

nos de África implica el suministro de avisos de episodios de tiempo violento como inundaciones, sequías y frío y calor excesivos. Seguirá el suministro de predicciones meteorológicas públicas actualizadas con regularidad para permitir al público y a muchos sectores de la economía optimizar sus actividades diarias, contribuyendo tanto al bienestar social como al económico. El mantenimiento de infraestructuras meteorológicas e hidrológicas nacionales y mundiales apropiadas es un requisito previo para el suministro de estos servicios.

Por último, la protección del medio ambiente mundial va en beneficio de todo el mundo y todos los gobiernos tienen como función básica financiar esta actividad. Los sistemas meteorológicos del mundo son interactivos y las redes nacionales de estaciones meteorológicas tendrán que integrarse en una red mundial a través de la Vigilancia Meteorológica Mundial de la OMM y de otros programas. Ningún país individual puede ser completamente autosuficiente en los servicios meteorológicos que ofrece.

Información meteorológica en la industria de la construcción

Por J. M. P. PHILLIPS*

403

Información meteorológica utilizada en el diseño y en la construcción

Los ingenieros civiles diseñan y construyen estructuras entre las que se incluyen edificios, puentes, torres, embalses, autopistas, canales de drenaje, estructuras de control de crecidas y sistemas de suministro de agua. Todos estos proyectos necesitan un análisis cuantitativo de datos meteorológicos y la selección de los criterios de diseño adecuados basados en la probabilidad de que aparezca el episodio diseñado durante la vida de servicio de la estructura.

Precipitación

El conocimiento de las existencias y de la distribución del agua disponible por precipitación es un factor importante al planificar, diseñar y hacer funcionar los sistemas de recursos hídricos. El diseño y la gestión de instalaciones como embalses, estructuras hidráulicas y canales de drenaje se basan en datos históricos del ciclo hidrológico en el área definida, cuyo tamaño puede variar desde la cuenca de drenaje de una corriente principal a un pequeño solar de aparcamiento.

Algunos países llevan registrando precipitación durante más de cien años. En los EE.UU. y en Canadá se ha realizado en distintos ámbitos de organizaciones gubernamentales. Utilizando esta información, se han elaborado mapas para detallar los datos de intensidad y duración de la precipitación asociados a períodos de retorno de uno, diez y cien años. El período de retorno

adecuado que se utiliza en el diseño de una estructura está asociado, generalmente, a las recomendaciones de la normativa local de construcción y a la vida de servicio que se pretende que tenga la estructura. En el Caribe, el diseño del alcantarillado en urbanizaciones se determina basándose en los datos de precipitación para un período de retorno de entre diez y treinta años, mientras que para las principales vías navegables se utiliza el período de retorno de cincuenta años.

Viento

Siempre se estudia el viento al analizar y diseñar una estructura de construcción. El efecto del viento se tiene en cuenta como una carga estructural. Para calcular la carga que ejerce el viento se utilizan dos ramas de la ciencia: la meteorología y la aerodinámica. En el análisis, las cargas del viento se suelen aplicar como cargas estáticas y horizontales. Las estructuras finas pueden ser sensibles a la naturaleza turbulenta del viento y normalmente se comprueba también, mediante análisis dinámico, la resonancia.

La magnitud de las cargas de viento de diseño de una estructura específica, en una localización concreta, es función de la velocidad máxima del viento esperada en un período de retorno dado. Es función sobre todo de la "velocidad básica del viento" para esa zona pero también depende de la topografía, el tamaño y la forma de la estructura y del tipo de estructura que se va a construir.

Temperatura

Para la mayoría de las estructuras, la condición climatológica es la razón principal del cambio de temperatura al que se verá expuesta. En climas templados, el

* Phillips Engineering Limited, Ingenieros Asesores, Trinidad, Indias Occidentales.

cambio de temperatura estacional puede ser de hasta 35-50°C mientras que en climas tropicales es del orden de 10-15°C.

El efecto de la temperatura no suele ser un factor crítico en el diseño estructural aunque juega un papel mucho más importante a la hora de provocar tensiones de lo que piensan los ingenieros. Las grietas en estructuras de hormigón suelen estar producidas por el control de las tensiones térmicas y de las contracciones. Las tensiones originadas por el congelamiento y el deshielo del agua en los huecos del hormigón pueden causar un grave deterioro del mismo.

En estructuras largas, como puentes, se utilizan juntas de dilatación para tener en cuenta la dilatación térmica asociada a un incremento uniforme de temperatura. Cuando hay una diferencia de temperatura entre superficies opuestas de un elemento estructural, las contracciones térmicas pueden dar lugar al desarrollo de tensiones de control. En algunas estructuras de puentes de hormigón que ya han sufrido tensiones, el cambio de tensión en la superficie del piso del puente originado por la ocultación del sol detrás de una nube puede ser mayor que el originado por una camióneta que atraviese el puente [1].

La temperatura suele tener un efecto sobre la durabilidad a largo plazo de una estructura. Para planchas de hormigón armado las normas de construcción suelen especificar un nivel mínimo de refuerzo para resistir las tensiones que se desarrollan como resultado de los efectos de la temperatura.

En climas más fríos, donde el hormigón estará expuesto al uso de lamas de descongelación o donde puede existir la presencia continuada de humedad durante el hielo y el deshielo frecuentes, se recomiendan la dispersión de burbujas de aire y características de fuerza mínima para prevenir el deterioro.

Gases atmosféricos

Algunos gases atmosféricos se producen de forma natural y los contaminantes atmosféricos pueden originar cambios adversos en las propiedades mecánicas, físicas y químicas del acero y del hormigón.

En el hormigón, el dióxido de carbono reacciona lentamente en presencia de humedad con los minerales del cemento hidratado, sobre todo con el hidróxido de calcio, para formar carbonato cálcico. Se ha descubierto que el ritmo de carbonatación es más importante cuando la humedad relativa se encuentra entre el 40 y el 75 por ciento. Las medidas reales de campo indican que, en condiciones favorables, la carbonatación avanza a un ritmo de 2 a 5 mm cada 30 años, mientras que, en condiciones adversas, el índice puede llegar a ser de hasta 20 mm cada 10 años [2]. La carbonatación neutraliza la protección del acero frente a la corrosión que

normalmente ofrecen las condiciones alcalinas de la pasta de cemento. La reacción reduce progresivamente el nivel de pH del hormigón de 12 ó 13 a menos de 9. Con este pH, el agua de los poros del hormigón no puede mantener una capa protectora de óxido sobre el acero y empieza la corrosión. El hormigón con un pH inferior a 9 se suele clasificar como carbonatado.

En la mayor parte de los países industriales, los niveles de contaminación atmosférica han aumentado marcadamente a lo largo de las últimas décadas. Los contaminantes ácidos en gases y en forma de partículas y los contenidos en gotitas de agua suelen ser reactivos y originan una corrosión importante en el acero y el deterioro del hormigón. El deterioro de las estructuras asociado a la contaminación atmosférica es, como la carbonatación, un proceso lento pero continuo.

Otros aspectos de los datos meteorológicos

Muchos otros factores climáticos afectan al comportamiento y a la durabilidad de las estructuras. La humedad relativa afecta a la hidratación del cemento, al desarrollo de fuerzas, a la contracción y a la fluencia del hormigón. Un secado rápido de la superficie del hormigón reciente, favorecido por el tiempo cálido y los vientos fuertes, puede originar grandes tensiones que pueden dar lugar a que se desarrollen grietas por contracción.

En entornos marinos y costeros, las mareas de tempestad y la acción de las olas pueden suponer grandes cargas para los rompeolas, los muelles y los embarcaderos, originándose grandes daños. La presencia de sal en el agua y la espuma marina permite que los iones de cloro penetren en las estructuras de hormigón, neutralicen el refuerzo y favorezcan el deterioro asociado a la corrosión.

Conversión de los registros meteorológicos en datos de diseño

Los datos de diseño que utilizan los ingenieros, incluidos los niveles de precipitación, las velocidades máximas de viento y los intervalos de temperatura, se toman generalmente de los que suministran las normas de construcción. De forma alternativa, se pide a las oficinas meteorológicas locales o regionales que ofrezcan registros cuando no se dispone en estos documentos de la información necesaria. Ocasionalmente, se pueden encargar pruebas y/o modelización a especialistas para simular las condiciones esperadas y determinar criterios específicos de diseño.

Es común que los ingenieros planteen preguntas sobre la aplicabilidad de los datos de diseño o que investiguen la base de los datos o de los métodos utilizados para almacenar y convertir los datos originales en datos de diseño. Consideremos esta situación cuando se aplica a la velocidad de viento de diseño utilizada en el diseño de estructuras.

MacDonald [3] propone que, al seleccionar una velocidad de viento de diseño adecuada para el diseño de una estructura, es necesario considerar solo las rachas que son lo suficientemente grandes como para envolver la estructura. Pueden identificarse en la señal de viento por su duración. El hecho de que la intensidad de una racha esté relacionada también con su duración da como resultado que las estructuras grandes estén sujetas a presiones de viento globales menores que las más pequeñas. El período de promedio adecuado debería determinarse basándose en el tamaño de la estructura en cuestión. Para un lugar particular, se pueden utilizar los registros históricos de las velocidades medias del viento, siempre que se tenga un período de promedio adecuado para la estructura, para predecir los peores valores que se pueden esperar que ocurran para el período de retorno deseado.

Los registros de viento antiguos se guardan en forma de valores de velocidades medias expuestos en forma de tablas para períodos de promedio específicos. En el Reino Unido, por ejemplo, las estaciones meteorológicas guardaban los registros de la peor media horaria y de la peor media en tres segundos que se daba cada día. En los EE.UU., los registros eran más comunes en forma de los peores recorridos de una milla del viento medidos con un anemómetro de cazoletas. Si se suponen ve-

locidades de unos 160 km/h (100 mph) esto representa un período de promedio de unos 38 s. Mediante estos registros es posible predecir las peores velocidades futuras de viento para estos períodos de promedio, que se conocen como velocidades básicas del viento.

Las predicciones de las peores velocidades medias del viento para distintos períodos de promedio se hacen interpolando estos valores. Con este fin se han desarrollado mapas y tablas para demostrar la relación entre las velocidades del viento para distintos períodos de promedio.

La Norma Uniforme de Construcción (UBC) [4], la norma de diseño que se utilizó más ampliamente en los EE.UU. y en todos los demás lugares hasta hace tan poco como 1999, definía la velocidad básica del viento como la velocidad del viento por milla más rápida asociada a una probabilidad anual del 0,02 medida en un punto a 10 m (33 pies) sobre el suelo para una zona de terreno llano y generalmente abierto, que se prolongaba 0,81 km (0,5 millas) o más desde el punto en cualquier cuadrante completo. La velocidad del viento por milla más rápida es la que se obtiene de los mapas de velocidad del viento preparados por la Administración Nacional del Océano y de la Atmósfera de los EE.UU. y es la mayor velocidad promedio del viento mantenida basada en el tiempo necesario para que una muestra de aire de una milla de longi-

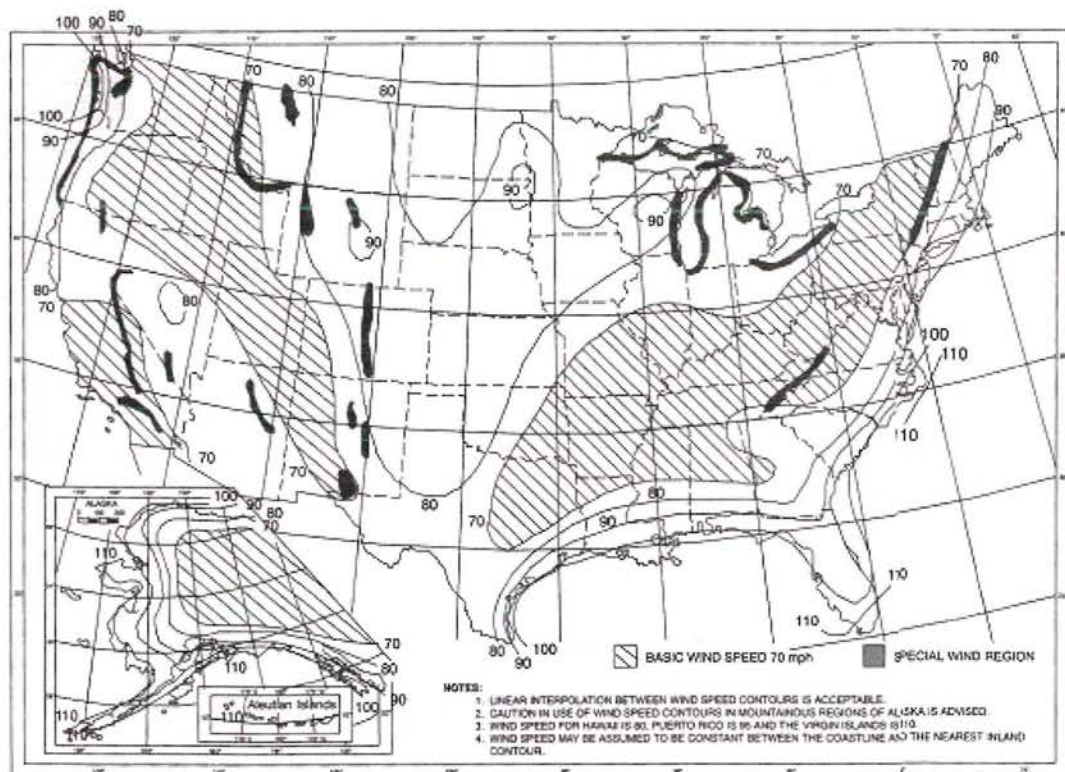


Figura 1 — UBC de 1997: velocidad básica mínima del viento en millas por hora [4]

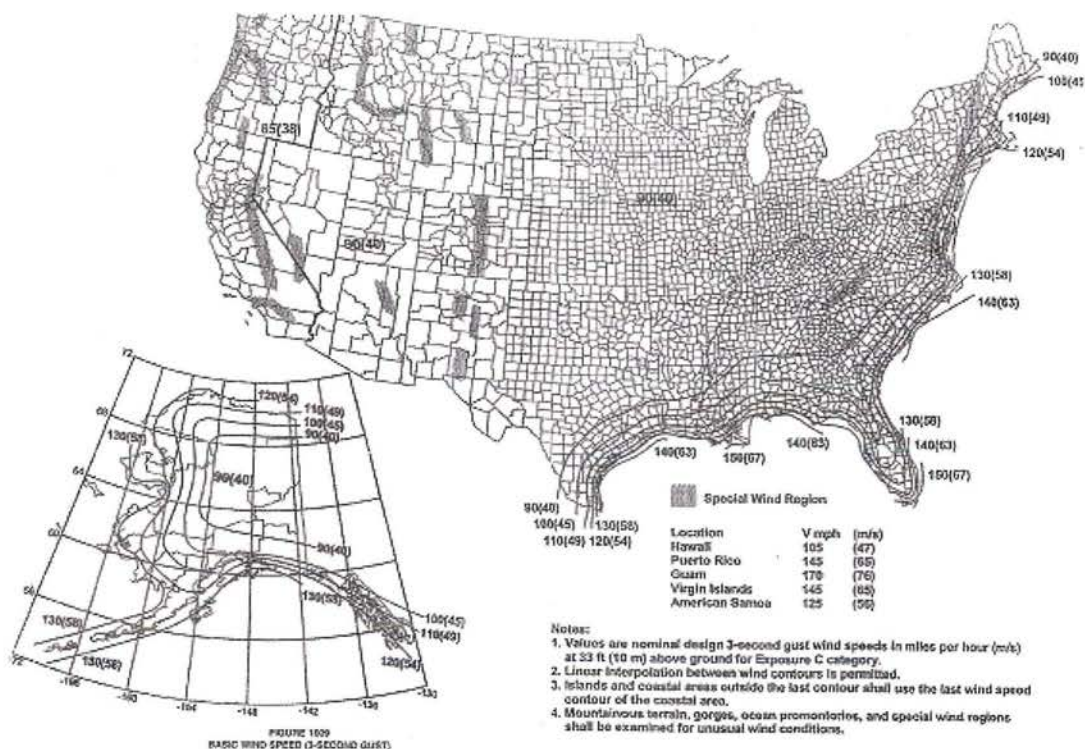


Figura 2 — IBC de 2000: velocidad básica del viento (rachas de tres segundos) [5]

tud atraviese un punto fijo. La Figura 1 muestra un mapa de la velocidad básica del viento utilizada para diseñar estructuras en los EE.UU.

La Norma Internacional de Construcción de 2000 (IBC) [5], que ha sustituido a la Norma Uniforme de Construcción (UBC), define la velocidad básica del viento como la asociada a una racha de tres segundos y ofrece una tabla para convertir la velocidad básica del viento utilizada en la nueva norma a la velocidad del viento por milla más rápida (véase la Figura 2).

Al cambiar de una norma a otra, observamos que el cambio de la definición ha variado la velocidad

básica del viento en el extremo meridional de Florida de 49,2 m/s (110 mph) a 67,0 m/s (150 mph). Cuando se consideran otros factores que se aplican a las fórmulas utilizadas para calcular las cargas del viento de diseño, las cargas de diseño no han cambiado de forma significativa pero el hecho de que la velocidad básica del viento haya cambiado da lugar a cierta confusión entre los ingenieros de diseño, y también entre el público en general.

En el Caribe, una evaluación detallada de los datos de cargas de viento realizada en 1981 y encabezada por Gibbs, uno de los ingenieros consultores más importantes de la región y por Rochford, del Instituto Meteorológico del Caribe, dio como resultado la realización de la Norma BAPE de Prácticas para Cargas de Viento para Diseño de Estructuras [6]. En esta norma, la velocidad básica del viento se definió como la velocidad de una racha de tres segundos a una altura de 10 m y se estimó que sólo se superaba, en promedio, una vez cada 50 años. En 1986 se publicó la Norma Uniforme de Construcción del Cari-

Categoría	Presión central		Vientos (mph)	Ondulación (pies)	Daño
	hPa	pulgadas			
5	<920	<27,17	>155	>18	Catastrófico
4	944-920	27,88-27,17	131-155	13-18	Extremo
	964-945	28,47-27,91			
3	979-965	27,91-28,50	96-110	6-8	Moderado
	≤ 980	≤ 28,94			

Figura 3 — Escala de Saffir-Simpson para la clasificación de los huracanes [8]

be. En esta norma, la velocidad básica del viento se definió como la velocidad de una racha de tres segundos a una altura de 10 m y se estimó que sólo se superaba, en promedio, una vez cada 50 años. En 1986 se publicó la Norma Uniforme de Construcción del Cari-

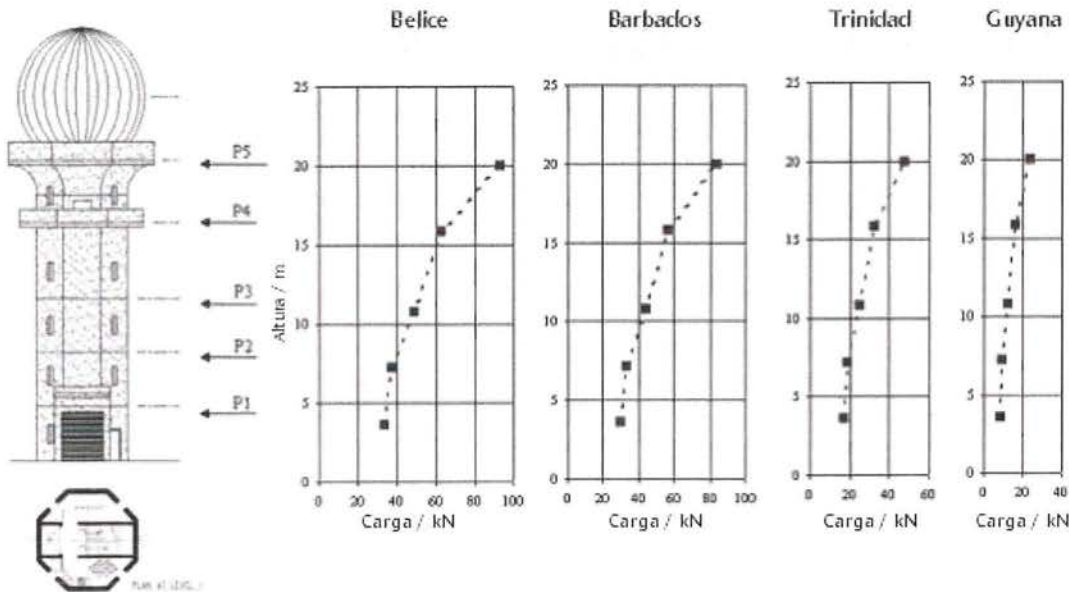


Figura 4 — Distribución de la carga de viento de diseño sobre la altura de la estructura

be [7]. Esta norma definía las presiones de velocidad de referencia para distintas islas como hacía la norma BAPE. Sin embargo, las velocidades de viento determinadas según esta norma se asocian a las que se producen sobre agua abierta a una elevación equivalente de 10 m, promediadas en un período de aproximadamente 10 minutos con un intervalo de repetición (período de retorno) de una vez cada 50 años. En comparación, la velocidad básica del viento BAPE en Barbados era de

58 m/s (130 mph) mientras que el documento de la Norma Uniforme de Construcción del Caribe (CUBiC) daba 34,2 m/s (76 mph).

Como ingenieros de diseño necesitamos presentar al público una imagen clara del nivel de carga de viento para el que diseñamos estructuras, sobre todo porque los huracanes se clasifican por la velocidad del viento definida por la Escala de Saffir-Simpson de la Figura 3 [8].

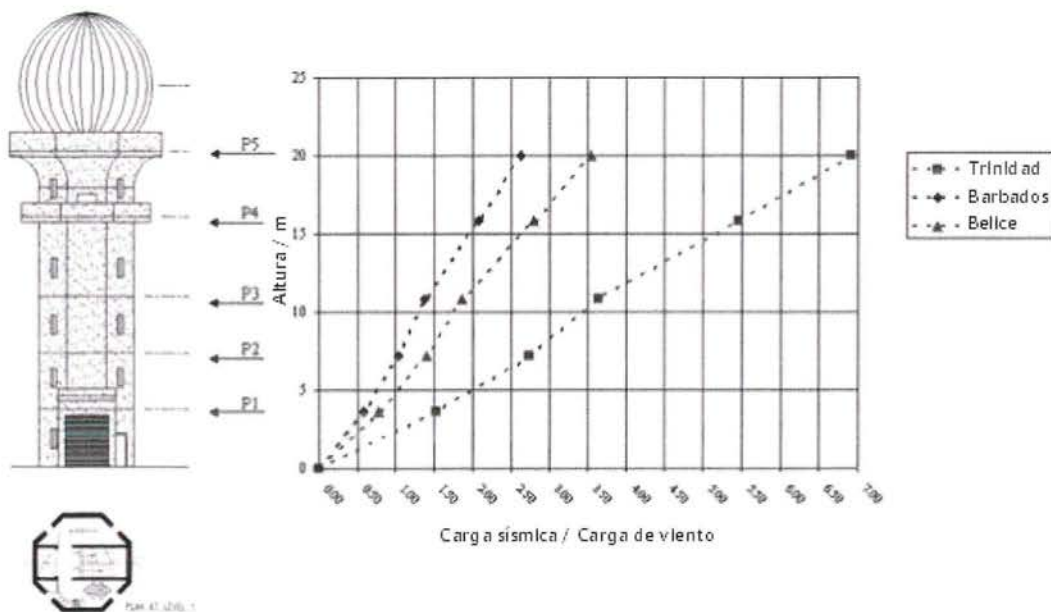


Figura 5 — Proporción entre la carga sísmica de diseño y la carga de viento de diseño en cada nivel

El efecto del tiempo sobre la construcción

Un informe de 2001 [9] dado a conocer por US PIRG, una oficina de presión nacional americana de los Grupos Estatales de Investigación de Interés Público, indicaba que, en la década de 1990, los desastres naturales relacionados con el tiempo atmosférico se cobraron más de 330 000 vidas en todo el mundo y causaron 646 000 millones de \$ EE.UU. de pérdidas económicas, de los cuales 31 000 millones se produjeron en 2000. Seguía poniendo de relieve que el número de grandes desastres meteorológicos en la década de 1990 fue más de cinco veces superior al número de la década de 1950 y que los daños eran superiores en más de 10 veces. En el Reino Unido se estima que la pérdida anual promedio asociada a daños relacionados con el tiempo atmosférico es de 1 600 millones de \$ EE.UU. [10]. El daño a las estructuras residenciales y comerciales supone, generalmente, la mayor parte de esta cifra.

Además del coste directo del daño a las estructuras existentes, el tiempo adverso afecta también a la actividad de la construcción y, consiguientemente, a los costes de construcción. Los vientos fuertes, la precipitación y las temperaturas son factores que influyen en la productividad del lugar. Estas condiciones meteorológicas afectan al trabajo y a los materiales de construcción.

La lluvia es un factor importante que afecta al progreso. En muchos proyectos se mantiene un registro in situ de la precipitación diaria. En algunos casos, cuando hay 2 ó 3 horas de precipitación continua al inicio de la jornada laboral, se considera que el día ha sido arruinado por la lluvia. En estos casos, no se paga el trabajo pero se siguen produciendo gastos generales, como la maquinaria. Cuando se determina que la precipitación ha excedido el promedio anual el contratista puede exigir estos costes adicionales a un cliente. Si está por debajo del promedio anual, el contratista se hace cargo de los costes. El tiempo adverso suele tener un efecto más adverso durante la construcción de la infraestructura que de la superestructura.

Hay varios procedimientos recomendados para seguir en la construcción con hormigón con tiempo tanto cálido como frío [11]. El tiempo cálido, sobre todo con días ventosos, puede originar contracciones tempranas en las planchas de hormigón. Con tiempo frío, las normas de albañilería recomiendan que se utilicen cortavientos, cubiertas calientes de muro o cierres calentados para mantener temperaturas de mortero adecuadas y para mejorar la comodidad y la eficiencia de los albañiles y los trabajadores.

Diseño de estructuras utilizando información meteorológica: un caso de estudio

Las cargas de diseño asociadas al viento pueden variar de forma significativa de un lugar a otro. En este caso de estudio se comparan las cargas de diseño para una torre de radar hipotética que está situada en cuatro países caribeños: Belice, Barbados, Guyana y Trinidad.

Estas cargas de diseño se han determinado utilizando las recomendaciones del CUBiC, y se comparan unos resultados con otros y también los determinados para la carga sísmica en cada país, también según las recomendaciones del CUBiC.

En cada caso se han determinado las cargas de diseño para una estructura idéntica, que tiene planta octogonal, 6 m de diámetro y 20 m de altura, excluyendo los 9 m de diámetro de la cúpula protectora.

En el CUBiC, las cargas de viento se determinan utilizando la relación:

$$w = (q_{ref}) * (C_{exp}) * (C_{shp}) * (C_{dyn}) \quad [1]$$

donde: w = la fuerza del viento por unidad de superficie

q_{ref} = la presión de la velocidad de referencia

C_{exp} = el factor de exposición

C_{shp} = el factor de forma aerodinámica

C_{dyn} = el factor de respuesta dinámica

Para cada país, la velocidad del viento (promediada en 10 minutos), asociada a la presión de la velocidad de referencia recomendada y a la zona sísmica según define la norma, es como sigue:

Para cada país, la distribución de la carga de viento de diseño, sobre la altura de la estructura, se muestra en la Figura 4. Es claro que la carga de viento de diseño de Belice es la mayor, 276 kN. Las de Barbados,

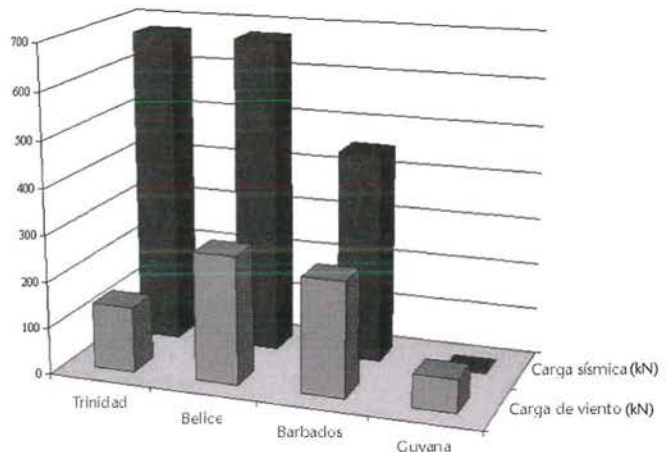


Figura 6 — Comparación entre la carga de viento total y la carga sísmica total

Trinidad y Guyana son un 90, un 51 y un 26 por ciento de la determinada para Belice.

La Figura 5 muestra una comparación entre cargas de viento de diseño y cargas sísmicas de diseño para cada país. En todos los casos excepto Guyana, donde el CUBiC recomienda que la carga sísmica se considere despreciable, las cargas sísmicas de diseño sobrepasan las cargas de viento de diseño. Estos resultados muestran que en Trinidad la carga sísmica de diseño es casi cinco veces superior a la carga del viento de diseño. La Figura 6 ofrece una comparación de las cargas totales de viento y sísmicas de diseño.

Teniendo en cuenta los costes actuales de construcción en estos países, se esperaría que una estructura de este tamaño costase entre 600 000 y 850 000 \$ EE.UU., una cifra que es principalmente función de las cargas de diseño y de las condiciones del suelo. Este ejemplo muestra claramente cómo la información meteorológica puede tener un efecto importante sobre el diseño y el coste de una construcción.

Referencias

- [1] COLLINS, M. P. y D. MITCHELL, 1987: *Prestressed Concrete Basics*. Canadian Prestressed Concrete Institute, 614 pp.
- [2] MAILVAGANAM, N. P., 1992: *Repair and Protection of Concrete Structures*. CRC Press, 473 pp.
- [3] MACDONALD, A. J.: *Wind Loading on Building*. John Wiley & Sons, 219 pp.
- [4] International Conference of Building Officials, 1997: *Uniform Building Code*.
- [5] International Code Council, 2000: *International Building Code*.
- [6] Caribbean Uniform Building Code.
- [7] GIBBS, T. and B. A. ROCHEFORD, 1981: *Barbados Association of Professional Engineers Code of Practice for Wind Loads for Structural Design*.
- [8] Wheeling Jesuit University, NASA Classroom of the Future, 1997-2003.
- [9] US PIRG Education Fund, Extreme Weather Costs US More than \$ 8 billion in 2000, abril de 2001.
- [10] UK Met Office Press Office, "Severe weather Costs the UK Millions", Comunicado de prensa del 3 de abril de 2002.

Evaluación de los beneficios de los servicios meteorológicos de China

Por ZHANG Guocai* y WANG Haixiao**

Introducción

China abarca una gran superficie con una topografía compleja y se ve afectada con frecuencia por desastres relacionados con episodios de tiempo y clima extremo. Las pérdidas anuales por desastres meteorológicos tales como tormentas, inundaciones, sequías, tifones, olas de frío, tormentas de arena y granizo suponen el 70 por ciento de todas las calamidades naturales. Las pérdidas económicas resultantes suponen entre el 3 y el 6 por ciento del producto interior bruto (PIB) de China. En la década de 1990 sólo las pérdidas relacionadas con inundaciones alcanzaron 1,2 billones de yuanes, es decir, el 2,4 por ciento del PIB. Las pérdidas económicas relacionadas con las condiciones meteorológicas tales como erosión del suelo, avalanchas de barro o rocas, corrimientos de tierra, incendios forestales y plagas de insectos no se incluyen en las cifras ante-

riores. Evidentemente, unos servicios meteorológicos de gran calidad originan grandes beneficios para la mitigación de desastres y la preparación frente a los mismos.

Desde 1994 hasta 1996 la Administración Meteorológica de China (AMC) llevó a cabo una evaluación nacional de los beneficios económicos de los servicios meteorológicos, que se centró sobre todo en los beneficios macroeconómicos. Se prestó gran atención a la base científica y también a las aplicaciones. Se desarrollaron numerosos métodos, que son científicamente racionales y operativamente aplicables para evaluar el grado de rentabilidad de los servicios meteorológicos de China. Este artículo presenta específicamente los métodos propuestos durante el estudio.

Método de evaluación de beneficios para los servicios meteorológicos

Para evitar cualquier solapamiento, los beneficios de los servicios meteorológicos se dividen en dos partes:

* Centro Meteorológico Nacional de la AMC.

** Departamento de Política y Normativa de la AMC.