



GENTILEZA CRISTIAN PRADO ARQUITECTOS ASOCIADOS

## ESTRUCTURAS TSUNAMI-RESISTENTES

# A PRUEBA DE OLAS

GENTILEZA UNIVERSIDAD DE VALPARAÍSO



■ El maremoto que afectó el litoral de la zona centro-sur del país generó importantes daños en todo tipo de estructuras. Las olas se llevaron todo a su paso demostrando que en Chile no estábamos preparados para enfrentar este tipo de catástrofes.

■ Hay que aprender la lección porque la reconstrucción ya está en marcha.

CATALINA CARO C.  
PERIODISTA REVISTA BIT

**E**L SISMO DE 8,8° Richter que afectó la zona centro-sur del país, el pasado 27 de febrero tuvo su epicentro en el mar. Como consecuencia de ello se registraron ondas de tsunami que impactaron unos 550 km del borde costero, provocando la pérdida de vidas humanas, además de daños de distinta consideración en viviendas, locales comerciales e infraestructura portuaria. La experiencia demostró que en Chile, pese a ser un país con más de 4.000 km de costa, no se construye considerando la posibilidad cierta de enfrentar tsunamis, aseguran los entrevistados. Hay datos. Desde 1562 a la fecha se registraron 28 tsunamis de diferentes magnitudes en nuestro país. El fenómeno de febrero, que afectó la zona comprendida entre las ciudades de San Antonio (V Región) y Tirúa (VIII Región), fue generado por una perturbación del fondo marino ocurrida por la subducción de la pla-

ca de Nazca por debajo de la Sudamericana, produciendo una ruptura de 400 km de largo y 150 km de ancho.

La perturbación del fondo marino genera una onda en la superficie que mar adentro alcanza una altura casi imperceptible, pero toma una velocidad de propagación de alrededor de los 700 km/h. Las ondas van cambiando su forma al acercarse al litoral, debido a la disminución de la profundidad, perdiendo longitud y velocidad pero ganando altura. Así, el tsunami ingresa a poblados costeros a una velocidad de entre 5 a 10 m por segundo, unos 20 a 40 km/h, y con una profundidad de escurrimiento que en el caso del último tsunami varió entre 1 y 9 metros. Con esta información en la mano, queda claro que hay mucho por hacer para enfrentar este tipo de fenómenos. Sin embargo, esta última catástrofe impulsó un primer gran paso: amplios debates sobre diseño de estructuras tsunami-resistentes, planificación urbana en



las zonas costeras y obras de mitigación para combatir el avance del mar.

### DAÑOS ESTRUCTURALES

“Esencialmente hay dos tipos de fuerzas hidrodinámicas que afectan a las estructuras: una proviene del impacto directo de las olas al inundar el borde costero y la otra es debido a las fuerzas erosivas producidas durante el proceso de elevación y descenso del nivel del agua, originado por el flujo alrededor de las estructuras”, explica un informe preparado por los académicos Patricio Winckler, Mauricio Reyes y Manuel Contreras de la Universidad de Valparaíso, para la Cámara Chilena de la Construcción.

El documento también explica que “los efectos secundarios sobre las estructuras son causados principalmente por las fuerzas erosivas del agua al interactuar con el medio. Ejemplos son la pérdida del soporte del suelo producto de la erosión del terreno o cuando

las fuerzas de elevación crean momentos de giro, donde una estructura puede ser levantada de sus cimientos o una embarcación soltada de sus amarras. En esta situación, las estructuras son transportadas en la dirección de las corrientes y el daño es causado por despojos flotantes de embarcaciones, autos y construcciones, entre otros”.

La gran mayoría de las construcciones que enfrentaron las cargas del tsunami del 27 de febrero presentaron daños que las dejaron inhabitables y no operativas, sin excepción de materialidad o diseño. Sin embargo, “algunas estructuras de hormigón armado o de albañilería reforzada no fueron devastadas, como sí ocurrió con otras construcciones de materiales más ligeros como la madera”, explica Sergio Baeriswyl, arquitecto de la Intendencia del Bío Bío a cargo del plan de reconstrucción del borde costero.

Respecto de la materialidad, se observaron fallas variables en las estructuras producto del

impacto de las primeras olas y al efecto de inundación asociado a las ondas secundarias. Con una inundación de alrededor de 2 m, se observó la falla total en las estructuras de madera (salvo palafitos), parcial en albañilería y adobe, y menor en el hormigón armado.

Atención. Si bien las casas de adobe resistieron mejor que las de madera, “el adobe absorbe el agua, por lo que sus propiedades mecánicas pueden cambiar por la presencia de humedad. Además esto genera problemas de habitabilidad, a lo que se suma la presencia de sal en el agua, elemento que también tiende a provocar alteraciones en las propiedades mecánicas de los materiales. Por ello, los efectos de la inundación en el adobe deben ser estudiados”, indica Patricio Winckler, profesor de la carrera de Ingeniería Oceánica de la Universidad de Valparaíso.

Entre las fallas más comunes que presentaron las construcciones está la socavación de las fundaciones, especialmente en viviendas



▲ Las viviendas de distintas materialidades sufrieron daños variables. A la izquierda, vivienda de madera con daño grave; en el centro, casa de mampostería con daños menores; a la derecha, vivienda de adobe con daño moderado.



GENTILEZA UNIVERSIDAD DE VALPARAISO

Arriba: Fallas en viviendas livianas que fueron arrastradas por el agua, dejando sólo los pequeños pilotes que las sostenían. Derecha: Inundaciones en sectores bajos de Llo-Ileó.



livianas, lo que incluso provocó la flotación de algunas. Este problema se dio principalmente en las cabañas de madera, asentadas sobre pequeños pilotes enterrados y hormigonados a escasa profundidad (en algunos casos apenas supera los 30 cm), en las que el paso del agua socavó las fundaciones haciéndolas perder el anclaje y ser arrastradas.

En los casos en que no hubo socavación, los diminutos pilotes resistieron el paso del agua pero las estructuras de madera de igual forma fueron arrastradas. Ello se debió a que en este tipo de estructuras las uniones son armadas con clavos, elementos que “están pensados para transferir el peso, la sobrecarga y el sismo, pero no para resistir una fuerza hacia arriba provocada por la flotación. Esta fuerza provoca que los clavos se suelten, las uniones fallen y las viviendas livianas sean arrastradas por el flujo”, señala Winckler.

Las únicas estructuras de madera que resistieron de buena forma el paso del tsunami

fueron los palafitos cuyos pilotes tenían una altura superior a la del flujo del agua. Hay que tomar nota, porque el sistema de pilotes no genera gran resistencia a la fuerza del agua y al estar bien hincados no sufren socavamiento.

### DISEÑOS TSUNAMI-RESISTENTES

El primer problema a la hora de diseñar construcciones tsunami-resistentes es que “no hay conciencia de los esfuerzos a los que puede estar sometida una construcción cuando es inundada por una subida del nivel del mar o golpeada por las olas”, explica Juan Mackenna, consejero de la Cámara Chilena de la Construcción, quien señala la inexistencia en Chile de normativas específicas para edificar en el borde costero. Pese a ello, los daños observados en el último tsunami permiten diferenciar entre materialidades o sistemas constructivos que son menos vulnerables al golpe de las olas, como el hormigón armado.

Pensando en la reconstrucción, en la región del Bío Bío se han elaborado varias tipologías de viviendas tsunami-resistentes, para su construcción en áreas vulnerables, uno de esos prototipos fue elaborado por la oficina de arquitectos “Cristian Prado Arquitectos Asociados”, quienes diseñaron una vivienda que no pone resistencia al paso de las olas. Para ello se pensó en una solución de palafitos, no tradicionales. “En ellos, el primer piso concentra sólo dependencias y actividades que no comprometen fuertemente la vida de la familia, ni el patrimonio residencial. Es decir, en el primer piso no se vive ni se duerme, sólo se puede trabajar, tener estacionamientos, una bodega o la caja de escala”, señala Baeriswyl.

El diseño entregado por la oficina de arquitectos en la parte inferior tiene pilotes y la caja de escalera, todo construido en hormigón armado, y un espacio que puede ser utilizado como estacionamiento o bodega. Mientras que en la parte superior estará la casa, con

### Diseño de vivienda tsunami-resistente para Llico.



una estructura de dos pisos construida en madera. La vivienda tendrá una superficie de 54 m<sup>2</sup>, ampliable a 75 metros cuadrados. De esta forma, se apunta a que el paso de un tsunami no amenace la vida de las personas y no comprometa la permanencia residencial de la familia en su vivienda.

La idea es que esta fórmula sea replicada en edificios comerciales, en que el primer piso se considere como inundable, evitando el desarrollo de actividades críticas desde el punto de vista de los servicios y las actividades productivas, dejando el piso inferior como dependencias susceptibles a ser destruidas sin dañar el edificio ni su funcionalidad. El objetivo es que tras una nueva catástrofe las ciudades no tengan grandes pérdidas operativas ni económicas.

El método de vivienda tipo palafito es considerado pasivo, puesto que permite el paso del tsunami a través de un área sin causar mayor daño. Sin embargo, también existen diseños

GENTILEZA CRISTIAN PRADO ARQUITECTOS ASOCIADOS



que consideran estructuras resistentes capaces de soportar la fuerza de un maremoto. Estructuras firmes como paredes, terrazas o bermas compactadas que pueden bloquear la fuerza de las olas, pero este bloqueo puede dar como resultado una amplificación de la altura de la onda, redirigiendo su energía hacia otra área.

También existen “soluciones de viviendas que tienen sus ejes estructurales orientados en dirección contra el flujo del agua. Esta filo-

sofía de diseño es análoga a la del casco de un buque que rompe las líneas del flujo, lo que garantiza que si bien la tabiquería periférica puede fallar, la estructura soportante quedará en pie. La debilidad de esta idea es que en algunos casos el flujo generado por el tsunami no tiene una dirección muy clara, pues las olas pueden ir en distintas direcciones reflejándose y canalizándose. Así, resulta muy difícil establecer a priori la dirección de inci-



Prefabricados de Hormigón **budnik**

- La más moderna infraestructura, con tecnología y equipamiento de última generación.
- Ingenieros y Técnicos calificados para la asesoría integral de tus proyectos.



## PLANIFICACIÓN DE LA RECONSTRUCCIÓN COSTERA EN LEBU

ZONA DUNAS DE MITIGACIÓN

NUEVAS ZONAS HABITACIONALES



dencia del flujo sobre una casa para saber con exactitud en qué dirección orientarla”, indica Winckler. Este diseño fue utilizado a nivel de prototipo en Sumatra tras el tsunami de diciembre de 2004 (ver recuadro).

### PLANIFICACIÓN Y MITIGACIÓN

Para planificar la reconstrucción del borde costero es fundamental evaluar los riesgos de tsunami y el peligro asociado para cada zona. Para ello el informe realizado por expertos de la Universidad de Valparaíso recomienda: 1) Estudiar las fuentes de generación, fenómenos de propagación e impacto costero para tsunami de carácter histórico y esperable en el área de interés. 2) Mediante modelación numérica estimar la máxima inundación, campos de altura y de velocidades debidos a tsunamis desde el origen hasta su proceso de término. 3) Determinar las cargas hidrodinámicas de tsunami para el diseño estructural de los distintos elementos de

las futuras obras marítimas. Además, una vez analizado el peligro se debe evaluar la vulnerabilidad de un determinado asentamiento mediante la definición de variables geodemográficas de cada localidad. Finalmente se deben definir medidas de mitigación del daño orientadas a minimizar la pérdida de vidas y el daño de las obras marítimas y terrestres. Estos elementos en conjunto posibilitarán el incorporar nuevos mapas de zonificación de riesgo de tsunamis en el diseño de los instrumentos de planificación urbana.

En el litoral la zonificación por riesgo resulta fundamental, pues los expertos coinciden en que el borde costero no puede dejar de ser utilizado por el posible riesgo de tsunami. Juan Mackenna indica que “es posible erigir viviendas y construcciones para uso humano en el borde costero, siempre y cuando se cumplan los requisitos mínimos de emplazamiento y diseño. Hay zonas donde los niveles de inundación serán muy altos o existe el

riesgo del golpe de la ola, en esos lugares no debiera permitirse la construcción habitacional, ya que es preferible usar esos terrenos para otros fines”.

La UNESCO entrega recomendaciones internacionales para clasificar el uso de suelos según el nivel de vulnerabilidad de inundación de tsunamis. Estas recomendaciones permiten actividades de servicio en las zonas críticas (con inundaciones superiores a 1,5 m) siempre y cuando no sean de primera necesidad como educación, salud, servicios municipales, policía, bomberos y supermercados. En cambio, si se permite el emplazamiento de actividades turísticas y gastronómicas, pues en caso de resultar dañadas no pondría en jaque la operatividad urbana. Además, los costos de su vulnerabilidad pueden ser internalizados en el tiempo vía seguros u otro tipo de mecanismo de recuperación del patrimonio.

“En nuestro país la cota de urbanización ya está consolidada en gran parte del borde cos-



## EXPERIENCIA INTERNACIONAL

**TRAS EL TSUNAMI** que afectó la isla de Sumatra en diciembre de 2004, la Prajnopaya Foundation diseñó prototipos de viviendas sociales de bajo costo con características tsunami-resistentes. El diseño considera la generación de ejes estructurantes más complejos que los muros perimetrales, basado en cuatro soportes independientes, de hormigón reforzado, ubicados en cada esquina de la casa. La solución otorga cinco veces más resistencia y es un sistema modular que permite ampliaciones. Las divisiones pueden ser fabricadas en bambú, madera o materiales reciclados.

Este diseño no es aplicable directamente en Chile debido a que posee amplios espacios abiertos, pues fue pensado para el clima cálido de Sumatra. En nuestro país las viviendas costeras deben ser cerradas para lograr buen aislamiento térmico, lo que implicaría modificar el diseño aplicado en Sumatra.

**Solucione la corrosión en el flexible,**  
causa principal de filtraciones e inundaciones



**UNICO FLEXIBLE resistente a la corrosión**

Ensayo realizado por más de 6600 horas en laboratorios de



- ✓ Resistente a los agentes corrosivos presentes en detergentes domésticos
- ✓ Máxima flexibilidad en la instalación evitando posibles estrangulamientos
- ✓ Garantía extendida de 10 años por fallas de fabricación

Flexibles disponibles:

- (1) Flexible para agua M10 x 1/2" HI de 40 cm.
- (2) Flexible para agua HI-HI 1/2" de 40 cm.
- (3) Flexible para llave angular de 25 cm. HI 3/8" x HI 15/16"
- (4) Flexible para llave angular de 35 cm. HI 3/8" x HI 15/16"

**STRETTO**

DISEÑOS QUE FUNCIONAN

Stretto es más **INNOVACIÓN**

## ESTRUCTURAS PORTUARIAS

**EL PASO DEL TSUNAMI** en puertos como el de Talcahuano produjo graves daños a la infraestructura. Esto debido a la gran resistencia al avance de las olas que oponian algunas estructuras y por el impacto de elementos que actuaron como proyectiles, como contenedores o embarcaciones, los que en algunos casos además de dañar la infraestructura fueron arrastrados varios metros hasta zonas urbanas.

Con el fin de evitar esta situación, el plan de reconstrucción de Talcahuano busca eliminar la descarga de barcos en el sector de La Poza y relocalizar esta actividad en el nuevo puerto que se licitará como puerto comercial-pesquero.



GENTILEZA UNIVERSIDAD DE VALPARAISO

tero, lo que hace muy difícil hacer grandes modificaciones. Por ello es necesario internalizar la variable de una posible inundación producto de un tsunami. La idea de esta medida es que esta inundación no resulte tan dañina al no comprometer vidas humanas, patrimonio importante, ni actividades con las cuales las ciudades tienen que seguir prestando servicios para lograr reestablecer un nivel de normalidad tras la catástrofe", explica Sergio Baeriswyl. El arquitecto agrega que si bien el diseño de viviendas tsunami-resistentes aporta en gran medida a este objetivo, es necesario sumar a ello medidas de mitigación que ayuden a detener la fuerza de las olas.

Entre las obras de mitigación consideradas para reconstruir las zonas costeras afectadas se cuentan los parques de mitigación, los que se planifican como espacios atractivos para el turismo, con paseos costeros, incluyendo plazas públicas, áreas deportivas, ciclovías, locales comerciales, restaurantes y estacionamientos. Esta alternativa piensa implementarse en las zonas críticas de Dichato, Talcahuano, Llico y el archipiélago de Juan Fernández, entre otros lugares. Estos bosques o parques de mitigación, permiten disminuir hasta en un 40% la fuerza de impacto de las olas. Para ello es necesario el uso de especies de buena adaptación al clima local, con raíces profundas y vegetación frondosa.

En Constitución se implementará un parque inundable que tendrá una extensión de 7 km y también contará con áreas deportivas y comerciales.

En tanto, en algunas localidades como Coliumo y Caleta Tumbes optaron por los muros de protección o rompeolas para proteger las zonas costeras.

No hay dudas, resulta fundamental planificar y construir pensando en ofrecer resistencia a estas catástrofes, de forma de evitar la pérdida de vidas humanas y daños graves en infraestructura. Hay que construir a prueba de olas. ■

[www.gorebiobio.cl](http://www.gorebiobio.cl), [www.uv.cl](http://www.uv.cl),  
[www.ingenieriaoceanica.cl](http://www.ingenieriaoceanica.cl)

### ARTÍCULO RELACIONADO

- Terremoto. Chile en movimiento. Revista BIT N° 72, Mayo de 2010, pág. 18.

### ■ EN SÍNTESIS

**El tsunami del 27 de febrero provocó graves daños en los diversos tipos de estructuras. La experiencia demostró que las edificaciones livianas construidas a baja altura no resisten las cargas de tsunami, perdiendo su anclaje y siendo arrastradas por el agua. En tanto, el hormigón armado demostró tener un mejor comportamiento frente a este fenómeno, convirtiéndose en una buena alternativa para la reconstrucción. Las viviendas tipo palafito se presentan como una buena opción de construcción tsunami-resistente, siempre que la altura de los pilotes sea mayor a la de las olas. Este tipo de estructuras, sumadas a las medidas de mitigación como parques arbores, ofrecen mayor seguridad a quienes habitan el litoral chileno.**