



**Organización  
Panamericana  
de la Salud**

*Oficina Regional de la  
Organización Mundial de la Salud*

# Mitigación de Desastres en Instalaciones de Salud

Efectos del  
Viento

Aspectos  
Estructurales



Preparado por: Daniel Comarazamy

[Grupo de Estabilidad Estructural \(Ge<sup>2</sup>/INTEC\)](#)  
Santo Domingo, República Dominicana, 2005



Revisado por: Tony Gibbs



© Organización Panamericana de la Salud, 2005

Material de capacitación del Área de Preparativos para Situaciones de Emergencia y Socorro en Casos de Desastre, OPS/OMS.

Las opiniones expresadas, las recomendaciones formuladas y las denominaciones empleadas en esta publicación no reflejan necesariamente los criterios ni las políticas vigentes de la OPS/OMS ni de sus Estados miembros.

La Organización Panamericana de la Salud dará consideración favorable a las solicitudes de autorización o de información para reproducir o traducir, total o parcialmente, esta publicación. Las solicitudes deberán dirigirse al Área de Preparativos para Situaciones de Emergencia y Socorro en Casos de Desastre, Organización Panamericana de la Salud, 525 Twenty-third Street, N.W., Washington, D.C. 20037, EUA; fax (202) 775-4578; correo electrónico: [disaster-publications@paho.org](mailto:disaster-publications@paho.org)

La realización de esta publicación ha sido posible gracias al apoyo financiero del Programa de Preparación para Desastres de la Oficina de Ayuda Humanitaria de la Comisión Europea (DIPECHO-III). Han contribuido también en la producción y en la distribución de este material la División de Ayuda Humanitaria, Paz y Seguridad de la Agencia Canadiense para el Desarrollo Internacional (HAPS/CIDA), la Oficina de Asistencia al Exterior en Casos de Desastre de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (OFDA/AID) y el Departamento para el Desarrollo Internacional del Reino Unido (DFID).



# CONTENIDO

<b><u>PROPÓSITO</u></b> .....	5
<b><u>INTRODUCCIÓN</u></b> .....	5
VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL .....	5
VULNERABILIDAD NO ESTRUCTURAL .....	5
VULNERABILIDAD ADMINISTRATIVA Y FUNCIONAL.....	6
EL PROBLEMA .....	6
<b><u>HURACANES</u></b> .....	7
REPERCUSIONES DE LOS HURACANES.....	7
FORMACIÓN DE LOS HURACANES .....	8
CLASIFICACIÓN DE LOS HURACANES.....	8
<b><u>FACTORES QUE INCIDEN EN LOS EFECTOS DEL VIENTO</u></b> .....	8
UBICACIÓN Y OBSTRUCCIONES.....	8
RUGOSIDAD DEL TERRENO .....	10
ALTURA DE LA EDIFICACIÓN.....	10
TOPOGRAFÍA DEL ENTORNO .....	10
IMPORTANCIA DE LA ESTRUCTURA .....	10
DIRECCIONALIDAD DEL VIENTO .....	11
VELOCIDAD DEL VIENTO .....	11
TURBULENCIA .....	11
PRESIÓN BÁSICA MODIFICADA .....	11
ABERTURAS EN PAREDES.....	12
<b><u>RESISTENCIA DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES</u></b> .....	12
FUERZAS INTERNAS QUE AFECTAN A LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES .	12
PRESIÓN DE DISEÑO .....	13
TIPOS DE TIPOS DE DAÑOS OCASIONADOS POR LOS HURACANES .....	13

<b><u>REPERCUSIONES ESTRUCTURALES DE LOS HURACANES</u></b> .....	14
NORMAS DE DISEÑO DE RESISTENCIA EÓLICA .....	14
VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL DEBIDA AL DISEÑO ARQUITECTÓNICO .	15
<b><u>PROCESO DE DISEÑO DE ESTRUCTURAS RESISTENTES</u></b>	
<b><u>A HURACANES</u></b> .....	16
ESTUDIOS BÁSICOS .....	16
DEMANDA .....	16
DISEÑO .....	17
VERIFICACIÓN.....	17
<b><u>VULNERABILIDAD DE ESTRUCTURAS HOSPITALARIAS</u></b>	
<b><u>EXISTENTES</u></b> .....	17
METODOLOGÍA DE LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EÓLICA.....	18
Métodos cualitativos.....	18
Métodos cuantitativos .....	18
REFUERZO DE ESTRUCTURAS EXISTENTES.....	19
TÉCNICAS DE REFUERZO ESTRUCTURAL MÁS FRECUENTES .....	19

## PROPÓSITO

El propósito principal de este material es orientar a quienes planifican infraestructuras de salud (administradores hospitalarios, ingenieros, arquitectos, técnicos, etc.), en los países latinoamericanos y del Caribe, ubicados en zonas expuestas al paso de huracanes, ([Diapositiva No. 2](#)) sobre los efectos que los vientos huracanados pueden causar en las edificaciones. Se plantean también aspectos básicos de la mitigación de daños causados por huracanes en las instalaciones de salud.

Este material de capacitación trata en particular de aspectos relacionados con la reducción de la vulnerabilidad de los elementos estructurales, es decir aquellos que soportan las cargas laterales y gravitacionales para garantizar la estabilidad de la edificación, tales como los cimientos, columnas, vigas, muros y losas.

Se exponen ejemplos de fallas estructurales ocurridas en diversos hospitales de la región debido a la acción de huracanes y se sugieren pautas y recomendaciones para reducir la vulnerabilidad estructural de las instalaciones de salud existentes o planificadas.

Mediante el presente material se aspira también a suscitar mayor conciencia en la comunidad hospitalaria y en el sector de salud en general, sobre los elementos que coadyuvan a la vulnerabilidad de las instalaciones de salud ante los huracanes.

## INTRODUCCIÓN

Toda instalación de salud debe funcionar de manera adecuada inmediatamente después del paso de un huracán, de tal forma que pueda dar una respuesta eficiente a los casos de emergencia médica que comúnmente se presentan. Para ello es fundamental que la administración hospitalaria realice estudios de vulnerabilidad integrados que abarquen los aspectos estructurales, no estructurales y funcionales de los servicios.

A pesar de que este material trata de manera específica de los efectos del viento, es importante señalar que en muchos países de Latinoamérica y el Caribe el diseño de los hospitales debe contemplar la resistencia a múltiples fenómenos naturales, tales como sismos, inundaciones, erupciones volcánicas y deslizamientos de terrenos. De ahí, la importancia de que los establecimientos de salud se ubiquen en zonas que estén menos expuestas al embate de estos fenómenos.

### VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL

Las expresiones *estructural*, o *sistemas primarios*, se refieren a aquellas partes de un edificio que absorben las cargas gravitacionales y laterales y las transmiten al suelo de manera que mantienen la estabilidad de la construcción. Entre éstos se incluyen los cimientos, las columnas, los muros portantes, las vigas y los diafragmas.

### VULNERABILIDAD NO ESTRUCTURAL

Los sistemas *no estructurales* o *secundarios* se pueden agrupar en tres categorías: 1) elementos arquitectónicos, 2) instalaciones de servicios básicos y 3) equipos. La primera categoría comprende los componentes de un edificio que están unidos a las partes estructurales (ventanas, puertas, techos, cielos rasos, tabiques, muros no

portantes, etc.) y que no desempeñan una función esencial de resistencia a cargas eólicas o de otra índole. La segunda categoría incluye los elementos que cumplen funciones esenciales en el funcionamiento del edificio (sistemas de plomería, conexiones eléctricas, calefacción, ventilación, acondicionadores de aire, etc.). La tercera categoría abarca los elementos que sencillamente están dentro de las edificaciones (equipos y suministros médicos, equipo mecánico, muebles, etc.).

En el caso de los establecimientos de salud estos componentes no estructurales, particularmente el equipo médico, suelen representar un monto superior al costo de la estructura. El valor de los elementos no estructurales constituye en promedio más del 80% del costo total del hospital.

## **VULNERABILIDAD ADMINISTRATIVA Y FUNCIONAL**

La vulnerabilidad administrativa y funcional depende de varios factores:

- 1) la distribución y relación entre los espacios arquitectónicos y los servicios médicos y auxiliares que se prestan en los hospitales;
- 2) la incidencia de esa distribución en los procesos administrativos, tales como contrataciones, adquisiciones, rutinas de mantenimiento, gestión de casos y comunicación interna y externa, entre otros; y
- 3) la dependencia física y funcional entre las diferentes áreas de un hospital.

La adecuada zonificación y articulación de las áreas de un establecimiento de salud permitirá garantizar el pertinente funcionamiento tanto en condiciones normales como en caso de emergencias y catástrofes, cuando suele intensificarse la demanda de servicios de salud.

## **EL PROBLEMA**

Los diferentes fenómenos naturales que han asolado a Latinoamérica y el Caribe han probado con creces la vulnerabilidad de las instalaciones de salud ante este tipo de fenómenos, especialmente los huracanes, terremotos e inundaciones.

La situación se agrava si se toma en cuenta que:

- existe un marcado incremento de la densidad demográfica en las zonas expuestas a huracanes;
- la calidad de los materiales de construcción empleados, especialmente en las instalaciones de salud alejadas de zonas urbanas, suele no ser idónea, además de que tampoco se utiliza esos materiales de forma apropiada para resistir fuertes presiones eólicas;
- rara vez se aplican métodos modernos de construcción resistente al viento.

Los hospitales son inherentemente instalaciones esenciales cuyo funcionamiento continuo es imprescindible durante e inmediatamente después de producirse un huracán intenso. Por ello, es necesario evaluar la vulnerabilidad de esas instalaciones y poner en práctica medidas de mitigación que garanticen su funcionamiento ininterrumpido en condiciones de emergencia.

Durante un huracán, las instalaciones de salud pueden sufrir daños por una o varias de las siguientes causas:

- Fuertes vientos que ejercen presiones positivas (hacia el interior) y negativas (hacia el exterior) sobre las cubiertas y toda la estructura externa, ocasionando daños a los elementos estructurales y sus conexiones.
- La fuerza de levantamiento puede desprender objetos o proyectar aquellos que están sueltos a velocidades superiores a los 100 kilómetros por hora, convirtiéndolos en proyectiles cuyo impacto es capaz de perforar la envoltura externa de una edificación y provocar graves daños.
- La precipitación pluvial que acompaña a los huracanes puede penetrar al interior de una edificación que haya perdido ventanas, puertas o techos bajo el efecto de la tormenta, deteriorando equipos costosos, muebles, y otros enseres.
- La lluvia puede ser tan intensa que cause inundaciones, erosión y deslizamientos de terrenos, que entrañen cuantiosos daños.
- Las repentinas tormentas y marejadas que surgen en algunas ocasiones, especialmente cuando los huracanes coinciden con la fase de marea alta, pueden perjudicar a las instalaciones de salud construidas cerca de la costa, porque a la vez que socavan la estructura también permiten el ingreso del agua al edificio.

Así, el funcionamiento de un hospital durante y después de un huracán puede verse interrumpido debido a daños sufridos tanto por los elementos estructurales como no estructurales.

Los huracanes de gran intensidad, como Georges ([Diapositiva No. 3](#)) y Mitch ([Diapositiva No. 4](#)), ocurridos en 1998, han ocasionado daños millonarios, amén de las numerosas lesiones y vidas segadas fundamentalmente debido a la secuela de eventos que acompañan al huracán: deslizamientos, inundaciones, etc. ([Diapositiva No. 5](#)).

## HURACANES

### REPERCUSIONES DE LOS HURACANES

Los fenómenos naturales ocurridos en los últimos 20 años han perturbado la vida de más de 800 millones de personas en todo el mundo, ocasionando pérdidas de vidas humanas y daños económicos que superan los 50.000 millones de dólares.

Según datos de la Organización Panamericana de la Salud, entre 1981 y 2001, más de 100 hospitales y 650 unidades de salud sufrieron graves perjuicios por efectos de fenómenos naturales; con pérdidas económicas directas, según la Comisión Económica para América Latina (CEPAL), de 3.120 millones de dólares. ([Diapositiva No. 6](#))

De ahí que tanto desde el punto de vista financiero como social, la vulnerabilidad de las instalaciones de salud ante tales fenómenos sea más crítica que la de otros sistemas estructurales o de ocupación ([Diapositiva No. 7](#)).

## FORMACIÓN DE LOS HURACANES

Los huracanes nacen de la combinación de varios factores. [\(Diapositiva No. 8\)](#). Se puede definir a un huracán como un sistema climático de baja presión que obtiene su energía del calor latente, producto de la condensación de vapor de agua sobre las cálidas aguas de océanos tropicales. Para que un huracán se forme, el agua superficial oceánica hasta una profundidad de 60 metros ha de permanecer a una temperatura superior a 26° C durante varios días. Además, debe existir una zona de baja presión con convergencia en la parte inferior de la atmósfera. En esta zona los vientos deben ser calientes y húmedos.

Los huracanes que suelen desplazarse sobre las islas del Caribe se originan en las aguas de la costa occidental de África, iniciándose como *perturbaciones tropicales* para luego convertirse paulatinamente en *depresiones tropicales* (con vientos de hasta 60 km/h), *tormentas tropicales* (con velocidades del viento de 60 km/h hasta 110 km/h) y finalmente en los más destructivos *huracanes* con velocidades sostenidas de viento superiores a 110 km/h [\(Diapositiva No. 9\)](#).

Las condiciones más idóneas para este tipo de formación, en el océano Atlántico y el Mar Caribe, ocurren entre el 1<sup>ro</sup> de junio y el 30 de noviembre de cada año, período conocido como la *temporada de huracanes*. Los meteorólogos utilizan una serie de estaciones hidrométricas que generan anemogramas utilizados para determinar y registrar la velocidad de los vientos huracanados [\(Diapositiva No. 10\)](#).

## CLASIFICACIÓN DE LOS HURACANES

Los huracanes se clasifican de acuerdo a su intensidad. Ésta se puede medir por la presión barométrica central mínima o la velocidad máxima de los vientos. Se puede establecer una relación directa entre las dos formas de medición mediante modelos matemáticos basados en información teórica y empírica.

A principios del decenio de 1970, Herbert Saffir y Robert Simpson elaboraron una tabla de clasificación de los huracanes de acuerdo a estos parámetros que incluye los daños asociados a cada una de las categorías [\(Diapositiva No. 11\)](#). En el continente americano se ha adoptado la escala Saffir-Simpson, que identifica cinco tipos de huracanes por nivel ascendente de intensidad desde la categoría 1 a la categoría 5. Gracias a la información recopilada, ha sido posible establecer comparaciones anuales en cuanto a la cantidad y la categoría de los huracanes registrados en los últimos cincuenta años en la región del Caribe y del Atlántico Norte [\(Diapositiva No. 12\)](#).

## FACTORES QUE INCIDEN EN LOS EFECTOS DEL VIENTO

### UBICACIÓN Y OBSTRUCCIONES

La ubicación de una edificación frente al embate de fuertes vientos [\(Diapositiva No. 13\)](#), así como la presencia de otras edificaciones de menor tamaño [\(Diapositiva No. 14\)](#), pueden contribuir a acelerar la velocidad del viento y suscitar turbulencias que afectan tanto la sección frontal (muros a barlovento) como la sección posterior de la edificación (muros a sotavento), con un consiguiente aumento considerable de la presión eólica básica. Otros factores, como aberturas en la parte inferior de los edificios, conllevan un inusual incremento de la velocidad del viento [\(Diapositiva No. 15\)](#) y de las turbulencias en la parte posterior del edificio.

Lo propio sucede con las edificaciones de techos a dos aguas en donde el viento origina turbulencias en los techos de sotavento y en las paredes posteriores y laterales ([Diapositiva No. 16](#)).

La presión que ejerce el viento sobre el sistema estructural es una función de la parte dinámica de la ecuación de Bernoulli, ([Diapositiva No. 17](#)) conocida como *presión básica*, que se ve modificada por una serie de factores, entre otros:

- la rugosidad del terreno
- la altura de la edificación
- la topografía del entorno
- la importancia de la estructura
- la direccionalidad del viento
- la velocidad del viento
- la turbulencia
- las aberturas en fachadas

Varios códigos internacionales ([Diapositiva No. 18](#)) presentan diferentes maneras de medir las presiones básica y de diseño ([Diapositiva No. 19](#)) así como los distintos tipos de edificaciones y estructuras estudiadas ([Diapositiva No. 20](#)).

En vista de que la tendencia general en la región se orienta a la aplicación de la norma ASCE-7 y de la filosofía del Código Internacional de la Construcción (International Building Code, IBC), presentamos, a título de ejemplo, las fórmulas, tablas y nomenclaturas de ambas normas ([Diapositiva No. 21](#))

Los factores o coeficientes que afectan la presión básica se presentan en la siguiente tabla ([Diapositiva No. 22](#)) y ([Diapositiva No. 23](#)):

DEFINICIÓN	FACTOR	SIGNIFICADO
Direccionalidad del Viento	$K_d$	Toma en cuenta la probabilidad de que el viento venga de la misma dirección que produce la máxima presión.
Importancia	I	Convierte un período de rendimiento de 50 años en uno de 100 años, recomendado para hospitales
Exposición	$K_z$	Representa la velocidad del viento a una altura 'z' sobre el terreno.
Topografía	$K_{zt}$	Toma en cuenta el hecho de que la estructura que puede estar situada en una colina o meseta aisladas sujetas a velocidades del viento superiores a los de la planicie.
Ráfaga 3-segs	G	Representa la interacción estructura-turbulencia, así como la amplificación dinámica del viento
Coeficiente de presión externa	$C_p$	Estima la presión de viento en el exterior de la edificación
Coeficiente de presión interna	$C_{pi}$	Refleja la presión interna dependiente de la cantidad y dimensión de las aberturas en las fachadas.
Presión de diseño	p	Representa la presión de diseño que no puede ser superior a la presión básica modificada
Fuerza de diseño	F	Fuerza neta en estructuras especiales y edificaciones abiertas

## RUGOSIDAD DEL TERRENO

La rugosidad del terreno incide sobre la velocidad del viento y la turbulencia. Mientras más irregular sea la superficie, menor será la velocidad pero mayor la turbulencia.

El tamaño y la densidad de los objetos que se encuentran en la superficie, tales como edificios y árboles, inciden sobre la rugosidad del terreno. La *longitud de la rugosidad* del terreno indica la magnitud de la influencia de ésta sobre la velocidad del viento y la turbulencia longitudinal: cuanto más escarpado sea el terreno mayor será la rugosidad y, por consiguiente, mayor será el efecto de fricción que retarde la velocidad del viento ([Diapositiva No. 24](#)).

## ALTURA DE LA EDIFICACIÓN

La viscosidad que se produce entre un fluido en movimiento y una superficie sólida hace que se generen esfuerzos cortantes en el sentido opuesto a la dirección del fluido en movimiento.

Un efecto similar ocurre con la interfaz entre la superficie de la tierra y el viento que sopla sobre ella: la viscosidad reduce la velocidad del aire casi a cero en la proximidad de la superficie de la tierra.

A medida que aumenta la altura, también aumenta la velocidad del viento hasta alcanzar una velocidad constante, llamada velocidad gradiental que es independiente de la irregularidad del terreno. Esta variación de la velocidad del viento en función de la altura se puede predecir matemáticamente con una ecuación logarítmica. Sin embargo, en la práctica se utiliza un modelo más sencillo, a saber, el método de la ley exponencial, para extrapolar la velocidad del viento de una altura a otra ([Diapositiva No. 25](#)).

En algunos códigos de la construcción de países de la zona del Caribe se incluyen tablas de los coeficientes de rugosidad que afectan la presión básica ([Diapositiva No. 26](#)) expresados tanto en función de la variabilidad exponencial de barlovento como de la presión básica uniforme en paredes de sotavento.

## TOPOGRAFÍA DEL ENTORNO

La topografía de una región puede incidir considerablemente en el comportamiento del viento. En general, las colinas y los terrenos escarpados pueden generar aceleraciones repentinas de la velocidad del viento, de manera que en determinadas circunstancias las cargas del viento pueden aumentar hasta en un 80%. Estos incrementos dependerán de varios factores, entre otros, la ubicación de la estructura y los efectos de atenuación horizontal y vertical ([Diapositiva No. 27](#)).

Convendrá también realizar estudios para determinar eventuales reducciones de la velocidad del viento debido a la protección de valles y barrancos situados a sotavento ([Diapositiva No. 28](#)).

## IMPORTANCIA DE LA ESTRUCTURA

La importancia del uso de la estructura es un factor diferenciado que afecta la presión básica. Ésta consiste en la función de una relación cuadrática entre la velocidad eólica básica asociada a un intervalo promedio de reincidencia y otro intervalo de 50 años. Se establece un factor de importancia dependiendo del

sistema estructural utilizado. En el caso de hospitales se recomienda asumir un período de rendimiento de 100 años.

## DIRECCIONALIDAD DEL VIENTO

La presión básica acusa el efecto de la incertidumbre debida a la probabilidad de que el viento golpee la estructura desde cualquier dirección. Al determinar la presión de diseño se debe tomar en cuenta este parámetro, conocido como direccionalidad del viento.

## VELOCIDAD DEL VIENTO

La velocidad del viento es el factor individual más importante en la determinación de la presión básica. Las distintas normas en materia de construcción resistente al viento vigentes en los países de Centroamérica y el Caribe expresan este parámetro de manera muy disímil ([Diapositiva No. 29](#)); sin embargo, la más utilizada es la medición de ráfagas de 3 segundos.

Los estudios más sofisticados ([Diapositiva No. 30](#)) y las simulaciones informáticas permiten conocer los diferentes niveles locales de riesgo e incluso proporcionan datos para establecer criterios de zonificación en función del riesgo.

## TURBULENCIA

El movimiento del viento es turbulento y es difícil dar una definición matemática concisa de la turbulencia. Sin embargo, se sabe que la turbulencia del viento existe debido a la baja viscosidad del aire comparada con la del agua. Cualquier movimiento de aire superior a 4 km/h es turbulento, es decir que las partículas del aire se mueven de manera errátil en todas las direcciones.

Para efectos de la ingeniería estructural, se puede considerar que la velocidad del viento tiene dos componentes: la velocidad media (cuyo valor aumenta en función de la altura) y las fluctuaciones por turbulencia.

## PRESIÓN BÁSICA MODIFICADA

La presión básica, modificada por los parámetros indicados anteriormente, se conoce como presión básica modificada, según la norma ASCE-7, que variará según las condiciones de cada región: ([Diapositiva No. 31](#)).

$$q = \frac{1}{2} \rho K_z K_{zt} K_d IV^2$$

- $\rho$  densidad de la masa de aire bajo ciertas condiciones regionales de presión y temperatura
- $K_z$  factor que varía con la altura y la rugosidad del terreno circundante
- $K_{zt}$  factor que depende de la topografía del terreno y de varios parámetros de atenuación
- $K_d$  Direccionalidad del viento.
- $I$  Factor de importancia de la estructura para un período de rendimiento de 50 años

- V Velocidad del viento en diseño medida según las normas vigentes en la región. La tendencia es a usar medidas de la velocidad de ráfagas de 3 segundos.

## ABERTURAS EN PAREDES

Las aberturas en paredes expuestas a la acción del viento revisten gran importancia al momento de definir los coeficientes de presión. Se trata de los orificios en las fachadas de la estructura cuya importancia puede ser crítica en el caso de los sistemas hospitalarios ([Diapositiva No. 32](#)).

Todas las ventanas, puertas u otros orificios se considerarán aberturas a menos que junto con sus conexiones hayan sido concebidas y diseñadas para resistir cargas eólicas e impactos de proyectiles lanzados por el viento. En función de estos criterios, cabe definir tres tipos de estructuras:

- Estructuras abiertas: sistemas en donde el viento fluye libremente o que tienen aberturas en más de un 80% del área total de sus fachadas.
- Estructuras cerradas: aquellas que no se definen como abiertas o parcialmente cerradas.
- Estructuras parcialmente cerradas, las que cumplen con las siguientes condiciones:
  - el área total de aberturas en paredes expuestas a presiones positivas, o hacia el interior del edificio, es superior a 1,10 veces la suma de áreas abiertas del resto de la estructura total, incluidas fachadas laterales y fachadas a sotavento, techos, etc.; y
  - el área total de aberturas en paredes expuestas a presiones positivas supera  $0,4 \text{ m}^2$  o el 1% del área total de la pared considerada –la menor de ambas– y, en el resto de la estructura, el índice de la superficie total de aberturas y el área total no deberá superar el 20%, esto es excluyendo la pared que se encuentre a barlovento.

## RESISTENCIA DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

### FUERZAS INTERNAS QUE AFECTAN A LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Los elementos estructurales se encuentran expuestos a distintas fuerzas internas tales como: la carga axial, la fuerza cortante o de cizallamiento, el momento de flexión y el momento de torsión ([Diapositiva No. 33](#)):

- La *carga axial* se define como una fuerza de compresión o de tracción que pueda acortar o alargar la longitud del elemento. En el caso de elementos de hormigón armado, su capacidad está ligada a la resistencia del concreto a la compresión, a su confinamiento con refuerzo transversal, y al refuerzo longitudinal. Las fallas se presentan debido a deficiencias en una o varias de estas características.
- La *fuerza cortante o de cizallamiento* ocurre cuando dos fuerzas paralelas con direcciones opuestas actúan sobre un elemento y tienden a ocasionar el deslizamiento o el desplazamiento de una sección del cuerpo con respecto a otro. La falla ocasionada por este tipo de fuerza es súbita e

inesperada, y cuando se presenta en elementos verticales puede socavar la estabilidad de toda la estructura.

- El *momento de flexión* se define como la tendencia de una fuerza a inducir rotación alrededor de un determinado eje. Una rotación lo suficientemente intensa puede provocar la falla de algún elemento; sin embargo, dentro de ciertos límites contribuye a disipar energía. Tanto este tipo de fuerza como la carga axial, producen esfuerzos de dilatación o de contracción de los elementos.
- El *momento de torsión* es una fuerza que tiende a causar la rotación no coplanar de un elemento con respecto a su eje longitudinal. La falla por este tipo de fuerza resulta tan peligrosa como la falla por fuerza cortante, debido a que ambas producen esfuerzos de distorsión o tangenciales en el sistema estructural. Además, su presencia puede ser sinónimo de colapso parcial o total de la estructura. ([Diapositiva No. 34](#))

## PRESIÓN DE DISEÑO

La acción del viento ejerce una presión básica, modificada por los factores antes mencionados, que se conoce como *presión de diseño*. La presión de diseño es una función de diversos coeficientes de presión que se determinan experimentalmente, de coeficientes de las ráfagas de viento y de las presiones internas que se generan durante un huracán.

En el diseño de la configuración arquitectónica de un hospital de varias plantas se tener presente que los edificios que reaccionan dinámicamente a la acción del viento (flexibles) suelen ser capaces de soportar fuerzas del viento más elevadas que los edificios que no tienen un comportamiento dinámico en tales circunstancias, es decir, son rígidos.

Esta condición depende principalmente de la frecuencia natural de la estructura. Se considera que un edificio es flexible cuando su frecuencia natural es inferior a 1 Hz. Así, al determinar la presión de diseño, el coeficiente de ráfaga será distinto según se trate de estructuras rígidas o flexibles ([Diapositiva No. 35](#)).

Tal como se había establecido anteriormente, la presión de diseño aumenta exponencialmente en el lado de barlovento y es uniforme en las paredes laterales, las paredes de sotavento y en los techos, tanto en los edificios altos ([Diapositiva No. 36](#)) como en los sistemas de techos a dos aguas ([Diapositiva No. 37](#)).

## TIPOS DE DAÑOS OCASIONADOS POR LOS HURACANES

En las zonas propensas a huracanes, el adecuado emplazamiento de los hospitales reviste gran importancia, como dramáticamente quedara de manifiesto cuando, en cuestión de segundos, el huracán Gilbert arrancó de cuajo el techo del Hospital Princess Margaret, durante su desolador paso por Jamaica en 1988 ([Diapositiva No. 38](#)).

Los vientos huracanados son capaces de levantar los cimientos de una estructura. ([Diapositiva No. 39](#)). De ahí que en el diseño de las edificaciones de salud se deba tener presente que los huracanes pueden voltear por completo los edificios cuya fijación sea inadecuada, en particular si se trata de estructuras ligeras.

Los entramados de acero que no están debidamente concebidos pueden también fallar ante las altas presiones del viento, como ocurrió durante el huracán David a su paso por Dominica en 1979, que dejó desamparada a gran parte de la población

de ese país ([Diapositiva No. 40](#)). Las fallas de esta índole suelen originarse en las conexiones.

Las construcciones de mampostería no escapan a la acción del viento. Aunque se las considera relativamente seguras, la pérdida del techo hace que las paredes de mampostería no reforzada se comporten como cantos estructurales libres provocando su falla parcial o total.

El diseño de estructuras de concreto suele atender a las cargas sísmicas. Según proceda, el diseñador debe asegurarse de que el hospital pueda resistir las cargas eólicas para evitar catástrofes durante un huracán.

Las construcciones de madera son las menos seguras por su naturaleza inherente ([Diapositiva No. 41](#)). Además, la creciente escasez y el elevado costo de la madera ya no las hacen necesariamente más económicas que las de concreto y acero.

Sin embargo, cabe señalar que es posible diseñar y construir centros de salud de madera capaces de resistir a los huracanes, siempre y cuando se utilice madera con apropiadas características mecánicas para uso estructural, se provean las conexiones convenientes, y se realice el mantenimiento adecuado de la madera para preservarla de la humedad y los insectos.

La fijación adecuada de los sistemas de soporte de la techumbre es de vital importancia para los establecimientos de salud ([Diapositiva No. 42](#)).

## **REPERCUSIONES ESTRUCTURALES DE LOS HURACANES**

### **NORMAS DE DISEÑO DE RESISTENCIA EÓLICA**

La mayoría de las normas de construcción resistente al viento reposa sobre una filosofía sencilla: asegurar el diseño y la construcción de estructuras capaces de resistir sin daños las cargas eólicas probables, y de resistir con el menor daño posible las cargas eólicas excepcionales. Entre las normas más importantes se destacan la ASCE 7 (de los Estados Unidos), la AS1170.2 (de Australia), la CUBiC (empleada en la zona del Caribe), la ENV 1991-2-4 (de Europa) y la AIJ (de Japón). Aunque existen algunas diferencias entre estas normas, todas siguen un procedimiento parecido para el cálculo de las cargas de viento.

Estas normas se fundamentan en la teoría de que la presión básica es proporcional al cuadrado de la velocidad del viento. Ésta varía de región en región según las características climáticas de la zona, bajo condiciones normales (velocidad medida a una altura de 10 metros sobre el nivel del suelo en un terreno abierto y sin obstrucciones, con un período de reincidencia de 1 en 50 años).

Una vez determinada la velocidad eólica básica de diseño de la región, se la modifica según la topografía, la rugosidad del terreno y la altitud. La ubicación y el diseño inadecuados de una estructura pueden conllevar la pérdida de valiosas inversiones, especialmente cuando se trata de edificaciones cercanas a la costa. ([Diapositiva No. 43](#)).

## **VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL DEBIDA AL DISEÑO ARQUITECTÓNICO**

### **Diseño en planta**

La configuración de la estructura en planta determina en gran medida el comportamiento del edificio ante las cargas de viento. Es recomendable mantener simetría en las estructuras para lograr una distribución equilibrada de las cargas de viento. Si se opta por un diseño no simétrico, el diseñador del establecimiento de salud deberá cerciorarse de que la estructura no se vea afectada por el efecto de torsión ([Diapositiva No. 44](#)). Además del diseño estructural cuidadosamente planificado, se deberá conceder rigurosa atención al control de calidad de los materiales de construcción y su uso, así como a los métodos de construcción que se empleen.

### **Configuración en altura**

En condiciones idénticas desde otros puntos de vista, cabe notar que la altura de un edificio incide en su desempeño ante la acción del viento. Si existen cambios bruscos en la configuración o dimensiones de una planta a otra, se generarán altas presiones, especialmente en las esquinas y los elementos protuberantes, que irán en desmedro de la estructura en general.

### **Techos**

La forma de techo que mejor interactúa con las cargas del viento es la de cuatro aguas (aquella que a partir de un plano rectangular deriva en pendiente en las cuatro direcciones), particularmente con ángulos de pendientes entre 20 y 30 grados. Le sigue en idoneidad el techo de dos aguas, comparado con los techos de pendiente única o planos, siempre y cuando se mantenga el mencionado rango de pendiente entre 20 y 30 grados ([Diapositiva No. 45](#)). También se recomienda mantener los aleros y salientes lo más cortos posible o eliminarlos, para evitar fallas estructurales debidas a las presiones del viento, habiéndose comprobado que los aleros largos tienden a generar presiones de levantamiento, especialmente en techos planos o con poca inclinación ([Diapositiva No. 46](#)). La experiencia ha demostrado que las presiones locales generadas durante fuertes vientos son mayores en las esquinas y cumbreras de los techos.

Los techos de hormigón armado tienen un comportamiento satisfactorio ante cargas de viento laterales, sin embargo, cabrá conceder especial atención a la resistencia e idoneidad de los sistemas de sujeción entre el techo de hormigón y los muros de mampostería o vigas de amarre, en vista de que las aberturas en las fachadas provocadas por la rotura de una puerta de ingreso o de ventanas ante el impacto de escombros lanzados por el viento puede generar presiones negativas hacia el exterior.

### **Influencia de edificios adyacentes**

La concentración de edificios en un área determinada puede tener repercusiones positivas o negativas. Si los edificios están diseñados y construidos de acuerdo con normas actualizadas en materia de resistencia al viento, los edificios ubicados a barlovento protegerán a los demás edificios y la acción del viento conllevará pocos efectos adversos ([Diapositiva No. 47](#)).

Por el contrario, si los edificios que se encuentran a barlovento no están diseñados ni localizados adecuadamente, podrían coadyuvar a la turbulencia que afecte a los edificios adyacentes [\(Diapositiva No. 48\)](#).

### **Otros efectos**

Los huracanes conllevan otros efectos devastadores que pueden afectar indirectamente a un establecimiento de salud, por ejemplo, el incremento del caudal de ríos y cañadas como consecuencia de las fuertes lluvias asociadas al fenómeno. Éste puede agravar la erosión de la base de los estribos de los puentes [\(Diapositiva No. 49\)](#) o provocar deslizamientos que interrumpan tramos de carreteras e inhabiliten las líneas de suministro de servicios básicos [\(Diapositiva No. 50\)](#), que priven a la instalación de salud de servicios esenciales.

## **PROCESO DE DISEÑO DE ESTRUCTURAS RESISTENTES A HURACANES**

El proceso de diseño de edificaciones de salud capaces de resistir cargas eólicas extremas requiere el cumplimiento de una serie de etapas que deben llevarse a cabo, de conformidad con las exigencias existentes a la luz de los riesgos, en el lugar donde se ubicará la estructura.

### **ESTUDIOS BÁSICOS**

Es preciso conocer la velocidad eólica básica de diseño de la región en donde se construirá la instalación. La velocidad básica de diseño dependerá de la probabilidad de velocidades máximas anuales. Dependiendo de la ubicación de la estructura, las velocidades serán catalogadas como huracanadas o no huracanadas.

En el caso de vientos no huracanados, las velocidades de diseño se determinarán según los vientos registrados en la región. En el caso de vientos huracanados, los registros podrían ser escasos o imprecisos como para determinar de manera coherente una velocidad de diseño. Se deberá realizar, entonces, estudios de simulación para asignar velocidades de diseño correctas en las zonas vulnerables a huracanes.

Además, se deberá identificar las zonas propensas a inundaciones, deslizamientos, tormentas y marejadas, ya que estos subproductos de los huracanes pueden afectar considerablemente la integridad estructural de un hospital.

### **DEMANDA**

La mayoría de los problemas de vulnerabilidad de los establecimientos de salud relacionados con los efectos de los huracanes y de otras catástrofes naturales se presentan por la falta de coordinación y comunicación entre las distintas partes responsables del diseño de esos locales. Se impone, pues, un esfuerzo concertado de las distintas partes interesadas (médicos, administradores hospitalarios, ingenieros, arquitectos, etc.), para que en el diseño definitivo no se de cabida a la tolerancia de los daños provocados por el viento. Cualquier abertura que ocasione un huracán en la envoltura externa de un edificio, como el desprendimiento de una sección del techo o la ruptura de puertas y ventanas, puede provocar la inhabilitación funcional del hospital.

## DISEÑO

Una vez determinada la velocidad básica de diseño, se utilizan los principios de ingeniería eólica para determinar las cargas de viento que deberá soportar en circunstancias reales el establecimiento de salud. Definidas las presiones del viento probables, el ingeniero estructural podrá diseñar el hospital de manera que su sistema estructural primario resista adecuadamente las cargas impuestas sin sufrir casi ningún daño o con daños insignificantes.

En los análisis estructurales se deberá contemplar tanto la presión interna positiva como negativa. En ambos casos, se deberá evaluarlas junto con las presiones perpendiculares a la cumbrera ([Diapositiva No. 51](#)) y paralelas a ésta ([Diapositiva No. 52](#)).

Asimismo, es importante el cuidadoso diseño de los elementos no estructurales, como los elementos constitutivos y las fachadas, ya que éstos podrían verse sometidos a grandes presiones debido a sus reducidas áreas efectivas.

## VERIFICACIÓN

Los desplazamientos de los elementos de una estructura bajo la presión de vientos extremos pueden producir daños estructurales y no estructurales. Es necesario que se verifique que los desplazamientos máximos absolutos y relativos se encuentren dentro de los parámetros establecidos por la mayoría de las normas locales de construcción actualizadas.

La experiencia ha demostrado que los establecimientos de salud diseñados como sistemas estructurales de losas planas, apoyadas directamente sobre columnas, sin ningún tipo de larguero o losa de refuerzo capaces de absorber fuerzas de perforación, ([Diapositiva No. 53](#)) son ineficientes y muy difíciles de reparar si han sufrido averías a raíz de un huracán. Un sencillo análisis de los planos servirá para descartarlas por completo.

También es importante verificar que se pueda transferir adecuadamente las cargas eólicas desde el techo hasta los cimientos a través de una ruta continua de transferencia de carga ([Diapositiva No. 54](#)). Si el diseño original no contempla este aspecto, será necesario un nuevo y correcto diseño de las conexiones para evitar el colapso de la estructura ([Diapositiva No. 55](#)).

## VULNERABILIDAD DE ESTRUCTURAS HOSPITALARIAS EXISTENTES

Los análisis de vulnerabilidad estructural se realizan con el propósito de evaluar la seguridad de una edificación existente o planificada ante los efectos de vientos extremos. ([Diapositiva No. 56](#)). De conformidad con las normas de diseño vigentes en materia de resistencia eólica en la construcción de hospitales, la estructura debe ser capaz de resistir:

- el máximo evento huracanado de diseño sin sufrir ningún tipo de daño.
- huracanes de intensidad superior a la del evento de diseño, apenas con daños no estructurales menores que puedan ser reparados con facilidad

Esta evaluación es de suma importancia en el caso de establecimientos de salud existentes pues sirve para identificar las deficiencias en los elementos estructurales o no estructurales que requieren de algún tipo de refuerzo para asegurar su funcionamiento continuo, luego del paso de un huracán.

El objetivo principal de un estudio de vulnerabilidad de un hospital es evaluar la susceptibilidad de la estructura a sufrir daños debidos a los efectos de un huracán y, además, catalogar los eventuales daños [\(Diapositiva No. 57\)](#).

## **METODOLOGÍA DE LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EÓLICA**

Los procedimientos de evaluación de la vulnerabilidad ante los efectos del viento se clasifican en dos categorías:

- a) métodos cualitativos
- b) métodos cuantitativos

### **Métodos cualitativos**

Los métodos cualitativos [\(Diapositiva No. 58\)](#) se emplean para evaluar de forma rápida y sencilla las condiciones de seguridad estructural de una edificación. Se otorga una clasificación a la estructura de acuerdo a la evaluación de parámetros tales como la edad de la edificación, el estado de conservación y mantenimiento, la calidad y las características de los materiales, el número de pisos, la configuración geométrica arquitectónica y los sistemas estructurales.

Uno de los aspectos más importantes que cabe tomar en cuenta es la probabilidad de que los elementos cedan al pandeo, ya que es uno de los problemas más comunes en las estructuras sometidas a elevadas cargas eólicas.

Entre otros factores que inciden en la evaluación cualitativa figuran: la topografía del lugar, su ubicación en un entorno (urbano, rural, etc.), y la velocidad eólica básica de diseño para la zona en la que se haya edificado el establecimiento de salud.

Si la clasificación de los métodos cualitativos indica alguna deficiencia en la resistencia de la edificación a vientos intensos se deberá realizar análisis cuantitativos más detallados.

### **Métodos cuantitativos**

Los métodos cuantitativos determinan la capacidad de resistencia de la estructura primaria del establecimiento de salud existente, denominada también en este contexto sistema principal de resistencia eólica [\(Diapositiva No. 59\)](#). Los procedimientos son muy parecidos a aquellos empleados en la evaluación del diseño de estructuras nuevas. La principal diferencia radica en que no se puede elegir ni determinar desde el inicio ciertas variables, con la orientación de avanzadas normas de ingeniería eólica, tales como la ubicación, el sistema estructural, la calidad de los materiales de construcción y el empleo de fachadas y otros componentes no estructurales. En su defecto, se ha de aceptar estas variables tal y como existan y se deberá proceder a analizarlas para determinar su grado de vulnerabilidad en condiciones extremas de viento y adoptar las medidas correctivas consiguientes.

Los métodos cuantitativos exigen el acopio de gran cantidad de información; de hecho, de tanta información cuanta sea factible recopilar. Así, son más precisos que los métodos cualitativos para predecir el tipo de falla probable tanto en general como con respecto a elementos específicos, de ahí que sean más confiables al momento de evaluar la seguridad de una edificación ante los efectos del viento. No

obstante son métodos más costosos y demandan mayor tiempo por parte del equipo evaluador.

Independientemente del método de evaluación, si la estructura no cumple los requisitos de resistencia y seguridad, deberá ser reforzada para reducir el nivel de vulnerabilidad ante los efectos de vientos intensos.

## **REFUERZO DE ESTRUCTURAS EXISTENTES**

El refuerzo de estructuras existentes se impone cuando los análisis de vulnerabilidad demuestren la existencia de alguna deficiencia estructural en edificaciones existentes. Sin embargo, el reforzamiento no deberá perjudicar el carácter funcional del establecimiento de salud ni la calidad de los servicios que allí se presten, ni suponer el desalojo provisional de instalaciones vitales que, por definición, han de funcionar ininterrumpidamente durante el año.

Al analizar los elementos estructurales que deben ser reforzados, se considerarán los riesgos específicos asociados a vientos extremos; así, se incorporarán algunos elementos y se eliminarán otros. Se deberá considerar también los elementos no estructurales, comprobando si contribuyen a mejorar o deteriorar el comportamiento de la edificación en caso de huracanes [\(Diapositiva No. 60\)](#).

El diseño de los nuevos elementos debe ser tan riguroso como en el caso de estructuras nuevas. Se cuidará en particular la idoneidad de los nexos entre los elementos nuevos y la estructura existente. En general, un reforzamiento busca descargar la estructura existente de las deformaciones y esfuerzos a que originalmente estaba sujeta la estructura de manera que los nuevos elementos estructurales absorban las cargas eólicas y de otra índole, reduciendo la vulnerabilidad de la estructura.

Cabe anotar que el refuerzo estructural de un hospital para resistir los efectos del viento es menos complicado y más económico que el refuerzo estructural antisísmico.

## **TÉCNICAS DE REFUERZO ESTRUCTURAL MÁS FRECUENTES**

Con el refuerzo estructural se busca mejorar la capacidad de un edificio para resistir las altas presiones producidas por los vientos huracanados. También se busca reforzar aquellos elementos no estructurales que, en caso de falla, permitirían que la fuerza del viento penetre la envoltura externa de un edificio, generando presiones internas que pondrían en peligro la integridad estructural de toda la edificación. Además, el viento y el agua que ingresen afectarían sin duda la funcionalidad del hospital durante y después de un huracán, además de suponer un riesgo para el equipo médico y auxiliar.

A continuación figuran algunas medidas que contribuirían a mejorar el comportamiento de las edificaciones y que cabrá tener presente en toda obra de refuerzo estructural de hospitales:

- Velar por el adecuado anclaje de las columnas de madera o acero con el sistema de cimientos. [\(Diapositiva No. 61\)](#).
- Usar conectores galvanizados para asegurar una buena conexión entre las vigas y columnas de madera [\(Diapositiva No. 62\)](#).

- Cerciorarse de la impermeabilidad del techo, por ejemplo mediante la observancia de las normas de construcción en la conexión de membranas asfálticas o láminas de acero galvanizado con el arriostamiento del techo.
- Proveer refuerzo lateral adicional utilizando, por ejemplo, muros cortantes, o elementos de arriostre.
- Incrementar la rigidez de las paredes exteriores de mampostería incorporando columnas de concreto adicionales.
- Utilizar grapas galvanizadas para asegurar una buena conexión entre las vigas primarias y secundarias, especialmente en techos inclinados [\(Diapositiva No. 63\)](#).
- Cerciorarse de que exista una buena conexión entre las vigas de madera y las de hormigón armado, mediante grapas de acero especiales [\(Diapositiva No. 64\)](#).
- Proveer mantenimiento adecuado, por ejemplo, protección anticorrosión de las estructuras metálicas.
- Proveer adecuado anclaje entre la techumbre de metal y las anclas de viga de acero y los muros de mampostería [\(Diapositiva No. 65\)](#).
- La conexión entre los elementos estructurales y no estructurales, tales como las paredes de partición, se debe realizar de manera que los sistemas primarios soporten las cargas laterales [\(Diapositiva No. 66\)](#) y que las deformaciones no induzcan la falla de las paredes [\(Diapositiva No. 67\)](#).
- El reforzamiento de las paredes interiores y exteriores de un hospital debe ceñirse a las normas locales, de conformidad con las recomendaciones de los estudios de vulnerabilidad [\(Diapositiva No. 68\)](#).
- En las diapositivas siguientes se muestran algunos detalles de refuerzo estructural: [\(Diapositiva No. 69\)](#), [\(Diapositiva No. 70\)](#), [\(Diapositiva No. 71\)](#), [\(Diapositiva No. 72\)](#) y [\(Diapositiva No. 73\)](#).

## AUTORES

- D. Comarazamy – Texto y diapositivas
- T. Gibbs – Fotografías y revisión de textos
- C. Compañy - Fotografías
- J. Vermeiren – OEA – Imágenes y gráficas
- A. Comarazamy – Dibujos en CAD
- F. Sánchez – Diseño y edición gráfica
- NOAA – Imágenes de huracanes
- OPS – *Mitigación de Desastres en Instalaciones de Salud*

Elaborado por:

Grupo de Estabilidad Estructural (Ge<sup>2</sup>) / INTEC

Ave Los Próceres, Galá

Apdo. 349-2

Santo Domingo, República Dominicana

[www.intec.edu.do](http://www.intec.edu.do)

.....