

CAPITULO 4

DISEÑO CONSIDERANDO AMENAZAS NATURALES

4.1 ASPECTOS GENERALES

Los centros de salud presentan características especiales de ocupación, complejidad, suministros críticos, sustancias peligrosas, dependencia de servicios públicos y una continua interacción con el medio ambiente externo. Muy a menudo, debido a que los desastres naturales son poco frecuentes, estos son ignorados en la planeación y diseño de hospitales y de otras instalaciones relacionadas; inclusive en regiones donde los riesgos son bien conocidos. Actualmente es posible predecir con exactitud que puede pasar en una instalación como consecuencia de huracanes, inundaciones, terremotos o erupciones volcánicas, pero dada la gran variedad de actividades que pueden ocurrir en un hospital, es necesario tener cuidado en analizar los escenarios posibles para evitar una caótica interrupción de su funcionamiento.

Una estructura insegura puede sufrir daños estructurales o puede llegar al colapso o derrumbamiento. Si esto último ocurre el desastre es mayor, pues el hospital se convierte en un problema que exige una alta atención y no en un apoyo para la comunidad afectada. Ahora bien,

daños graves pueden inducir a una evacuación total y, por lo tanto, la pérdida del servicio durante un lapso prolongado y desconocido.

4.2 TERREMOTOS

Requisitos Sísmicos de Diseño

Aunque este documento no intenta ser un manual de diseño para ingenieros, es importante indicar que muchos problemas del diseño de las instalaciones de la salud pueden ser reconocidos por el propietario de los servicios, el administrador, el planificador, el arquitecto o el ingeniero de la obra, como son los factores que pueden sustancialmente incrementar el riesgo sísmico de las edificaciones existentes o de las nuevas que se piensan construir.

Evaluación de la Amenaza Sísmica. Una apropiada evaluación de la amenaza sísmica, incluyendo las condiciones locales del suelo, es de primordial importancia. Aunque dicho análisis es un requerimiento general de diseño de resistencia sísmica, casos donde la amenaza no ha sido revisada o tomada en cuenta debidamente han terminado en situaciones catastróficas. Esto significa que el daño en un edificio depende tanto de su resistencia y del tipo de suelo que lo soporta como de la intensidad y las características del movimiento mismo que la puede afectar. Una inadecuada atención a la cimentación puede ser la causa de asentamientos diferenciales en las fundaciones. Por ejemplo, en casos extremos donde ocurre licuación, las edificaciones pueden sufrir inclinación, agrietamiento y eventualmente daños irreparables que pueden conducir a la pérdida total. Los asentamientos son también propensos a ocurrir si las zapatas aisladas de cada columna se encuentran en diferente tipo de suelo o si se utilizan cimentaciones mixtas en la misma edificación.

Requisitos de Comportamiento Sísmico

El diseño de nuevas instalaciones de salud de acuerdo con los requisitos de los códigos sismo-resistentes de cada país intenta garantizar un nivel de seguridad aceptable desde el punto de vista económico y social. No obstante, se reconoce que un sismo fuerte con una baja probabilidad de ocurrencia, es decir con una recurrencia de muchos siglos, podría causar daños estructurales y no-estructurales significativos aunque no se llegue a comprometer la estabilidad de la estructura de la edificación. Este criterio de riesgo aceptable radica en

el hecho que no es práctico o económico garantizar la absoluta seguridad ante un evento natural de cualquier intensidad.

En consecuencia, la aplicación de los requisitos de los códigos de construcción estructural no necesariamente protege contra daños sobre los elementos no-estructurales. Los propietarios de las instalaciones de salud deben considerar como implementar requerimientos adicionales de comportamiento sísmico para proteger a los ocupantes y los componentes internos de la edificación. La estrategia básica para reducir los daños no-estructurales es la consideración, para este tipo de elementos, de precauciones similares a las establecidas por los códigos sismo-resistentes para las estructuras.

Los siguientes son los objetivos de comportamiento sísmico que se sugiere deben cumplir las instalaciones de la salud:

- ▶ Los daños después de un sismo intenso deben ser reparables y no deben ser una amenaza para la vida.
- ▶ Pacientes, personal y visitantes deben ser protegidos durante un terremoto.
- ▶ Los sistemas de servicios de emergencia de la instalación deben permanecer operacionales después del terremoto.
- ▶ Los ocupantes, los rescatistas y el personal de emergencia deben estar en capacidad de circular en forma segura al interior de las instalaciones.

Estos objetivos intentan garantizar que la instalación esté disponible para cumplir con su papel mediante la activación de su plan de respuesta a desastres después del evento.

Aunque algunos de esos problemas son tratados en códigos de diseño y comportamiento sísmico de edificaciones, las soluciones residen más en el entendimiento de la respuesta sísmica por parte del diseñador que de los requisitos especificados por los códigos.

Los problemas están esencialmente ligados con la selección del sitio, la configuración del edificio y a los aspectos no-estructurales.

Selección del Sitio

Por muchos años se ha conocido que las condiciones locales del terreno tienen una influencia definitiva sobre las características del movimiento del suelo. Suelos duros compactados, tipo roca, son acelerados con movimientos de alta frecuencia, en contraste con depósitos blandos de poco espesor no consolidados donde el movimiento tiende a ser de períodos largos. Más recientemente, se determinó que las

irregularidades topográficas pueden amplificar significativamente el movimiento esperado en relación con el plano del terreno, y la topografía de valles que contienen depósitos de suelo pueden jugar un papel importante en las características del movimiento en el sitio.

La localización encima o cerca de fallas activas o en áreas propensas a los efectos de un tsunami debe ser definitivamente evitada. El estudio del sitio antes del diseño y la construcción de nuevas instalaciones de la salud es más que justificado y, en efecto, debe ser parte del procedimiento normal para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones existentes.

Configuración de las Edificaciones

Ingenieros y arquitectos han aprendido que un factor importante en el comportamiento esperado de edificaciones es la regularidad y la simetría en la forma del edificio. Un edificio en forma de caja es inherentemente menos vulnerable que uno en forma de L ó U, que uno con aletas o que uno con una torre que se levanta por encima de una plataforma más baja. Un edificio con forma irregular puede torcerse en cada sacudida, concentrando esfuerzos sobre la edificación demasiado fuertes que incrementan significativamente los daños.

Se puede concluir por lo tanto que:

- ▶ Los edificios rectangulares simples son más convenientes, la longitud no debe ser mayor que tres veces su ancho;
- ▶ Las edificaciones simétricas en planta y elevación son mejores que las asimétricas. Las irregularidades deben ser examinadas en ambos sentidos horizontal y vertical.

Efectos en los Elementos No-estructurales. Estos componentes no solo pueden sufrir daño sino que pueden, en efecto, causarlo. Lo que quiere decir que algunos elementos no-estructurales pueden interactuar con la estructura de algún modo, cambiando la respuesta dinámica esperada durante el sismo. Esto debe ser evaluado cuidadosamente para evitar interacciones desfavorables.

Elementos de Unión. La experiencia de sismos pasados ha demostrado que una causa frecuente de desastres tiene su origen en conexiones inadecuadas de elementos del edificio o de sus partes anexas. En ocasiones ésto puede ocurrir como consecuencia de la falta de mantenimiento y revisión de elementos propensos a la corrosión.

Particular atención, por ejemplo, debe dársele a las conexiones de los elementos prefabricados de fachada.

Aspectos No-estructurales

Además de la consideración de los requisitos impuestos por los códigos para las estructuras, los cuales requieren de aproximaciones racionales de diseño, especial atención debe dársele a una serie de aspectos que pueden ser evitados teniendo en cuenta medidas poco costosas. Por ejemplo, estantes que almacenan abastecimientos médicos deben ser asegurados a las paredes para prevenir su volcamiento o la falla de los compartimientos durante un movimiento intenso. Tal reducción de vulnerabilidad no-estructural puede ser la diferencia entre tener una instalación estructuralmente segura, pero inservible, y una instalación funcional y operacional en la fase de emergencia post-sísmica.

4.3 HURACANES

Criterios de Diseño

Ciertas instalaciones de la salud y algunos de sus departamentos son de mayor importancia que otros después de un desastre natural. Hospitales de urgencia y edificios que almacenan equipos especiales de atención médica requieren un nivel mayor de seguridad que, por ejemplo, instalaciones que alojan servicios de lavandería.

Se debe mencionar que con relación a la intensidad, los huracanes son fenómenos que hay que entender de manera muy flexible. Por ejemplo, no es posible decir que existe un máxima velocidad tope del viento para todos los huracanes. En consecuencia, tampoco es factible económicamente diseñar contra la ocurrencia de todos los huracanes concebibles. Sin embargo, cuando los consultores son comisionados para llevar a cabo el diseño de instalaciones de la salud, es esencial que las especificaciones tanto de los componentes críticos del hospital como los criterios de diseño para fuerzas del viento sean empleados.

En el segundo capítulo de este documento se mencionaron las categorías de los huracanes de Saffir/Simpson, las cuales deben tenerse en cuenta en el diseño. La probabilidad de ocurrencia de un huracán es menor en la medida que aumenta su intensidad o sea el número de la categoría. En otras palabras, un huracán de categoría 5 (daño potencial catastrófico) es menos probable de que ocurra en un año que un huracán de categoría 1 (daño potencial mínimo). La metodología "Factor S_3 " utilizada por los ingenieros del Caribe, es una de las

técnicas más utilizadas para el cálculo y el diseño de edificaciones teniendo en cuenta la velocidad del viento. Este factor se incrementa con la vida útil de diseño del edificio por la probabilidad de que una velocidad específica del viento sea excedida en cualquier año.

Las especificaciones de diseño de velocidad del viento deben estar dadas en relación con un período promedio particular sobre el cual el viento es medido. Los períodos típicos son: 1 hora (Código Canadiense), 10 minutos (Caribbean Uniform Building Code), 3 segundos (Barbados Association of Professional Engineers Wind Code) y la milla más rápida (Código de USA). En la tabla 4.1 figuran las velocidades del viento equivalentes para un viento de 120 mph expresadas para cada velocidad promedio e ilustra claramente la necesidad de especificar la velocidad promedio:

Periodo Promedio	Velocidad del Viento			
1 hora (Canadá)	<u>120</u>	113	91	79
10 minutos (CUBiC)	127	<u>120</u>	96	84
Milla más rápida (USA)	158	149	<u>120</u>	105
3 segundos (BAPE)	181	171	137	<u>120</u>

Tabla 4.1 Período Promedio para una Velocidad del Viento Equivalente a 120 mph

Los diseñadores frecuentemente siguen por seguridad las categorías 2 y 3 de huracanes. Es conveniente que las instalaciones más críticas sean diseñadas para las categorías de huracanes 4 y 5. El huracán Hugo en 1989 fue de categoría 4, el Alberto en 1988 y el Andrés en 1992 fueron de categoría 5. La determinación de los criterios de diseño para las instalaciones de salud requiere una evaluación inicial de su importancia por administradores del sector salud y luego una cuidadosa selección de los valores de diseño en conjunto con el consultor. Los primeros esquemas básicos arquitectónicos preparados para el diseño de nuevas instalaciones de salud proveen la mejor oportunidad para que los administradores de salud exijan la seguridad de toda la estructura en relación con las amenazas naturales incluyendo huracanes y vientos fuertes.

Además de la selección de la velocidad básica del viento para ser usada en el diseño, otros aspectos deben ser considerados tales como la localización, la forma del edificio y el tipo de estructura. Esos aspectos son tratados a continuación.

Localización de la Instalación

La intensidad del huracán es modificada por la topografía del entorno. Algunos ejemplos son:

- ▶ Los valles de suaves declives pueden actuar como embudo acelerando la velocidad del viento.
- ▶ En cimas de colinas muy expuestas se sabe que la acción del viento siempre es fuerte.
- ▶ Abismos, acantilados y valles estrechos pueden proveer un refugio contra el viento.
- ▶ Bosques densos pueden servir de barrera de protección contra las ráfagas del viento.

Se debe tener en cuenta, por lo tanto, la topografía del medio circundante cuando se realiza la localización y el diseño de las estructuras.

Forma del Edificio

Domos y formas poligonales presentan pocos bordes con el filo suficiente para modificar el flujo del viento sobre la edificación. Esto significa que no se presenta una alta posibilidad de succión del viento y por lo tanto existe una mayor seguridad. La mayoría de edificios, sin embargo, son rectangulares en planta. Relaciones longitud-ancho de 3:1 o menos son favorables. La relación más eficiente para la resistencia al viento es 1:1, que corresponde al cuadrado. La vulnerabilidad aumenta en el caso de relaciones por encima de 3:1.

Las plantas en forma de L son más vulnerables que las cuadradas. Un incremento en presión ocurre cuando el viento se canaliza por la arista de las dos aletas. En general, los edificios que son asimétricos en planta o elevación son más vulnerables que los de forma simétrica a las cargas laterales generadas por el viento.

En aquellos edificios donde se utilizan techos livianos, la forma de la cubierta será el factor determinante de la posibilidad de daños a causa de huracanes.

Techos Livianos

Uno de los elementos más importantes de una edificación es su techo, pues su pérdida causa en el caso de huracanes muchos daños en el contenido de la edificación. El comportamiento de cubiertas ante cargas generadas por el viento está influenciado por los materiales utilizados en su construcción. La mayor protección contra vientos fuertes la

proveen los techos pesados como las placas o losas de concreto reforzado.

En varios países de Centro y Sur América, las cubiertas livianas son comúnmente utilizadas tanto en las edificaciones del sector público como del sector privado. Generalmente son construidas con acero corrugado, listones o vigas de madera. Alternativamente, los techos, cubiertas y otros revestimientos son soportados en entramados de madera que a su vez están soportados por vigas o bien de madera o de acero en celosía. No obstante, debido a su resistencia relativamente reducida comparada con las estructuras de concreto reforzado, las cubiertas livianas son inherentemente inseguras.

A continuación se indican algunas recomendaciones que se pueden tener en cuenta para mejorar la seguridad de este tipo de techos:

- ▶ Elección de la forma del techo. El orden de preferencia de las formas es:
 - (i) Cubierta de 4 aguas (declive por los cuatro lados)
 - (ii) Cubierta muy inclinada de 2 aguas
 - (iii) Cubierta poco inclinada de 2 aguas
 - (iv) Cubierta de una sola inclinación
 - (v) Cubierta plana

La experiencia ha demostrado que las inclinaciones entre 20° y 40° proveen la mejor resistencia al viento.

- ▶ Uso de láminas pesadas de 0.5 mm mínimo de espesor en acero y de 0.9 mm de espesor mínimo en aluminio. El espesor de la lámina brinda la menor probabilidad de falla bajo cargas de fatiga o fuerza a través de la misma. Las láminas de asbesto-cemento no son recomendadas debido a que son frágiles y más susceptibles al daño por el impacto de elementos arrastrados por el viento.
- ▶ Uso de tableros de madera. Estos proveen una segunda línea de defensa. Los elementos de revestimiento sirven para la protección ante el agua (impermeabilizante) y su pérdida no conduce inmediatamente a la falla de la estructura del techo.
- ▶ Elementos atornillados son menos propensos a safarse que aquellos que solamente están clavados. En zonas de alta succión los elementos deben fijarse con espaciamientos pequeños particularmente en las zonas adyacentes a elementos tales como alerones y caballetes. Los pernos deben ser instalados en los valles de las ondulaciones de las tejas, con el fin de reducir la posibilidad de flexión de las mismas o de falla por fatiga debido a las succiones

cíclicas generadas por vientos huracanados. Sin embargo, especialmente en tejas con perfiles sinusoidales, este tipo de fijación puede causar goteras, por lo tanto en caso de que los pernos se instalen en los lomos de la teja, deben colocarse bloques entre la teja y las celosías.

- ▶ Uso de aleros cortos o sin traslapo. Si es requerido contar con sombra sobre puertas y ventanas, deben usarse cobertizos separados del techo, de tal manera que su falla no contribuya a poner en peligro el techo completo.
- ▶ Utilización de parapetos o áticos que reduzcan la posibilidad del levantamiento en los bordes.
- ▶ Incorporación de caballetes ventilados para reducir la presión interna contra el techo y las paredes.

Ventanas, Puertas y Paredes

Las aberturas de las ventanas y las puertas son zonas vulnerables. Las ventanas de vidrio son particularmente vulnerables y deben ser protegidas con el uso de contraventanas. Donde sea factible, las contraventanas deben fijarse permanentemente a la edificación. Esto asegurará que estén siempre disponibles y eliminará la necesidad de almacenamiento. Las contraventanas pueden ser fabricadas en el sitio o pueden ser adquiridas prefabricadas en madera o en aluminio, lo cual permite su fácil instalación y disponibilidad.

Las puertas externas deben ser de construcción robusta y deben estar en buenas condiciones. No es suficiente contar con conectores comunes para la seguridad de puertas y grandes ventanas. La alta presión y succión generada durante un huracán puede causar fallas en los puntos de fijación de cerrojos y bisagras. Por esta razón es recomendable que se usen elementos de arriostramiento para reforzar puertas y ventanas. Estos arriostramientos deben ser asegurados en ranuras o abrazaderas conectadas directamente con la pared. Los huracanes más recientes en el Caribe han demostrado que, incluso, paredes de bloques de concreto pueden ser derribadas por los vientos huracanados. Por lo tanto un adecuado refuerzo estructural debe proveerse en lo posible a este tipo de muros.

Conexiones en los Edificios

Es imperativo que todos los componentes de un edificio sean conectados en forma segura. Un techo bien construido puede no quedar

en su lugar si no está adecuadamente conectado al resto del edificio. El uso de pasadores y correas de metal son recomendados para la conexión. En el caso de uniones entre madera y concreto, los pernos deben ser anclados debidamente dentro de los miembros de concreto para garantizar la conexión.

Resumen

En general, existen muchas medidas que pueden ser incorporadas en el diseño de nuevas instalaciones de la salud para garantizar su seguridad ante la ocurrencia de huracanes. Por esta razón, se debe mantener una continua comunicación entre administradores y consultores durante la fase de diseño, con el fin de que se tengan en cuenta en forma detallada los requisitos necesarios para reducir los posibles daños que se pueden producir en caso de huracán.

4.4 INUNDACIONES

Diseño de Sistemas de Drenaje

Los sistemas de drenaje para las instalaciones de la salud deben diseñarse de acuerdo con la importancia relativa de cada instalación, la cual puede ser determinada por los profesionales del sector. Los drenajes comunes de las instalaciones normalmente se diseñan para acomodar lluvias con períodos de retorno del orden de los 20 años. Sin embargo, en las últimas dos décadas se han presentado lluvias con períodos de retorno que se estima exceden los 50 años.

Los sistemas de control de inundaciones para las instalaciones esenciales, como lo son las del sector de la salud, deben tener un diseño más riguroso que el que se aplica convencionalmente. Las siguientes guías podrían, además ser utilizadas como criterios para el diseño de sistemas de drenaje en las instalaciones de la salud:

- ▶ Pavimentos, especialmente de acceso de vehículos, deben estar libres cuando se presenten tormentas que generen inundaciones con períodos de retorno superiores a 50 años.
- ▶ Debe evitarse el ingreso de agua a los edificios principales aún en el caso de inundaciones de grandes dimensiones.
- ▶ Alternativas en la trayectoria del flujo deben proveerse con el fin de evitar inundaciones por bloqueo o colmatación.

El tiempo de concentración del área de drenaje, es decir, los tiempos usados como de duración de las lluvias, puede ser muy corto para este tipo de instalaciones. Los 10 minutos utilizados en forma convencional

pueden resultar insuficientes. La intensidad de las lluvias puede incrementarse significativamente para pequeños cambios en la duración de eventos cortos. Razón por la cual es muy importante calcular con precisión la duración de los aguaceros.

Debido a que datos de lluvias de pluviómetros son escasos, en la mayoría de los países no se cuenta con suficiente información, en consecuencia deben realizarse extrapolaciones con base en la información existente o tomar información de zonas que tienen condiciones similares, que permitan obtener curvas de intensidad-duración-frecuencia y períodos de retorno mayores para las precipitaciones.

Localización

Instalaciones de la salud localizadas cerca de corrientes de agua, como valles o planicies inundables, son más susceptibles a inundaciones que aquellas localizadas en terrenos altos o alejados de los cursos de agua. Las condiciones aguas arriba de la instalación influyen en la escorrentía hacia la misma. Por ejemplo, una vegetación densa reduce la velocidad máxima de la escorrentía por la capacidad de intercepción de las lluvias y por el incremento en el tiempo de concentración; mientras que en un área altamente urbanizada hay una mayor escorrentía y no se reduce de la misma manera el tiempo de concentración. Instalaciones de la salud localizadas en elevaciones tienden a tener menores áreas de captación, razón por la cual se recomienda considerar este aspecto con el fin de evitar los efectos de posibles inundaciones.

Condiciones del Subsuelo. Las condiciones del subsuelo, la cobertura del terreno y la manera como se eliminan las aguas de lluvia influyen sobre los volúmenes de escorrentía. Por ejemplo, hay suelos porosos y fisurados que tienen altas tasas de absorción, como también hay suelos de formación volcánica que son impermeables, por lo cual el flujo es solamente superficial o a través de conductos o de corrientes naturales. En consecuencia debe revisarse el tipo de suelos del lugar con el fin de tener en cuenta este aspecto en la localización de las instalaciones de la salud y el diseño de su sistema de drenaje.

Sistemas de Drenaje. El tipo de sistema de drenaje escogido tiene un efecto significativo sobre el comportamiento total del mismo. Sistemas cerrados que usan tuberías y cámaras son más susceptibles a bloquearse

y su mantenimiento es más difícil. Por otra parte, zanjas y canales incorporados al terreno son fáciles de construir, se les puede hacer mantenimiento más fácilmente y son menos costosos aunque menos agradables desde el punto de vista estético. No obstante lo anterior, estos tipos de sistemas deben ser considerados en la medida que sea posible.

Mantenimiento del Sistema. Los sistemas para el control de inundaciones pueden funcionar efectivamente si se les hace un mantenimiento adecuado en forma regular. Probablemente el mayor número de inundaciones en las instalaciones se debe al bloqueo parcial o total de los sistemas de drenaje o de los cursos de agua.

En el diseño de sistemas de drenaje para las instalaciones de salud los ingenieros y diseñadores deben escoger un sistema que cumpla con todos los requerimientos antes mencionados, teniendo en cuenta la importancia que reviste el hecho de que sean sistemas que se les pueda realizar fácilmente su mantenimiento tanto a corto como largo plazo.