

CRITERIOS PARA LA CONSTRUCCION EN LA ZONA COSTANERA

INTRODUCCION

En este artículo trataremos de resumir los requisitos requeridos por la Agencia Federal para el Manejo de Emergencias (mejor conocida como FEMA) para la construcción en áreas costeras propensas a inundación por la marejada ciclónica. En específico, estaremos hablando de los requisitos para construcción en las áreas denominadas en los “Flood Insurance Rate Maps” (FIRMs) de FEMA como Zonas V y A. En un artículo anterior se describió como los FIRMs para Puerto Rico y las Islas Vírgenes fueron construidos en base de información sobre la marejada ciclónica generada por Mercado (1994). Estos mapas son utilizados para establecer cuan expuesta está una propiedad y/o estructura en particular a ser impactada por la marejada ciclónica y, por ende, se utilizan para establecer reglamentos sobre el uso de terrenos costeros, criterios de construcción, y las primas del seguro contra daños por la inundación. De no cumplirse con estos criterios mínimos de construcción el edificio no podrá ser asegurado bajo el Programa Nacional de Seguro Contra Inundación (mejor conocido por sus siglas en inglés como NFIP). Y como consecuencia, ningún banco o entidad federal puede prestar dinero para su construcción. Por esto es que es bien importante el que se cumpla con estos requisitos. Actualmente FEMA, junto con el NFIP, tienen un sistema, conocido como el “NFIP Community Rating System (CRS)” mediante el cual se incentiva a las comunidades a que adopten actividades de manejo de zonas inundables que excedan los requisitos mínimos del NFIP.

Antes de proseguir conviene repasar brevemente lo que es la marejada ciclónica. Durante el embate de un huracán a una costa el nivel estacionario del mar sube sobre el nivel promedio debido a la acumulación de agua a lo largo de la costa (ver Figura 1),



Figura 1

ocurriendo esto a la derecha del ojo del huracán si miramos en la dirección de movimiento del mismo. Esto es lo que se llama la marejada ciclónica, y es debido a la suma de los efectos de la baja presión atmosférica asociada con el ojo del huracán (llamado el efecto del barómetro invertido), los vientos soplando de mar hacia tierra que arrastran agua y la acumulan en la orilla, y las olas que se propagan por encima de la marejada ciclónica y al romper cerca de la costa acumulan agua contra la misma. La presencia de la marejada ciclónica hace que la orilla se desplace tierra adentro una distancia que va a depender de la altura de la marejada ciclónica y la elevación topográfica del terreno a lo largo de la costa. Como consecuencia, olas que bajo condiciones climatológicas normales rompen y disipan su energía mar afuera de la orilla normal, ahora son capaces de penetrar tierra adentro y romper directamente contra estructuras que se encuentre dentro de la zona inundable.

Los FIRMs están hechos en base de la inundación por marejada ciclónica que tiene 1% de probabilidad de ser igualada o excedida en cualquier año en particular. Esto es lo que se conoce como la **Inundación Base (IB)** con periodo de recurrencia de 100 años. Utilizando la Figure 2 como referencia dentro de esta zona, FEMA define la **Zona V (Zona de Alta Peligrosidad)** como la zona que va desde mar afuera hasta donde la altura de la ola (distancia entre la cresta y el valle) se reduce a menos de 3 pies. Según FEMA, estudios demuestran que en la zona en donde las olas tienen 3 o más pies de altura se generan velocidades de las corrientes y material flotante que pueden generar daños estructurales de significado, además del potencial de ocurrir efectos significativos de erosión. La **Zona A** es la zona que queda tierra adentro de donde termina la Zona V. En esta zona pueden ocurrir todos los efectos mencionados para la Zona V, pero en una magnitud menos severa. Finalmente, existe lo que se llama **Zona X**, la cual es la zona cuya peligrosidad de inundación es menor (500 o más años de recurrencia). La combinación de las Zonas A y V se conoce como un **Area Especial de Peligrosidad por Inundación** (conocida en inglés como **Special Flood Hazard Area – SFHA**). La elevación de la inundación dentro del SFHA se conoce como le Elevación de Inundación Base, la cual se define a seguir.

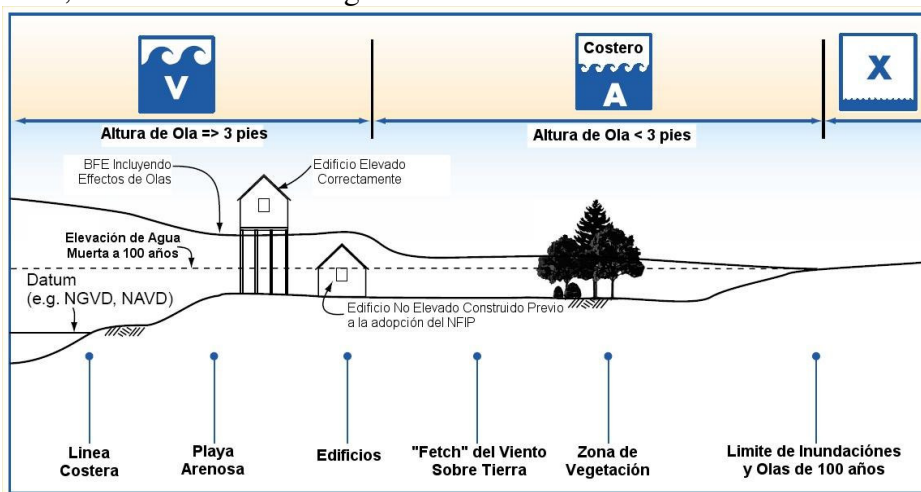


Figura 2

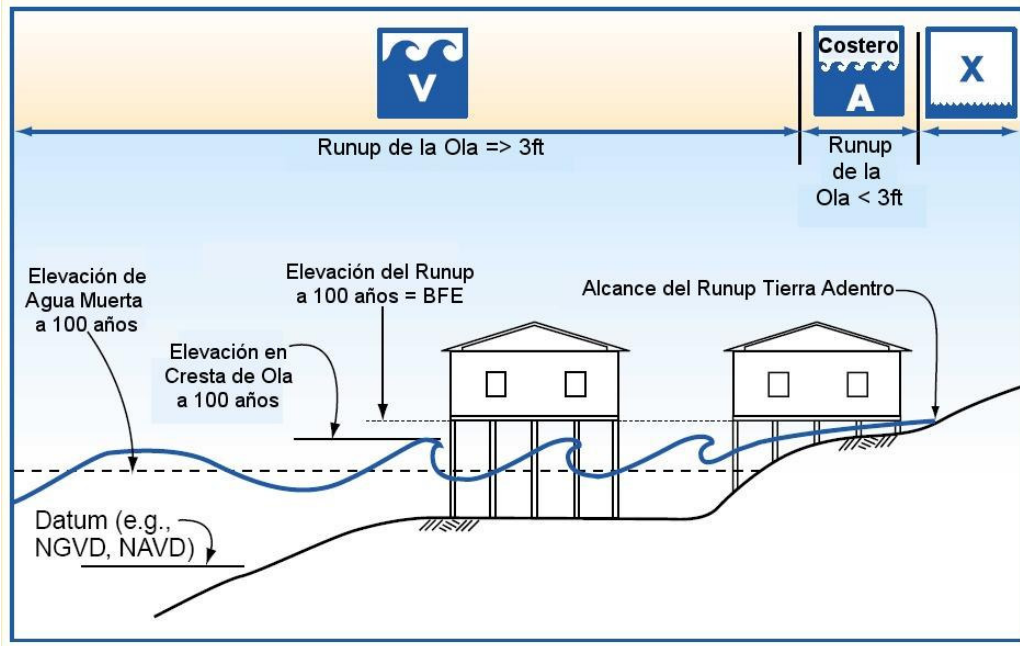


Figura 3

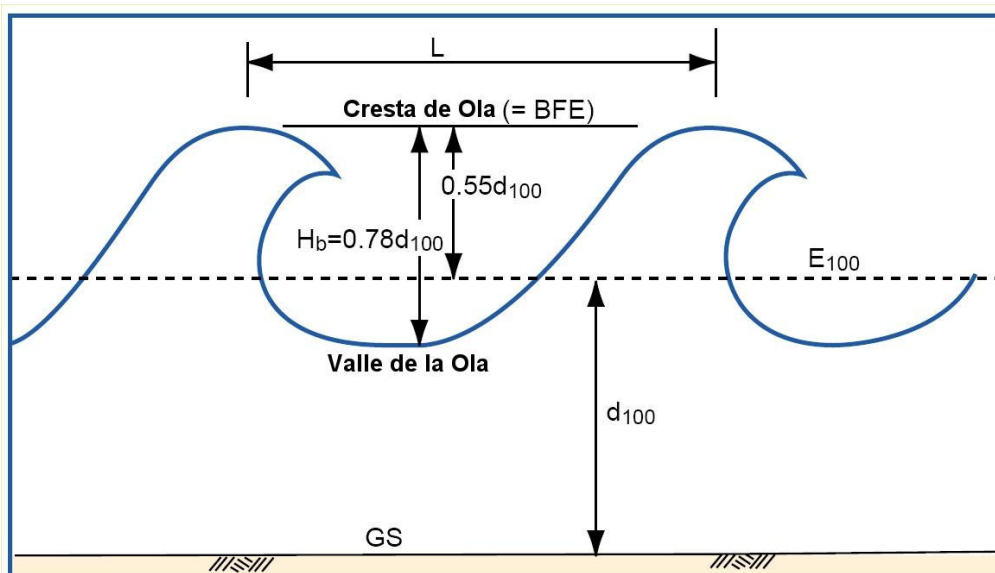


Figure 4

La elevación del agua más importante utilizada por FEMA en los FIRM como parte de sus criterios mínimos de construcción es la llamada **Elevación de Inundación Base** (mejor conocida por sus siglas en inglés por **Base Flood Elevation – BFE**; ver Figura 2). El BFE está dado por la altura, sobre el Nivel Promedio del Mar (mejor conocido por **Mean Sea Level – MSL**), de la cresta de la ola más alta que puede propagarse por encima de la Inundación Base. Pero en algunas áreas el BFE está dado por

el máximo runup asociado con la tormenta de 100 años, tal y como se muestra en la Figure 3. La palabra “runup” no tiene traducción al español. Está dado por la altura (relativo al MSL) alcanzada por el agua de mar al romper sobre una playa o estructura inclinada.

Vamos a describir brevemente como se determina el BFE y de esa manera entenderemos mejor los conceptos envueltos. Para esto utilizaremos las Figuras 2, 3 y 4. Tenemos un huracán que genera en algún lugar de nuestra isla la Inundación Base de 100 años (llamado 100-Year Stillwater Elevation en la Figura 2). Ahora, desde mar afuera se acercan hacia la orilla las olas forzadas por el viento, y estas se propagan por encima de la Inundación Base, inundación que ha inundado parte de la costa. Recuerden que el BFE está dado por la elevación de la cresta de la ola más alta que se puede propagar por encima de la Inundación Base. Es un hecho que cuando una ola se acerca a una playa la elevación de su cresta por encima del nivel promedio del mar es mayor que la elevación de su valle por debajo del mismo. Esto es, el perfil casi sinusoidal que existe en aguas profundas se hace asimétrico según la ola penetra a aguas llanas. La metodología de FEMA asume que esa asimetría es tal que la elevación de la cresta por encima de la elevación promedio del mar (E_{100} en la Figura 4) es $0.7H_b$. Por lo tanto, la elevación de la cresta de la ola máxima (relativo al MSL), o sea, la altura del BFE va estar dada por la altura de la Inundación Base más la altura de la cresta de la ola por encima de la Inundación Base, esto es

$$\text{BFE} = \text{Inundación Base} + 0.7H_b$$

Ahora solo resta estimar H_b . La metodología de FEMA asume que dada una profundidad de agua d_{100} (Figura 4), la altura de la ola más alta (distancia vertical entre cresta y valle de la ola) que puede propagarse dada esa profundidad es $H_b = 0.78d_{100}$ (esto sale de la teoría de olas solitarias). Si la ola tratara de hacerse más grande la misma rompería. Substituyendo esta expresión para H_b en la ecuación de arriba llegamos al resultado de que

$$\text{BFE} = \text{Inundación Base} + 0.7H_b = \text{Inundación Base} + 0.55 d_{100}.$$

Esta sencilla formula es la que, en la mayoría de los casos (esto es, en donde no hay que considerar el runup), es utilizada para determinar el BFE. Todo lo que se necesita saber es cuanto es la Inundación Base (la elevación de la llamada inundación de 100 años relativo a un datum), la profundidad del agua en el lugar de interés (d_{100}), y ya tenemos el BFE. Esta elevación es la que se indica como “BFE Including Wave Effects” en la Figure 2. En la práctica este tipo de análisis se lleva a cabo utilizando un programa de computadoras llamado WHAFIS (Wave Height Análisis for Flood Insurance Studies). Según el oleaje penetra tierra adentro y se encuentra con diferentes obstáculos que disipen su energía la altura de la ola se reducirá y, consecuentemente, el BFE.

Pero en los lugares en donde el oleaje pueda llegar con suficiente energía hasta donde termina la inundación (como se muestra en la Figura 3) entonces el BFE está dado por la proyección horizontal hacia mar afuera de la máxima elevación del runup (lo que

se identifica como “100-Year Wave Runup Elevation = BFE” en la Figura 3. En donde se solapan las dos elevaciones (la dada por el runup y la dada por la altura de la ola máxima) se utiliza la mayor.

CRITERIOS DE CONSTRUCCION

Ya que hemos descrito como se determina el BFE, vamos ahora a describir como se aplica. Es importante recalcar que las comunidades que participan en el NFIP son estimuladas a adoptar y esforzar criterios más rigurosos que los mínimos presentados aquí. Las primas de inundación varían de acuerdo a las características físicas del edificio, la fecha de construcción, y la magnitud de la inundación que se pueda esperar en el lugar de construcción. Para que un edificio sea asegurable bajo el NFIP el mismo tiene que tener un techo, tener a lo menos dos paredes, y estar por lo menos 50% por encima del terreno alrededor. Los requisitos regulatorios mínimos que aplican afectan principalmente el tipo de zapata permitida, la altura del piso mas bajo, la instalación de equipo crítico en el edificio, el uso de materiales resistente a daños por inundación, y el uso que se le dará al área debajo del primer piso. La definición del “piso mas bajo” incluye el piso de un sótano si existe uno. Un sótano se define como el área de un edificio que tiene su piso debajo del nivel del terreno alrededor a la estructura en todos sus lados. Y para propósitos del seguro contra inundaciones, esta definición aplica aun cuando el piso no este encerrado por paredes que lleguen completamente al techo, como puede suceder en el caso de un estacionamiento.

Una estructura que tenga una porción de su zapata dentro de la Zona V debe de ser construida en su totalidad de acuerdo a los criterios de construcción dentro de dicha zona. En lo siguiente se presentará un resumen de los requisitos mínimos regulatorios y recomendaciones para la construcción y reconstrucción en zonas SFHA. Por construcción se implica construcción de nuevos edificios, reconstrucción de estructuras substancialmente dañadas y estructuras substancialmente mejoradas. Se procederá en el orden de criterios más básicos a criterios más restrictivos.

Requisitos Mínimos Para Construcción en Todas la Zonas SFHA (Zonas A y V):

- Las estructuras deben de estar razonablemente seguras de no ser inundables.
- Las estructuras deben de ser:
 - diseñadas (o modificadas) y ancladas para prevenir que floten, colapsen, y que sufran movimiento lateral como resultado de fuerzas hidrostáticas e hidrodinámicas.
 - construidas con materiales resistentes a daño por inundación.
 - construidas con métodos y prácticas que minimicen daños por inundación.
 - y, construidas con sistemas eléctricos, calefacción, aire acondicionado, ventilación, plomería, y otros servicios diseñados y/o localizados de manera que se evite la entrada de agua o su acumulación dentro de sus componentes durante ciertas condiciones de inundación.

Requisitos Mínimos Adicionales Para Construcción en Zonas A:

- El tope del piso más bajo, incluyendo el piso del sótano, debe de estar a nivel, o por encima, del BFE. Para estructuras no-residenciales los reglamentos del NFIP permiten una alternativa al requisito anterior. Esto es cuando la parte de la estructura que cae debajo del BFE se hace impermeable al agua y sus componentes estructurales se diseñan capaces de resistir las cargas hidrostáticas, hidrodinámicas, y boyancia. En este caso no hay que cumplir con el requisito del BFE.
- Dentro de la Zona A existen zonas clasificadas como AO que se caracterizan por profundidades llanas (1-3 pies) y/o dirección impredecible del flujo de agua. En estas zonas el tope del primer piso, incluyendo el sótano si existe, debe de estar por encima de la parte más alta del terreno aledaño por una elevación mínima igual a la profundidad de la inundación según se muestra en el FIRM.
- Áreas encerradas que se encuentren debajo de los pisos más bajos solamente se podrá utilizar para estacionamiento, acceso a la estructura, o almacén. Las paredes de estas áreas deben de tener aperturas diseñadas para permitir el flujo y reflujo de las aguas de manera que las presiones hidrostáticas en el interior y exterior se igualen durante la inundación. El diseño para estas aperturas debe de satisfacer, o sobrepasar, los siguientes requisitos mínimos:
 - Se debe de proveer un mínimo de dos aperturas con un área neta total de no menos de 1 pulgada cuadrada por cada pie cuadrado de área encerrada. Una alternativa a este requisito es que se certifique que las aperturas escogidas están diseñadas para automáticamente igualizar fuerzas externas e internas.
 - La parte inferior de cada apertura debe de estar no más alta que 1 pie por encima del terreno exterior contiguo.
 - Las aperturas pueden estar equipadas con persianas, válvulas, o cualquier otro tipo de cubierta protectora siempre y cuando se permita el flujo y reflujo automáticamente.

Requisitos Mínimos Adicionales Para Construcción en Zonas V:

- Toda nueva estructura debe construirse tierra adentro del alcance de la marea alta promedio. En adición, se prohíbe toda alteración a dunas de arena y manglares si las mismas tienen el potencial de aumentar el daño debido a la inundación.
- Toda estructura debe de ser construida sobre pilotes o columnas de manera que el fondo del elemento estructural horizontal más bajo que a su vez forma parte del piso más bajo (excluyendo los miembros verticales de la fundación -o zapata - de la estructura) este a nivel, o por encima, del BFE.
- La base de los pilotes o columnas debe de estar anclada de manera que resista fuerzas boyantes, colapso, y movimiento lateral debido a los efectos del viento y las corrientes de agua todos actuando simultáneamente en todos los componentes de la estructura.
- Se deben de tomar medidas para controlar la erosión, y otras estructuras (como espigones, paredes de mar – seawalls – muros de contención – bulkheads) no pueden estar unidos a la estructura.

- No se puede utilizar relleno como elemento estructural de carga. Si se puede utilizar para modificar el paisaje y para mejorar el drenaje del lugar.
- Todo espacio de la estructura que quede debajo del BFE debe de estar libre de obstrucciones o encerrado solo por paredes que no sean de carga y que sean fácilmente destruidas (breakaway walls). Esto puede incluir enrejado abierto de madera y enrejado contra mosquitos. Todo debe de ser diseñado para que colapse bajo cargas debido al agua sin que cause daños al resto de la estructura. Los requisitos especifican una resistencia para las paredes de no menos de 10 y no más de 20 libras por pie cuadrado. Aunque se permiten diseños alternos que no cumplan con criterios de cargas específicos, siempre y cuando estén diseñados por un profesional licenciado.

Como se indicara arriba, los requisitos arriba expuestos son los mínimos permitidos y FEMA promueve la adopción de requisitos que excedan estos mínimos. El hacer esto conlleva rebajas en las primas contra inundación. Por ejemplo:

- Se recomienda que estructuras en la Zona A cumplan con los requerimientos regulatorios que se exigen para la Zona V.
- Se recomienda que las estructuras se construyan tierra adentro del mayor de estos dos límites: la línea mostrando la erosión a largo plazo y la línea mostrando la erosión esperada por la tormenta de 100 años. Esto es mucho más conservador que requerir que meramente se construya tierra adentro de la línea de marea alta promedio.
- El fondo del miembro estructural horizontal mas bajo debe de elevarse por encima, en vez de hasta, el BFE. A la misma vez, el miembro estructural horizontal mas bajo debe de colocarse perpendicular a la cresta de las olas esperadas.
- Enrejado abierto de madera y enrejado contra mosquitos es preferido a paredes tipo “breakaway” en el espacio debajo de los edificios elevados, o como mínimo, el uso de paredes “breakaway” sólidas se debe de minimizar.

La información aquí incluida se obtuvo del documento Coastal Construction Manual, Vol. I, Third Edition, FEMA 55/May 2000.

REFERENCIAS

Mercado, A., 1994. On the use of NOAA’s store surge model, SLOSH, in managing coastal hazards: the experience in Puerto Rico. *J. Natural Hazards*, 10: 235-246.