

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVO DEL PROYECTO.

1.1 Antecedentes.

Los puentes colgantes forman parte de la historia de la humanidad desde hace siglos. Sin embargo, el concepto moderno de puente colgante arranca en el siglo XIX, durante la revolución industrial, gracias al ingenio de pioneros como Finley, Brown, Telford, Brunel, Roebling o Ellet.

El tiempo transcurrido ha sido suficiente para que esta tipología estructural presente cicatrices importantes, como los colapsos de los puentes de Brighton en 1836, del estrecho de Menai en 1839, de Wheeling en 1854 y el más conocido del puente sobre el estrecho de Tacoma en 1940. Todos los accidentes mencionados tienen un origen común: la acción del viento (acción más desfavorable en el diseño), que no pudo ser adecuadamente resistida por la estructura. El nivel científico y tecnológico que la ingeniería civil ha alcanzado permite en la actualidad garantizar la seguridad de este tipo de estructuras frente a las acciones ambientales, lo que es síntoma de un entendimiento profundo, que no total, de los fenómenos que entran en juego en estas estructuras.

La destrucción del puente sobre el estrecho de Tacoma dio lugar a un período de intensa actividad investigadora que representó el inicio de la aeroelasticidad en la ingeniería civil. Es ésta la disciplina que estudia el comportamiento de un cuerpo deformable inmerso en un medio fluido en movimiento y la relación entre las fuerzas que ejerce el fluido y la deformación del cuerpo. Uno de los fenómenos aerolásticos más peligrosos, debido a lo catastrófico de sus efectos, es el flameo o flutter, en inglés. Consiste en la aparición de oscilaciones de amplitud creciente en el tablero del puente a partir de una cierta velocidad crítica de viento. Estos movimientos conducen finalmente al colapso de la estructura. Las técnicas que permiten estudiar el flameo de un puente son variadas y en la actualidad están en pleno proceso de maduración, lo que pone de manifiesto la juventud de esta rama de la ciencia.

Como consecuencia de las mejoras introducidas con el desarrollo de la ciencia de la aeroelasticidad desde los años 60 del siglo XX, los grandes puentes colgantes y atirantados salvan vanos cada vez mayores. Esto se debe en gran medida a los avances en los métodos de cálculo y a la incorporación de técnicas innovadoras como los tableros de sección aerodinámica. La situación actual presenta un panorama más que prometedor. A continuación se muestra la clasificación de los cinco puentes colgantes con mayores luces que existen actualmente en el mundo:

1. *Akashi Kaikyō*, (entre Kobe y Naruto Japón, 1998) con 1991m.
2. *Great Belt Bridge*, (entre Zealand y Funen Dinamarca, 1998) con 1624m.
3. *Runyang Bridge*, (Jiangsu China, 2005) con 1490m.
4. *Humber Bridge*, (Kingston Inglaterra, 1981) con 1410m.
5. *Jangyn*, (Río Yangtze China, 1999) con 1385m



Figura 1.1.1 Puente *Akashi Kaikyō* (Japón), con el vano más largo del mundo.

Pero el futuro próximo propone luces todavía mayores, como el puente sobre el estrecho de Messina, Italia, con 3300 m de vano central y un tablero formado por tres cajones aerodinámicos, el enlace de las Rías Altas, para el que se han propuesto dos puentes colgantes de 2016 m y 2198 m, o el enlace en el estrecho de Tsugaru en Japón, en el que se ha propuesto un puente colgante continuo de dos vanos principales de 4000 m y vanos laterales de 2000 m.

En el momento actual, la ingeniería de estructuras es capaz de plantear propuestas tan ambiciosas como las que se acaban de indicar, garantizando por supuesto su seguridad estructural. Sin embargo hasta la fecha estos grandes puentes vienen siendo proyectados empleando técnicas de diseño convencionales basadas en reglas heurísticas que desembocan en un laborioso y poco efectivo proceso de prueba y error. Para que estas

hermosas y a la vez complejas estructuras alcancen el máximo esplendor que esta tipología permite, es necesario alcanzar la madurez en los procesos de diseño.



Figura 1.1.2 Imagen virtual del futuro puente sobre el estrecho de Messina (Italia).

1.2 Objetivo del proyecto.

En este proyecto fin de carrera se pretende realizar un estudio sobre la inestabilidad aerodinámica del flameo en puentes de grandes luces. Esto se llevará a cabo mediante un estudio basado en una estructura fija y flujo estacionario, para el análisis fluidodinámico se ha utilizado el software *CFX Ansys* y para el estudio estructural el programa de elementos finitos *Straus7*.

Para llevar a cabo la aplicación práctica se ha elegido el puente del Great-Belt, situado en Dinamarca, terminado en el 1998, y formado por un vano central de 1624 m y dos vanos laterales de 535 m cada uno.

1.3 Organización de la memoria.

El *capítulo 2* del presente documento se dedica a la descripción de los fenómenos aerolásticos, y particularmente, del flameo en puentes de gran vano. Así, se define el concepto de aeroelasticidad y se describen los fenómenos aerolásticos más significativos en ingeniería civil. Además se repasan las metodologías existentes en la actualidad para el estudio de los diversos fenómenos asociados a las acciones del viento sobre las estructuras. Por tanto se pasa revista a los métodos experimentales, a los basados en la mecánica de fluidos computacional y a la metodología híbrida, poniendo de manifiesto

las capacidades de cada uno de ellos e indicando en ciertos casos las ventajas e inconvenientes asociados a algunas de las técnicas comentadas. Además se formula con detalle la obtención de la velocidad de flameo y la frecuencia reducida en puentes de gran vano.

En el *capítulo 3* se presentan las distintas mallas utilizadas para la simulación fluidodinámica de la sección del puente (2D) frente al viento, se detallarán las características de cada una de las mallas y los resultados obtenidos. También se explicará el procedimiento de realización de las mallas con el módulo de *Ansys ICEM CFD 11.0* indicando una especial atención a la modelización del estrato límite, ya que éste es un aspecto crucial para una correcta simulación del problema.

El *capítulo 4* se dedicará a la simulación fluidodinámica en *Ansys CFX*, explicando los parámetros utilizados en la simulación y los resultados obtenidos en la misma. Se presentarán las visualizaciones de los resultados a través de gráficos de contornos de presiones y de velocidades. Como resultado de esto podemos obtener los gráficos de los coeficientes aerodinámicos en función de los ángulos de ataque del viento.

En el *capítulo 5* se realizará una previsión de la velocidad crítica de flameo para el problema simplificado de 2 g.d.l.

En el *capítulo 6* se obtendrá la respuesta tridimensional aerolástica del puente colgante del Great-Belt. Se explicarán las características del modelo tridimensional simplificado de elementos finitos del puente y se hará un estudio de las frecuencias y modos naturales de vibración que caracterizan el comportamiento dinámico del puente. Debido a que en la búsqueda de información técnica del puente del Great-Belt no se han encontrado los datos relativos a las pretensiones de los tirantes y a la masa no estructural añadida en el cálculo, se ha llevado a cabo un estudio para estimar dichos valores, de forma que el comportamiento dinámico del puente sea lo más similar posible al real.

Finalmente en el *capítulo 7* se presentarán las conclusiones de este proyecto, así como los aspectos más relevantes que se han encontrado a lo largo del estudio.