



## Una metodología de cálculo para la determinación de la respuesta dinámica longitudinal de estructuras altas bajo la acción del viento



H.G. Castro<sup>a,\*</sup>, M.E. De Bortoli<sup>b</sup>, R.R. Paz<sup>c</sup> y J.O. Marighetti<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Grupo de Investigación en Mecánica de Fluidos (GIMEF), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Universidad Tecnológica Nacional (UTN), Facultad Regional Resistencia, (H3500CHJ) Chaco, Argentina

<sup>b</sup> Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Nordeste (UNNE), Resistencia Chaco, Argentina

<sup>c</sup> Livermore Software Technology Corporation (LSTC), USA, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina

### INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

#### Historia del artículo:

Recibido el 15 de abril de 2014  
Aceptado el 25 de agosto de 2014  
On-line el 25 de febrero de 2015

#### Palabras clave:

Respuesta dinámica longitudinal  
Estructuras altas  
Acción del viento  
Turbulencia

#### Keywords:

Dynamic alongwind response  
Tall buildings  
Wind effects  
Turbulence

### R E S U M E N

La optimización de los métodos de cálculo, junto al avance de la tecnología en la construcción de estructuras civiles, permiten actualmente diseñar y construir estructuras cada vez más livianas, de baja rigidez y amortiguamiento, transformándolas en elementos altamente sensibles a los efectos dinámicos inducidos por la acción del viento. El objetivo de este trabajo es el de describir y aplicar una metodología sencilla de cálculo que permita la determinación de la respuesta dinámica longitudinal en el dominio del tiempo de estructuras altas sometidas a la acción del viento. El campo de velocidad de viento se reproduce mediante series de velocidad que incluyen la función de coherencia, para luego transformarlas en fuerzas nodales fluctuantes utilizando el modelo de carga cuasi-estático. Para incluir el efecto de promediado imperfecto asociado a los nodos discretizados, se incorpora además la función de admitancia aerodinámica.

Mediante la metodología propuesta se analizan dos estructuras ampliamente estudiadas por otros autores, las cuales consisten en una torre de acero y el CAARC Standard Tall Building. Los resultados así obtenidos presentan concordancia con los reportados por la bibliografía de referencia.

© 2015 CIMNE (Universitat Politècnica de Catalunya). Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

### A calculation methodology for the determination of the dynamic alongwind response of tall structures under wind action

#### A B S T R A C T

The optimization of computing methods along with the advance of construction technology of civil structures, allow nowadays to design and build lighter and low stiffness and damping structures, turning them into elements of high sensitivity against wind-induced dynamic effects. The purpose of this work is to describe and to apply a simple calculation methodology that enables the determination of the longitudinal dynamic response of tall buildings in time domain. The wind velocity field is reproduced by velocity series that incorporate the coherence function which then are transformed into fluctuating nodal forces using the quasi-static loading model. Furthermore, to include the effect of imperfect averaging associated with the discretized nodes, the aerodynamic admittance function is added.

Through the proposed methodology two structures widely studied by other authors are analyzed: a steel tower and the CAARC Standard Tall Building. The results thus obtained show agreement with those reported in the literature.

© 2015 CIMNE (Universitat Politècnica de Catalunya). Published by Elsevier España, S.L.U. All rights reserved.

\* Autor para correspondencia.

Correos electrónicos: [castrohgui@gmail.com](mailto:castrohgui@gmail.com) (H.G. Castro), [rodrigo.r.paz@gmail.com](mailto:rodrigo.r.paz@gmail.com) (R.R. Paz).

## 1. Introducción

La estimación de la respuesta dinámica estructural a la acción del viento es uno de los principales tópicos de investigación en el área de la Ingeniería de Viento. Desde 1961, cuando Alan Davenport [1] formuló un modelo matemático utilizando herramientas estadísticas para determinar la respuesta de una estructura sometida a las ráfagas aleatorias del viento, se han desarrollado y aplicado diversos métodos analíticos, generalmente basados en tres metodologías diferentes: el análisis estático equivalente, el análisis en el dominio de la frecuencia y el análisis en el dominio del tiempo. Estos procedimientos analíticos son efectivos cuando se aplican a estructuras altas de geometrías regulares y expuestas a viento de fondo homogéneo y estacionario. Cuando la forma de la estructura no es convencional o está expuesta a efectos de interferencia con construcciones próximas de dimensiones similares, las distorsiones provocadas en el campo de velocidades de viento incidente no son adecuadamente incorporadas en los procedimientos teóricos mencionados, obteniéndose resultados poco confiables. En estos casos, es mandatorio realizar un estudio mediante ensayos en túnel de viento con modelos reducidos [2] o bien utilizando modelos numéricos complejos [3].

El método más difundido para determinar la respuesta de la estructura a la acción de las ráfagas de viento es la «Técnica del Factor de Ráfaga» [4–10]. Esta metodología simplifica el análisis a una representación de fuerzas estáticas equivalentes que actúan sobre la estructura, sin embargo, no es posible realizar estudios dinámicos más detallados. El análisis en el dominio de la frecuencia permite descomponer la respuesta de acuerdo a los modos de vibración de la estructura y vincularla con las variaciones temporales de la excitación, metodología de cálculo muy utilizada en la investigación [11]. No obstante, este procedimiento se encuentra limitado al rango de comportamiento estructural lineal. En este aspecto, la respuesta estructural obtenida en el dominio del tiempo permite analizar exhaustivamente el fenómeno y amplía su aplicación a respuestas estructurales no lineales.

Parte de la complejidad del análisis radica en la característica aleatoria de la respuesta estructural, la cual se debe a la naturaleza intrínseca de la acción del viento. Así, comúnmente la velocidad del viento es idealizada como la suma de dos contribuciones: una componente media, admitida como invariante durante un intervalo de tiempo de longitud conveniente, y una componente fluctuante, generada por la turbulencia del viento y modelada, generalmente, como un proceso estacionario gaussiano [12].

En este trabajo se presenta una metodología de cálculo para la determinación de la respuesta dinámica longitudinal de estructuras altas bajo la acción del viento en la capa límite atmosférica. La misma consiste en reproducir numéricamente el campo de velocidades del viento incidente, para posteriormente transformarlo en fuerzas nodales fluctuantes utilizando el modelo de carga cuasi-estático [13]. El campo de velocidades de viento es simulado considerando la estructura aislada y suponiendo que el viento incidente se desarrolla sobre obstáculos superficiales que no superan una altura media de 10 metros, escurrimiento medio estacionario y dirección media horizontal. El cálculo de la respuesta dinámica longitudinal se realiza en el dominio del tiempo mediante la aplicación del método de los elementos finitos.

Para calibrar el procedimiento propuesto, se analiza una torre de acero estudiada previamente en distintos trabajos [11,14–16]. Para la correcta reproducción del campo de velocidades se incluyó la función de coherencia, que pondera la región de influencia espacial de los torbellinos que actúan en cada nodo de la estructura discretizada. Luego se transforma el viento incidente en cargas aerodinámicas cuasi-estáticas mediante la incorporación de la función de admitancia aerodinámica. Una vez calibrado el método se reproduce numéricamente la respuesta del «CAARC Standard

Tall Building», modelo intensamente analizado y utilizado como elemento de calibración de técnicas experimentales en túneles de viento. Los resultados obtenidos concuerdan satisfactoriamente con los reportados por la bibliografía de referencia, notándose una relativa dispersión al aumentar las fluctuaciones en el viento incidente.

## 2. Dinámica de estructuras altas bajo la acción del viento

El escurrimiento de un fluido turbulento sobre un cuerpo genera presiones superficiales dependientes del tiempo. Este es el caso de estructuras ubicadas en la capa límite atmosférica, donde la variación de las velocidades del viento en magnitud y dirección generan cargas dinámicas. Así, la respuesta estructural a la carga dinámica, esto es, las deformaciones y tensiones son dependientes del tiempo. Si la estructura en cuestión se deforma significativamente por la acción de las fuerzas provocadas por el viento, estas deformaciones cambian las condiciones iniciales de contorno para el flujo, modificando las fuerzas aerodinámicas que el fluido ejerce sobre el obstáculo, lo que a su vez afecta a las deformaciones del cuerpo. La interacción entre el movimiento de la estructura y el fluido circundante es el objeto de la disciplina denominada «aeroelasticidad». Desde un punto de vista estructural es de interés analizar cuando la deformación de la estructura modifica la configuración del flujo incidente, de forma que las fuerzas aerodinámicas tienden a seguir aumentando aún más la deformación del cuerpo, dando origen al fenómeno conocido como «inestabilidad aerolástica».

A pesar de que el cálculo de la respuesta dinámica estructural bajo cargas aerodinámicas variables en el tiempo es complejo, existen recomendaciones en normas y reglamentos que permiten su determinación. Estas están elaboradas sobre un conjunto de hipótesis simplificativas que comprenden a estructuras de formas simples, facilitando el proceso de cálculo. En este sentido, en la evaluación de la respuesta dinámica se considera que existe un único modo de vibración y que la respuesta estructural puede separarse en dos componentes: la llamada respuesta de fondo (o cuasi-estática) y la respuesta en resonancia.

En la figura 1 se observa la densidad espectral de la respuesta dinámica de una estructura a la carga provocada por el viento, excluyendo la respuesta media, donde el área bajo la curva completa representa el valor cuadrado medio de la respuesta fluctuante. La respuesta dinámica al viento incidente, sin participación estructural, es generada principalmente por fluctuaciones del viento de baja frecuencia. Para estructuras que posean una altura o profundidad mayor que su ancho y con frecuencia natural baja, los aportes de las respuestas en resonancia son más significativas y pueden eventualmente amplificar y comandar el fenómeno de interacción fluido-estructura.

Usualmente la respuesta de estructuras civiles se corresponde con la figura (1b) y no experimentan una respuesta dinámica significativa. Las fluctuaciones de velocidades o ráfagas, debido a la turbulencia atmosférica, poseen alto contenido de energía en el rango de frecuencias entre 0,01-1 Hz, excitando dinámicamente a un grupo limitado de edificios con bajo amortiguamiento estructural y frecuencia natural aproximadamente inferior a 1 Hz.

La respuesta en resonancia no depende exclusivamente de la frecuencia natural de la estructura, resulta de una combinación de valores que incluyen el amortiguamiento estructural y el amortiguamiento aerodinámico entre los más relevantes al referir a estructuras civiles. Así, las líneas de transmisión de alto voltaje poseen usualmente frecuencias de oscilación menores a 1 Hz, sin embargo el amortiguamiento aerodinámico es muy alto (generalmente 25% del crítico), generando una respuesta dinámica amortiguada [18]. En otros casos, un estado de carga variable en el tiempo no necesariamente debe provocar riesgos en la integridad estructural; puede causar efectos que tienen consecuencias sobre

Download English Version:

<https://daneshyari.com/en/article/1702528>

Download Persian Version:

<https://daneshyari.com/article/1702528>

[Daneshyari.com](https://daneshyari.com)