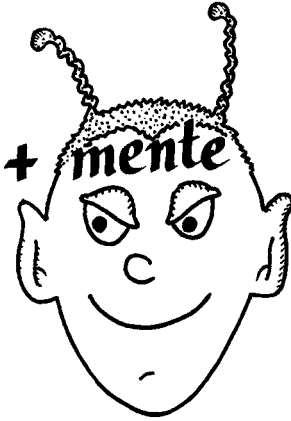


139

*Simple + mente
física*



Chimenea con aletas helicoidales

(23 - 27 noviembre 2009)

¿Cuál es el propósito de las aletas helicoidales que "adornan" algunas chimeneas metálicas?



AVISO: El objeto de *Simple+mente física* no va más allá del placer que proporciona plantearse y resolver sencillas cuestiones razonando (y experimentando) de acuerdo con principios básicos de la física. No hay ningún tipo de compensación, excepto la satisfacción personal, y no van dirigidas a ningún grupo de personas en particular (es decir, están abiertas a todo el mundo).

El primer día hábil de cada semana se presentará (al menos, se intentará) una nueva cuestión y la respuesta a la cuestión de la semana anterior.

Rafael García Molina, Departamento de Física - CIOyN, Universidad de Murcia (rgm@um.es)

<http://bohr.inf.um.es/miembros/rgm/s+mf/>

Resp.: Cuando un fluido incide sobre un obstáculo suelen producirse vórtices¹ detrás de éste; este fenómeno también ocurre cuando el obstáculo se mueve en el seno del fluido. La formación de remolinos tras el obstáculo tiene lugar cuando el flujo es turbulento. Para cuantificar la naturaleza del flujo (laminar o turbulento) se emplea el número de Reynolds, $Re = \rho v D / \eta$, donde ρ y η representan la densidad y la viscosidad del fluido, D es una dimensión característica perpendicular al movimiento del fluido, cuya velocidad relativa respecto al obstáculo es v ; el flujo es turbulento para valores grandes (~ 3000) de Re .



La figura adjunta representa la sección de una chimenea sobre la que sopla viento; los vórtices que se forman detrás de la chimenea son arrastrados por el aire y se van desprendiendo alternativamente a un lado y otro de la dirección del flujo. La forma que adoptan los vórtices tras el obstáculo se denomina "calle de vórtices de von Karman".

Debido a la conservación del momento lineal, cada vez que se desprende un vórtice, la chimenea recibe un impulso perpendicular a la dirección del viento, hacia el lado opuesto al que se desprende el vórtice. De este modo, la chimenea se dobla (ligeramente) hacia un lado y luego hacia otro, cada vez que se desprende un vórtice.

La frecuencia f con la que se desprenden los vórtices vale aproximadamente $f = 0.2 v / D$. Si f coincide con la frecuencia propia de vibración de la chimenea, se produce el fenómeno de la resonancia y el consiguiente aumento de amplitud de las oscilaciones de la chimenea puede dar lugar a que esta estructura se rompa. Esto puede ocurrir fácilmente con chimeneas ligeras, construidas con tubo metálico.

Desde principio de la década de 1960 se utilizan las cintas helicoidales enrolladas por el exterior de las chimeneas para suprimir las vibraciones que inducen los vórtices que se generan a sotavento. Esta cinta modifica el flujo de aire alrededor de la chimenea de tal manera que se reducen (e, incluso, se eliminan) los efectos de las oscilaciones que produciría la separación de los vórtices. La geometría óptima para la mayoría de chimeneas frente al viento consta de tres cintas helicoidales equiespaciadas alrededor de la circunferencia, tal como se muestra en la figura adjunta.



Cintas helicoidales similares a las que se emplean con las chimeneas también se usan para evitar o reducir la formación de vórtices en estructuras submarinas.



Los vórtices que genera el viento detrás de las estructuras pueden dar lugar a catástrofes como el colapso del puente de Tacoma Narrows,² que no se debió a la resonancia inducida directamente por el viento (para lo cual éste debería tener cierta periodicidad temporal y actuar sobre una sección mucho mayor que la sección lateral que ofrece el borde de un puente), sino a las oscilaciones inducidas por la separación de los vórtices.

¹ También denominados remolinos o torbellinos.

² <http://www.youtube.com/watch?v=SzObC64E2Ag>

[D. J. Barber & R. Loudon, *An introduction to the properties of condensed matter* (Cambridge University Press, Cambridge, 1989) p.236-238 fig. 5.25]

La transición entre el régimen laminar y el turbulento es importante en el caso de chimeneas de sección cilíndrica cuando soplan grandes vientos.

Cuando estas estructuras presentan grandes áreas de resistencia a los vientos, pueden aparecer flujos turbulentos incluso a velocidades moderadas. En estos casos los remolinos de vórtices que se originan detrás de la chimenea se rompen a sotavento lejos del cilindro, para números de Reynolds del orden de 100 (atención, tengo correcciones a lápiz en un factor 10 mayor para los valores del número de Reynolds).

Los vórtices se desprenden alternadamente, girando en sentido horario uno y en sentido antihorario el otro. Cuando se separa cada vórtice, la chimenea recibe un impulso lateral, de manera que tiende a doblarse primero hacia un lado y luego hacia el otro, alternativamente según se van separando los vórtices.

La chimenea se dobla/flexiona al mismo ritmo que se van separando los vórtices detrás de la chimenea, el cual aumenta con la velocidad del viento. Si se alcanza la frecuencia natural de vibración de la chimenea, se producirá resonancia y el consiguiente aumento de amplitud de las oscilaciones de la chimenea puede dar lugar a que esta estructura se rompa. Esto puede ocurrir fácilmente con chimeneas ligeras, construidas con tubo metálico. Por este motivo, se observan chimeneas industriales con una especie de cinta metálica helicoidal enrollada por su exterior. Esta cinta modifica el flujo de aire alrededor de la chimenea de tal manera que se reducen (e, incluso, se eliminan) los efectos de las oscilaciones que produciría la separación de los vórtices.

Desde principio de la década de 1960 se utilizan las cintas helicoidales para suprimir las vibraciones inducidas por vórtices generados tras las estructuras (chimeneas) [Scruton & Walshe 1963]. Su principal función consiste en alterar la correlación de los vórtices que se separan tras el cilindro, reduciendo por lo tanto la intensidad de los vórtices así como la magnitud de las fuerzas oscilatorias. Para la mayoría de aplicaciones en viento, la geometría óptima consta de tres cintas helicoidales equiespaciadas alrededor de la circunferencia, una aleta cuya longitud es aprox. El 10% del diámetro exterior (D) y un pitch que vale $5D$ para cada comienzo.

C Scruton & D. E. J. Walshe, 1963, Stabilisation of Wind-Excited Structures, US Patent No. 3,076,533

Parámetros útiles en el estudio de Vibraciones inducidas por vórtices (VIV):

- Número de Reynolds: $Re=VD/\nu$, donde V es la velocidad de la corriente libre, D es el diámetro exterior del tubo, y ν es la viscosidad cinemática del fluido.

- Velocidad reducida: $V_r=V/(D*f)$, donde D es el diámetro exterior del cilindro, y f es la frecuencia natural de las oscilaciones del tubo transversales a la dirección (perpendiculares) al flujo. Representa una velocidad adimensional que se suele emplear para caracterizar la VIV.

Cuando un fluido sobrepasa un obstáculo se forman remolinos (vórtices), que son transportados por la corriente. Para un cilindro, los vórtices se separan periódicamente con una frecuencia

$f = St * V/D$, donde St es el número de Strouhal, V es la velocidad del fluido y D es el diámetro del cilindro.

El número de Strouhal de un cilindro estacionario es una función del número de Reynolds y, en menor medida, de la rugosidad superficial y de la turbulencia de la corriente libre.

La separación alternada de vórtices produce una carga oscilante transversal a la dirección del flujo, con una frecuencia igual a la frecuencia con la que se forman los vórtices. La resonancia entre la frecuencia natural del cilindro y la de las cargas inducidas por la separación de los vórtices tendrá lugar cuando ambas frecuencias sean muy parecidas.

El parámetro que se suele emplear para describir la el fenómeno de la vibración inducida por los vórtices es la "velocidad reducida", definida como $V_r = V/(f*D)$

Resonance in the cross-flow direction can thus be expected when $f_s / f = V_r * St$ equals 1, that is, for sub-critical regimes ($St \approx 0.20$), when the reduced velocity is approximately 5. As the shedding mechanism locks onto the natural frequency of the cylinder, resonance occurs over a broad range of reduced velocities, typically from ~ 4 to ~ 9 . Experiments have shown that within the resonance region the phenomenon is self-limited with typical response amplitudes up to ~ 1.5 diameters.

Helical Strakes

Helical strakes are aerodynamic stabilizers which are sometimes used to reduce the forces and deflections of the stack experienced due to vortex shedding. Strakes consist of three (3) vanes which can be wrapped in a helical pattern on the upper 1/3 of the stack. They have the appearance of a "Snake" which spirals around the stack.



When strakes are added the drag coefficient of the stack is increased greatly. A smooth cylinder will have a shape factor of 0.7, while the same stack with strakes will increase its shape factor to 1.4. Consequently the load on the top 1/3 of the stack is doubled. Since a stack is like a large cantilever beam, increasing the forces at the top by a factor of 2 will increase the loads at the base by approximately 1.5. Similarly, the deflections will also increase significantly.

Advantages

- Anyone can build them
- In some rare cases they provide the most economical solution

Dis-Advantages

- Double the wind load on the upper 1/3 of the stack, increasing stack weight significantly
- Nearly always more expensive than a vibration damper
- Complex geometry make fabrication difficult
- Can interfere with other attachments (i.e. ladders, platforms, etc.)
- Foundation and Anchor Bolts usually increase in size
- Do not work in the case of interfering stacks
- Some codes do not allow their use for Scruton Number < 8 (which covers most stacks with vibration issues)

Vortex Shedding



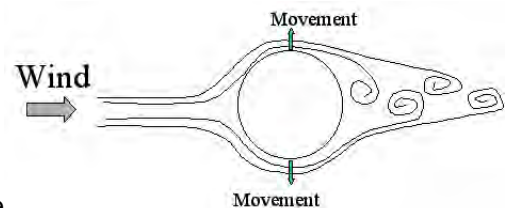
Every stack has a critical wind speed at which vortex shedding occurs. Vortex Shedding is the instance where alternating low pressure zones are generated on the downwind side of the stack, as shown in the figure. These alternating low pressure zones cause the stack to move towards the low pressure zone, causing movement perpendicular to the direction of the wind. When the critical wind speed of the stack is reached, these forces can cause the stack to resonate where large forces and deflections are experienced. The critical wind speed can be calculated as follows:

$$V_c = f * D / S$$

f – Natural Frequency of stack

D – Diameter at the top

S – 0.2 (unless other structures are nearby)



<http://www.mecaenterprises.com/images/vortex4.gif>

According to the most widely accepted theories, resonance occurs when the period of vortices of the Benard-Karman type coincides with the own period of the cylinder. The cylinder then oscillates perpendicularly to the wind direction.

One means of avoiding resonance is to prevent the formation of Benard-Karman vortices by increasing the surface roughness of the cylinder. On a sufficiently rough surface, the speed at which vortices form is never attained (according to rule NV 65). Helical strakes therefore prevent resonance.

<http://www.multitech-fr.com/Theory.html>

Installing a vibration Damper

A vibration damper absorbs the energy due to the vibration and to make the vibration phenomena disappear

There is no universal damper to solve all vibration problems. Case by case taking into account local conditions (acceleration, amplitude, frequency, space.) will advise you of a given type of damper. dampers are used to suppress horizontal or vertical vibrations. Torsion vibration problems may be solved by the coupling of two or more vertical dampers.

Placing a damper is an elegant modern solution, which has no disadvantage. This solution is always cheaper than the solution with strakes, except on rare occasions when the stack is small and with a small diameter.