

# ***TORRE DE EVACUACIÓN***

***- Torre de Evacuación en caso  
de Tsunami -***

**Mayo de 2014**

# Experiencia del Desastre

11 de marzo de 2011

○ 2:46 p.m.

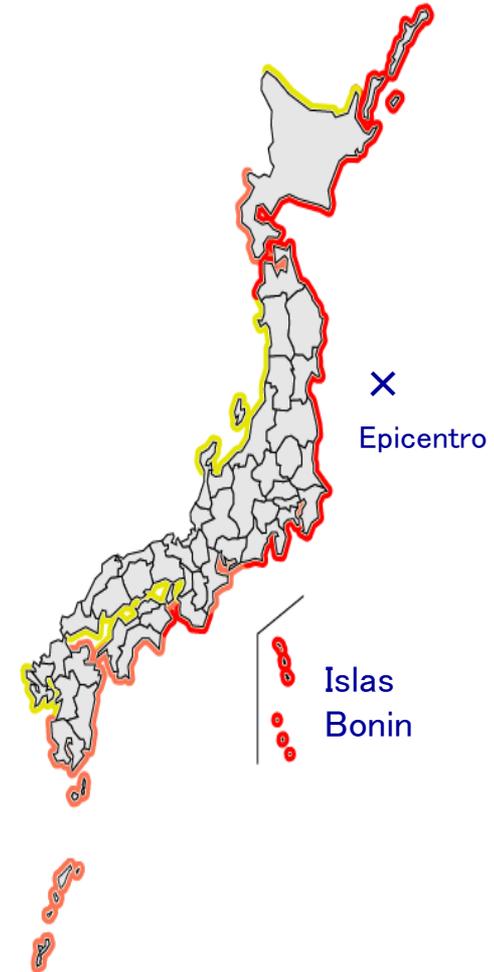
○ Magnitud: 9.0

○ Intensidad máxima: 7 (Prefectura de Miyagi)

○ Epicentro del sismo:

lat.  $38^{\circ} 19' N$ , long.  $21^{\circ} 18' E$

○ Muertos y desaparecidos: 20,000 aprox.



# Tsunami

14:46 Sismo

15:25 Llegada del tsunami



# Tsunami



No existen lugares de evacuación en altura en la zona costera

# Qué fue lo que salvó vidas humanas?

Terremoto & Tsunami en la fábrica de NSMP en Sendai



Antes



Después

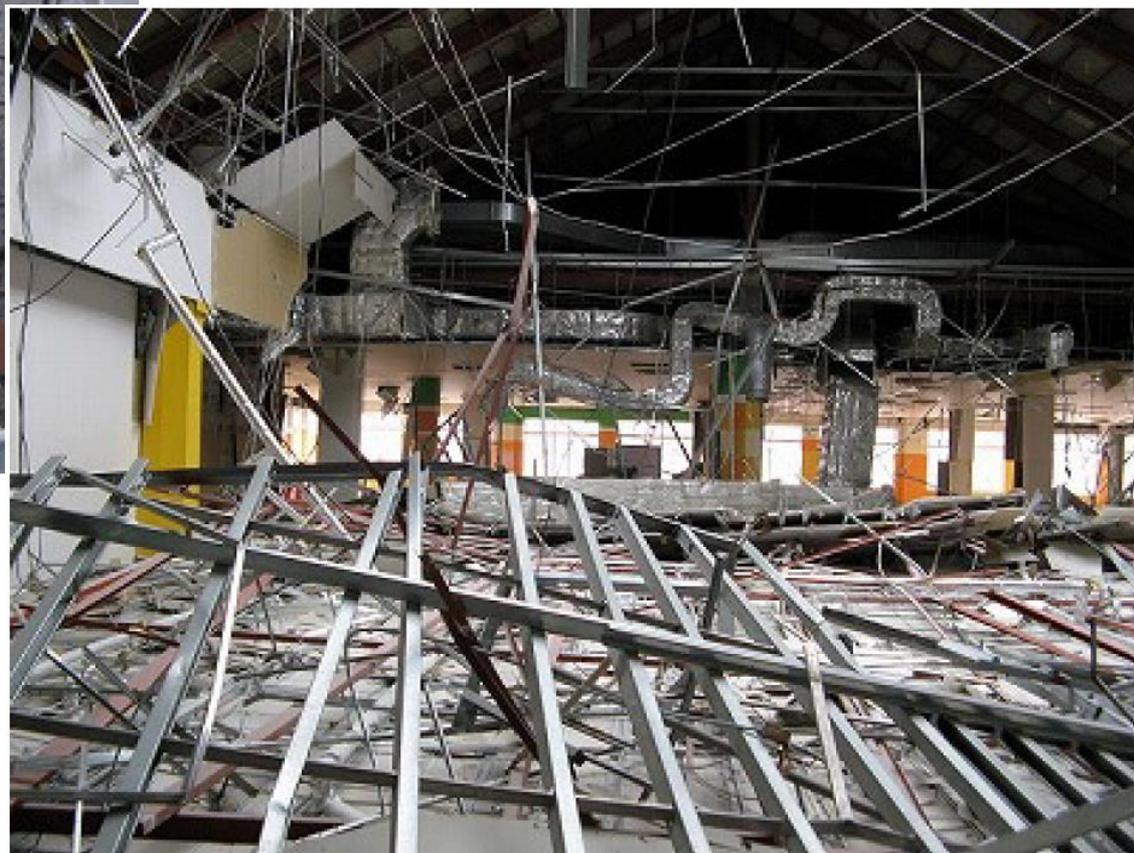
# Evacuación



Los **Montículos Artificiales** y  
Constantes Simulacros salvaron  
muchas vidas



# Daños provocados por el sismo



# Daños del tsunami



Estructura de hormigón armado



# Daños típicos con Estructuras Construidas de Acero

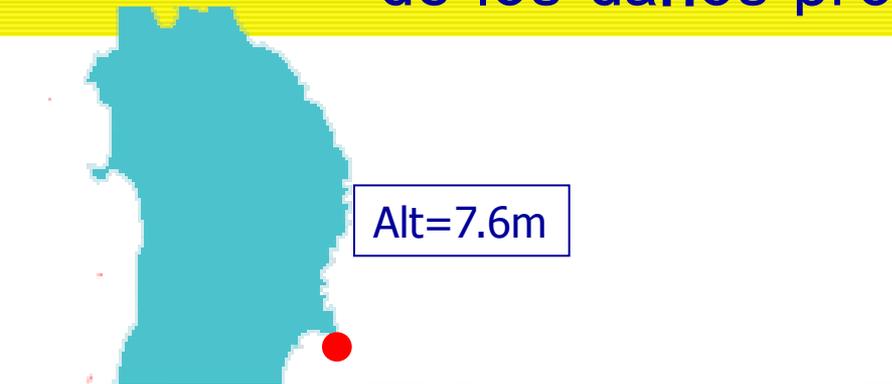
- Condiciones de la estructura de acero después del sismo y el tsunami.

El tsunami no causó daños importantes debido al excelente comportamiento sísmico de las columnas tipo cajón con conexiones de marco rígido.



Condiciones de las edificaciones con columnas tipo cajón con conexiones de marco rígido después del tsunami.

# Las estructuras de acero permanecieron intactas a pesar de los daños provocados por el tsunami



# Residencia hecha mediante el “Sistema por Pilotaje” con marco de acero



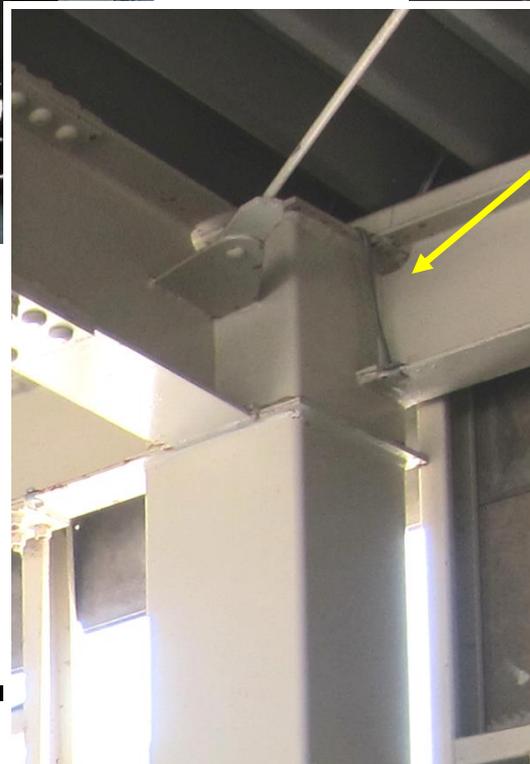
Alt=7.6m



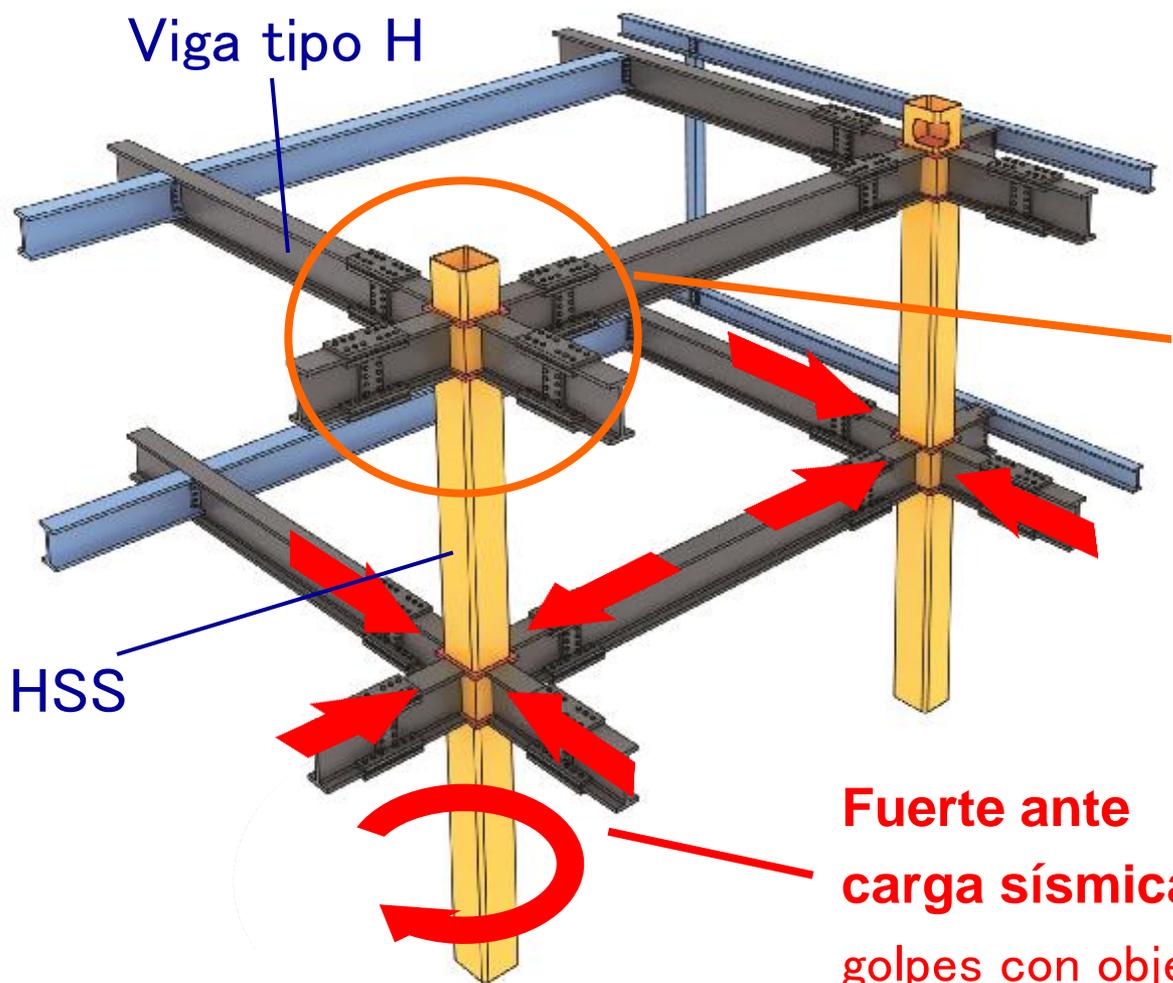
# Las columnas tipo cajón con conexiones de marco rígido NO presentaron daños



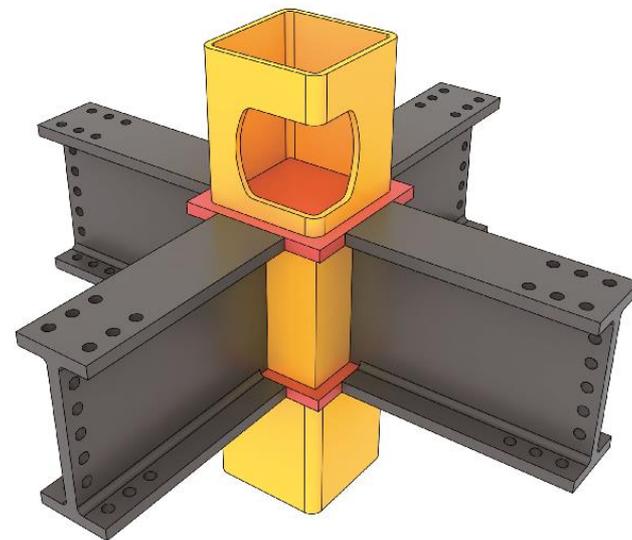
El marco principal de acero, las columnas tipo cajón con vigas, y las conexiones de marco rígido NO presentaron daños



# Detalles del Diseño y Tecnología



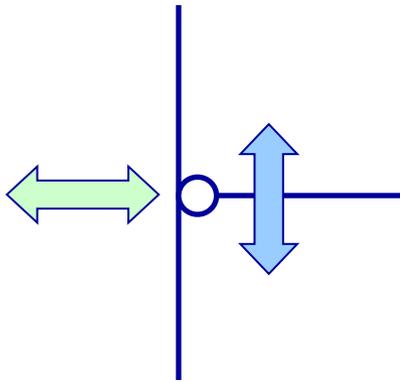
Las columnas en cajón HSS con conexiones de marco rígido y vigas tipo H sostienen toda la estructura.



Fuerte ante carga sísmica, presión de agua de tsunami, golpes con objetos flotantes.

# Tipo de conexión

## ① Conexión de corte

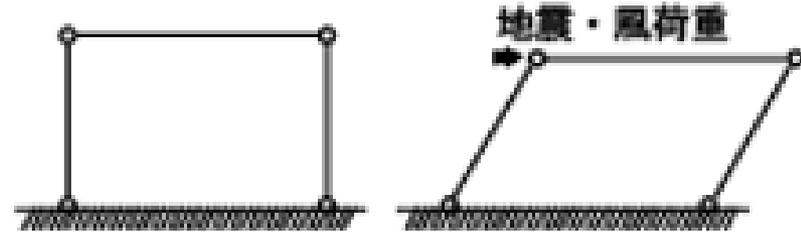


Fuerza horizontal: ✓

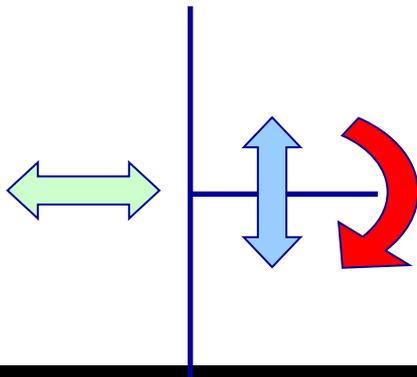
Fuerza vertical: ✓

Fuerza giratoria (Momento): ✗

✗ Frecuentemente, la fuerza horizontal se sostiene por soportes.



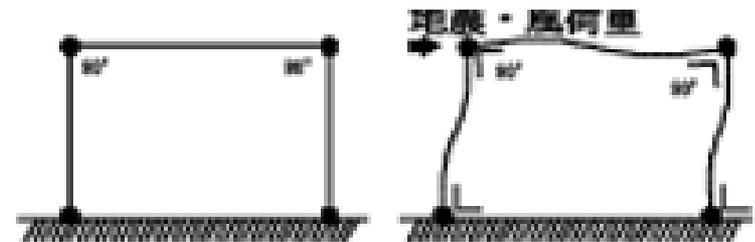
## ② Conexión rígida



Fuerza horizontal: ✓

Fuerza vertical: ✓

Fuerza giratoria (Momento): ✓



Ref.

# Estructura de marco rígido con columnas tipo caja y vigas tipo H



Modelo estándar de edificio comercial de uso extendido en Japón con un alto valor comercial y excelente **comportamiento sísmico**.

# Concepto y Diseño de la SG Tower (Torre de Evacuación)



# Características especiales de la Torre de Evacuación

La Torre de Evacuación para casos de tsunami posee tres características especiales: Seguridad, Ecología, y Diseño.



# Construcción Rápida y Favorable al Medio Ambiente

- **Construcción Rápida** : de 2 – 3 meses, incluyendo a 1–1.5 meses para los cimientos



← Pre-fabricación de Alto Nivel en la fabrica (a la izquierda)

↓ El único empernado realizado en el sitio (abajo)



- **Fácil de Cambiar y Reutilizar**

Las partes están unidas por tornillos, por lo que pueden ser fácilmente derribados.

- **Material Favorable para el Medio Ambiente**

El acero es 100% reciclable y emite cantidades mas bajas de CO2 en comparación con las estructuras de Hormigón Armado.

# Seguridad y Protección

## ● Estructura Fuerte

No debe ser derrumbado por terremoto ni tsunami, aún si fuera dañada parcialmente.

## ● Ubicación, Capacidad y Diseño para una Evacuación Rápida y Sin Problemas

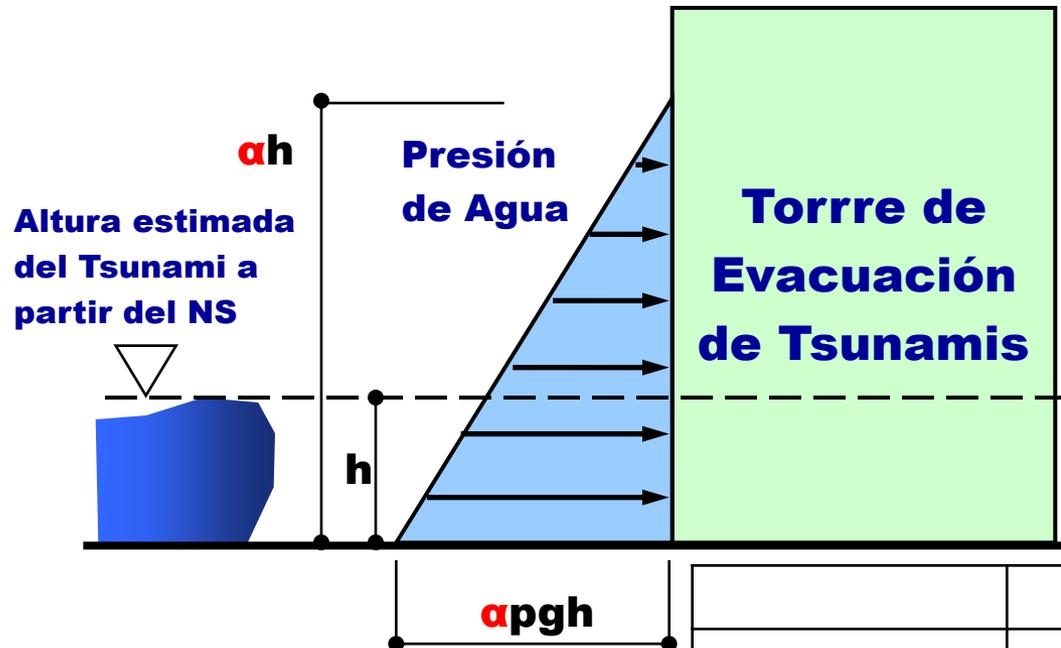
La mejor ubicación y capacidad de la SG Tower debe ser simulado uno por uno, para que la gente pueda evacuar rápidamente y sin problemas antes de que llegue el tsunami.

## ● Conforme a las Regulaciones (Japón)

- ① Ley de Normas de Construcción
- ② Asesoramiento Técnico por MLIT (Ministerio de Tierra, Infraestructura, Transporte y Turismo) de Japón

# Que debe ser considerado en el Diseño

## ① Cálculo de la Presión de Agua



- $\alpha$  : Coeficiente de la profundidad del agua
- $h$  : Altura estimada del tsunami a partir del NS (m)
- $\rho$  : Masa de agua por unidad de volumen ( $t/m^3$ )
- $g$  : Aceleración de la gravedad ( $m/s^2$ )

Distancia del Área Costera	Con Barrera		Sin Barrera
	Mayor a 500m	Menor a 500m	Cualquier distancia
Coeficiente de la profundidad del agua $\alpha$	1.5	2	3

# Que debe ser considerado en el Diseño

## ② Fuerza Integral del Agua

## ③ Fuerza Bruta en Cada Piso

Fuerza de apoyo horizontal de cada piso > Fuerza bruta del Tsunami

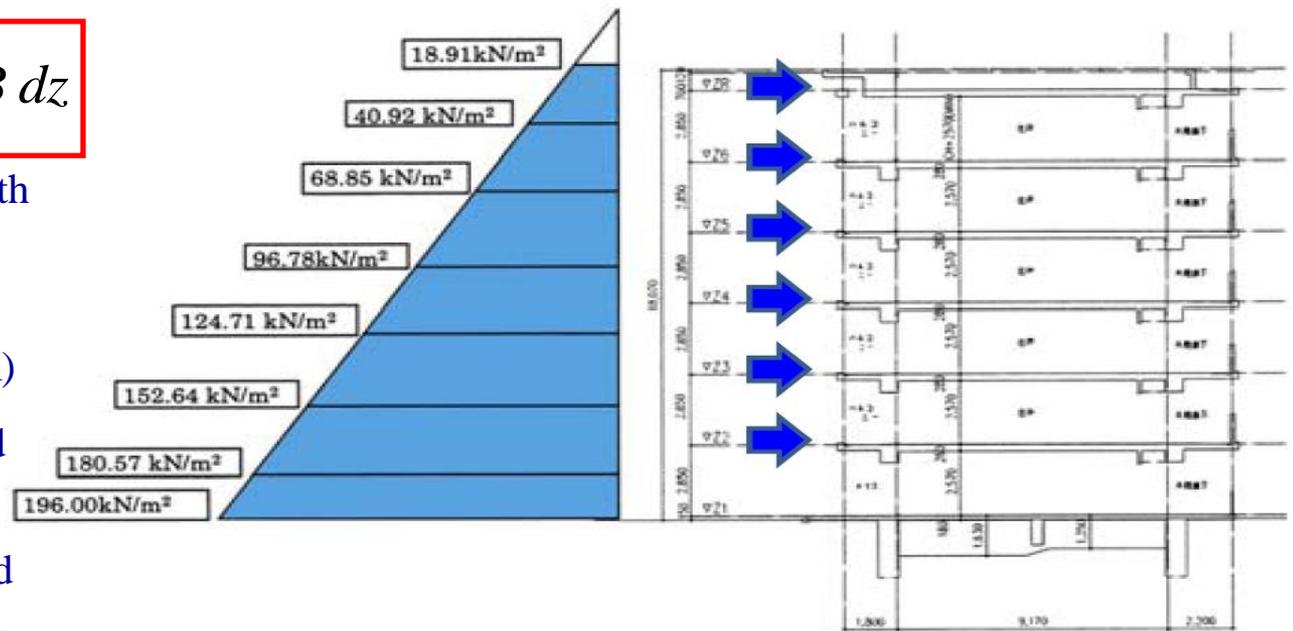
$$Qz = \rho g \int_{z_1}^{z_2} (ah - z) B dz$$

$Qz$ : Estimated tsunami strength from coming direction (kN)

$B$ : Width of affected area (m)

$z_1$ : Lowest height of affected area ( $0 \leq z_1 \leq z_2$ ) (m)

$z_2$ : Highest height of affected area ( $z_1 \leq z_2 \leq ah$ ) (m)



# Que debe ser considerado en el Diseño

## ④ Flotabilidad

$$F_b = \rho \times g \times V$$

$\rho$  : Water mass per unit volume (t/m<sup>3</sup>)

$g$  : Gravity acceleration (m/s<sup>2</sup>)

$V$  : Volume below estimated tsunami height from GL

- a. Flotabilidad del Diseño de la Estructura Superior (podría causar colapso)
- b. Flotabilidad del Diseño de los Cimientos (podría causar rotación y deslizamiento)

## ⑤ Diseño de una Parte Estructural similar a una Columna o Muro de Soporte la cual es Resistente a la Presión



Para evitar la flexión o cizallamiento, la resistencia a la rotura de las partes estructurales debe ser más alta que la de tsunami.

# Que debe ser considerado en el Diseño

## ⑥ Objetos a la Deriva

(Arboles, Automóviles, Contenedores, Botes, Escombros, etc.)



Incluso en el caso de que algunas partes estructurales estén dañados, la capacidad total de carga del edificio deberá mantenerse igual.

# Que debe ser considerado en el Diseño

## ⑦ Fregado

Utilice cimentación en pila para prevenir la inclinación del edificio causada por el fregado o prepare el terreno circundante para evitar el fregado del mismo.



Cimentación de Propagación



Cimentación en Pila

# Que debe ser considerado en el Diseño

## ⑧ Colapso

Fuerza de apoyo horizontal de cada piso  $>$  Fuerza bruta del Tsunami



# Que debe ser considerado en el Diseño

## ⑨ Vuelco

### Pila de Tensión

Fuerza de tracción axial de la pila < última resistencia a la retirada de suelo  
(El valor menor entre la resistencia a la tracción de la pila y la fricción del pilote)

### Pila Comprimida

Fuerza de tracción axial de la compresión de la pila < capacidad de carga máxima del suelo



# Que debe ser considerado en el Diseño

## ⑩ Deslizamiento

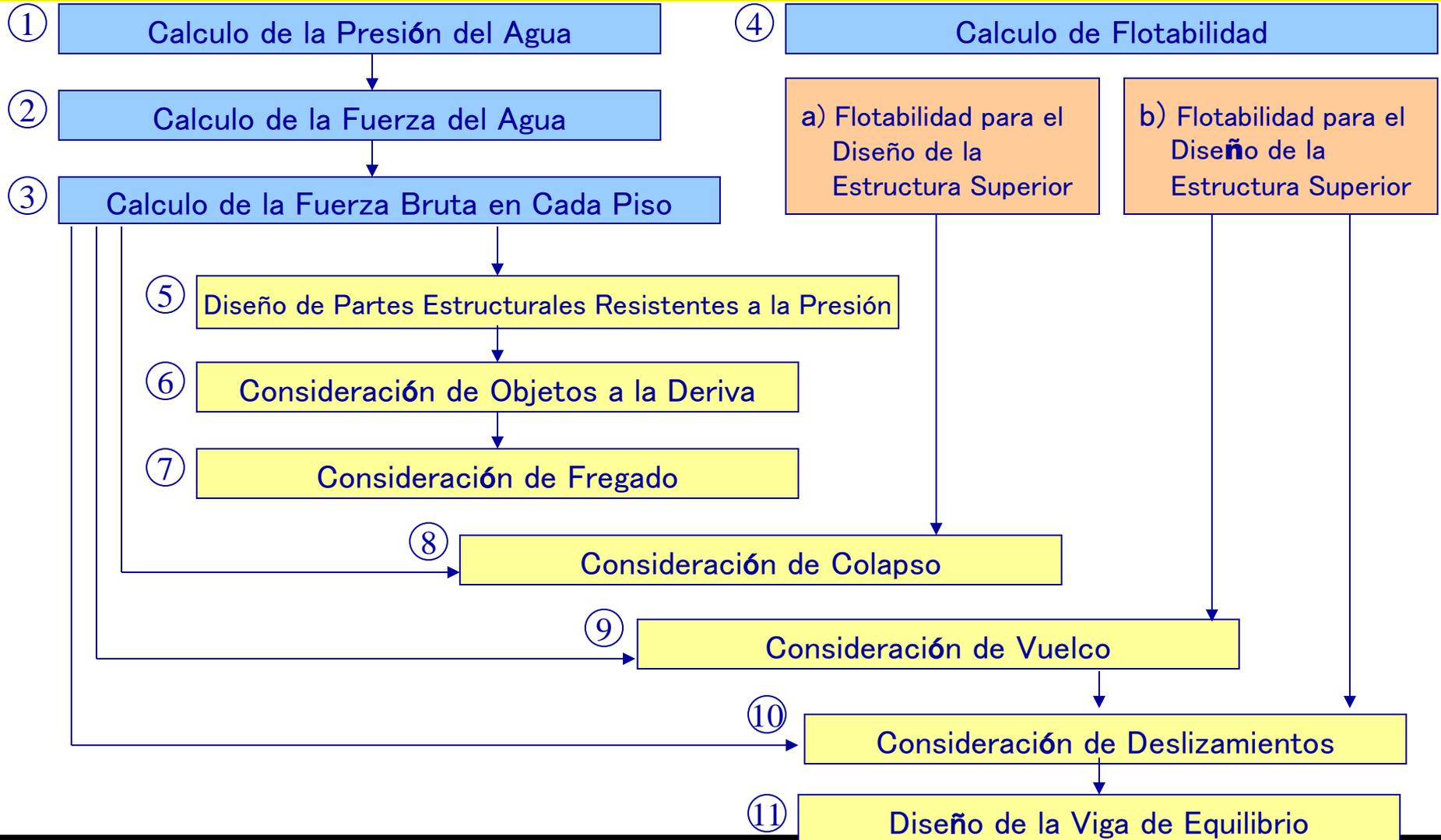
Fuerza de apoyo horizontal de la pila  $\geq$  Carga del Tsunami que se ejerce sobre la pila



## ⑪ Diseño de la Viga de Equilibrio

La Viga de Equilibrio deberá ser diseñada para la tensión recibida de la estructura superior y de la pila.

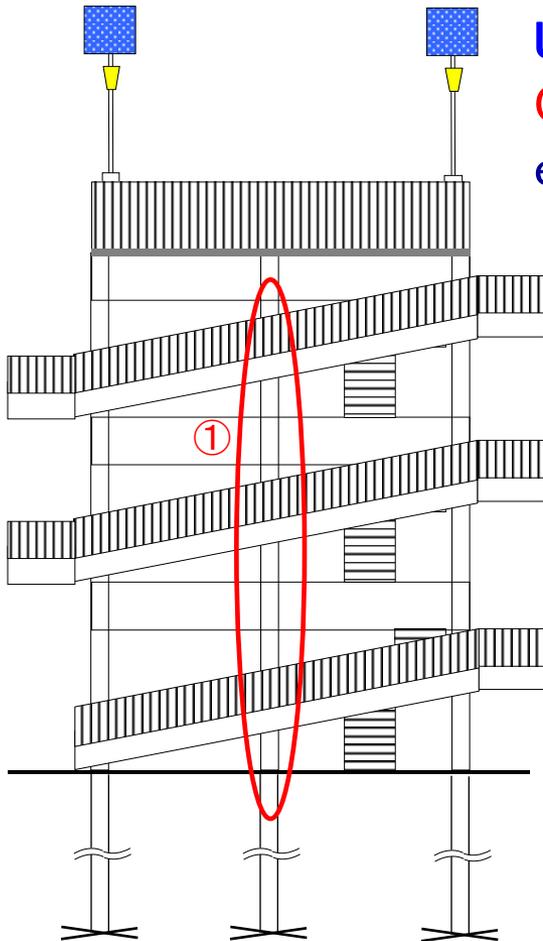
# Flujo de Diseño (Resumen)



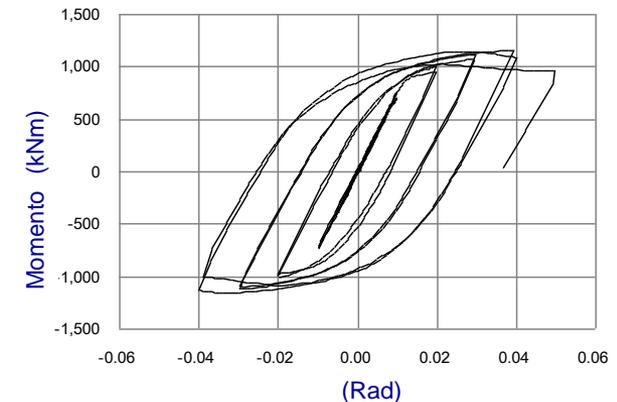
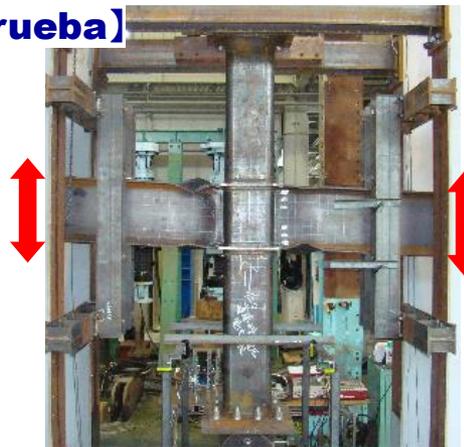
# Tecnología

# Las columnas tipo cajón con conexiones de marco rígido y vigas tipo H

① Alta resistencia sísmica de **HSS(BOX)Column** **UBCR365** (Absorción de energía Charpy de 70J a 0°C) y **Conexión marco rígido con H-Beam** soporta toda la estructura. (HSS : Hollow Structural Section)

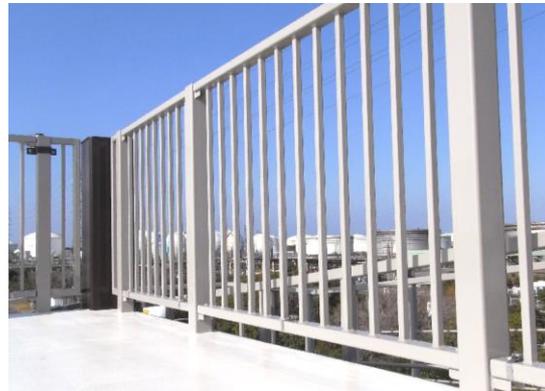
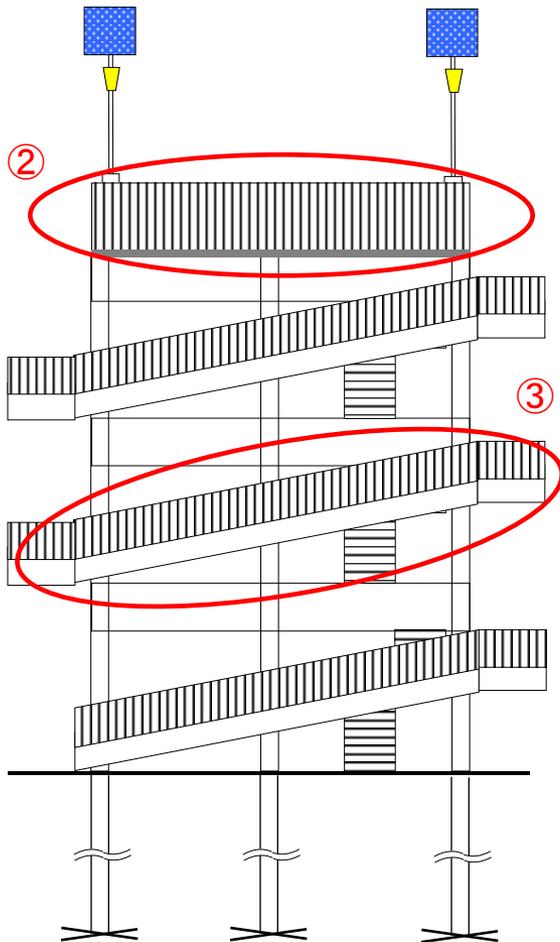


**[Prueba]**



# Otras Tecnologías

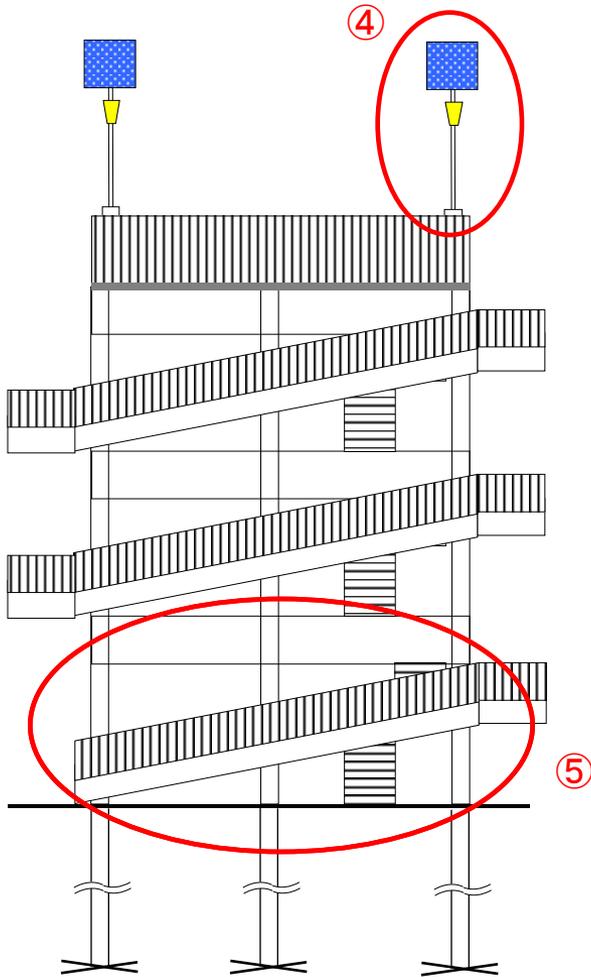
② Plataforma de evacuación con pasamanos de seguridad.



③ Pasaje para evacuación rápida y segura.



# Otras Tecnologías



④ Postes solares para iluminar la plataforma de evacuación.



⑤ El sistema por pilotaje permite que la presión de agua fluya.



# Ejemplos Reales

# Prefectura de Osaka



## Descripción

### Condiciones previas

- Altura estimada del tsunami: NS+7m

### Espacio de evacuación

- Área: 115.5 m<sup>2</sup>
- Capacidad: 165 personas  
(1 persona / 0.7m<sup>2</sup>)

### Altura de Evacuación:

NS+10.5m



Evacuation Height:

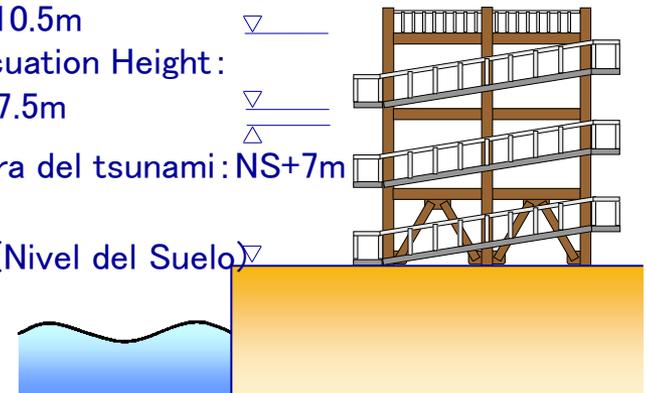
NS+7.5m



Altura del tsunami: NS+7m



NS (Nivel del Suelo)



# Prefectura de Mie



## Descripción

### Condiciones previas

- Altura estimada del tsunami: NS+5.18m

### Espacio de evacuación

- Área : 60.5m<sup>2</sup>
- Capacidad : 120 personas  
(1 persona / 0.5m<sup>2</sup>)

### Altura de evacuación :

NS+8m

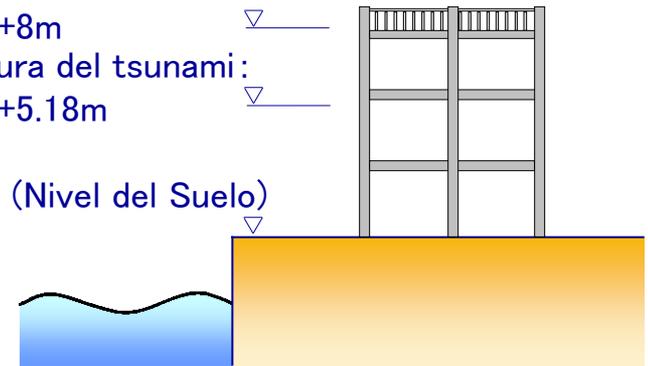


Altura del tsunami :

NS+5.18m



NS (Nivel del Suelo)



# Prefectura de Shizuoka



## Descripción

### Condiciones previas

- Altura estimada del tsunami: NS+5.6m

### Espacio de evacuación

- Área: 162m<sup>2</sup>
- Capacidad: 230 personas  
(1 persona / 0.7m<sup>2</sup>)

Altura de evacuación:

NS+9.8m

Altura del tsunami:

NS+5.6m

NS (Nivel del Suelo)



# NSMP – Obras en Sendai



## Descripción

### Condiciones previas

- Altura estimada del tsunami: NS+3.0m

### Espacio de evacuación

- Área: 144m<sup>2</sup>
- Capacidad: 200 personas  
(1 persona / 0.7m<sup>2</sup>)

Altura de evacuación: NS+11.0m



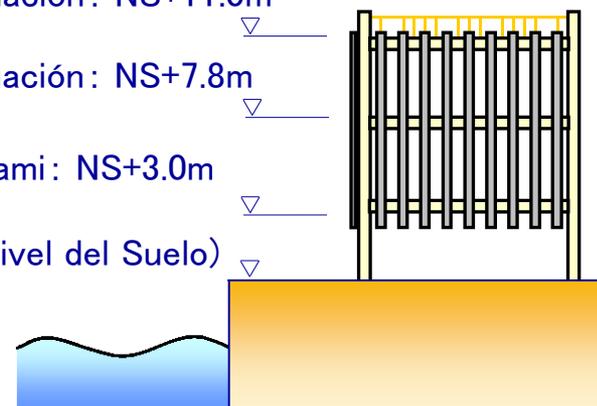
Altura de evacuación: NS+7.8m



Altura del tsunami: NS+3.0m

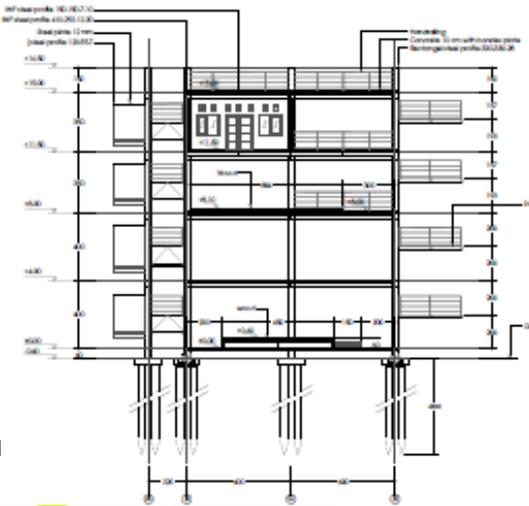
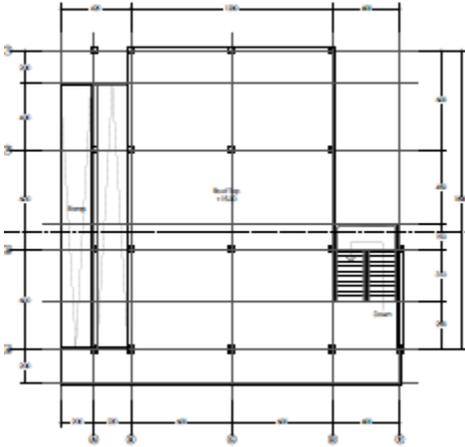


NS (Nivel del Suelo)



***2dos y 3eros pisos son para usos múltiples en el período normal.***

# Design Example of Multi-Purpose SGT

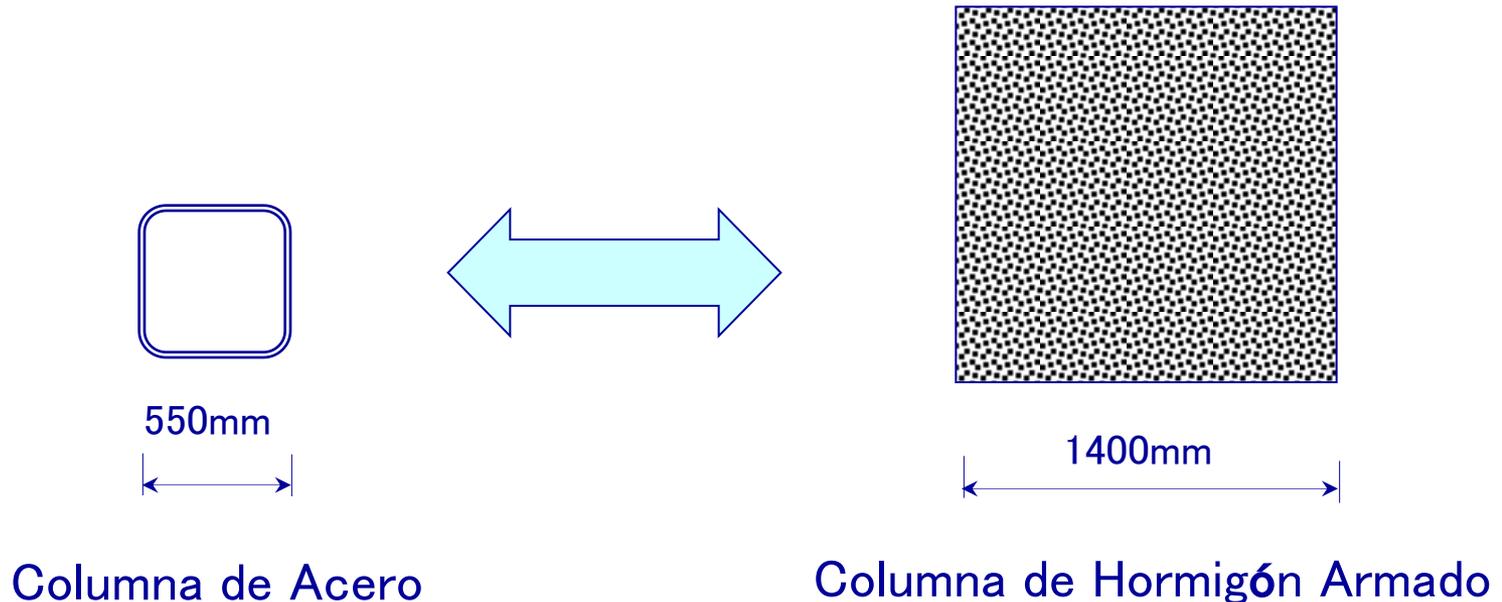


## Referencia

# Comparación entre estructuras de Acero y Hormigón Armado

## Comparación entre estructuras de Acero y Hormigón Armado

- La columna y la viga pueden ser de menor tamaño ya que la resistencia estándar del acero es mayor que la del concreto.  
⇒ La presión de agua y escombros puede fluir.



El tamaño de cada columna se basa en el ejemplo de diseño.

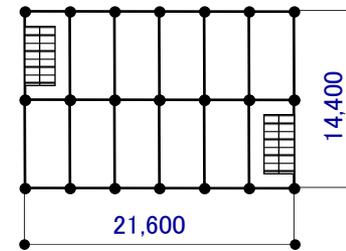
## Comparación entre estructuras de Acero y Hormigón Armado

### 【Condiciones previas】

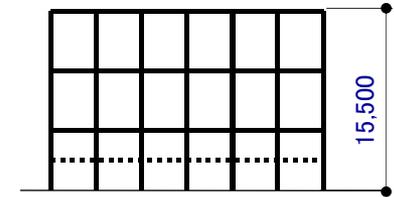
Altura estimada del tsunami : NS+10m

Aforo : 500

Daños del tsunami : Columnas parcialmente dañadas



Plano de la planta baja



Plano de elevación

### 【Comparación entre estructuras de Acero y Hormigón Armado】

	Estructura de Acero			Estructura de Hormigón Armado	
	Columna	Viga	Soporte	Columna	Viga
3F	□-550x16	H-400x200		□-1,300x1,300	□-700x350
2F	□-550x16	H-450x200	□-250x12	□-1,400x1,400	□-1,200x600
M2F	□-550x16	H-450x200	□-300x16	□-1,400x1,400	
1F	□-550x22	H-500x200	□-300x16	□-1,400x1,400	□-1,600x800
Cimientos		□-1,500x500			□-3,000x1,000
Pilote	Pilotes Helicoidales de Acero: 27 Piezas			Pilotes Helicoidales de Acero: 54 Piezas	

## Comparación entre estructuras de Acero y Hormigón Armado

Estructura de Acero



Estructura de Hormigón Armado



	Estructura de Acero	Estructura de Hormigón Armado
Costo	70%	100%
Peso	20%	100%
Tiempo de Construcción	70%	100%

**Referencia**

# Resistencia a la Corrosión

## Resistencia a la Corrosión

Acabados de superficie de la Torre de Evacuación de Tsunamis.

Soldadura de Fabricación



Galvanización



Galvanización



Pintura



+

## Resistencia a la Corrosión

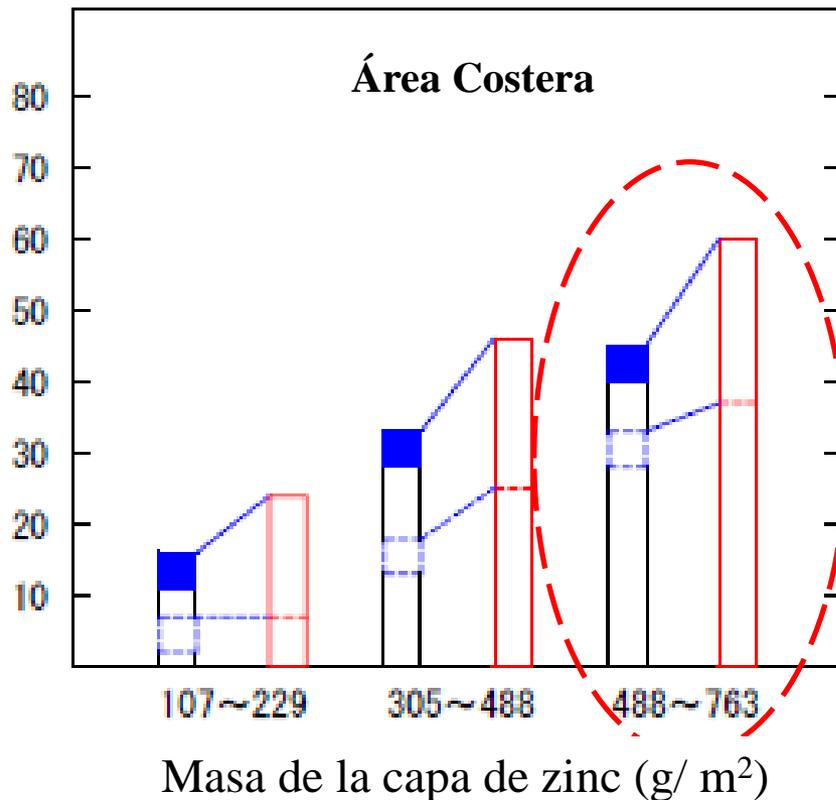
### Durabilidad de la Galvanización

$$\text{Vida Útil Estimada} = \frac{\text{Masa de la Capa de Zinc [g/m}^2\text{]}}{\text{Velocidad de Corrosión [g/m}^2\text{/año]}} \times 0.9$$

Región	Velocidad de Corrosión Promedio [g/m <sup>2</sup> /año]	Vida Útil [año]
Área Industrial	9.3	53
Área Rural	4.5	110
Área Costera	11.1	45

Muestra el tiempo que tomaría para que desaparezca un 90% de la capa de zinc, siendo la masa de esta capa de 550 g/m<sup>2</sup>.

Durabilidad de la cubierta de pintura galvanizada.

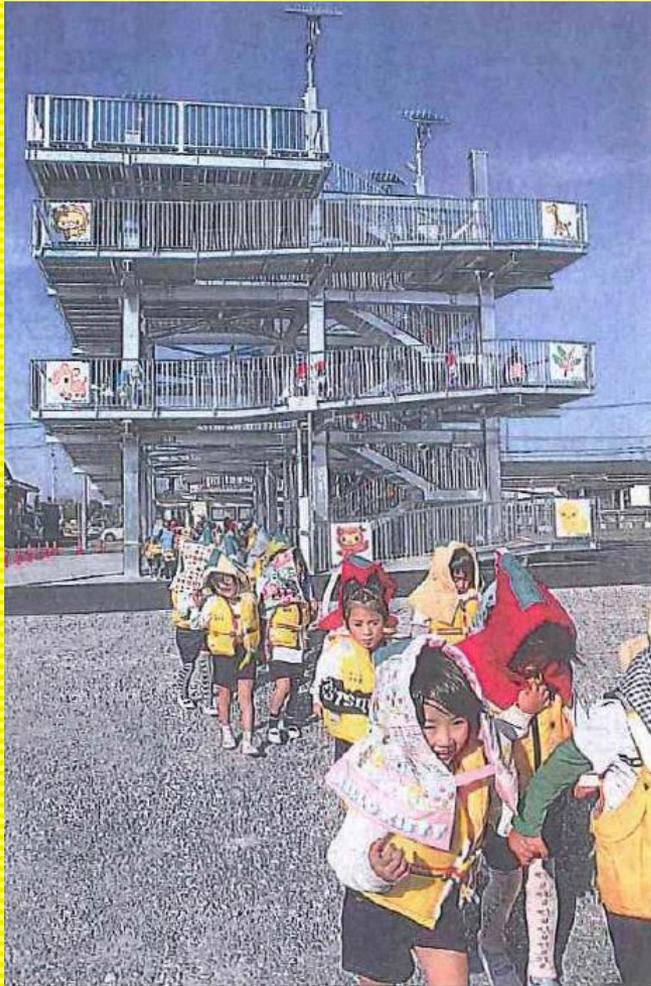


Sólo con Galvanización: 40 años



Galvanización + Pintura: 60 años

Un mayor mantenimiento  
extenderá su duración.



***Información***

***Educación***

***Orientación***

***Repeated Drill***

**Gracias por su gentil atención.**