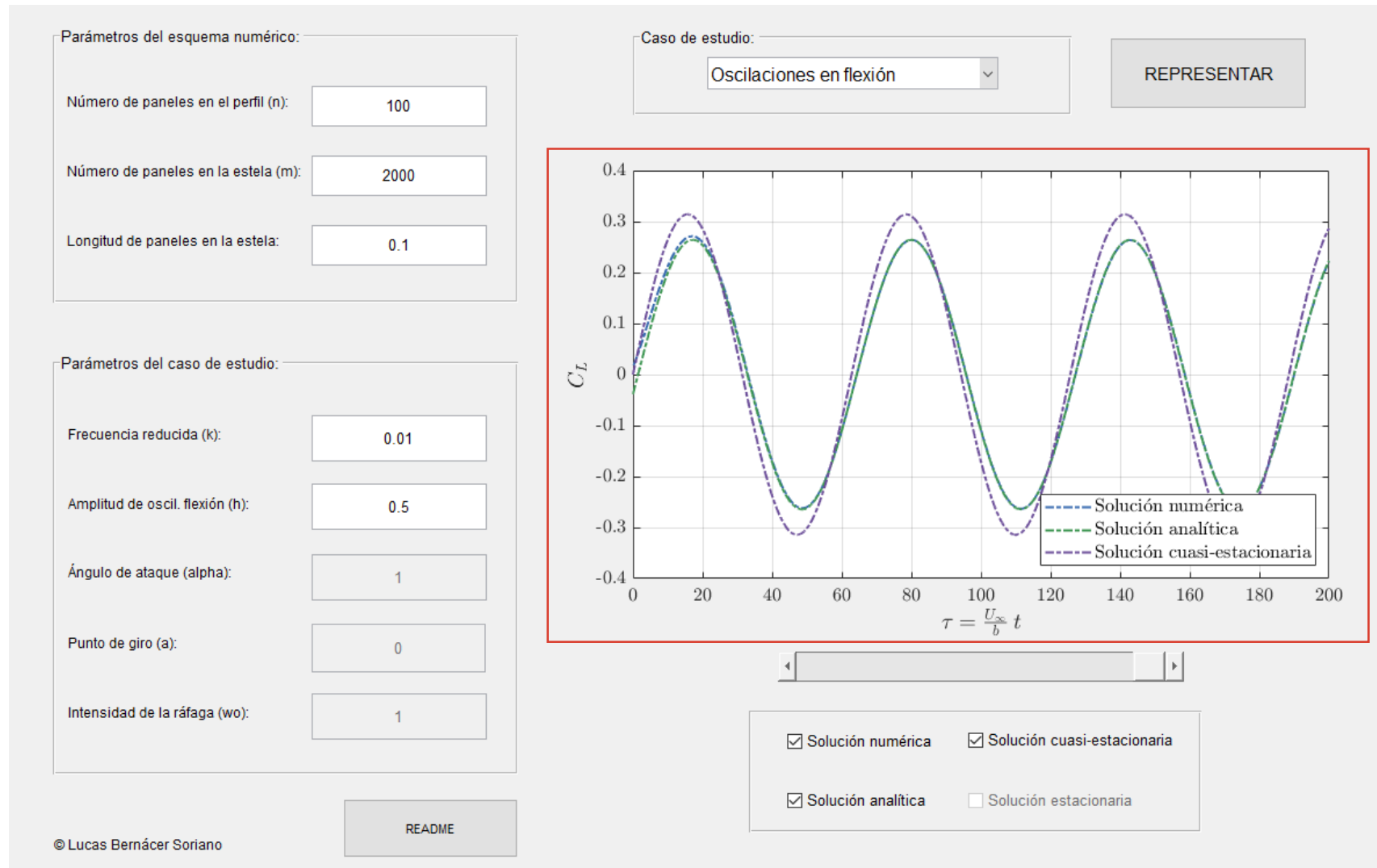




# Resolución de los casos de estudio



# Resolución de los casos de estudio



# Resolución de los casos de estudio



Parámetros del esquema numérico:

Número de paneles en el perfil (n):

Número de paneles en la estela (m):

Longitud de paneles en la estela:

Parámetros del caso de estudio:

Frecuencia reducida (k):

Amplitud de oscil. flexión (h):

Ángulo de ataque (alpha):

Punto de giro (a):

Intensidad de la ráfaga (wo):

© Lucas Bernácer Soriano

README

Caso de estudio:

REPRESENTAR

$C_l$

$\tau = \frac{U_\infty}{b} t$

Solución numérica

Solución analítica

Solución cuasi-estacionaria

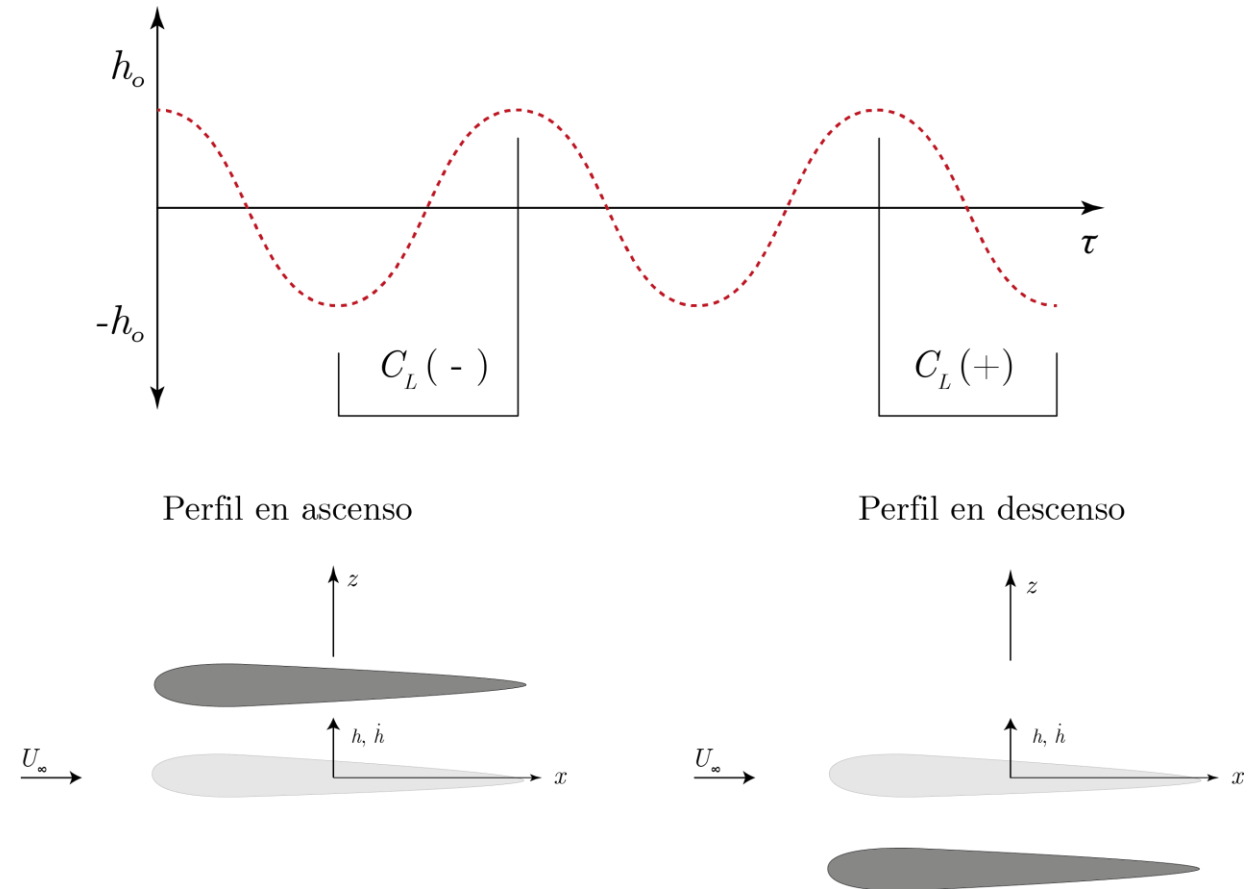
Solución numérica

Solución analítica

Solución cuasi-estacionaria

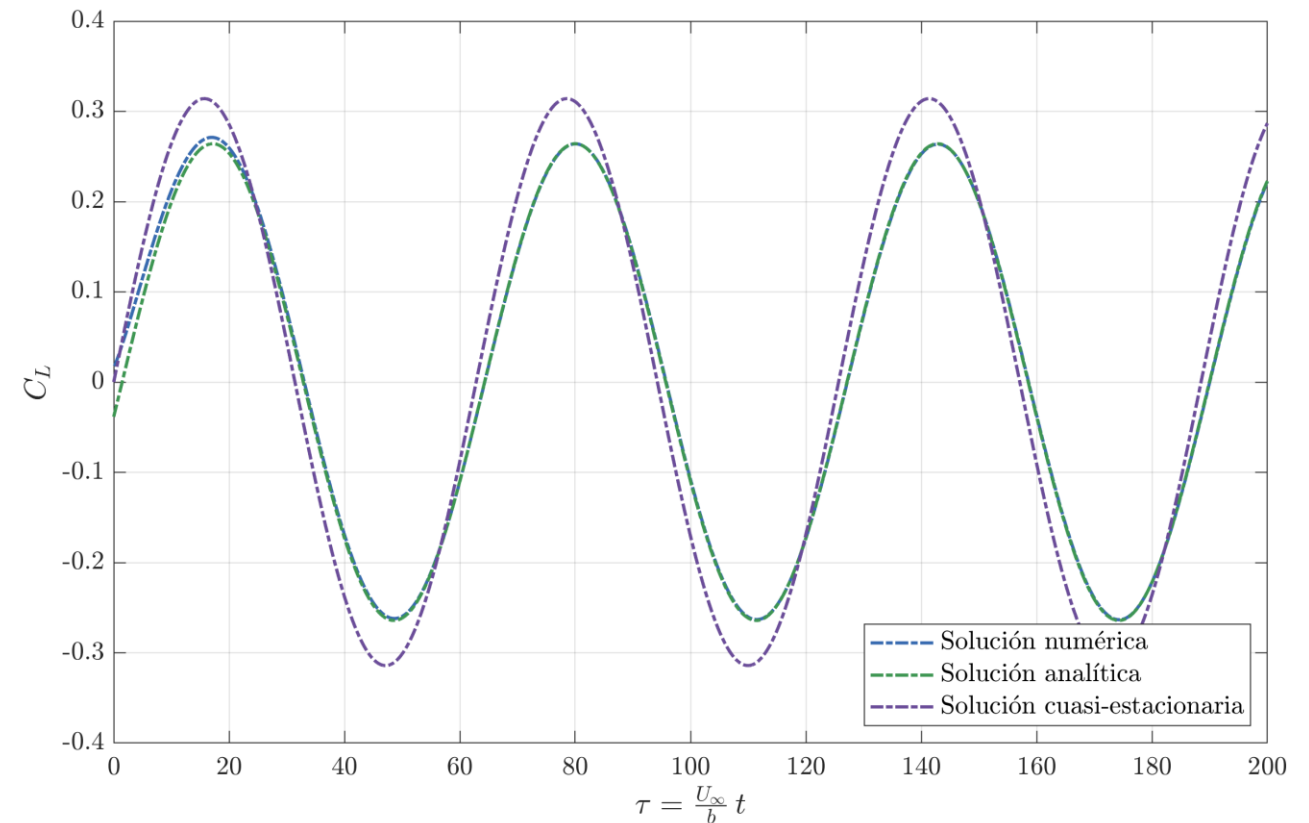
Solución estacionaria

## - Oscilaciones en flexión



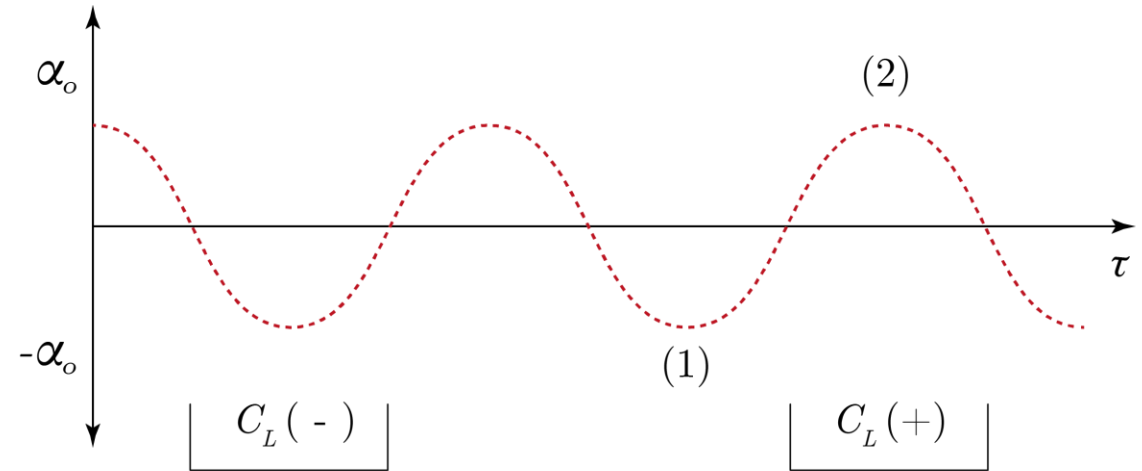
## - Oscilaciones en flexión

$n = 100, m = 2000, \Delta x = 0.1, k = 0.1, h = 0.5$

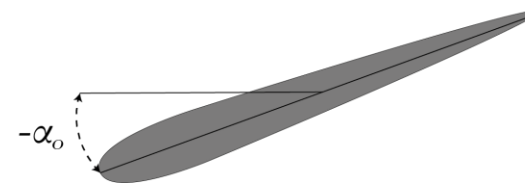


- Oscilaciones en flexión

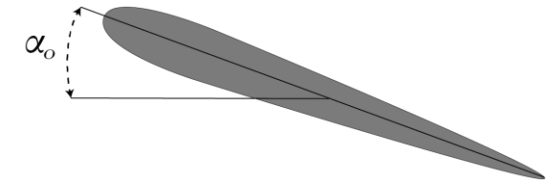
- Oscilaciones en giro



Situación del perfil para  
máxima amplitud negativa (1)



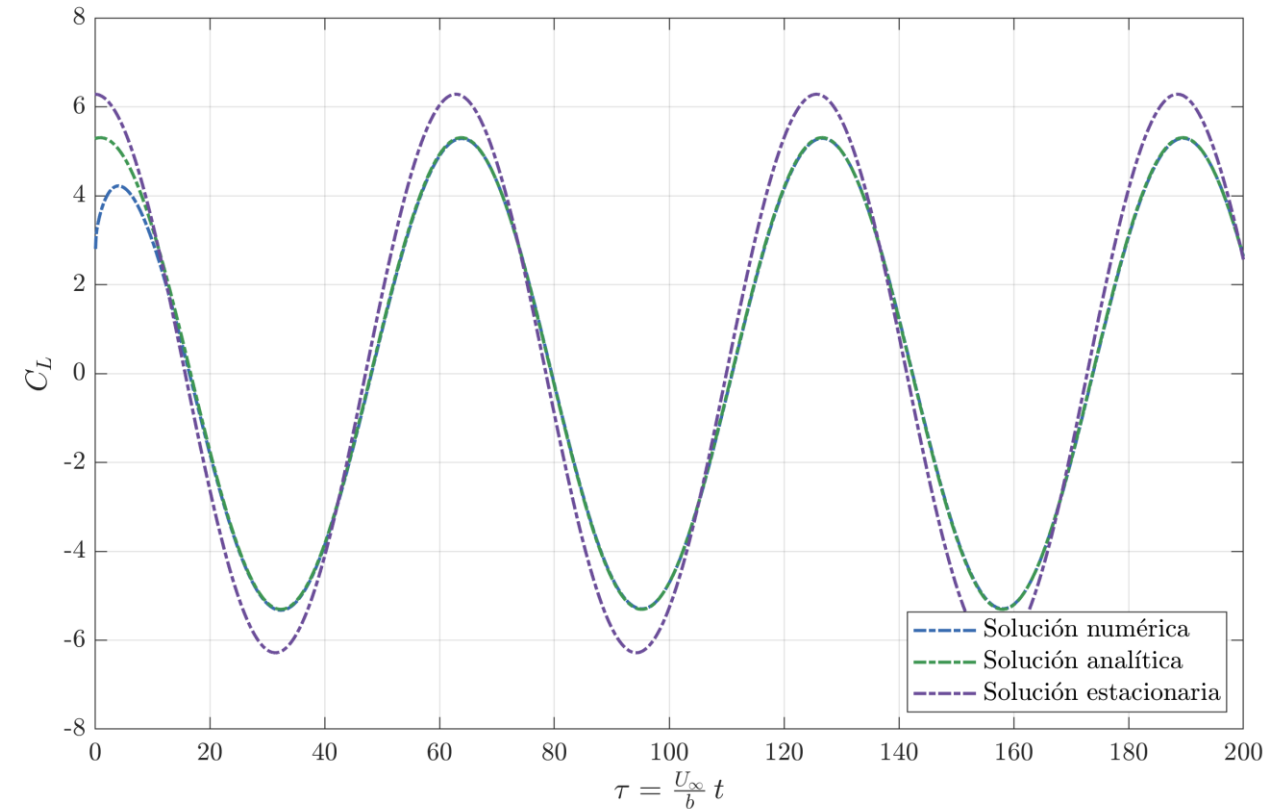
Situación del perfil para  
máxima amplitud positiva (2)



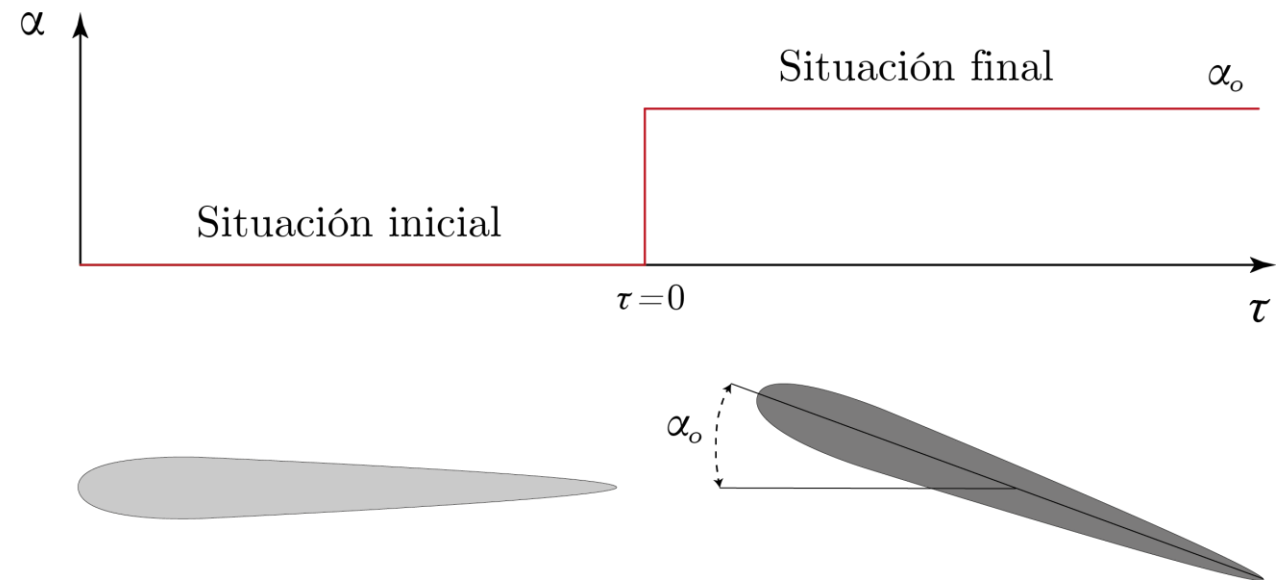
- Oscilaciones en flexión

- Oscilaciones en giro

$$n = 100, m = 2000, \Delta x = 0.1, k = 0.1$$



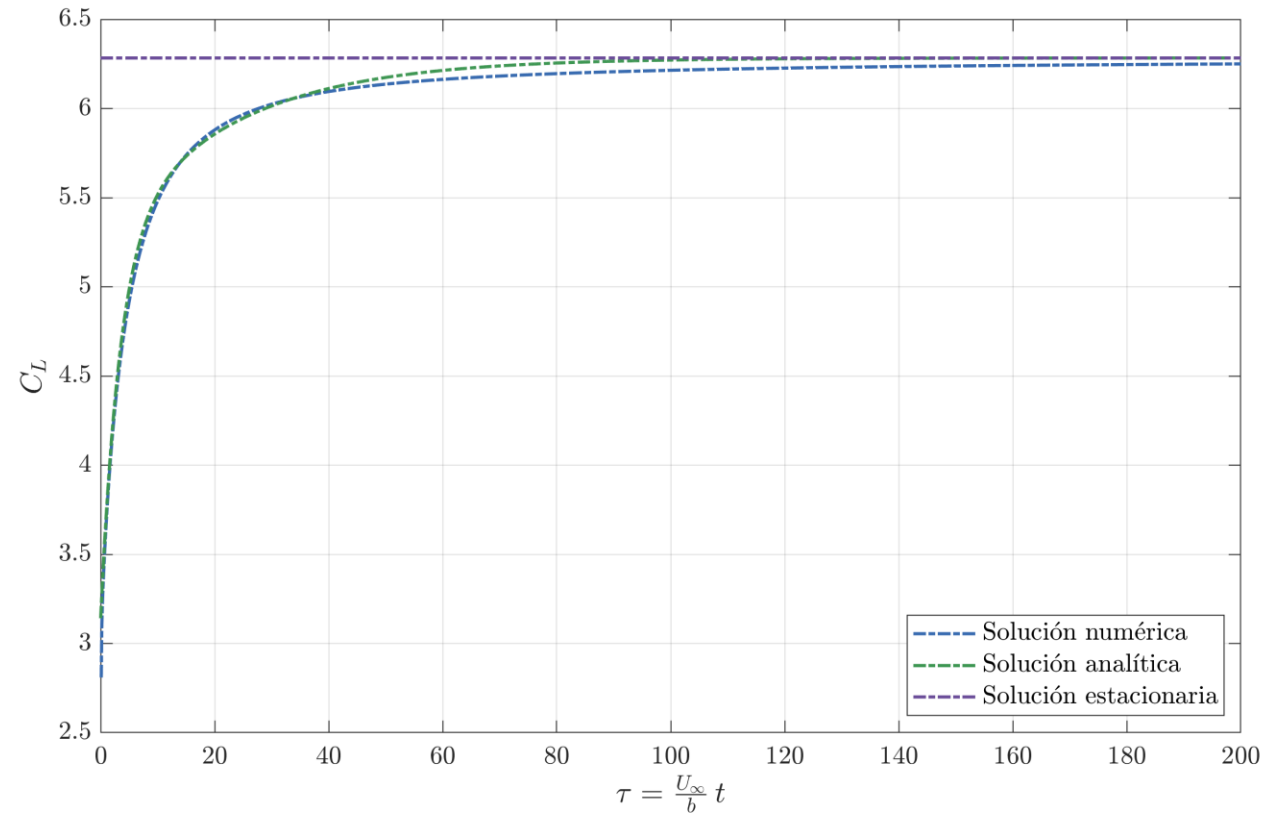
- Oscilaciones en flexión
- Oscilaciones en giro
- Cambio en el ángulo de ataque



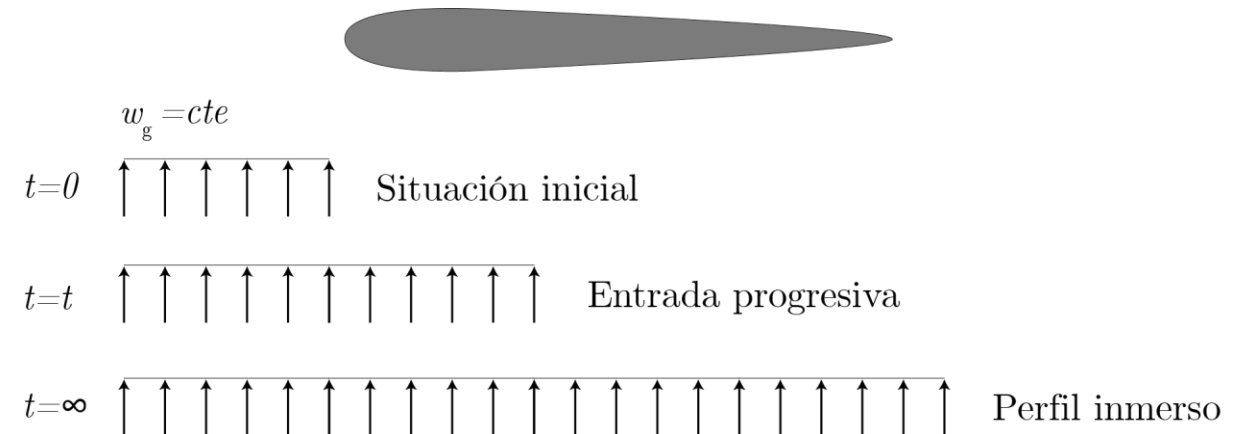


- Oscilaciones en flexión
- Oscilaciones en giro
- Cambio en el ángulo de ataque

$$n = 100, m = 2000, \Delta x = 0.1$$

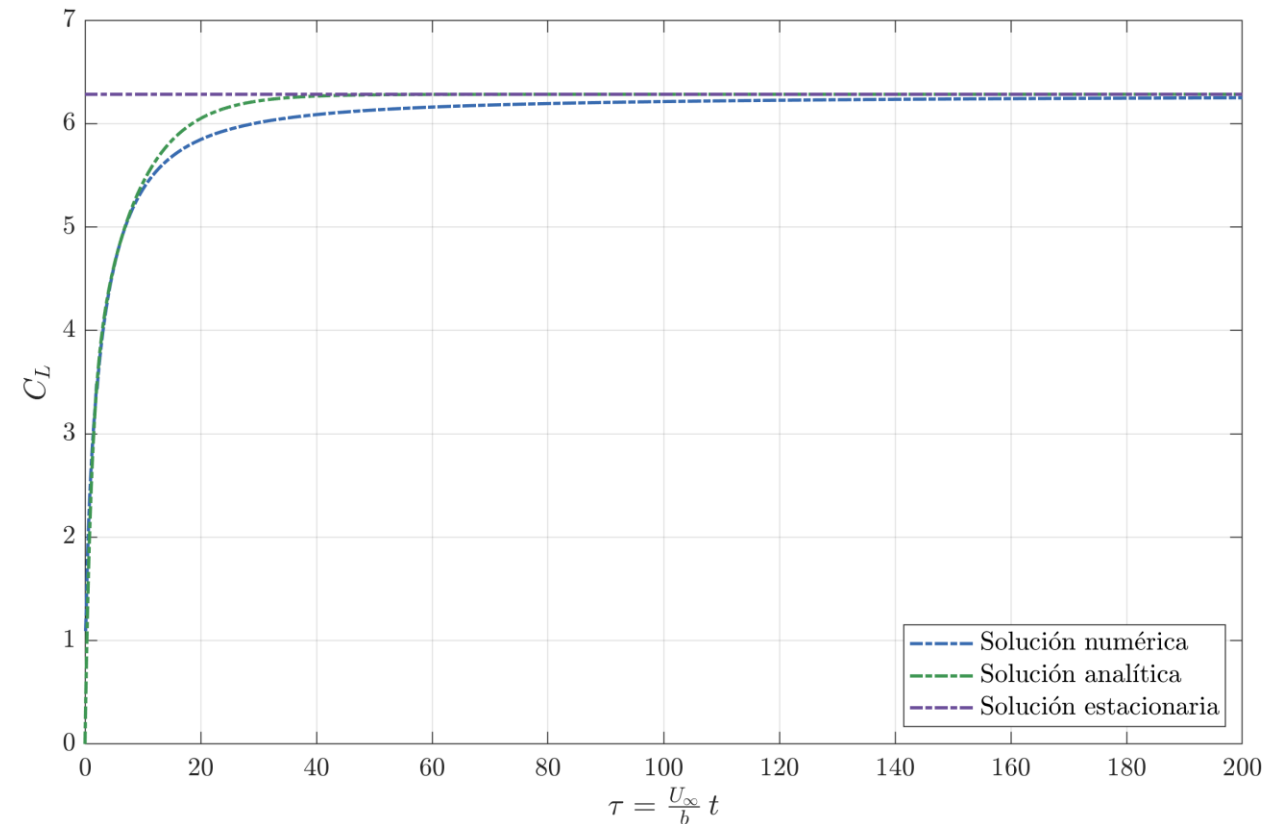


- Oscilaciones en flexión
- Oscilaciones en giro
- Cambio en el ángulo de ataque
- Entrada progresiva en ráfaga



- Oscilaciones en flexión
- Oscilaciones en giro
- Cambio en el ángulo de ataque
- Entrada progresiva en ráfaga

$$n = 100, m = 2000, \Delta x = 0.1, k = 0.1, w_0 = 1$$



- Validez del esquema numérico implementado
- Estudio de una gran variedad de casos de estudios
- Interés académico para introducir los fenómenos no-estacionarios
- Posibilidad de ampliación para flujo compresible o caso tridimensional



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

# Muchas gracias

Lucas Bernácer Soriano

luberso@etsid.upv.es