

# ESTUDIO NUMÉRICO DE LAS CONDICIONES DE ESTABILIDAD DE ESTRUCTURAS BIDIMENSIONALES BAJO CARGA AERODINÁMICA

J. Fernández, E. Blanco, J. Fernández Oro, M. T. Stickland<sup>(1)</sup>, T. J. Scanlon<sup>(1)</sup>

*Universidad de Oviedo, E-mail: jff@correo.uniovi.es*

*<sup>(1)</sup>University of Strathclyde, E-mail: mstickland@mecheng.strath.ac.uk*

## Resumen

Se presenta un trabajo mediante análisis numérico de las condiciones de estabilidad de estructuras compuestas por catenarias de distintos diámetros cuando están sometidas a un viento cruzado. Para ello se realizaron cálculos numéricos (mediante el programa Fluent) del flujo alrededor de dichas estructuras. Tras introducir las fuerzas de sustentación calculadas en la ecuación del movimiento de los cilindros se dedujeron las condiciones de estabilidad del sistema.

**Palabras Clave:** galope, vibraciones, inestabilidades

## Abstract

An investigation on the stability conditions of the catenary wire system for a wide of wind relative direction is presented. The analysis was made with numerical methods by means of the Fluent software. The calculated lift forces were introduced in the equation of motion of the cylinders and stability conditions for the coupled system flow-structure were obtained.

**Keywords:** galloping, vibrations, instabilities

## 1. Introducción

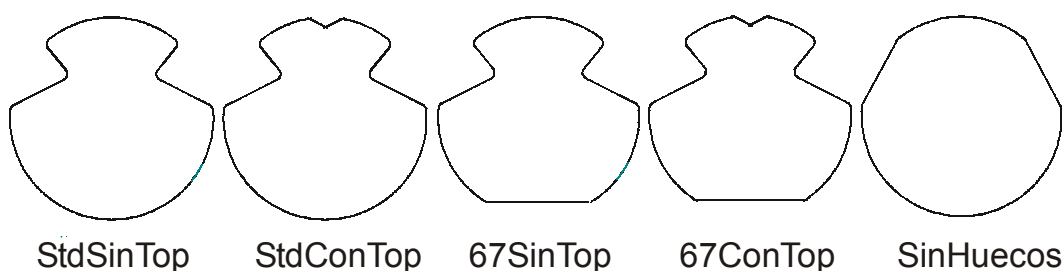
Las estructuras sumergidas en flujos sometidas a carga aerodinámica, en ocasiones, pueden desarrollar vibraciones de gran amplitud (Blevins [1], Naudascher y Rockwell [3]). Uno de los mecanismos de excitación más conocidos es el del desprendimiento de vórtices desde la estela de la estructura, que provoca sobre ésta una fuerza fluidodinámica a la frecuencia del desprendimiento. En respuesta a dicha excitación se produce una vibración forzada de la estructura, normalmente poco significativa a menos que haya resonancia con alguna de sus frecuencias propias. En otros casos sin embargo las vibraciones responden a un mecanismo de autoexcitación, es decir, es la propia oscilación de la estructura la que origina una fluctuación en el flujo tal que la fuerza sobre la estructura se modifica en el sentido de reforzar la oscilación. Esta realimentación hace que flujo y estructura se acoplen formando un sistema inestable, al que le corresponden oscilaciones transversales de ciclo límite y normalmente con amplitudes inaceptables para la seguridad de las instalaciones afectadas. A este tipo de vibraciones pertenecen por ejemplo el aleteo (flutter) de álabes y alas de avión, el galope (galloping) de cables

o la inestabilidad fluido-elástica de tubos de intercambiadores de calor de flujo cruzado. Este artículo nace de un trabajo realizado por la University of Strathclyde de Glasgow (Stickland y Scanlon [5]) para la red ferroviaria británica en Gales (Glasgow) y en Dunbar (Edinburgh), donde se había observado que altas velocidades del viento inducían en las catenarias oscilaciones de gran amplitud. Un análisis, realizado por video, demostró que estas oscilaciones se originaban por el fenómeno de galope (galloping), causado por la actuación de fuerzas no estacionarias sobre un objeto generando, debido a su forma, fuerzas asimétricas de sustentación y arrastre. En este trabajo se presenta un estudio numérico de las condiciones de estabilidad de varios modelos de catenaria usados en dicha red ferroviaria.

## 2. Modelos estudiados

Los tipos de perfiles estudiados son cinco:

- StdSinTop: se le denomina el modelo estándar. Es redondeado por abajo y por arriba, con dos huecos laterales (uno por cada lado).
- StdConTop: igual que el anterior pero con un entrante en la parte superior.
- 67SinTop: la parte inferior es plana y mide 67 mm, siendo el resto igual al StdSinTop.
- 67ConTop: igual que el anterior pero con un entrante en la zona superior.
- SinHuecos: es redondeado por la parte de arriba y por la de abajo. A diferencia del “StdSinTop” no posee huecos en los laterales.



**Figura 1:** Tipos de catenarias

El radio principal de los modelos ensayados es de 6.7 mm con una sección que oscila entre  $80 \text{ mm}^2$  y  $170 \text{ mm}^2$ .

### 3. Carga fluidodinámica

Matemáticamente es posible determinar si un objeto está afectado por una inestabilidad unidimensional de galloping a partir del criterio Den Hartog. Simiu [4] deriva la ecuación del movimiento unidimensional para un viento estacionario:

$$m \left( \ddot{L} + 2 \delta \omega \dot{L} + \omega^2 L \right) = - \frac{1}{2} \rho D U^2 \left( \frac{d C_L}{d \alpha} \right)_{(\alpha=0)} \frac{\dot{L}}{U} \delta \quad (1)$$

siendo el miembro derecho la contribución aerodinámica al amortiguamiento del sistema. Reordenando la ecuación se obtiene el coeficiente de amortiguamiento neto:

$$d = 2 m \delta \omega + \frac{1}{2} \rho D U \left( \frac{d C_L}{d \alpha} \right)_{(\alpha=0)} \quad (2)$$

Normalmente es positivo, lo que representa una oscilación de amplitud decreciente a lo largo del tiempo, con lo que el sistema será estable. Si dicho término es negativo se producirá una amplificación de las oscilaciones y el sistema será inestable. Ya que el coeficiente de amortiguamiento mecánico  $\delta$  normalmente es positivo, el sistema no entrará en galloping a menos que:

$$\left( \frac{d C_L}{d \alpha} \right)_{(\alpha=0)} < 0 \quad (3)$$

el cual es llamado criterio de Glauert - Den Hartog. Más información acerca de las cargas fluidodinámicas se tiene en Goyder [2].

### 4. Simulación numérica

Dado que en este tipo de estructuras la influencia de la capa límite es decisiva en los resultados que se obtienen, en la zona próxima a la catenaria se ha utilizado un mallado estructurado y en la zona exterior uno no estructurado, siendo más basto cuanto mas alejado de la catenaria se está.

Para que el programa de simulación realice lo más aproximado posible los cálculos en la capa límite el mallado se va refinando a medida que se acerca a la superficie de la catenaria. El modelo utilizado ha sido el k-épsilon con función de pared two layer model. El

uso de este modelo en la pared exige que el mallado cumpla un requisito, que el valor de la ecuación

$$y^+ = \frac{y(\tau_w / \rho)^{1/2}}{(\mu / \rho)} \quad (4)$$

sea inferior a 5. El coeficiente de rugosidad usado ha sido de 0.5 con una rugosidad de 0.05 mm.

## 5. Resultados y discusión

Las simulaciones se han realizado variando el ángulo de ataque entre  $-13^\circ$  y  $20^\circ$  para velocidades de viento de 12, 14, 16 y 18 m/s.

En la figura 2 se tiene el caso para 14 m/s. Se observa que el perfil más inestable para ángulos de ataque inferiores a cero es el “StdSinTop”, aunque para ángulos por encima de cero el perfil “StdConTop” muestra

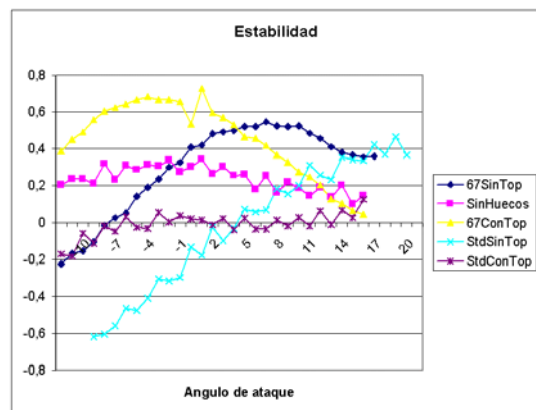
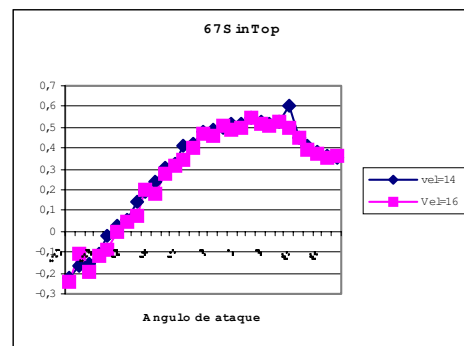
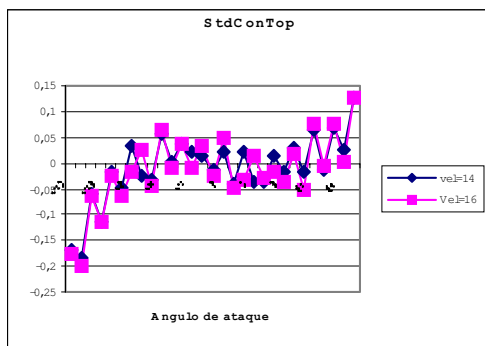
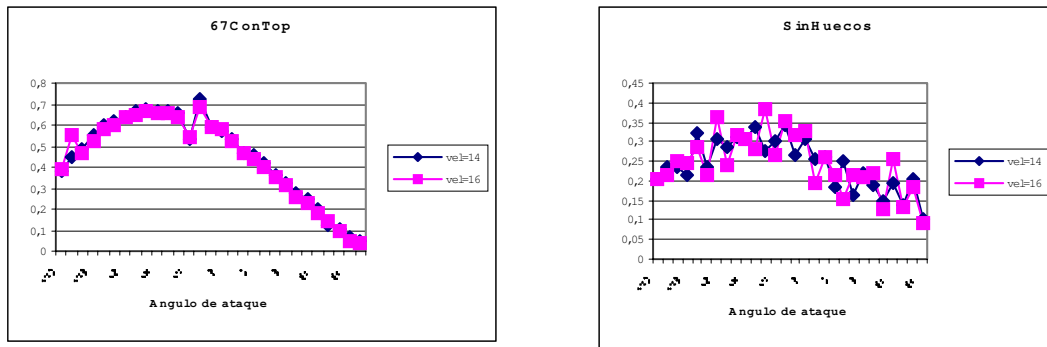


Figura 2: Rangos de estabilidad de las estructuras para 14 m/s

una mayor inestabilidad. Lo mismo ocurre para el caso “67SinTop” que va a ser más inestable en ángulos por debajo de cero respecto al perfil “67ConTop”, y, sin embargo, es más estable para ángulos superiores a cero. Esto indica que aquellos perfiles que tienen un entrante en la parte superior pierden estabilidad respecto a aquellos perfiles que no tienen entrante para ángulos de ataque positivos, ganando estabilidad para ángulos negativos. En cuanto al perfil “SinHuecos”, mantiene su estabilidad dentro de todo el rango de ángulos analizados.

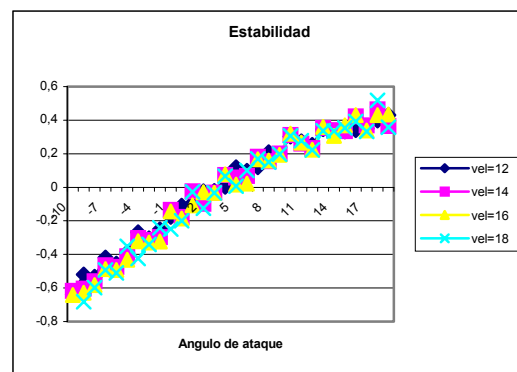




**Figura 3:** Comparación de la estabilidad para 14 y 16 m/s

En el modelo StdConTop, figura 3, para 16 m/s la pérdida de la estabilidad se inicia por debajo de  $-6^\circ$ , mientras que para 14 m/s comienza en  $-8^\circ$  aproximadamente. En ambos casos, para el resto de los ángulos de ataque, aparecen pequeñas zonas donde los sistemas pueden alcanzar la inestabilidad, siendo más pronunciada para 16 m/s. En el modelo 67SinTop la inestabilidad para 16 m/s se presenta para ángulos de ataque por debajo de  $-7^\circ$  mientras que para 14 m/s ocurre por debajo de  $-9^\circ$ . En el modelo 67ConTop ambas líneas casi se confunden y siempre son estables. Ambas curvas presentan para un ángulo de ataque de  $-1^\circ$  un pico y tienden a la inestabilidad a medida que aumenta el ángulo de ataque. En el modelo SinHuecos los dos sistemas son estables. Ambas curvas siguen el mismo recorrido, aunque en el caso de 16 m/s se encuentran mayores picos.

En la figura 4, para el modelo StdSinTop, se observan, para cuatro velocidades del viento, curvas muy parecidas. Para 18 m/s el sistema presenta una mayor inestabilidad en valores del ángulo de ataque negativos, aunque es para 12 m/s donde el rango de inestabilidad es mayor.



**Figura 4:** Comparación de la estabilidad para 12, 14, 16 y 18 m/s, modelo StdSinTop

De acuerdo con los resultados obtenidos, el perfil más estable es el SinHuecos. En los perfiles sin entrante en la parte superior, StdSinTop y 67SinTop, la inestabilidad es mayor que aquellos que lo tienen, StdConTop y 67ConTop, aunque en estos los coeficientes de arrastre y de sustentación son mayores, lo que producirá mayor resistencia y mayores cargas en los cables. En el caso 67SinTop el coeficiente de sustentación es negativo para algunos ángulos de ataque, con lo cual la catenaria se sustentaría por la acción del viento.

## **6. Conclusiones**

Se ha realizado un análisis de las condiciones de estabilidad de una estructura compuesta por catenarias de distintos diámetros y secciones y sujetas a un flujo transversal de dirección variable, obteniéndose la variación de las fuerzas de sustentación respecto a la dirección del viento, que es el principal parámetro determinante de las condiciones de estabilidad del sistema. Las predicciones indican que, con ciertos ángulos de incidencia del viento, las estructuras pueden resultar inestables.

## **Agradecimientos**

Los autores agradecen la financiación recibida de la Dirección General de Investigación del Ministerio de Ciencia y Tecnología a través del proyecto DPI2000-0686.

## **Referencias**

- [1] Blevins, R.B. (1990) "Flow-Induced Vibration" (2ª ed.), Van Nostrand Reinhold, New York.
- [2] Goyder, H.G.D. (1997) "Vortex Induced Vibration of Chemical Plant Towers", ASME publication AD-53-1 Fluid-Structure Interactions, Aeroelasticity, Flow-Induced Vibration and Noise (eds.: M.P. Paidoussis et al.), vol. I, pp 113-120, ASME, New York.
- [3] Naudascher, E.; Rockwell, D. (1993) "Flow-Induced Vibrations: an Engineering Guide", A.A. Balkema, Rotterdam.
- [4] Simiu; Scanlon T. "Wind Effects on Structures", Wiley Interscience, 1996, ISBN 0-471-12157-6.
- [5] Stickland, M.; Scanlon T., "An Investigation Into The Aerodynamic Characteristics of Catenary Contact Wires in a Cross-Wind". Proceedings of the IMechE, Part F, Journal of Rail and Rapid Transport, vol 215 No. 4 pp 311-319 ISSN 0954-4097