

Riegos del Valle inferior del Guadalquivir y la explotación de las secciones del canal que se iban terminando, se ha conseguido que el Estado se haya

reintegrado de la cantidad total invertida en las obras al terminarse su construcción, como justificaremos en un próximo y último artículo.

Eusebio ROJAS MARCOS  
Ingeniero jefe de C., C. y P.

## La acción del viento sobre las estructuras

Cuando el ingeniero proyectista establece sus hipótesis de carga permanente y de sobrecarga en el cálculo de una estructura, observa cómo entre los valores prácticos del peso propio, de la carga útil y hasta del peso de la nieve, que pueden evaluarse con estricta exactitud, destaca la acción del viento, por su forma arbitraria de intervenir en los cálculos.

Comparando las Instrucciones de distintos países encontraremos preceptos discordes. Por ejemplo, el Reglamento prusiano señala cargas comprendidas entre 75 y 150 kg/m<sup>2</sup> de superficie normal al viento, mientras que el Reglamento bávaro prescribe la presión única de 150 kg/m<sup>2</sup>. En Sajonia se adoptan presiones comprendidas entre 125 y 150 kg/m<sup>2</sup>. El Reglamento sueco preceptúa la fórmula <sup>1</sup>

$$p_n = 100 + 1,2H$$

que se sustituye por

$$p_n = 160 + 1,2H$$

en lugares próximos a la costa; pero fijando en ambos casos una presión máxima de 250 kg/m<sup>2</sup>.

Muchas incertidumbres envolverán estas prescripciones, cuando no se aplican a toda clase de estructuras. Para comprobar la estabilidad de los tramos metálicos sin sobrecarga móvil admite el Reglamento alemán una presión del viento de 250 kg/m<sup>2</sup>, y, en cambio, el Reglamento sueco señala 175 kg/m<sup>2</sup>.

Si se trata de un viento oblicuo a la superficie resistente, formando ambos el ángulo  $\alpha$ , hay que multiplicar, según es conocido, la presión normal por un coeficiente de reducción, y tampoco existe un criterio fijo para determinar este factor, pues mientras ciertos países emplean la fórmula

$$p_\alpha = p_n \text{ sen } \alpha$$

otros adoptan

$$p_\alpha = p_n \text{ sen}^2 \alpha$$

y algunos, suponiendo que la dirección del viento forma un ángulo de 10° con el horizonte, aplican la ley

$$p_\alpha = p_n \text{ sen}^2(\alpha + 10^\circ)$$

siendo entonces  $\alpha$  la inclinación de la superficie.

Análogas discrepancias se manifiestan al estudiar el empuje ascendente sobre las cubiertas de edificios abiertos y el efecto de pantalla de una viga principal o plano de una estructura tridimensional sobre la otra viga o plano paralelo.

Apenas podríamos citar un solo aspecto de este problema donde la unidad de criterio subrayase un hecho contrastado por la realidad, y así es preciso sustituir las recetas arbitrarias de los Reglamentos actuales por ideas claras, que reflejen fielmente el fenómeno físico real.

<sup>1</sup> H representa la altura en metros de la estructura o elemento constructivo.

No se trata de construir una nueva teoría científica referente a la acción del viento sobre los obstáculos opuestos a su marcha. Lo que importa es conocer los valores prácticos más probables de dicha presión utilizando los ensayos sobre modelos reducidos.

Este problema tiene dos aspectos. Uno, de carácter meteorológico, y otro, aerodinámico. Necesitamos señalar previamente la máxima velocidad de los vientos probables en un lugar determinado, para establecer después el sistema de fuerzas que ha de intervenir en nuestros cálculos.

Se trata de una vieja cuestión reproducida en todos los manuales técnicos con la fórmula de proporcionalidad entre el empuje aerodinámico y el cuadrado de la velocidad del viento; pero ha sido preciso el crecimiento impetuoso de la aviación para que la Meteorología proporcione datos verdaderos sobre el campo de velocidades y los laboratorios de ensayos aerodinámicos precisen los valores del coeficiente de proporcionalidad.

En los anales de los centros consagrados a la investigación y en las páginas de las revistas profesionales ha venido acumulándose durante el último decenio un valioso caudal de experiencias, que todavía hoy permanecen inconexas, esperando su certera coordinación en un cuerpo de doctrina.

El problema es muy complicado, por el gran número de variables que comprende (de naturaleza indeterminada en muchos casos) y la influencia preponderante de las circunstancias locales, tan distintas incluso en lugares muy próximos.

Todo el mundo sabe que el régimen de vientos no es permanente ni uniforme. Es muy fácil observar en un lugar determinado cómo en el intervalo de escasos segundos puede cambiar notablemente la velocidad del viento. Del mismo modo, en un instante dado, y dentro de un campo reducido, puede también alcanzar esta velocidad valores muy distintos.

El profesor Schmidt ha realizado en Viena estudios muy interesantes en este sentido y ha llegado a encontrar en un mismo instante, dentro de un cuadrado normal al viento de 6 m de lado, intensidades comprendidas entre 0 y 10 m por segundo.

Pero estos trabajos, realizados con auxilio del cinematógrafo, se refieren a vientos de intensidad media, y es muy problemática toda afirmación respecto al caso de los fuertes vendavales, que para nosotros es de máximo interés.

Otra dificultad del estudio meteorológico son las ráfagas o golpes súbitos que a veces acompañan a un viento perfectamente definido dentro de una escala. El ingeniero necesita conocer la intensidad de estas ráfagas, y como el anemómetro sólo proporciona valores medios de la velocidad en un cierto intervalo de tiempo, ha sido preciso construir aparatos registradores. Un cálculo estadístico sobre la fre-

cuencia de ráfagas de distintas intensidades en un lugar determinado ha de ser muy útil para nuestros trabajos profesionales.

Respecto a la variación de la intensidad del viento con la altura parece ser que la fórmula clásica

$$p_h = p_1 \sqrt[7]{h} \dots (h \text{ metros})$$

da valores inferiores a la realidad. Schmidt, como resultado de sus recientes estudios experimentales, propone la fórmula

$$p_h = p_1 \sqrt[4,5]{h}$$

Una vez bosquejado el aspecto meteorológico, vamos a decir algunas palabras sobre la parte aerodinámica.

Se produce un viento cuya velocidad es conocida, y queremos determinar su acción sobre una estructura. Desde la época de Newton se admite la fórmula

$$P = \frac{1}{2} c \frac{r}{g} v^2 S$$

donde  $c$  es un coeficiente de forma,  $r$  el peso específico del aire,  $g$  la aceleración de la gravedad y  $S$  el área de la cuaderna maestra. Suponiendo

$$\frac{r}{g} = \frac{1}{8}$$

se comete un error despreciable. En el caso de una superficie prismática de sección cuadrada y longitud indefinida, es  $c = 2$ .

Hoy sabemos que dicha resistencia no es debida a choque alguno, pues principalmente está producida por la desviación de las partículas flúidas y, en los casos de régimen turbulento, por la formación de dos frentes, uno de sobrepresión anterior al obstáculo, y otro de depresión posterior. La presión unitaria

$$p = \frac{1}{2} \times 2 \times \frac{1}{8} v^2$$

antes citada es resultante de estas dos acciones, que en ciertos casos pueden ser iguales, y entonces una de ellas valdrá

$$p_i = \frac{1}{16} v^2$$

Los ensayos sobre modelos reducidos han demostrado plena eficacia en este problema. El laboratorio Aerodinámico de Gotinga ha realizado una obra admirable, que patentiza la necesidad de reformar los Reglamentos vigentes. Holanda acaba de redactar un proyecto de prescripciones sobre la acción del viento,

y probablemente no tardarán en imitar este ejemplo otros países.

Las orientaciones modernas empiezan señalando una velocidad fundamental donde se resumen las características meteorológicas de cada lugar. Este valor debe deducirse combinando las observaciones realizadas mediante un criterio mixto de seguridad y economía. En general, oscila entre 33 y 50 m por segundo. En sitios abrigados puede aceptarse sin riesgo  $v = 25$  m/s.

Una vez establecida la velocidad de cálculo, podemos obtener la presión teórica media  $P_t$ , cuyo valor resume los elementos locales independientes del tipo de estructura que pretendemos calcular. Después necesitamos un factor de forma  $m$ , obtenido mediante ensayos sobre modelos reducidos. Con este motivo habrá que articular metódicamente la multitud de casos prácticos posibles, de manera que destaque cierta unidad doctrinal a través del casuismo inevitable, cuando se pretende reflejar fielmente una cuestión muy compleja.

Se ha comprobado también que la presión sobre un elemento de la estructura puede ser mucho mayor que el valor medio referido a una superficie más amplia, y conviene desglosar aquellas partes afectadas de distinto modo por la acción del viento.

Tratándose de una viga armada y viento normal a su plano, el coeficiente  $m$  varía entre 1,6 y 1,2. El primer valor corresponde al caso de vigas con celosía o recuadros poco espesos,

$$\left( \frac{S_u}{S} \leq 0,20 \right)^1$$

y el segundo, a vigas espesas,

$$\left( \frac{S_u}{S} \geq 0,40 \right)$$

Cuando existe un segundo plano paralelo, tendremos otra acción que varía entre el 50 y el 75 por 100 del empuje sobre el plano anterior. Este porcentaje es función de la distancia entre ambos planos y del cociente  $\frac{S_u}{S}$ .

Como los nuevos valores difieren bastante de los usuales, tanto por exceso como por defecto, es decir, unas veces con riesgo para la estructura y otras con quebranto económico, es lógico suponer que la revisión de los viejos Reglamentos se extenderá pronto a todos los países.

FEDERICO ALICART  
Ingeniero de Caminos

<sup>1</sup>  $S$  es la superficie plana limitada por el contorno de la viga y  $S_u$  la parte cubierta por las barras.

## Presas de Hoover

### Sobre el río Colorado (Estados Unidos)

I

Se está construyendo en los Estados Unidos, sobre el río Colorado, la magna presa de Hoover, de importancia y trascendencia no igualadas hasta el día, y

que creemos será muy difícil superarlas en porvenir lejano.

Hasta ahora, las presas construídas de 100 m o más de altura, de las que tenemos conocimiento, son las siguientes: