

## Introducción

La excitación por vórtices es un fenómeno producido por el viento en estructuras flexibles como los puentes soportados por cables. También ha ocurrido en puentes de vigas o en arcos. Puede ocurrir tanto en la fase constructiva como con el puente finalizado. Se sabe que un cuerpo no aerodinámico expuesto al viento forma en su estela una serie de vórtices alternativos a una determinada frecuencia, lo que depende del número de Reynolds.

Estos vórtices introducen fuerzas transversales con la misma frecuencia y en el caso de estructuras esbeltas y flexibles, con pequeño amortiguamiento aparecen vibraciones que pueden ser inaceptables.

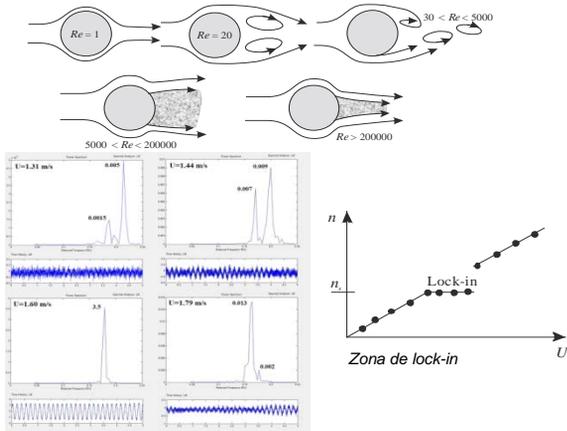
Se realizan ensayos en el túnel de viento del CITEEC con un modelo seccional de un tablero de dos cajones gemelos, similar al del puente atirantado de Stonecutters. El tablero de este puente es muy propenso a la excitación por vórtices, lo que se comprueba en los ensayos realizados.

## Ensayos del modelo



Modelo seccional de tablero con cajones gemelos

El modelo a escala 1/80, se soporta con barras de aluminio directamente conectadas a las células de carga. Se miden las fuerzas verticales a lo largo del tiempo y se aplica la transformada de Fourier para determinar las frecuencias a las que aparecen los mayores valores de fuerza, que corresponden con las provocadas por las fuerzas alternantes que introducen los vórtices y con las debidas a la oscilación a la frecuencia natural del modelo. Ambos picos de fuerza aumentan con la velocidad de viento. En la situación de lock-in se superponen y aparecen las fuerzas de mayor amplitud.



Transformada de Fourier del histograma de fuerzas verticales

Las gráficas de los histogramas de fuerzas y las correspondientes transformadas de Fourier para diferentes velocidades de viento. Para esta sección aparecen dos zonas de lock-in con valores del número de Strouhal alrededor de 0.14 y 0.2 que coinciden con resultados obtenidos por Larouse en 2003.

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por las siguientes entidades: Ministerio de Economía y Competitividad (MINECO) del Gobierno de España con el Proyecto BIA2010-19989. Xunta de Galicia incluyendo fondos FEDER con la referencia GRC2013-056. Algunas de las tareas de preparación del modelo seccional fueron realizadas por el personal del CITEEC.

## Autores

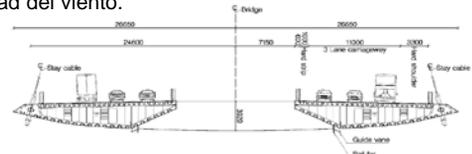
J. A. Jurado Albarracín (UDC) F. Nieto Mouronte (UDC)  
R. Sánchez (UDC) I. Kusano (UDC)  
S. Hernández Ibáñez (UDC)



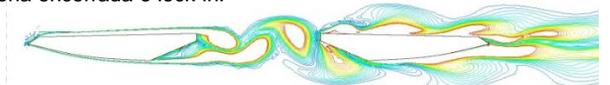
## Resultados

La separación de la capa límite alrededor del cuerpo inmerso en el flujo de aire es la clave para explicar su comportamiento. Cuando el cuerpo tiene formas con gran curvatura, como es el caso de un cilindro, el punto de separación de la capa límite depende del número de Reynolds.

En ingeniería civil las estructuras suelen tener formas angulosas que provocan que el punto de separación siempre sea más o menos fijo, sin cambiar demasiado respecto al número de Reynolds. Sin embargo, muchos tableros de puentes tienen contornos curvos con un comportamiento cambiante en función de la velocidad del viento.



El número de Strouhal es otro parámetro importante a tener en cuenta en la excitación por vórtices ya que es la frecuencia adimensionalizada con la que se forman los vórtices alternativos en la estela del cuerpo. Relacionando este valor con las frecuencias naturales de vibración de la estructura, es posible determinar si se producirán vibraciones peligrosas en la misma. En la zona que se produce acoplamiento entre la frecuencia de los vórtices y la vibración de la estructura aparecen las oscilaciones de mayor amplitud. En esa zona al aumentar la velocidad de viento no aumenta la frecuencia de los vórtices por lo que se llama zona encerrada o lock-in.



Flujo de aire alrededor del tablero de cajones gemelos del puente de Stonecutters

Otros factores que influyen en la excitación de un puente por vórtices es el amortiguamiento estructural, a mayor amortiguamiento menos probabilidad de que la estructura vibre, y la existencia de cuerpos cercanos que generen vórtices a su estela. Estos cuerpos hacen que el flujo de aire incidente en la sección de la estructura ya contenga vórtices y por tanto introduzca fuerzas transversales alternantes.