

Fig. 13.46.- Vibración torsional antisimétrica [Ref 39]

13.8.2.1.- Vibraciones flexotorsionales

- Vibraciones simétricas (Fig.13.43)

Los desplazamientos son:

$V(z,t)$ = desplazamiento vertical del tablero

$U(t)$ = desplazamiento horizontal del extremo de la pila

- Vibraciones antisimétricas (Fig.13.44)

Los desplazamientos son:

$v(z,t)$ = desplazamiento vertical del tablero

$w(t)$ = desplazamiento horizontal del tablero

$u(t)$ = desplazamiento horizontal del extremo de los pilones

13.8.2.2.- Vibraciones torsionales

- Vibraciones simétricas (Fig. 13.45)

Los desplazamientos son

$\theta(z)$ = rotación torsional de la sección transversal del tablero

$\psi(s)$ = rotación de la viga que une los pilotes alrededor del eje vertical del pórtico.

- Vibraciones antisimétricas (Fig. 13.46)

Los desplazamientos son similares a los anteriores:

13.8.3 – Flutter: (Flameo)

Es un fenómeno de inestabilidad aerodinámica.

Al actuar el viento con una inclinación α , con relación al eje horizontal del tablero del puente (fig.13.47) aparece un esfuerzo de levantamiento L y un momento torsor M convirtiéndose en un sistema con dos grados de libertad. Las ecuaciones son:

$$L = m.\ddot{h} + \dot{c}_h.h + R_h.h$$

$$M = I.\ddot{\alpha} + c_\alpha.\dot{\alpha} + R\alpha.$$

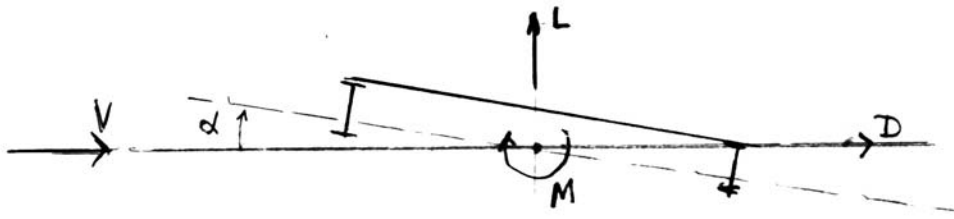


Fig. 13.47.- Fenómeno de Flutter en el tablero del puente[Ref 39]

h = desplazamiento vertical
 m = masa/unidad de longitud
 I = momento polar de inercia/unidad de longitud
 \ddot{h} = aceleración vertical
 \dot{h} = velocidad vertical
 $c_h c_\alpha$ = coeficiente de amortiguamiento
 $R_h R_\alpha$ = coeficiente de rigidez
 α = desplazamiento angular
 $\dot{\alpha}$ = velocidad angular
 $\ddot{\alpha}$ = aceleración angular

Si el ángulo de ataque es grande V_{crf} baja bruscamente y la vibraciones es exclusivamente de torsión

Existen dos clases de Flutter : . Flutter flexo torsional y Flutter torsional (Flutter=: agitación, flameo, ondulación)

13.8.3.1.- Flutter flexo torsional

El ángulo α es pequeño

Si colocamos el modelo de tablero en el túnel antes de encender el ventilador y mediante una fuerza instantánea lo separamos de su posición de equilibrio, oscila un tiempo t y se detiene debido a su amortiguamiento.

Si ahora actúa el viento, en un primer momento el amortiguamiento es proporcional al flujo a medida que aumenta su velocidad pero al alcanzar un valor determinado llamado V crítica de Flutter, el amortiguamiento de la estructura decrece rápidamente y las oscilaciones son constantes y con continuas. Al pasar este límite, por una pequeña perturbación crecen las amplitudes tanto de flexión como de torsión y puede producirse el colapso.

El puente puede vibrar en forma simétrica o antisimétrica. En la primera, (Fig. 13.43) se producen dos desplazamientos.

En la segunda (fig.13.44) se producen tres desplazamientos

13.8.3.2.- Flutter torsional

Llamado también Stall Flutter (Stall: caída brusca)

Sí el ángulo α es mayor, sucede que el valor de la velocidad crítica es mucho menor que en el caso anterior, la frecuencia del viento se hace igual a la frecuencia de torsión de la estructura en aire quieto. En la vibración simétrica (Fig 13.45.) observamos dos rotaciones:

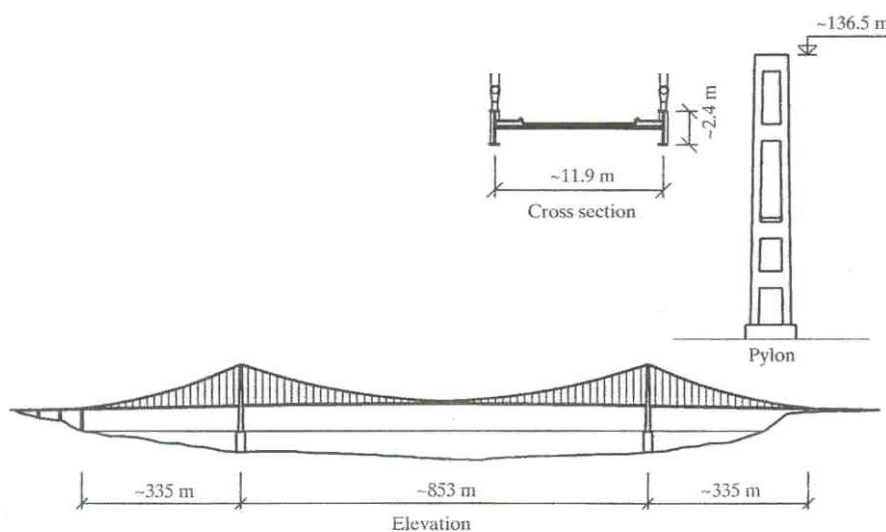
En la vibración asimétrica sucede lo mismo.(Fig.13.46)

Lo expuesto en este capítulo se basa en la monografía BASIC PROBLEMS IN LONG SPAN CABLE STAYED BRIDGES – F Cemo – Pub. 27 Sept. 79. Dipartimento di Strutture dell'Università de Calabria.

13.8.4.- Accidentes

Colapso del Tacoma Narrow Bridge (Washington- USA)

En Fig. 13.48 se observan las dimensiones del puente colgante, donde el ancho del tablero mide $B = 11,90$ m y la luz máxima $L = 853$ m. Fue finalizado el 1 de julio de 1940 y ya se producían oscilaciones verticales del tablero con vientos leves, por lo cual la gente lo llamó "Galloping Gertie"



Dimensions of the first Tacoma Narrows Bridge

Fig. 13.48.- Detalles del puente sobre el Rio Tacoma .USA [Ref. 37]

El 7 de noviembre de 1940, con una velocidad de 19 m/seg (68 km/h) se produjeron violentas oscilaciones del tablero que duraron 70 minutos, donde el tablero llegó a adquirir un ángulo de 35° hasta colapsar (Fig. 13.49 y 13.50)

Numerosas interpretaciones se dieron al fenómeno y en el Laboratorio de Von Karman en California se hicieron estudios en túnel de viento, concluyéndose que se debió a vibraciones autoexcitadas con formación de vórtices. A. Larsen [37], analizó a fondo el problema en base a nuevas experiencias y concluyó que se produjo un problema de "flutter" con una frecuencia de torsión $f_t = 0,20$ Hz y una frecuencia de flexión $f_f = 0,13$ Hz..

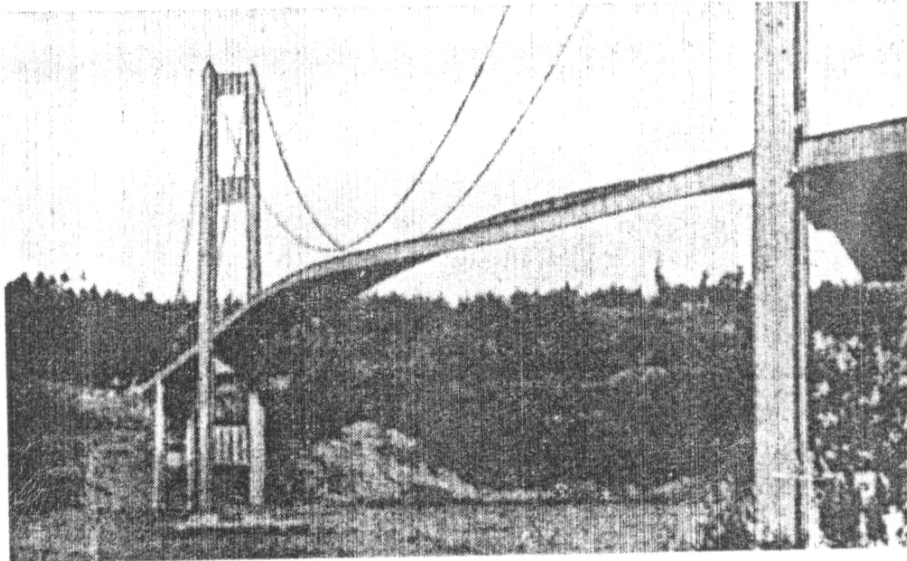


Fig. 13.49.- Inicio de las oscilaciones en el tablero del puente

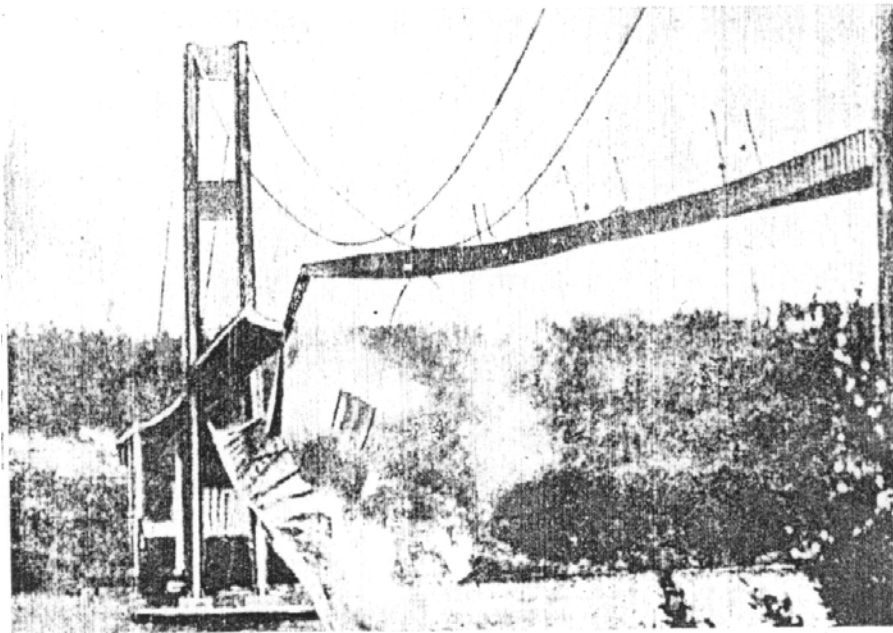


Fig. 13.50 Colapso del puente

Posteriormente se modificó el proyecto original del puente, efectuándose perforaciones en los costados del tablero, con lo cual se evitó la inestabilidad, se reconstruyó y no hubo más movimientos.