



Alejandro Gronskis

Departamento de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires.

Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la Marina Mercante.

# Aplicación de un método estocástico a la optimización de una actuación localizada en la superficie de un obstáculo

## Resumen

El propósito de este trabajo reside en la identificación de aquellos actuadores que resulten de fundamental importancia en el mecanismo de reducción de la fuerza de arrastre que se obtiene al controlar el flujo por medio de variaciones en la velocidad tangencial sobre la pared de un cilindro.

El presente estudio resulta una continuación del trabajo publicado en la revista *Atenea*, UdeMM, año 2010 en el cual se ha caracterizado, validado con una función de prueba analítica y finalmente se han estimado las condiciones de operación de un algoritmo genético (GA).

En este trabajo emplearemos el GA proyectado para optimizar ciertos parámetros de actuación (ubicación de actuadores y amplitud de la excitación) donde el objetivo reside en la minimización del arrastre. Analizaremos el desempeño del GA para el problema prototipo del control activo del flujo alrededor de un cilindro. El flujo se controla en nuestro caso empleando una velocidad de deslizamiento localizada en algunas regiones sobre la pared del cilindro, con este fin consideraremos una distribución de

velocidades que intentara reproducir las características de una actuación electrodinámica (EHD).

## 1. Descripción del problema en estudio

En el presente trabajo, consideramos el flujo a  $Re=125$  alrededor de un cilindro sujeto a una velocidad de deslizamiento localizada en algunas regiones sobre la pared, y procuramos optimizar su distribución e intensidad a fin de minimizar el promedio temporal del coeficiente de arrastre,  $\langle CD \rangle$ , a través de la implementación del GA propuesto recientemente.

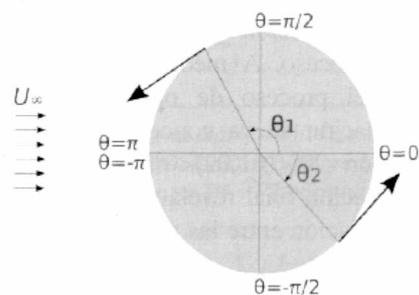
La actuación tangencial sobre la superficie del cilindro se logra especificando la velocidad en los puntos de la frontera, donde el módulo de la velocidad sobre la superficie  $v_t$  se expresa como:

$$v_t = \sum_{i=1}^n U_{t_i}$$

siendo  $n$  el número de actuadores y  $v_{t_i}$  la velocidad tangencial del actuador ubicado en la posición  $\theta_i$  dada por:

$$v_{t_i} = A_i e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{\theta - \theta_i}{d} \right)^2}$$

donde  $A_i$  es la amplitud,  $\theta_i$  la media y  $d$  la desviación estándar de la función tipo gaussiana que empleamos para representar al actuador  $i$ . En este trabajo consideramos la optimización de la posición de 2 actuadores de intensidad fija y estacionaria. En la siguiente Figura se muestra un esquema representativo de cada acción de control. Adoptamos  $d=0.1$ .



## 2. Parámetros del GA

Para el proceso de minimización del  $\langle CD \rangle$  empleamos una población de  $N=50$  individuos en el GA, con los parámetros  $(\alpha, \beta, \gamma)=(0.25, 0.25, 0.6)$ .

Los mismos se basan en la validación previamente citada. El valor umbral de la función objetivo (o valor deseado  $f_T$ ) se fija en 0.3; este valor corresponde al 20% del coeficiente de arrastre medio para el flujo sin actuación a  $Re=125$ .

### 3. Resultados

En la Figura 1 se muestra el rango de valores que adopta la función objetivo en la población en función del número de iteraciones del GA. El proceso de optimización se detuvo intencionalmente al cabo de 155 iteraciones, las cuales requirieron de 897 evaluaciones de la función objetivo (o igual número de corridas de simulación DNS).

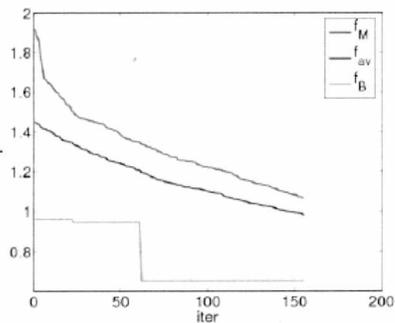


Figura 1: Valores de la función objetivo en la población en función de las iteraciones del proceso de optimización.  $f_M$ : valor correspondiente al peor individuo;  $f_B$ : valor correspondiente al mejor individuo;  $f_{av}$ : valor promedio.

En la Figura 2 se muestran los mapas de la población en 4 diferentes etapas del proceso. A medida que transcurre el proceso de optimización, la población se va concentrando en la región  $-90^\circ < (\theta_1, \theta_2) < 0^\circ$ . El mapa de la población final revela una importante correlación entre las posiciones de los actuadores 1 y 2.

En la Figura 3 se representa un histograma de la distribución de los parámetros de control en la población final. La solución producida por el GA indica que los actuadores 1 y 2 deben efectuar la rotación localizada en la región  $-90^\circ < (\theta_1, \theta_2) < 0^\circ$ , con el objeto

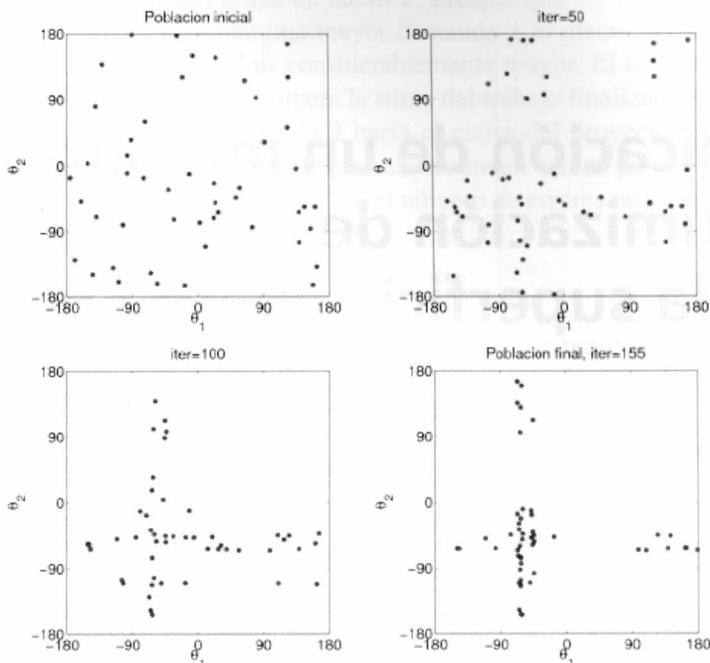


Figura 2: Los individuos de la población se indican por puntos. Se muestran algunos mapas de la población obtenidos durante el proceso de optimización ( $\theta$  en grados).

de retrasar la separación permitiendo al flujo un mayor deslizamiento sobre la superficie del cilindro. Para ambos actuadores, el mayor número de individuos se concentra en el intervalo  $-74^\circ < \theta < -37^\circ$  (54 y 74% de los individuos de la población final para los actuadores 1 y 2 respectivamente), el cual constituye entonces la región con mayor probabilidad de contener la posición óptima del actuador. Si denominamos por  $\theta^*$  el ángulo medido desde el punto de estancamiento frontal, entonces la región óptima de actuación será  $106^\circ < \theta^* < 143^\circ$ . De acuerdo al estudio numérico de Wu et al., se obtiene el ángulo de separación de la capa límite correspondiente al flujo sin actuación a  $Re=125$  en  $\theta^* = \theta^*_s = 115.3^\circ$ . De este modo encontramos que los parámetros que nos permiten lograr la acción de control óptima corresponden únicamente a los actuadores que contienen el punto de separación en el flujo no actuado. Este resultado constituye además una evidencia de que el GA es capaz de identificar puntos críticos del flujo y comunicarlos a través de la distribución de los individuos de la población.

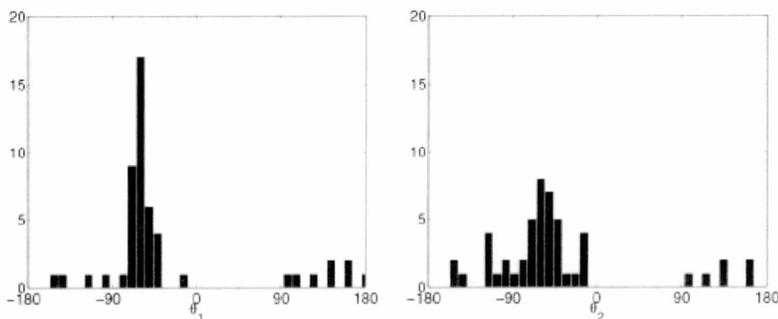


Figura 3: Histograma de la distribución de los parámetros de control en la población final ( $\theta$  en grados).

La configuración correspondiente al mejor individuo de la población final se muestra en la Figura 4(a). Se produce en este caso el colapso de ambos actuadores en un único actuador que ocupa la posición  $\theta^* \approx 121.34^\circ$ . Para examinar con más detalle la configuración óptima, se ha efectuado una corrida de validación para el mencionado individuo sobre una malla de cálculo más fina ( $D=36\Delta$ ) que la empleada durante el proceso de optimización ( $D=18\Delta$ ). En la Figura 4(b) se muestra el campo medio de velocidades para la configuración óptima en una zona cercana al cilindro. Asimismo se representan el punto de separación del flujo no actuado, el mejor individuo de la población final y la región óptima de actuación.

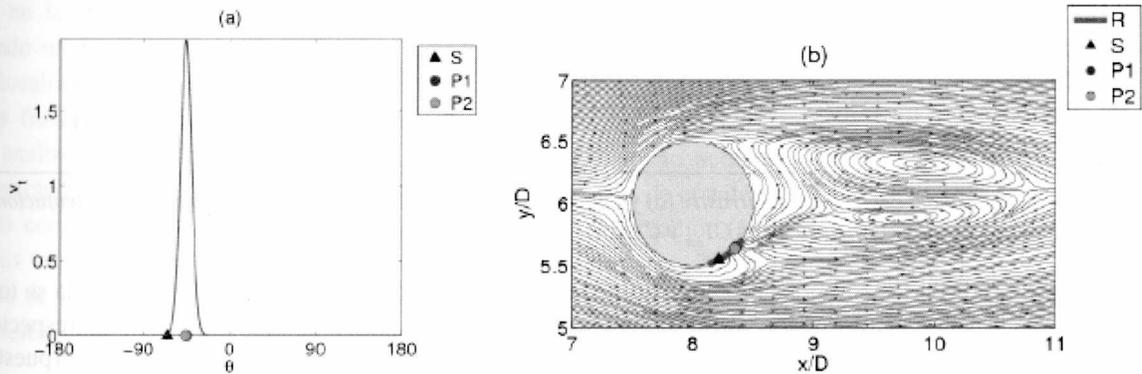


Figura 4: Configuración correspondiente al mejor individuo de la población final. (a) Distribución de velocidades tangenciales en la superficie del cilindro ( $\theta$  en grados); (b) Líneas de corriente de los campos medios de velocidad; R: región óptima de actuación; S: punto de separación del flujo sin actuación; P1, P2: posiciones de los actuadores 1 y 2 respectivamente. Existe superposición entre P1 y P2.

A efectos comparativos se ha efectuado una corrida que modifica la presente configuración  $CI_{opt}$  agregando actuadores dispuestos en forma simétrica con respecto al diámetro horizontal los cuales actúan en dirección horaria. Tal configuración ( $CI_{sim}$ ) se representa en la Figura 5(a). El campo medio de velocidades que se obtiene en una zona cercana al cilindro para esta configuración se muestra en la Figura 5(b).

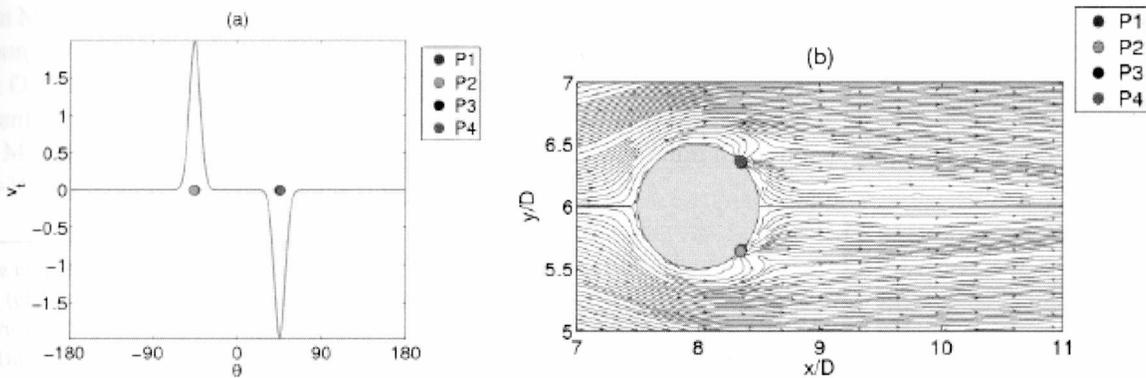


Figura 5: Configuración que modifica  $CI_{opt}$  agregando actuadores dispuestos en forma simétrica con respecto al diámetro horizontal los cuales actúan en dirección horaria ( $CI_{sim}$ ). (a) Distribución de velocidades tangenciales en la superficie del cilindro ( $\theta$  en grados); (b) Líneas de corriente de los campos medios de velocidad;  $P_i$ : posición del actuador  $i$ . Existe superposición entre P1 y P2 por una parte y entre P3 y P4 por otra.

Representamos el comportamiento de las fuerzas de arrastre y sustentación en la Figura 6. Como puede observarse, la configuración óptima  $CI_{opt}$  reduce en forma apreciable la fuerza de arrastre (27%) con respecto al flujo sin actuación, al mismo tiempo que disminuyen drásticamente las amplitudes de las fluctuaciones de las fuerzas de arrastre y sustentación (70 y 91% respectivamente). La frecuencia de desprendimiento de vórtices, en cambio, no experimenta cambios apreciables (el valor de Strouhal aumenta en un 2% para el caso actuado). Se observa además que el diagrama de fase CD vs. CL colapsa en un punto en el caso de la configuración simétrica  $CI_{sim}$ , lo cual evidencia la anulación del desprendimiento de vórtices en la estela. En este caso se logra una reducción significativa de la fuerza de arrastre (42%) con respecto al flujo no actuado.

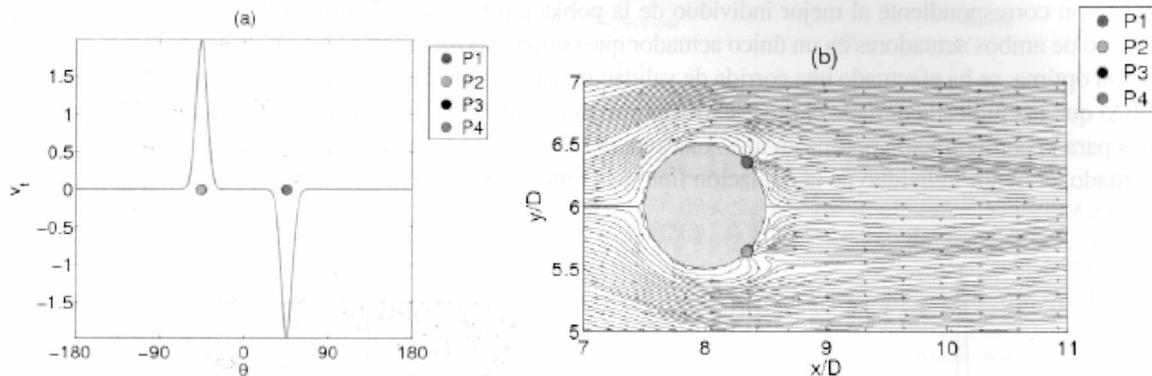


Figura 6: Evolución temporal del coeficiente de arrastre (a) y Diagramas de fase de los coeficientes de arrastre y sustentación (b) para el flujo sin actuación ( $v_t = 0$ ) y las configuraciones  $C1_{opt}$  y  $C1_{sim}$ .

Puede observarse a partir de los campos de vorticidad de la Figura 7 que bajo la actuación  $C1_{opt}$  la estela se torna muy elongación, lo cual es evidencia de que los vórtices comienzan a desprenderse a mayores distancias con respecto al caso sin actuación. En efecto, la región de recirculación media se extiende una mayor distancia aguas abajo (puesto que la longitud de formación de vórtices  $L_f$  aumenta en un 45%) con respecto al flujo no actuado. Al mismo tiempo, el flujo permanece adherido una mayor longitud sobre la superficie inferior del cilindro. En el caso de la actuación  $C1_{sim}$  cesa completamente el desprendimiento de vórtices y el flujo presenta dos burbujas estacionarias juntas al cilindro; el flujo en la estela es simétrico y su ancho se reduce en gran medida con respecto al caso sin actuación.

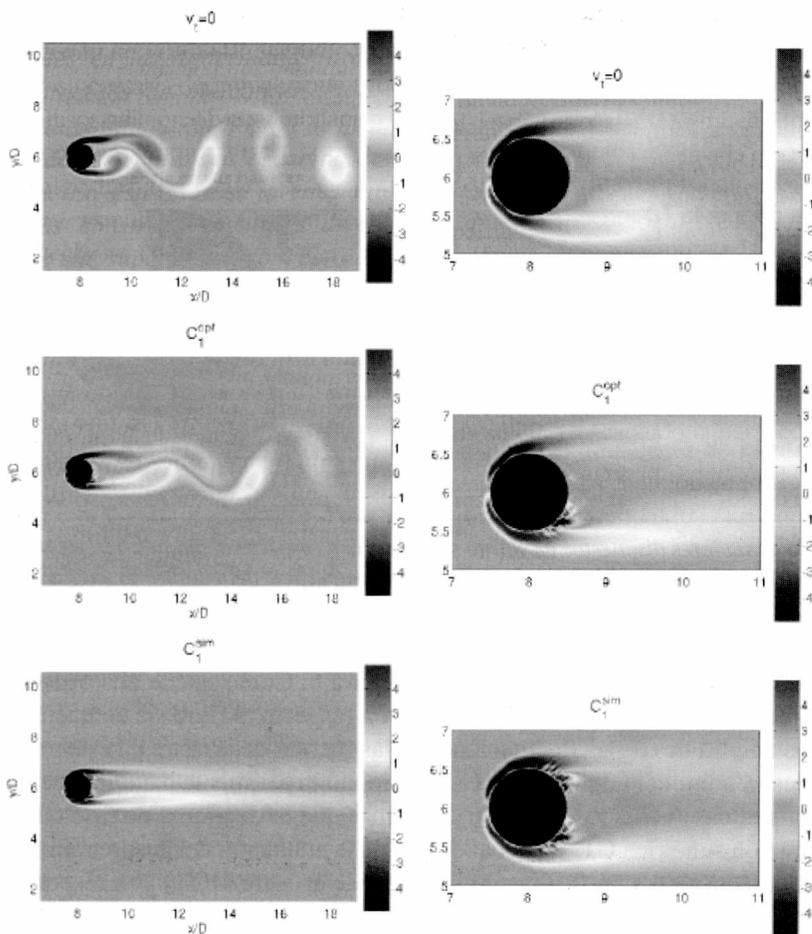


Figura 7: Campos de vorticidad para la solución completamente desarrollada (izquierda) y Promedio temporal de los campos de vorticidad en la estela cercana al cilindro (derecha) para el flujo sin actuación ( $v_t = 0$ ) y las configuraciones  $C1_{opt}$  y  $C1_{sim}$ .

#### 4. Conclusiones

En este trabajo hemos efectuado la implementación de un algoritmo genético (GA) a fin de estudiar la disminución de la fuerza de arrastre que se produce al controlar el campo de velocidades en la superficie del cilindro empleando una velocidad de deslizamiento localizada en algunas regiones sobre la frontera. En este contexto, hemos analizado el desempeño del GA proyectado para la optimización de cierto conjunto de parámetros de control (o vector representativo de un individuo de la población, cuyos elementos son la posición e intensidad de

la actuación) donde el objetivo reside en la minimización del promedio temporal del coeficiente de arrastre.

Los estudios realizados nos sugieren que la acción de control óptima a efectos de reducir la fuerza de arrastre se logra concentrando la actuación en un único punto de la superficie (en el caso de permitir una única dirección de actuación) muy cercano al punto de separación de la capa límite correspondiente al flujo no actuado. No obstante, por encima de una determinada intensidad de actuación (cuya amplitud encontramos en 2 veces la velocidad de la corriente libre) la característica relevante para lograr tal

objetivo consiste en la distribución de la actuación en las proximidades del punto de separación. En efecto, los actuadores aumentan su eficiencia corrigiendo la velocidad del flujo antes de alcanzar este punto procurando evitar un cambio abrupto del flujo a controlar. Estos resultados muestran que es factible lograr una reducción de las fuerzas aerodinámicas al permitir un mayor número de grados de libertad en los parámetros de control, y constituyen una evidencia de que el GA es capaz de identificar puntos críticos del flujo y comunicarlos a través de la distribución de los individuos de la población óptima.

#### Bibliografía

- Gad-el-Hak M 2000. *Flow Control: Passive, Active, and Reactive Flow Management* (Cambridge University Press, London, United Kingdom).
- Goldberg E E 1989 *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning* (Addison-Wesley, Reading, MA).
- Fan H Y 1998 Inverse design method of diffuser blades by genetic algorithms *J. Power Energy* 212, No. 4.
- Fanjoy D W and Crossley W A 1998 Aerodynamic shape design for rotor airfoils via genetic algorithm *J. Am. Helicopter Soc.* 43, No. 3.
- Simpson M T and Colin H H 1996 Use of genetic algorithms to optimize vibration actuator placement for active control of harmonic interior noise in a cylinder with floor structure *Noise Control Eng. J.* 44, 169.
- Shigeru O, Yoshihiro Y and Takashi N 1997 Multiobjective genetic algorithm for multidisciplinary design of transonic wing planform *J. Aircraft* 34, No. 5, 690.
- Milano M and Koumoutsakos P 2002 A Clustering Genetic Algorithm for cylinder drag optimization *J. Comput. Phys.* 175, 79-107.