

¿POR QUÉ SE PRESENTAN FALLAS Y RECLAMOS EN PISCINAS Y TANQUES?

CONSIDERACIONES DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN SEGÚN LA NSR-10 (ACI 350M-06)

JULIO DE 2018, ING. JORGE RENDÓN
SIKA COLOMBIA, TM REFURBISHMENT TÉCNICO

CONSTRUYENDO CONFIANZA



ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

CONTENIDO

- Antecedentes
- Códigos aplicables
- El ACI 350M-06
- Diseño sísmico (ACI 350.3-06)
- La fuerza dinámica del suelo
- Magnitud de las cargas hidrodinámicas
- El factor de durabilidad ambiental (Sd)
- Las fuerzas dinámicas para el computador
- La calidad del concreto
- El diseño de la impermeabilización estructural
- Cómo escoger las cintas de PVC
- Qué hacer con los tanques / piscinas existentes
- Conclusiones

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ ANTECEDENTES

Tanque de agua potable



Problemas:

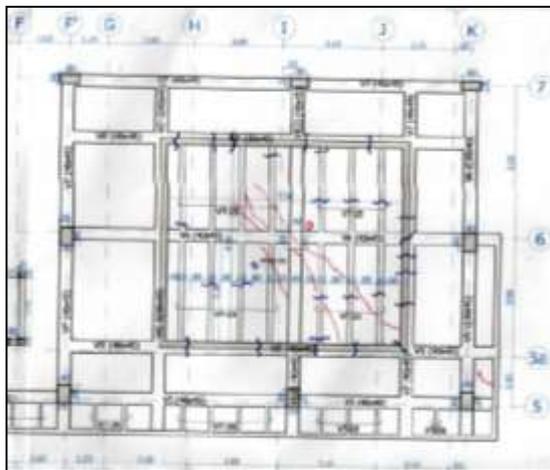
1. Fisuras en las paredes
2. Mala calidad de la construcción



ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ ANTECEDENTES

Piscina en un 7mo piso



Fisuras en la losa

Problemas:

1. Fisuras en la losa aligerada
2. Tubería de electricidad atravesando la losa
3. Mala calidad en la construcción

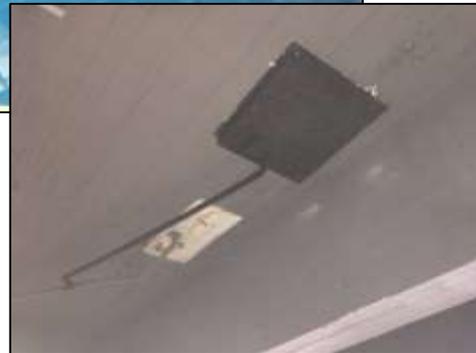


Viguetas de sección irregular y tubería atravesando la losa

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ ANTECEDENTES

Piscina en un 2do piso



Bandeja metálica para detener las filtraciones

Problemas:

1. Fisuras en la losa maciza
2. Corrosión del acero de refuerzo
3. Escape del líquido por las fisuras



Corrosión en la losa

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ ANTECEDENTES

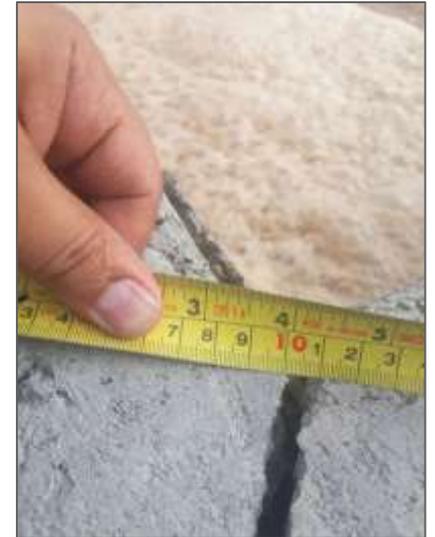
PTAR en la industria de alimentos



Fisuras

Problemas:

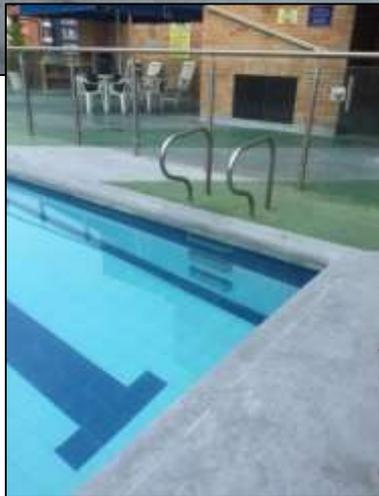
1. Fisuras en los muros
2. Muro con deformación (alabeo)
3. Sin recubrimiento protector en el interior



ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ ANTECEDENTES

Piscina en un piso superior



Problemas:

1. Filtración del agua
2. Corrosión severa
3. Peligro de colapso



ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ ANTECEDENTES



Asentamiento



Secciones y acero insuficientes



Fisuras en las losas y muros



Asentamiento y fisuración

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

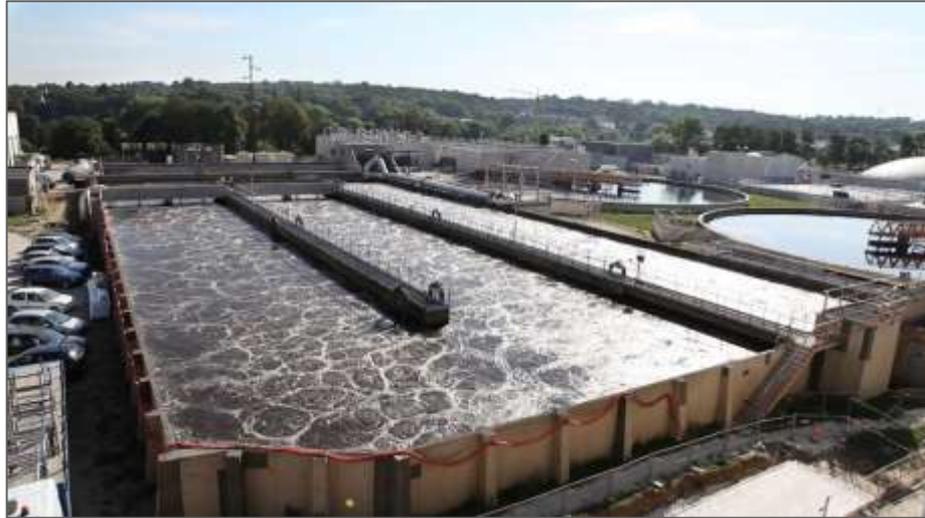
■ ANTECEDENTES



- El capítulo C.23 de la NSR-10 se refiere al diseño y construcción de estructuras que van a contener líquidos, basado en el actual documento ACI 350M-06 del American Concrete Institute. El ACI 350M-06 es el documento de consulta si se desea diseñar una estructura para la contención de líquidos.
- Gran parte del material técnico útil se encuentra disperso en más de una publicación, por lo que se hace difícil para el usuario encontrar todo el material para un diseño dado.

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ ANTECEDENTES



- El diseño de una estructura para contener líquidos comprende dos partes:
 1. Cálculo de las secciones de los elementos estructurales y su acero de refuerzo (fundación, muros, losa aérea); y
 2. Diseño de la impermeabilización (sellos impermeables, juntas de construcción/dilatación).

Normalmente se ejecuta la primera parte. Existe desconocimiento de los procedimientos de diseño y colocación de los productos para los sellos y las juntas en los tanques.

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ ANTECEDENTES Seminario de diseño de tanques para ingenieros estructurales (2016)



Bogotá
(113 ingenieros)



Medellín
(90 ingenieros)



Cali
(25 ingenieros)



Barranquilla
(30 ingenieros)



Bucaramanga
(35 ingenieros)



Cúcuta
(15 ingenieros)

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

- ANTECEDENTES Seminario de diseño de tanques para ingenieros estructurales (2016)



Manizales
(34 ingenieros)



Pereira
(34 ingenieros)



Cartagena
(15 ingenieros)



Pasto
(35 ingenieros)



Barrancabermeja
(15 ingenieros)

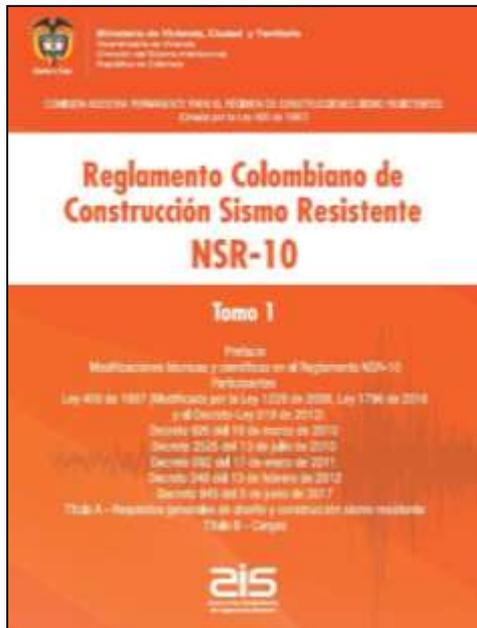
441 ingenieros

CÓDIGOS APLICABLES...



ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ CÓDIGOS APLICABLES



CAPITULO C.23 — TANQUES Y ESTRUCTURAS DE INGENIERÍA AMBIENTAL DE CONCRETO

C.23.0 — Aplicación del Capítulo C.23 de la NSR-10

Todos los requisitos del Título C de la NSR-10 son aplicables a estructuras de ingeniería ambiental de concreto excepto donde se modifican en el presente Capítulo C.23. Si en C.23 no se hace referencia a un ordinal del Título C, este requisito debe cumplirse y es igualmente aplicable a estructuras ambientales. Cuando un requisito contenido en el Título C no es aplicable a estructuras ambientales esto se indica explícitamente en C.23.

Con el fin de facilitar la aplicación de las modificaciones para estructuras ambientales al resto del Título C, se ha adoptado una nomenclatura de las secciones del Reglamento NSR-10 que se modifica la cual está compuesta por "C.23-" seguida del ordinal de la sección correspondiente del Título C que se modifica. Así, por ejemplo, "C.1.2 – Planos y especificaciones" se modifica para estructuras ambientales; el texto sustitutivo se encuentra referido como "C.23-C.1.2 – Planos y especificaciones" dentro del presente Capítulo C.23 y esto quiere decir que para estructuras de ingeniería ambiental los requisitos de C.1.2 deben substituirse por los requisitos contenidos en C.23-C.1.2.

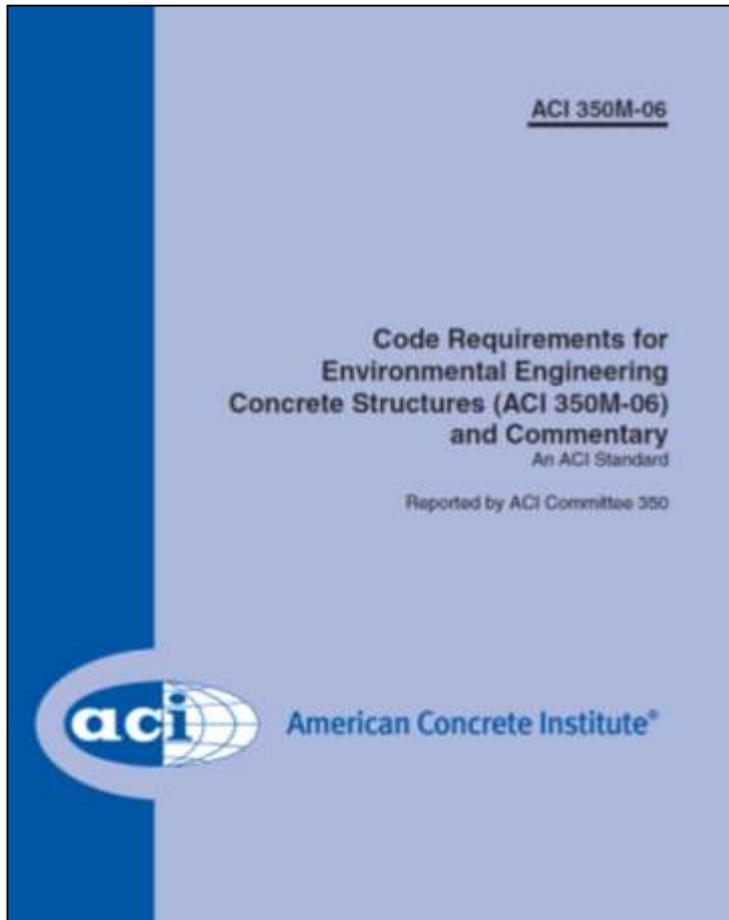
COMENTARIO©

CR23.0 — Aplicación del Capítulo C.23 de la NSR-10

El presente Capítulo está basado en el documento "Code Requirements for Environmental Engineering Concrete Structures and Commentary (ACI 350-06)" del American Concrete Institute (Referencia C.23.1). Los requisitos del Capítulo C.23 — Tanques y compartimentos — en la NSR-98 estaban a su vez basados en el documento "Environmental Engineering Concrete Structures (ACI 350R-95)". Debe notarse que el documento nuevo es un código (tiene 485 páginas) y sigue el mismo capitulado y organización del ACI 318, mientras que el documento antiguo era un reporte del Comité ACI 350 (tenía 23 páginas).

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ CÓDIGOS APLICABLES



ACI 350M-06

ACI 350M-06

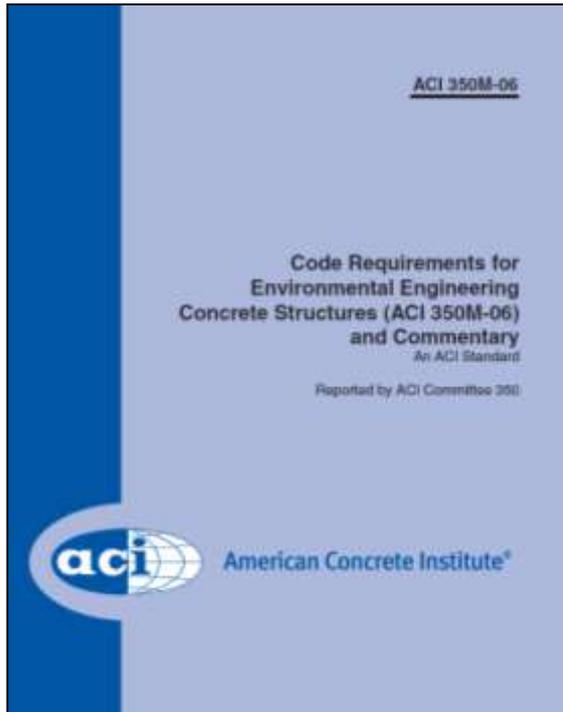
“Código de Estructuras de Concreto con Ingeniería Ambiental”.

Provee requisitos mínimos para el diseño y construcción de estructuras de concreto reforzado que van a contener líquidos (estructuras de concreto con ingeniería ambiental).

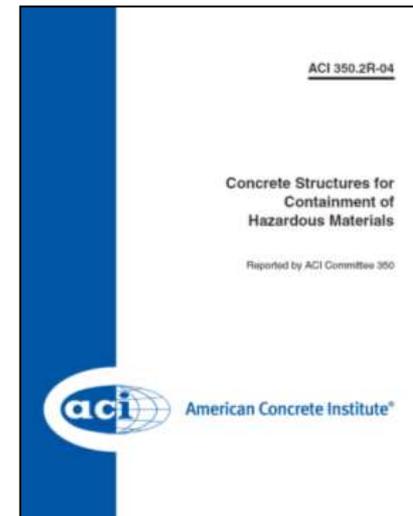
Se incluyen tanques y piscinas.

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

- CÓDIGOS APLICABLES



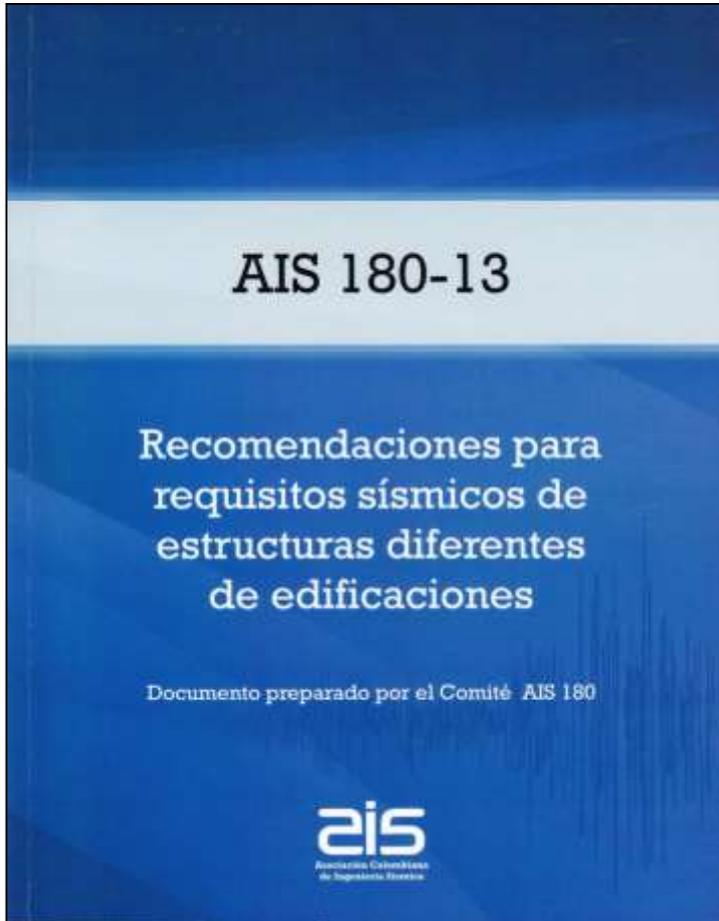
ACI 350.3-06



ACI 350.2R-04

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ CÓDIGOS APLICABLES



AIS 180-13

AIS 180 – 13

“Recomendaciones para Requisitos Sísmicos de Estructuras Diferentes de Edificaciones”.

Tiene como base el documento ASCE 7-10.

El cálculo de las fuerzas hidrodinámicas es el mismo del ACI 350.3-06.

Indica la forma de convertir las fuerzas sísmicas de diseño de la NSR-10 al formato de ASCE 7-10.

Code Requirements for
Environmental Engineering
Concrete Structures (ACI 350M-06)
and Commentary
An ACI Standard

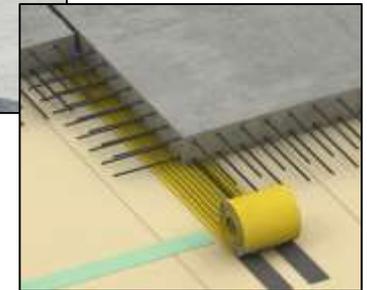
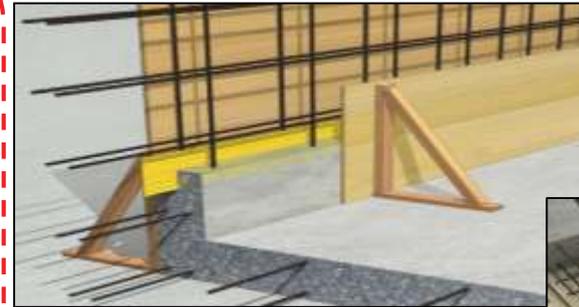
Reported by ACI Committee 350

EL ACI 350M-06

CÓDIGO DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO CON INGENIERÍA AMBIENTAL

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

- ALCANCE DEL USO DEL ACI 350M-06



Si se consideran todas las condiciones de carga adecuadas, el diseño debe proveer una adecuada seguridad y servicio de la estructura, con una expectativa de vida entre 50 y 60 años. Algunos componentes de la estructura, como los materiales en las juntas tienen una menor expectativa de vida y requerirán mantenimiento o reemplazo.

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

- ALCANCE DEL USO DEL ACI 350M-06



Circulares



Rectangulares

Suministra los requisitos para el diseño de todo tipo de estructuras de concreto reforzado que van a contener líquidos, como:

Tanques de las plantas de tratamiento de agua potable.

Tanques de las plantas de tratamiento de aguas residuales.

Tanques que van a contener líquidos industriales.

Piscinas con fines recreativos o deportivos.

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ ALCANCE DEL USO DEL ACI 350M-06



La impermeabilidad de la estructura será asegurada de manera razonable si:

- La mezcla de concreto es bien proporcionada, bien consolidada sin segregación y curada apropiadamente.
- Se minimizan los anchos de fisura y su profundidad.
- Se provee el acero de refuerzo adecuado, detallado, fabricado y colocado de manera correcta.
- Las juntas son apropiadamente diseñadas, espaciadas, dimensionadas, selladas al paso del agua.
- Se usan recubrimientos o barreras protectoras impermeables donde se requiera.

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

- ALCANCE DEL USO DEL ACI 350M-06



Exposición ambiental normal y exposición ambiental severa:

Se considera una exposición ambiental normal cuando se está en contacto con líquidos con un pH mayor a 5, o expuesto a soluciones de sulfato de 1000 ppm o menos.

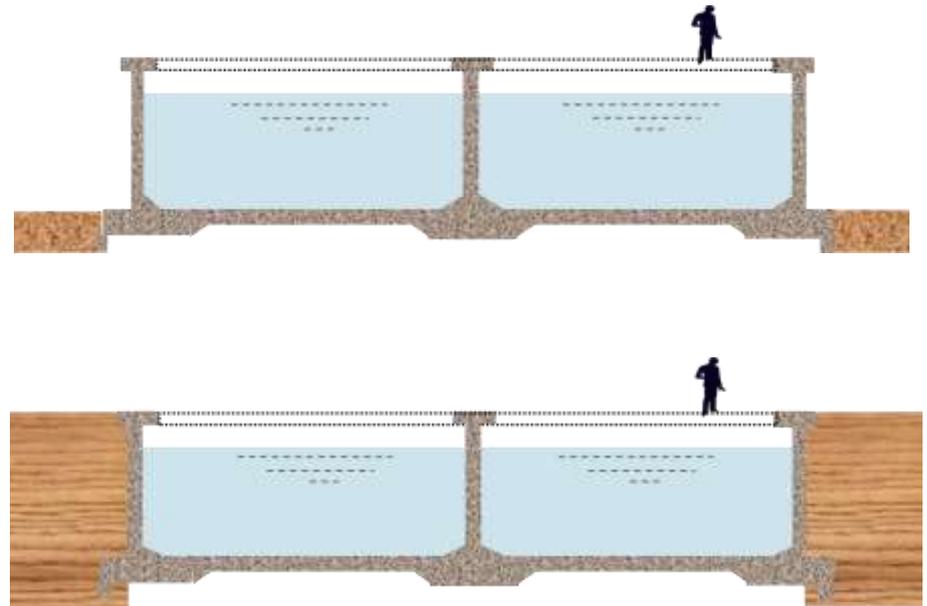
Se considera una exposición ambiental severa cuando se superan los límites de la exposición ambiental normal.

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

- CLASIFICACIÓN DE LOS DEPÓSITOS



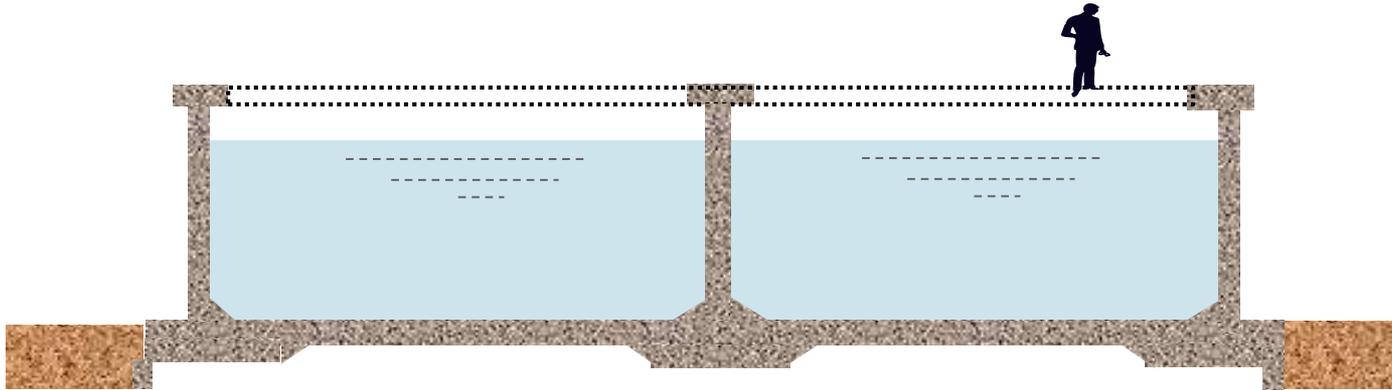
Tanques elevados



Tanques apoyados en el terreno
(Superficiales, enterrados o semi-enterrados)

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ CLASIFICACIÓN DE LOS DEPÓSITOS



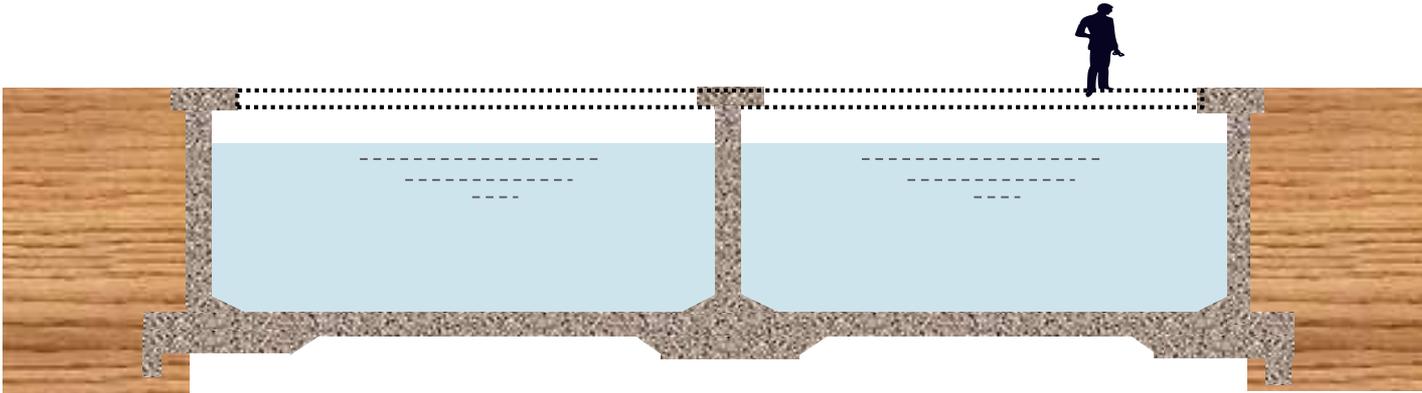
Superficiales

Se utiliza este tipo de depósitos cuando:

- El terreno tiene la capacidad suficiente para soportar las cargas, sin sufrir deformaciones importantes.
- Se requiere contar con una cierta altura para la descarga del líquido.
- Se desea un mantenimiento más sencillo, con fácil instalación y operación de las tuberías de entrada y salida.

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ CLASIFICACIÓN DE LOS DEPÓSITOS



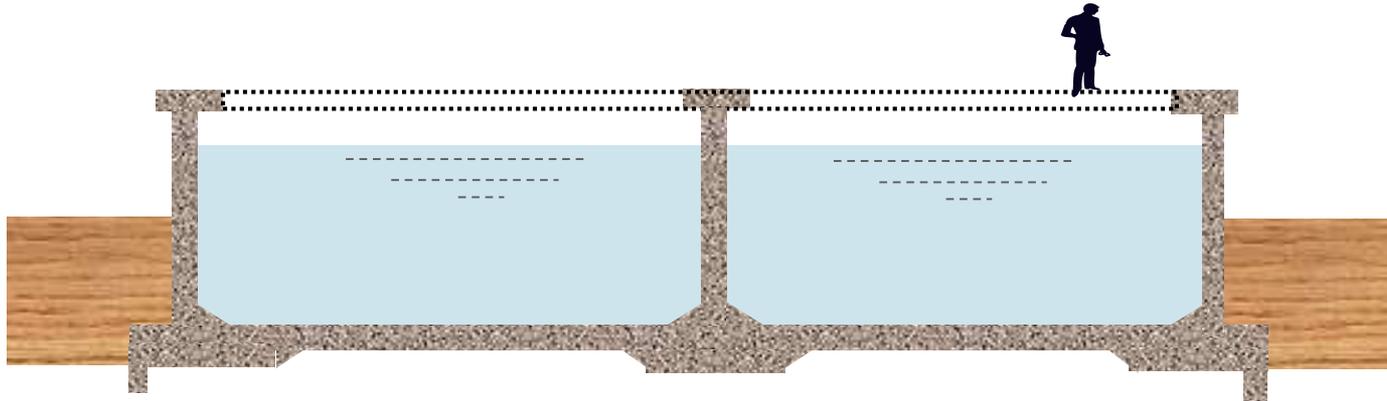
Enterrados

Se utilizan este tipo de depósitos cuando:

- Es necesario excavar hasta encontrar un sustrato de soporte más resistente.
- No se quiere modificar el paisaje, de manera que su cubierta se puede usar como: jardinera, cancha de juego, e incluso como helipuerto.
- Se desea conservar el agua sin grandes variaciones de temperatura.

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ CLASIFICACIÓN DE LOS DEPÓSITOS



Semi-Enterrados

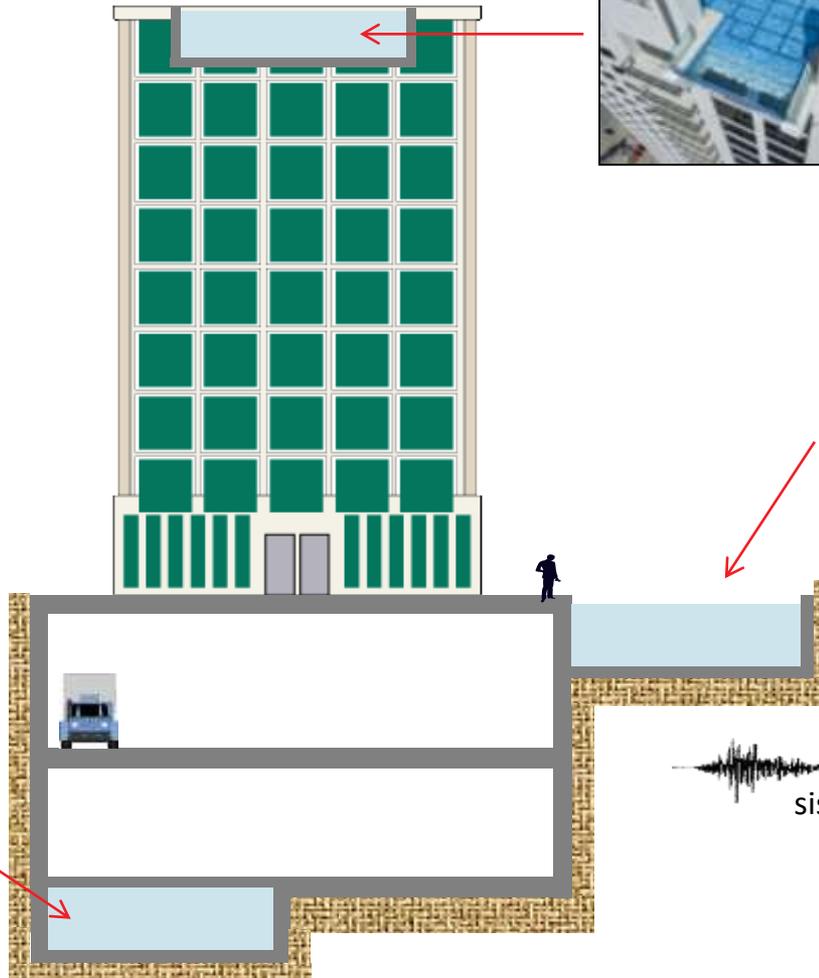
Se utilizan este tipo de depósitos cuando:

- Por razones de topografía y por costos se define su colocación en un sustrato resistente.
- Permiten un acceso a las tuberías e instalaciones más fácilmente que los depósitos enterrados.

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

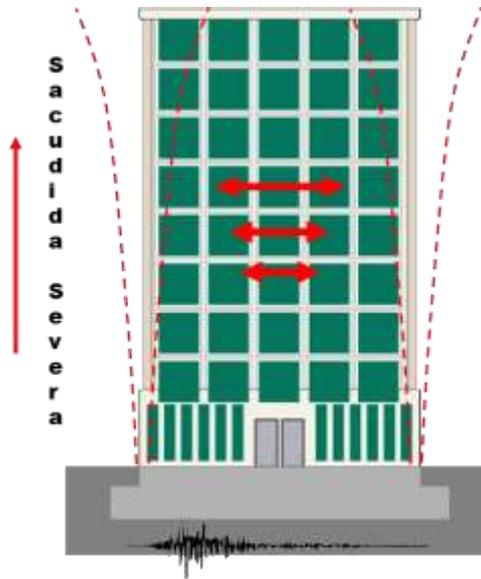
■ CLASIFICACIÓN DE LOS DEPÓSITOS

INCLUIDOS!

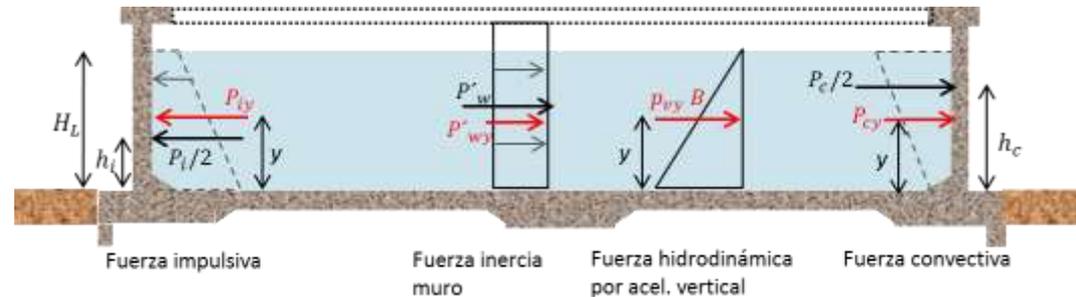


ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ DIFERENCIAS ENTRE EDIFICIOS Y TANQUES

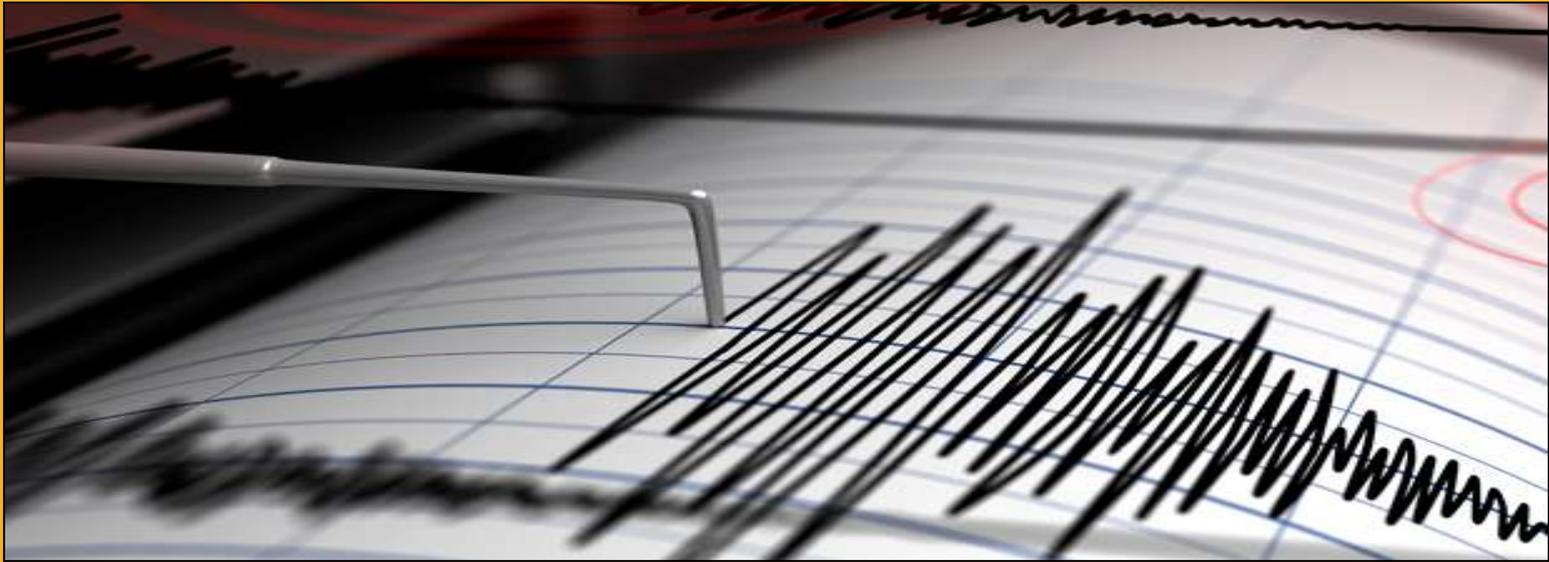


VS



- Tienen mayor redundancia y capacidad de disipar energía durante un sismo
- Desde hace varias décadas cuentan con códigos de diseño
- Las fuerzas sísmicas son menores que en los tanques

- Están sometidos a fuerzas hidrodinámicas durante un sismo
- Tienen menos capacidad de disipar energía
- Las fuerzas sísmicas son mayores comparados con un edificio con características dinámicas equivalentes

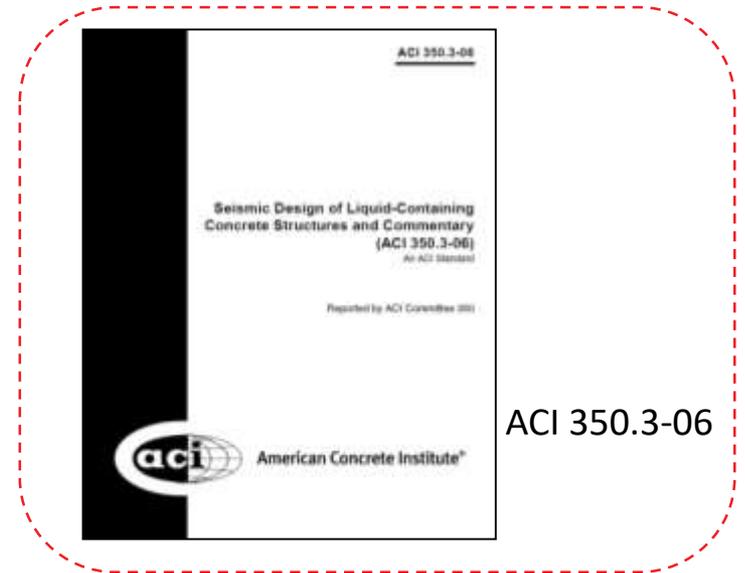
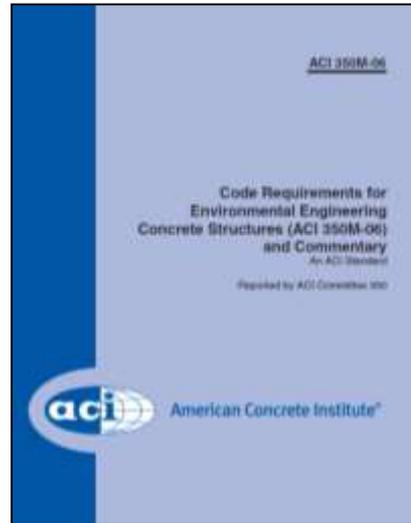
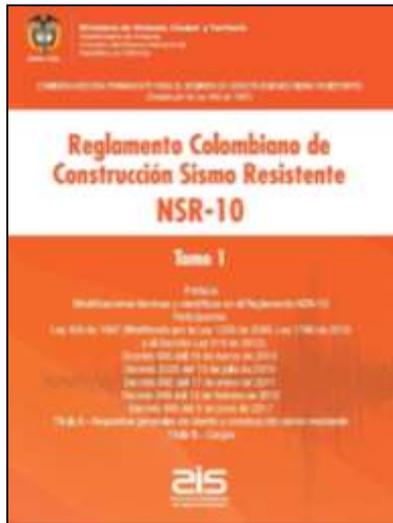


EL ACI 350.3-06

DISEÑO SÍSMICO DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ DISEÑO SÍSMICO



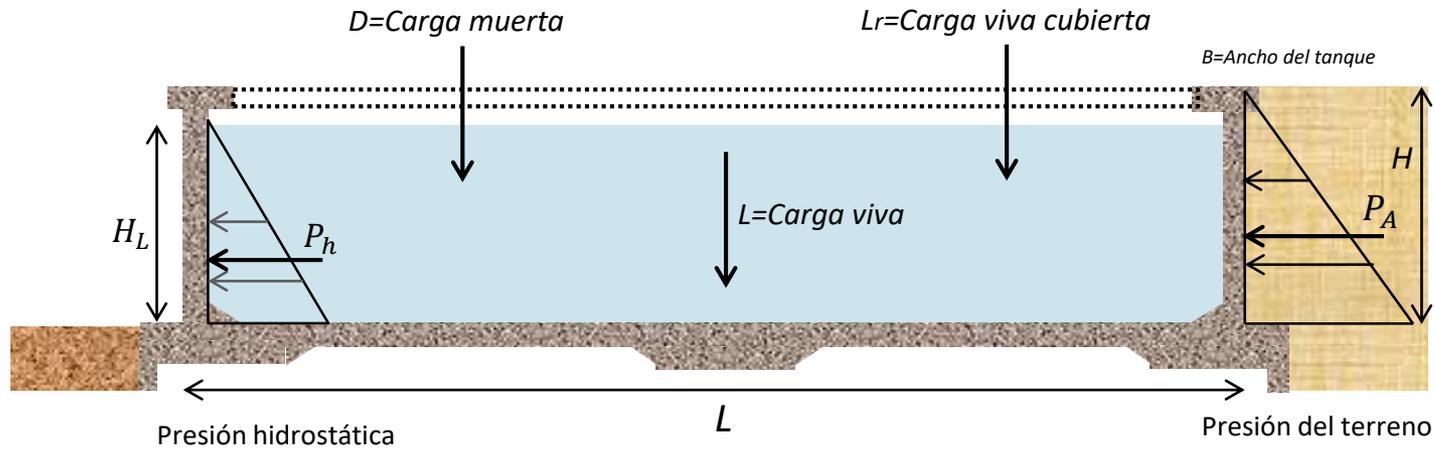
ACI 350.3-06



ACI 350.2R-04

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ CARGAS DE DISEÑO ESTÁTICAS



Fuerza Hidrostática, P_h

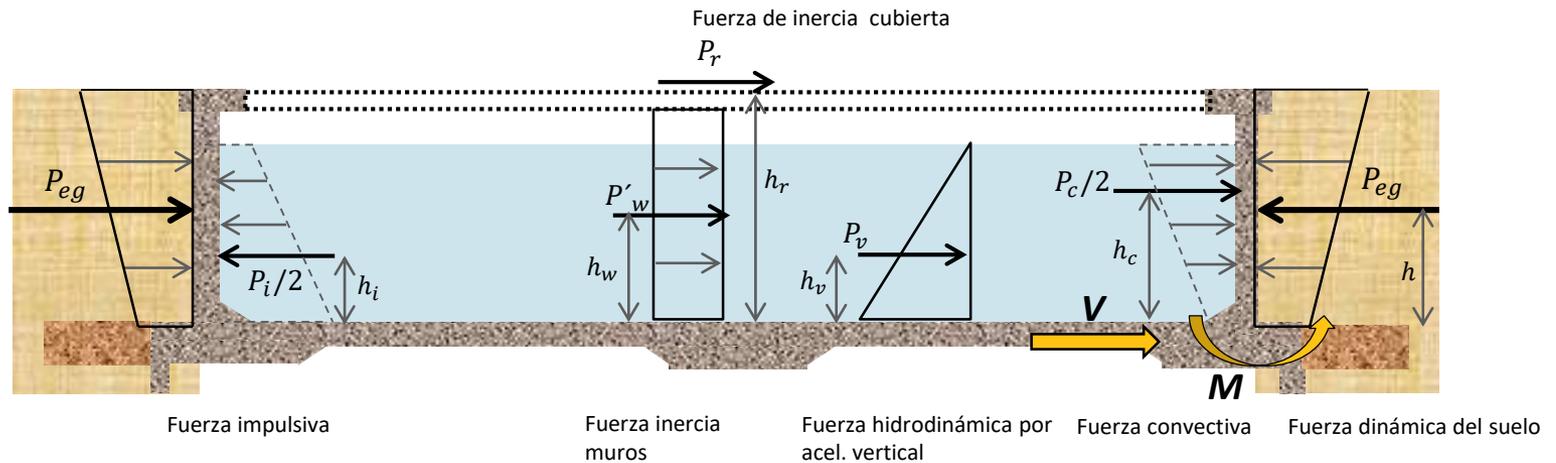
$$P_h = \frac{1}{2} \gamma_L H_L^2 B \quad (\text{ton})$$

Fuerza de empuje del terreno, P_A

$$P_A = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_A B \quad (\text{ton})$$

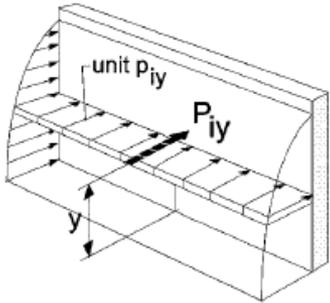
ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ CARGAS DINÁMICAS DE DISEÑO:

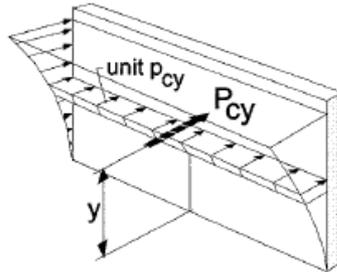


ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

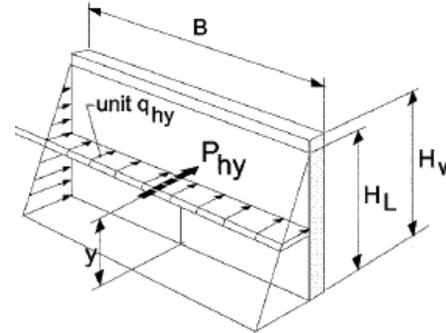
■ CARGAS DINÁMICAS DE DISEÑO



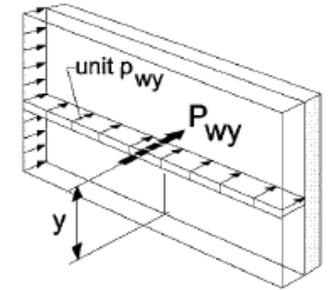
Fuerza impulsiva



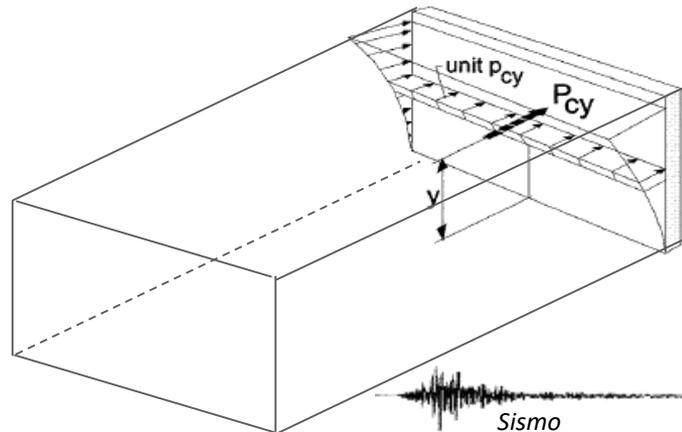
Fuerza convectiva



Fuerza hidrodinámica
por acel. vertical



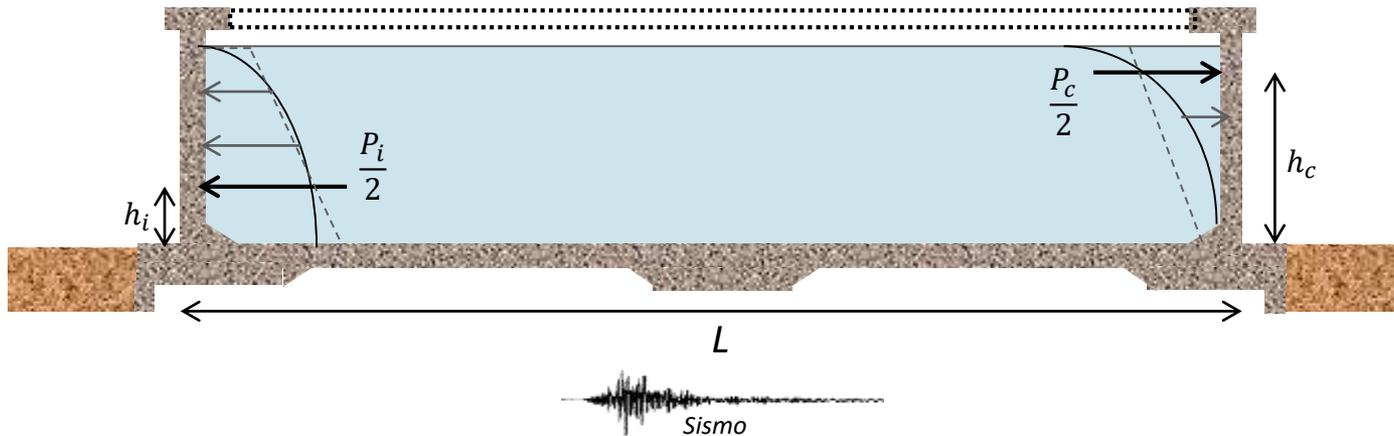
Fuerza de inercia de los muros



Tanque o piscina

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ CARGAS DINÁMICAS DE DISEÑO



Ecuaciones de George W. Housner (1963):

Fuerza Impulsiva, P_i

$$P_i = I C_i \frac{W_i}{R_i} \quad (\text{Ton})$$

C_i, C_c : Coeficientes sísmicos de respuesta.

W_i, W_c : Pesos de las masas de agua impulsiva y convectiva.

R_i, R_c : Factor de modificación de respuesta, de las componentes impulsiva y convectiva.

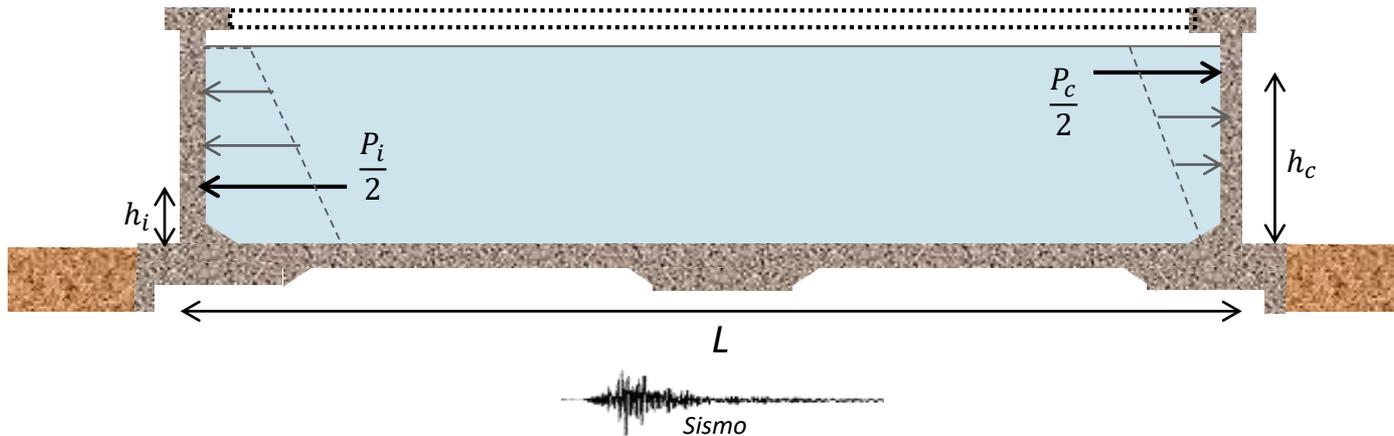
I : Factor de importancia.

Fuerza Convectiva, P_c

$$P_c = I C_c \frac{W_c}{R_c} \quad (\text{Ton})$$

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ CARGAS DINÁMICAS DE DISEÑO



Ecuaciones de George W. Housner (1963):

Fuerza Impulsiva, P_i

$$P_i = I C_i \frac{W_i}{R_i} \quad (\text{Ton})$$

C_i, C_c : Coeficientes sísmicos de respuesta.

W_i, W_c : Pesos de las masas de agua impulsiva y convectiva.

R_i, R_c : Factor de modificación de respuesta, de las componentes impulsiva y convectiva.

I : Factor de importancia.

Fuerza Convectiva, P_c

$$P_c = I C_c \frac{W_c}{R_c} \quad (\text{Ton})$$

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ CARGAS DINÁMICAS DE DISEÑO



Ecuaciones de George W. Housner (1963):

Fuerza Impulsiva, P_i

$$P_i = I C_i \frac{W_i}{R_i} \quad (\text{Ton})$$

C_i, C_c : Coeficientes sísmicos de respuesta.

W_i, W_c : Pesos de las masas de agua impulsiva y convectiva.

R_i, R_c : Factor de modificación de respuesta, de las componentes impulsiva y convectiva.

I : Factor de importancia.

Fuerza Convectiva, P_c

$$P_c = I C_c \frac{W_c}{R_c} \quad (\text{Ton})$$

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ CARGAS DINÁMICAS DE DISEÑO

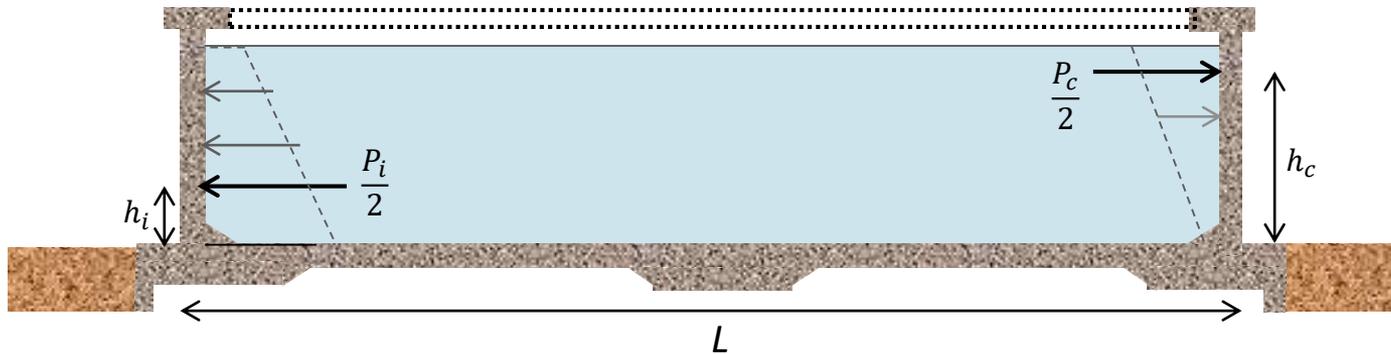


Tabla 4.1.1 (a) Factor de Importancia I

Fuerza impulsiva:

$$P_i = I C_i \frac{W_i}{R_i} \quad (\text{Ton})$$

	Uso del tanque	Factor I
III	Tanques con contenido peligroso	1.5
II	Tanques que deben seguir en uso por razones de emergencia después de un sismo o tanques que son parte de sistemas vitales	1.25
I	Tanques no incluidos en las categorías II o III	1

Fuerza Convectiva:

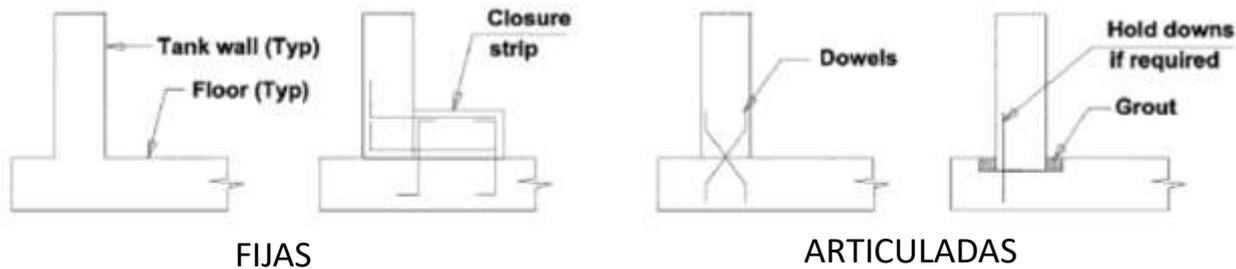
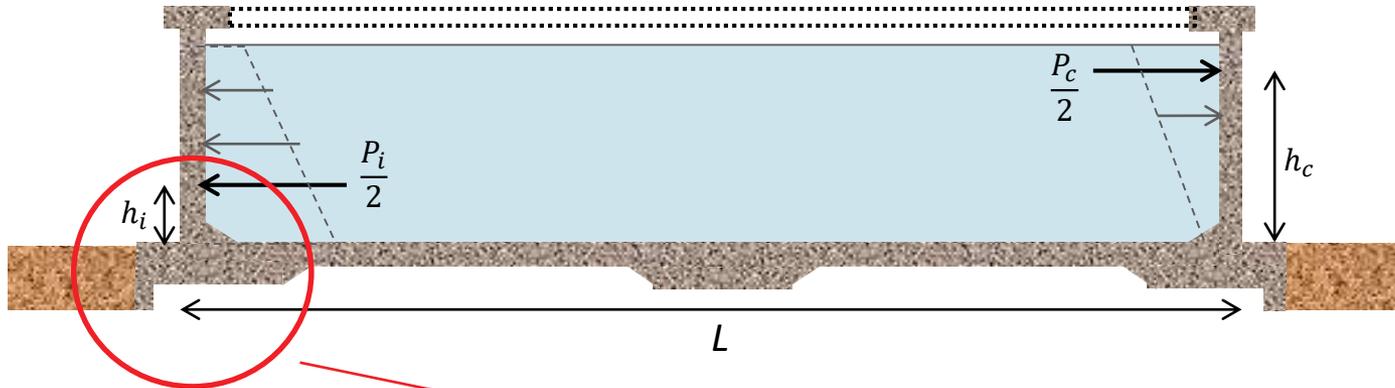
$$P_c = I C_c \frac{W_c}{R_c} \quad (\text{Ton})$$

Tabla 4.1.1 (b) Factor de modificación de Respuesta

Tipo de Estructura	Ri		Rc
	Superficial	Enterrado	
Tanques con base flexible, anclados	3.25	3.25	1
Tanques base fija o articulada	2	3	1
Tanques con base restringida o no restringida, sin anclar	1.5	2	1
Tanques sobre pedestales	2	-----	1

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

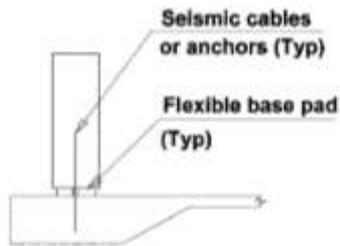
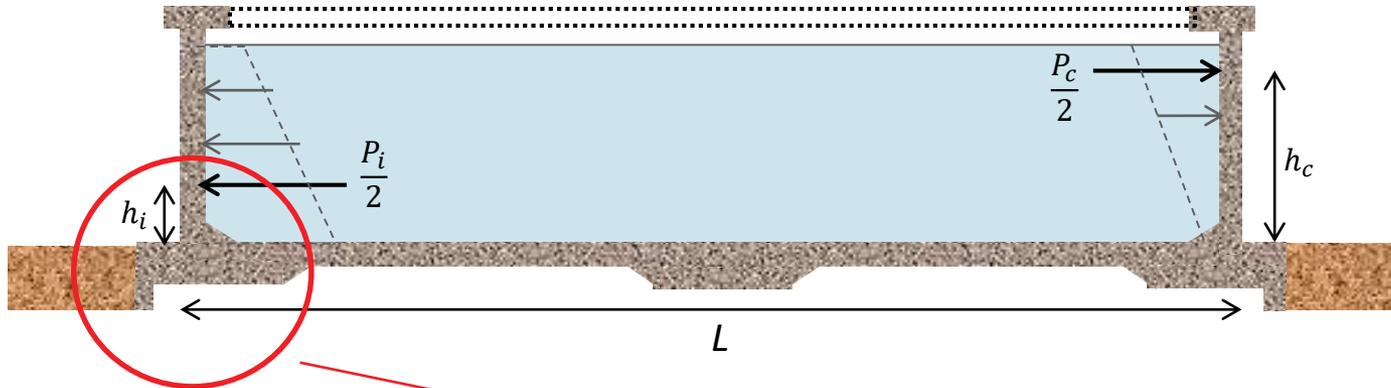
■ CARGAS SÍSMICAS DE DISEÑO



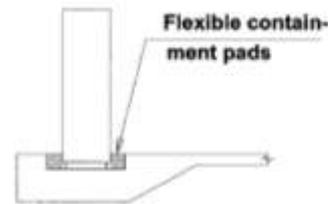
CONEXIONES DE BASE NO FLEXIBLES

DISEÑO DE TANQUES DE CONCRETO REFORZADO

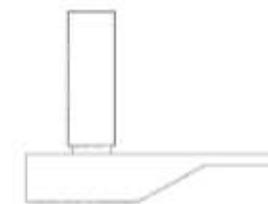
■ CARGAS SÍSMICAS DE DISEÑO



BASE FLEXIBLE
ANCLADA



BASE FLEXIBLE NO
ANCLADA



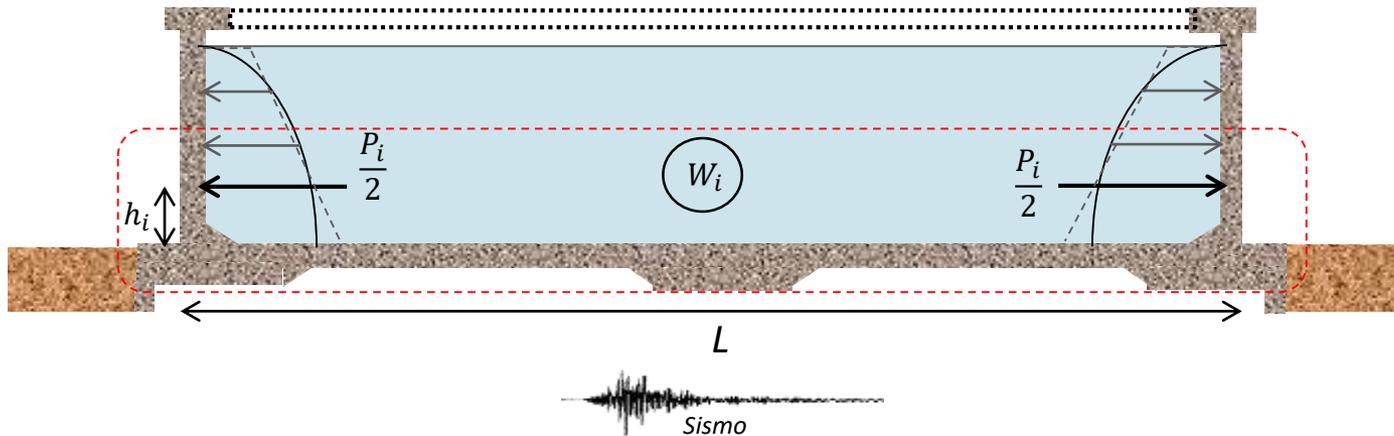
BASE FLEXIBLE

CONEXIONES DE BASE FLEXIBLES

(Tanques preesforzados)

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ CARGAS DINÁMICAS DE DISEÑO



Ecuaciones de George W. Housner (1963):

Fuerza Impulsiva, P_i

$$P_i = I C_i \frac{W_i}{R_i} \quad (\text{Ton})$$

C_i : Coeficiente sísmico de respuesta.

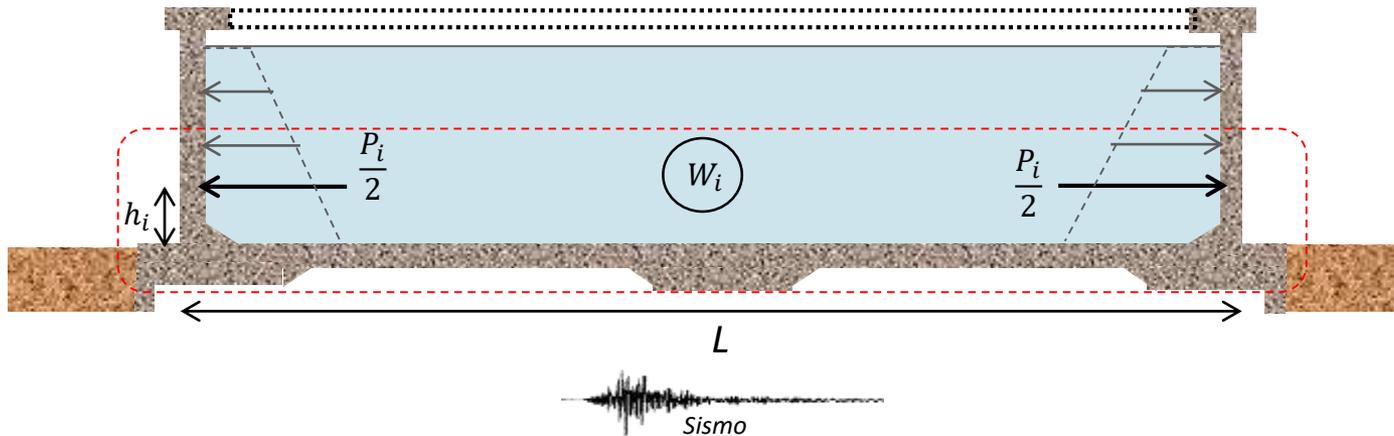
W_i : Peso de la masa de agua impulsiva .

R_i : Factor de modificación de respuesta de las componente impulsiva .

I : Factor de importancia.

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ CARGAS DINÁMICAS DE DISEÑO



Ecuaciones de George W. Housner (1963):

Fuerza Impulsiva, P_i

$$P_i = I C_i \frac{W_i}{R_i} \quad (\text{Ton})$$

C_i : Coeficiente sísmico de respuesta.

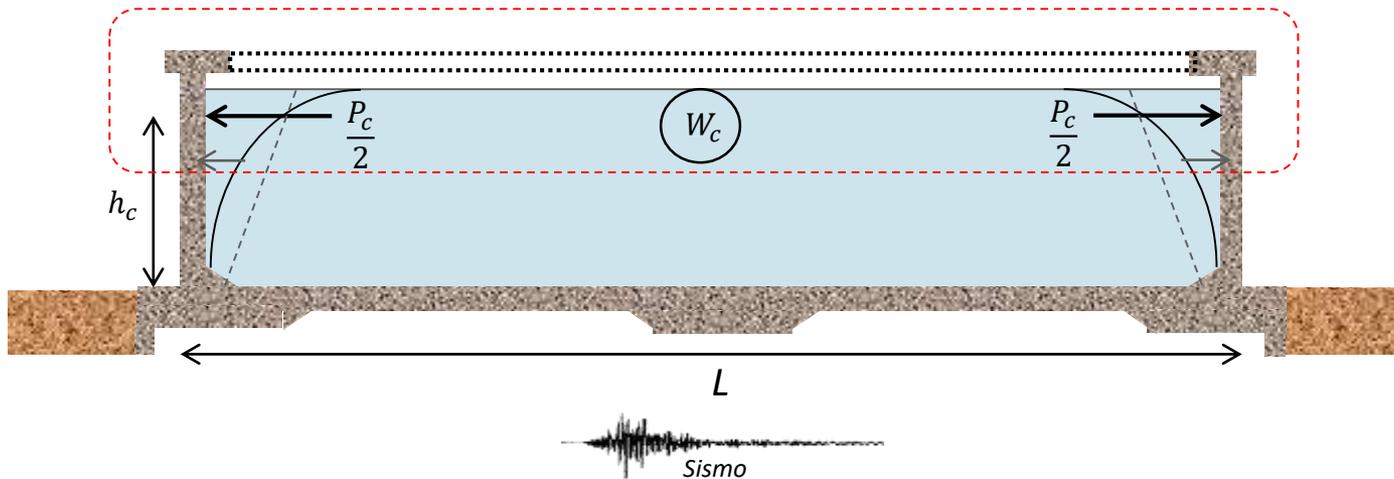
W_i : Peso de la masa de agua impulsiva .

R_i : Factor de modificación de respuesta de las componente impulsiva .

I : Factor de importancia.

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ CARGAS DINÁMICAS DE DISEÑO



Ecuaciones de George W. Housner (1963):

Fuerza Convectiva, P_c

$$P_c = I C_c \frac{W_c}{R_c} \quad (\text{Ton})$$

C_c : Coeficiente sísmico de respuesta.

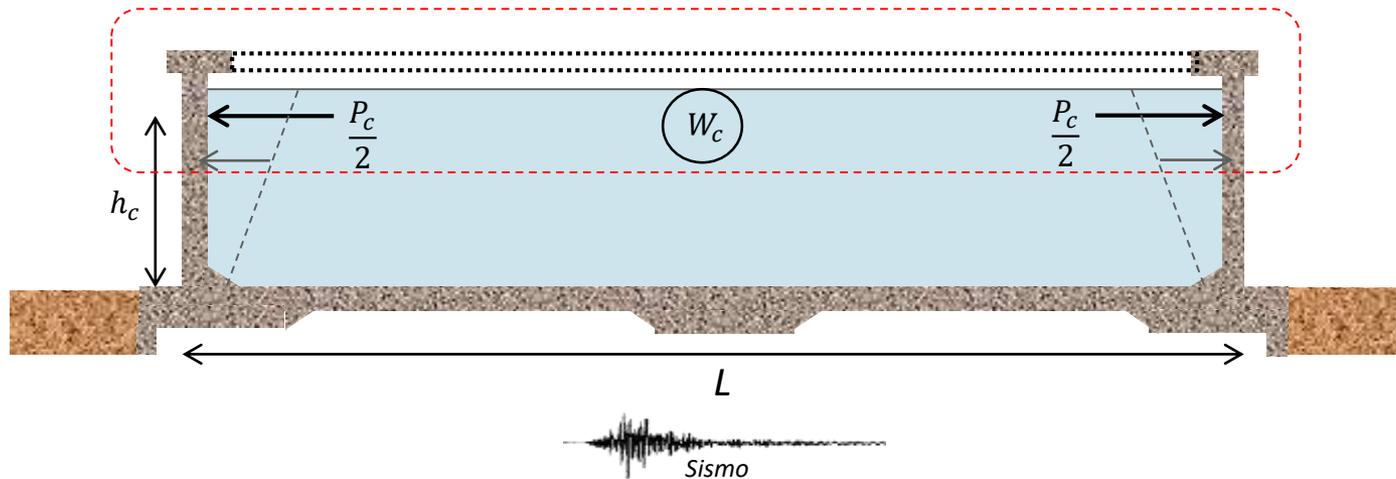
W_c : Peso de la masa de agua convectiva.

R_c : Factor de modificación de respuesta de la componente convectiva.

I : Factor de importancia.

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ CARGAS DINÁMICAS DE DISEÑO



Ecuaciones de George W. Housner (1963):

Fuerza Convectiva, P_c

$$P_c = I C_c \frac{W_c}{R_c} \quad (\text{Ton})$$

C_c : Coeficiente sísmico de respuesta.

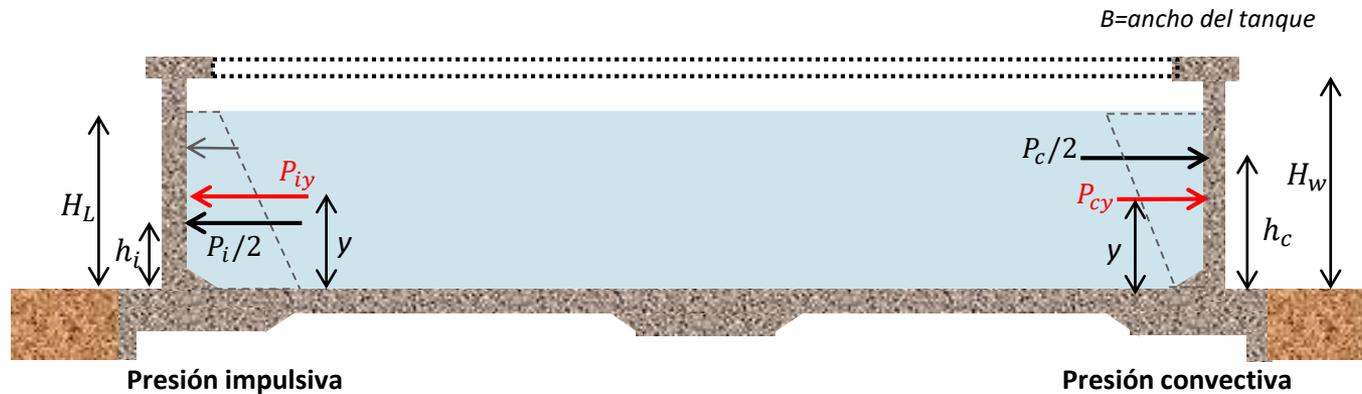
W_c : Peso de la masa de agua convectiva.

R_c : Factor de modificación de respuesta de la componente convectiva.

I : Factor de importancia.

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ CARGAS DINÁMICAS DE DISEÑO



Presión Impulsiva, P_{iy}

$$P_i = I C_i \frac{W_i}{R_i} \quad (\text{Ton})$$

$$P_{iy} = \frac{P_i}{2} \left[4H_L - 6h_i - (6H_L - 12h_i) \left(\frac{y}{H_L} \right) \right] \quad (\text{Ton/m})$$

$$p_{iy} = \frac{P_{iy}}{B} \quad (\text{Ton/m}^2)$$

Presión Convectiva, P_{cy}

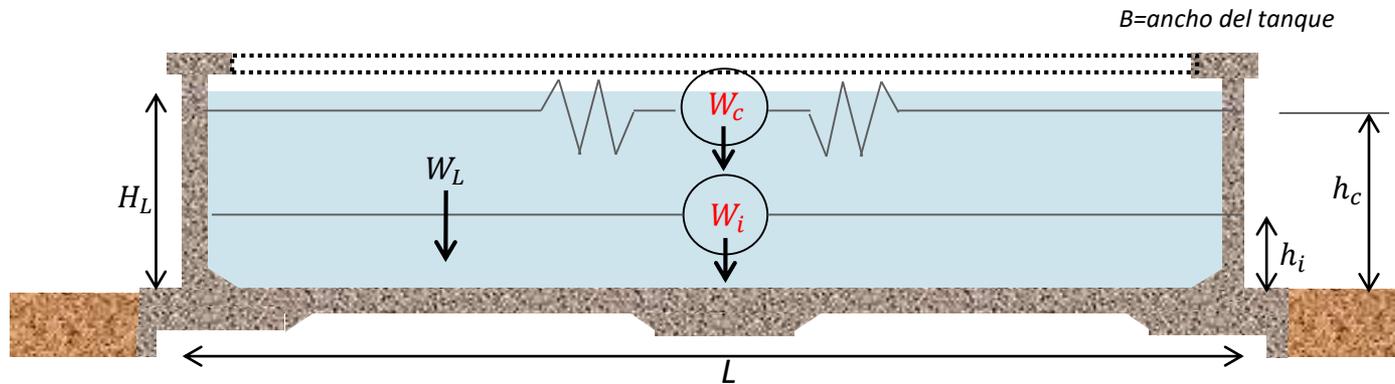
$$P_c = I C_c \frac{W_c}{R_c} \quad (\text{Ton})$$

$$P_{cy} = \frac{P_c}{2} \left[4H_L - 6h_c - (6H_L - 12h_c) \left(\frac{y}{H_L} \right) \right] \quad (\text{Ton/m})$$

$$p_{cy} = \frac{P_{cy}}{B} \quad (\text{Ton/m}^2)$$

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ CARGAS DINÁMICAS DE DISEÑO



Modelo Dinámico

Peso del líquido:

$$W_L = \gamma_L \cdot H_L \cdot L \cdot B$$

Peso de la componente impulsiva:

$$W_i = \frac{\tanh\left(0.866 \cdot \frac{L}{H_L}\right)}{0.866 \cdot \left(\frac{L}{H_L}\right)} \cdot W_L$$

Peso de la componente convectiva:

$$W_c = \left[0.264 \cdot \left(\frac{L}{H_L}\right) \cdot \tanh\left(3.16 \cdot \frac{H_L}{L}\right)\right] \cdot W_L$$

γ_L = Densidad del líquido, ton/m³

B = Ancho del depósito, m

L = Longitud del depósito, m

h_c = Altura de la componente convectiva, m

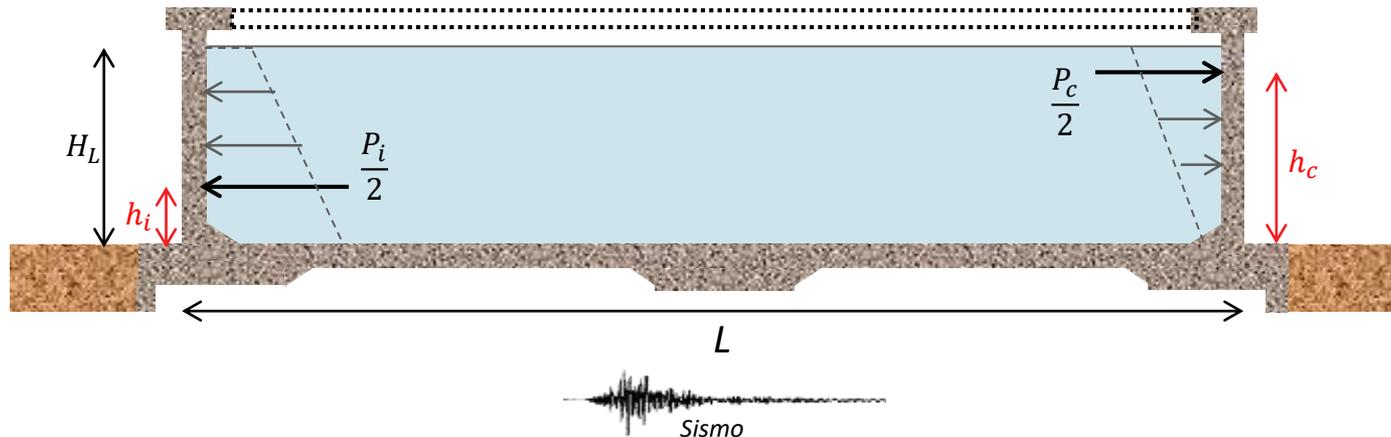
h_i = Altura de la componente impulsiva, m

H_L = Altura del líquido, m

$$\tanh(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} \quad e = 2.71828$$

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ CARGAS DINÁMICAS DE DISEÑO



Altura de la componente impulsiva:

$$\text{Si } \frac{L}{H_L} < 1.33: \quad h_i = H_L \cdot \left[0.5 - 0.09375 \cdot \left(\frac{L}{H_L} \right) \right]$$

$$\text{Si } \frac{L}{H_L} \geq 1.33: \quad h_i = 0.375 \cdot H_L$$

Altura de la componente convectiva:

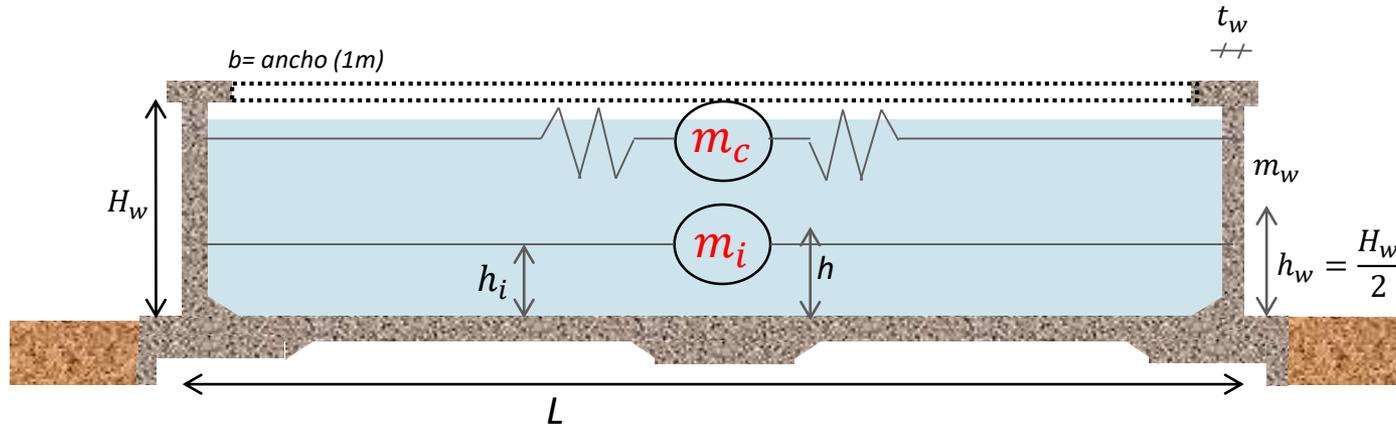
$$h_c = H_L \cdot \left[1 - \frac{\cosh \left[3.16 \cdot \left(\frac{H_L}{L} \right) \right] - 1}{3.16 \cdot \left(\frac{H_L}{L} \right) \sinh \left[3.16 \cdot \left(\frac{H_L}{L} \right) \right]} \right]$$

$$\sinh(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{2}$$

$$\cosh(x) = \frac{e^x + e^{-x}}{2}$$

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ CARGAS DINÁMICAS DE DISEÑO



$$k = \frac{E_c \cdot b}{4} \left(\frac{t_w}{h} \right)^3$$

Rigidez a la flexión (N/mm)

$$h = \frac{(h_w \cdot m_w + h_i \cdot m_i)}{(m_w + m_i)}$$

Altura al centroide de la masa del depósito y la masa impulsiva (m)

$$m_w = H_w \cdot t_w \cdot \left(\frac{\gamma_c}{g} \right)$$

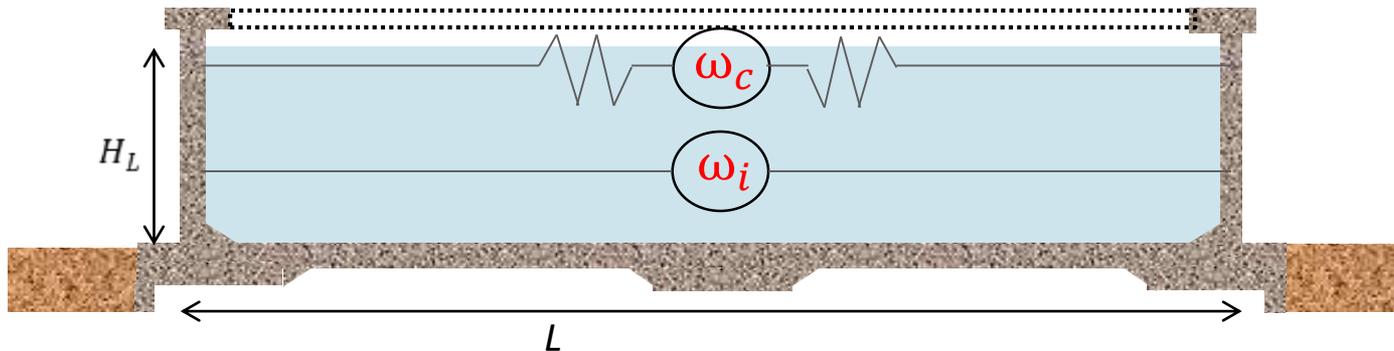
Masa del depósito (muros) (ton·seg²/m²)

$$m_i = \left(\frac{W_i}{W_L} \right) \left(\frac{L}{2} \right) H_L \left(\frac{\gamma_L}{g} \right)$$

Masa impulsiva del líquido (ton·seg²/m²)

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ CARGAS DINÁMICAS DE DISEÑO



Frecuencia natural circular de masa impulsiva:

$$\omega_i = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad m = m_w + m_i \quad T_i = \frac{2\pi}{\omega_i} = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{k}}$$

Rigidez a la flexión (N/mm):

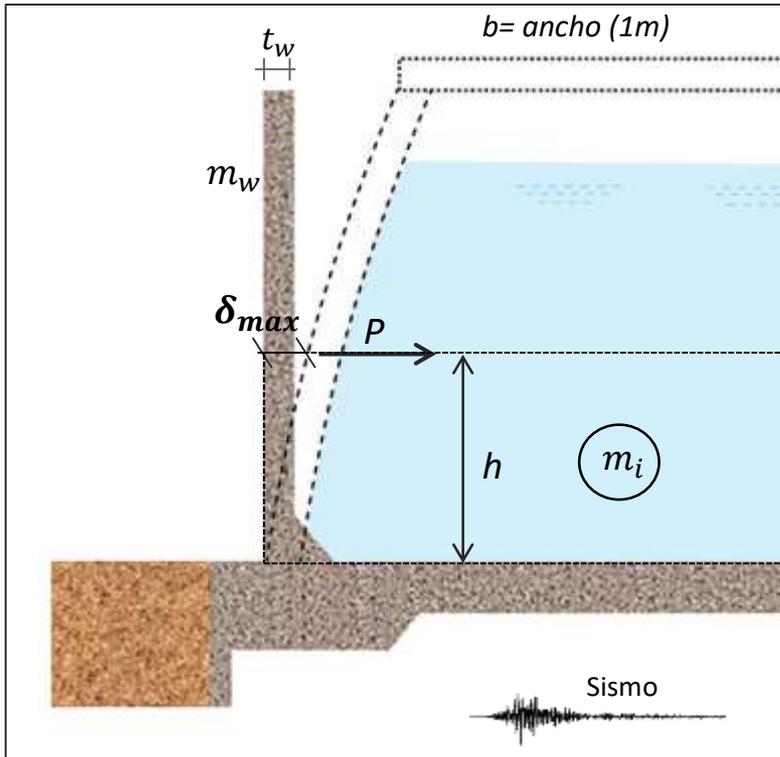
$$k = \frac{E_c \cdot b}{4} \left(\frac{t_w}{h}\right)^3$$

Frecuencia natural circular de la masa convectiva:

$$\omega_c = \frac{\lambda}{\sqrt{L}} \quad \lambda = \sqrt{3.16 \cdot g \cdot \tanh\left(3.16 \left(\frac{H_L}{L}\right)\right)} \quad T_c = \frac{2\pi}{\omega_c} = \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right) \sqrt{L}$$

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

- CARGAS DINÁMICAS DE DISEÑO



Rigidez a la flexión (N/mm):

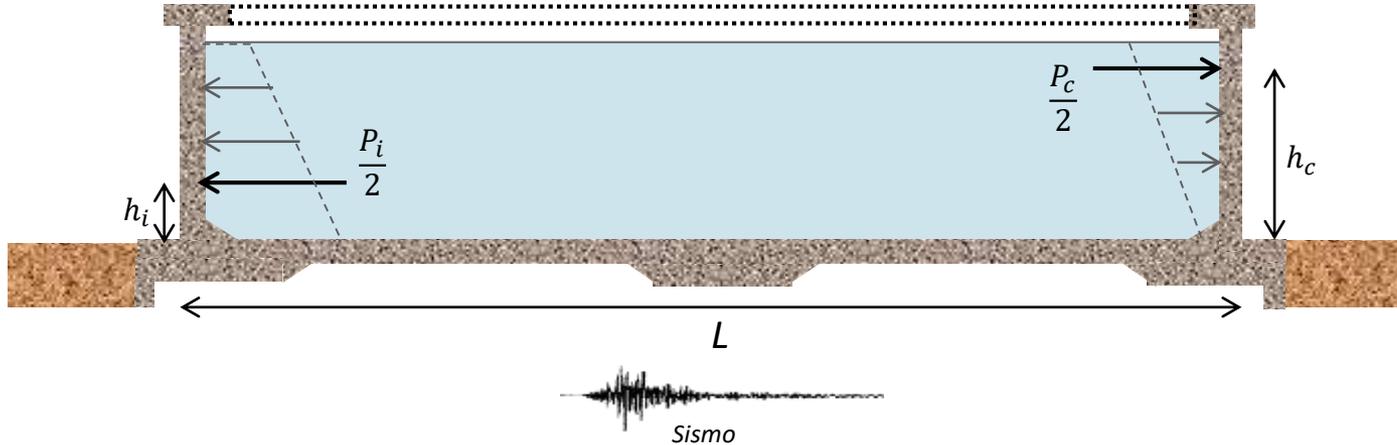
$$k = \frac{E_c \cdot b}{4} \left(\frac{t_w}{h} \right)^3$$

$$\left\{ \begin{array}{l} k = \frac{P}{\delta_{max}} = \frac{3 \cdot E_c \cdot I}{h^3} \\ \delta_{max} = \frac{P \cdot h^3}{3 \cdot E_c \cdot I} \\ k = \frac{E_c \cdot b}{4} \left(\frac{t_w}{h} \right)^3 \end{array} \right. \quad I = \frac{b \cdot t_w^3}{12}$$

$$h = \frac{(h_w \cdot m_w + h_i \cdot m_i)}{(m_w + m_i)}$$

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ CARGAS DINÁMICAS DE DISEÑO



Fuerza impulsiva:

$$P_i = I C_i \frac{W_i}{R_i} \quad (\text{Ton})$$

Si $T_i \leq T_s \rightarrow C_i = S_{DS}$

Si $T_i > T_s \rightarrow C_i = \frac{S_{D1}}{T_i} \leq S_{DS}$

Fuerza Convectiva:

$$P_c = I C_c \frac{W_c}{R_c} \quad (\text{Ton})$$

Si $T_c \leq 1.6/T_s \rightarrow C_c = \frac{1.5 \cdot S_{D1}}{T_c} \leq 1.5 \cdot S_{DS}$

Si $T_c > 1.6/T_s \rightarrow C_c = \frac{2.4 \cdot S_{DS}}{T_c^2}$

AIS 180-13:

$$S_{DS} = 2.5 \cdot A_a \cdot F_a \cdot I$$

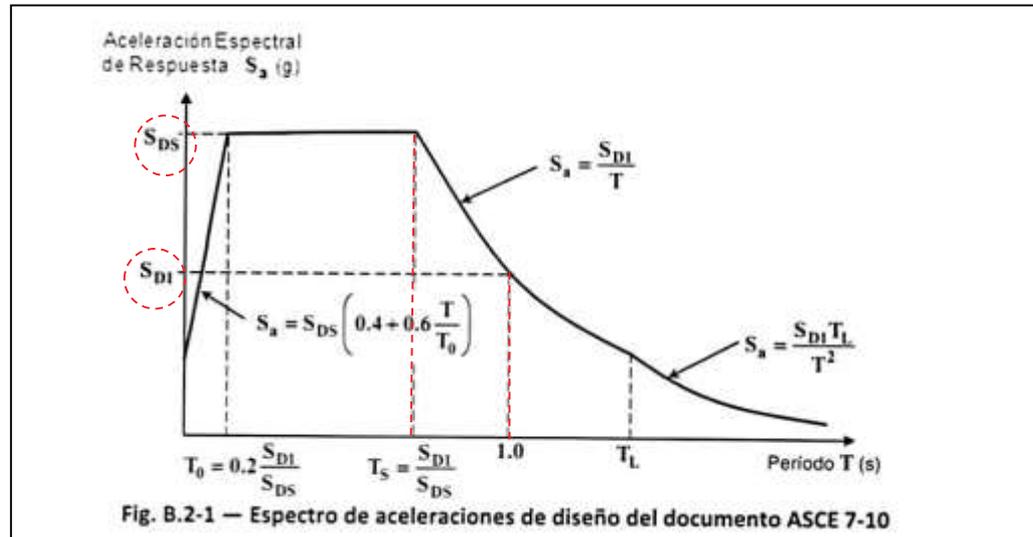
$$S_{D1} = 1.2 \cdot A_v \cdot F_v \cdot I$$

C_i, C_c : Coeficientes sísmicos de respuesta

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ CARGAS DINÁMICAS DE DISEÑO

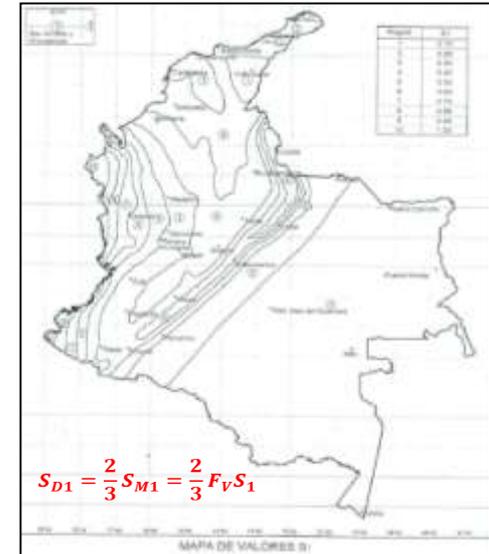
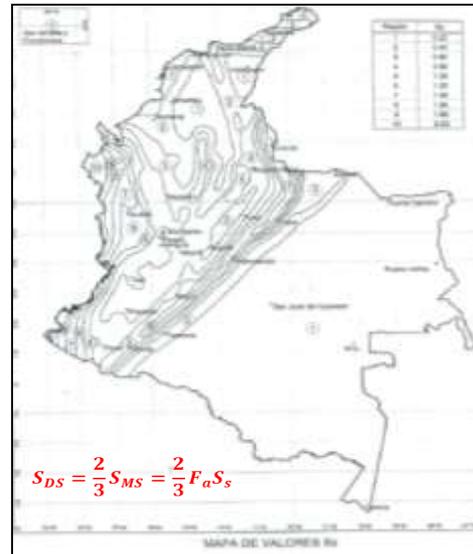
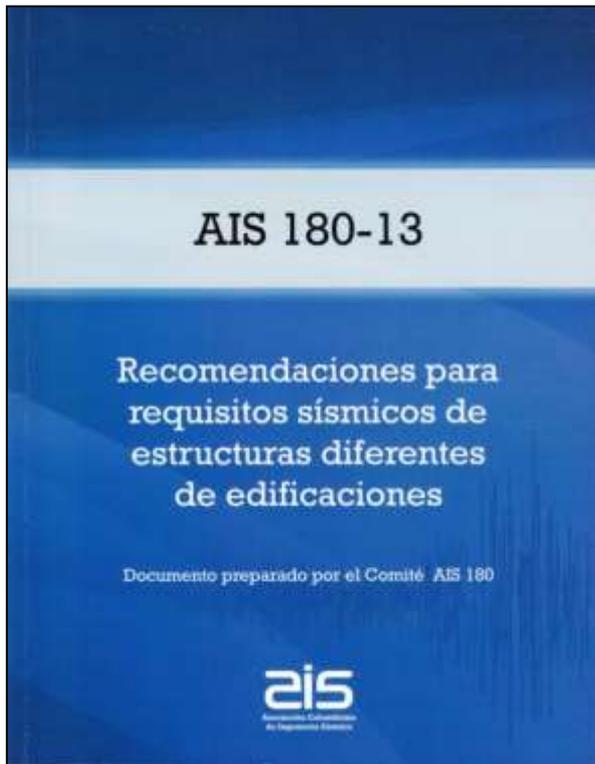


ACI 350.3-06 capítulo 9, comentario R9.4.1:

En regiones diferentes a las mostradas en los mapas de las publicaciones del IBC (2003), Building Seismic Safety Council (1997, 2000), y ASCE (2005), S_s y S_1 pueden reemplazarse por las aceleraciones espectrales del máximo sismo considerado del espectro de respuesta 5% amortiguado representando sismos con una probabilidad del 2% de ser excedidos en un período de 50 años, equivalente a un intervalo de recurrencia de aproximadamente 2500 años.

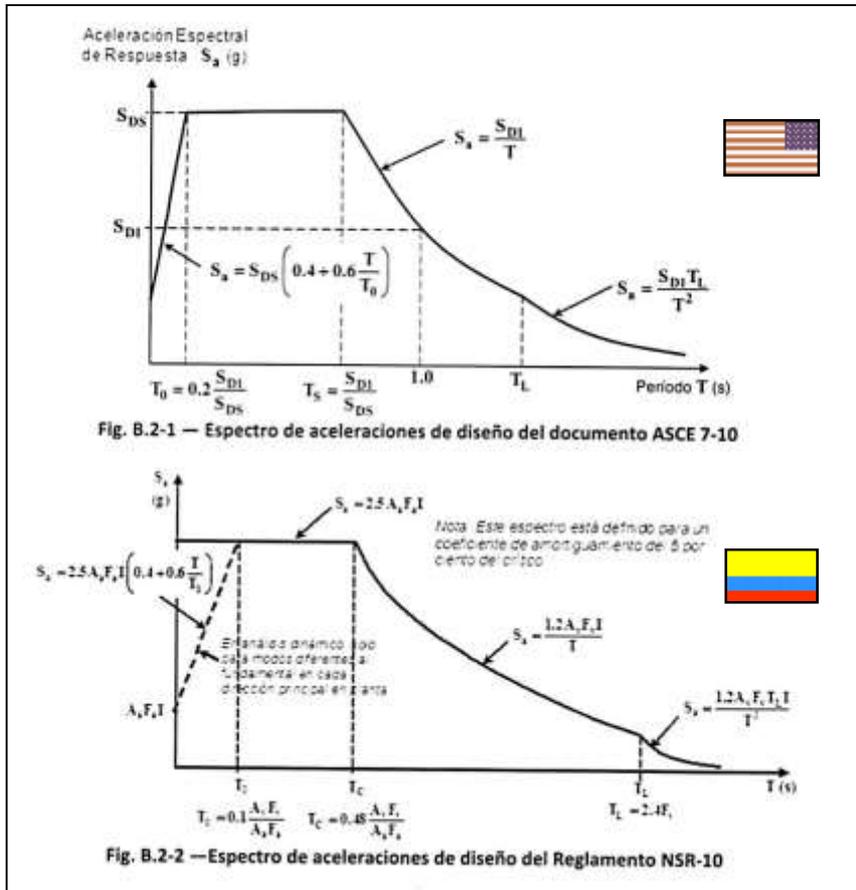
ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

- Documento aplicable



ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

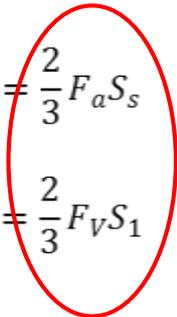
■ CARGAS DINÁMICAS DE DISEÑO



ASCE 7-10:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} = \frac{2}{3} F_a S_s$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} = \frac{2}{3} F_v S_1$$



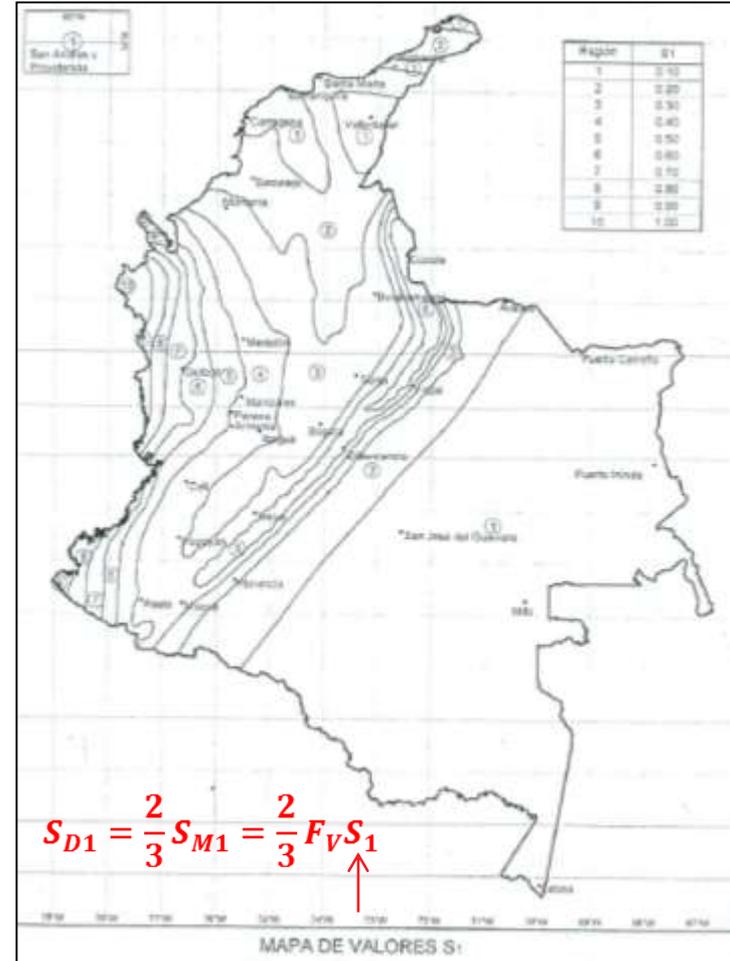
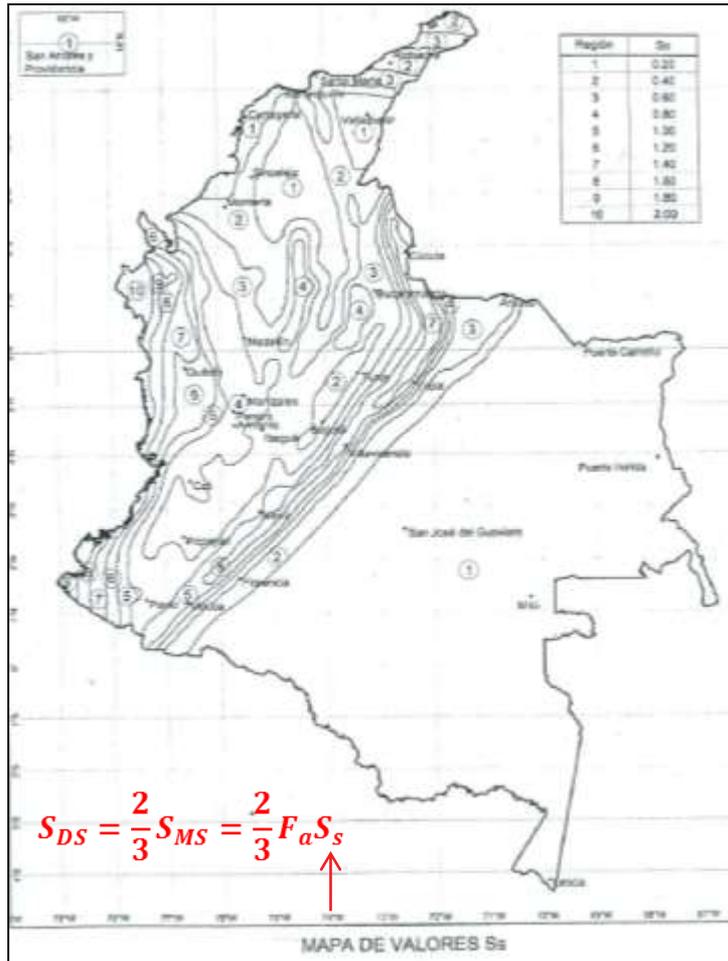
↑
NSR-10

AIS 180 - 13

Los valores de S_s y S_1 se obtuvieron de las curvas de recurrencia de las ordenadas espectrales para períodos cortos (0.2 s) y períodos intermedios (1.0 s) para una probabilidad de excedencia de 2% en 50 años (período medio de retorno de 2475 años)

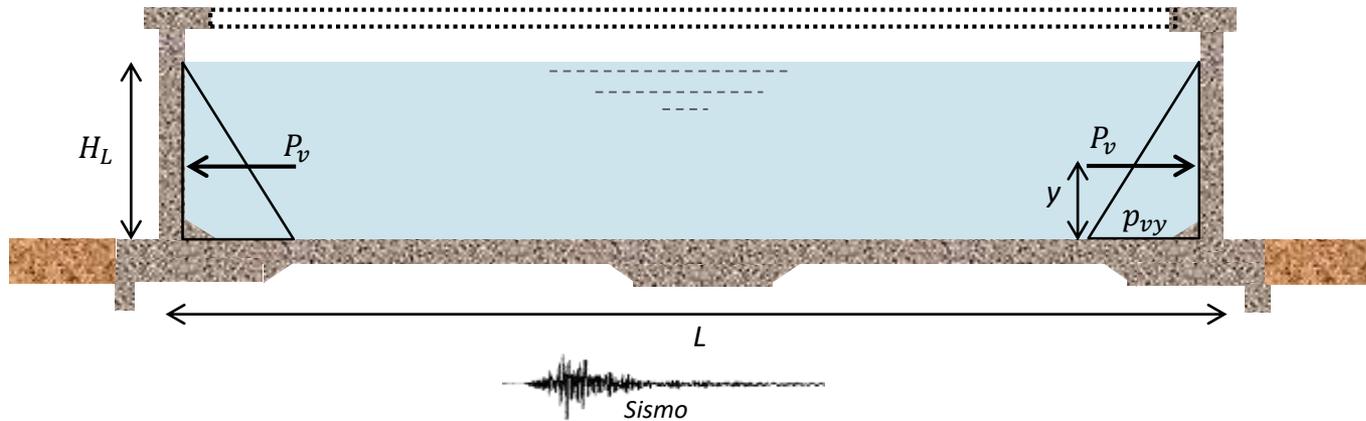
ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

- CARGAS DINÁMICAS DE DISEÑO



ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ CARGAS DINÁMICAS DE DISEÑO



Presión hidrodinámica por aceleración vertical:

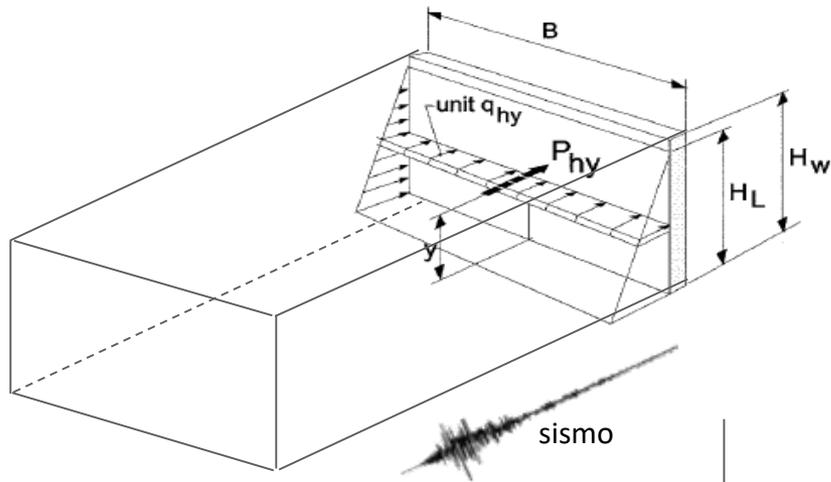
Presión hidrostática:

$$P_h = \frac{1}{2} \gamma_L H_L^2 B \quad (\text{ton})$$

$$q_{hy} = \gamma_L (H_L - y) \quad (\text{ton/m}^2) \quad \longrightarrow \quad p_{vy} = \underset{\substack{\uparrow \\ \text{Aceleración vertical}}}{\ddot{u}_v} q_{hy} \quad (\text{ton/m}^2)$$

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ CARGAS DINÁMICAS DE DISEÑO



Presión Hidrostática, q_{hy}

$$P_h = \frac{1}{2} \cdot \gamma_L \cdot H_L^2 \cdot B \quad (\text{Ton})$$

$$q_{hy} = \gamma_L \cdot (H_L - y) \quad \text{Ton/m}^2$$

Presión Hidrodinámica debido a la aceleración vertical, p_{vy}

$$p_{vy} = \ddot{u}_v q_{hy} \quad \text{Ton/m}^2$$

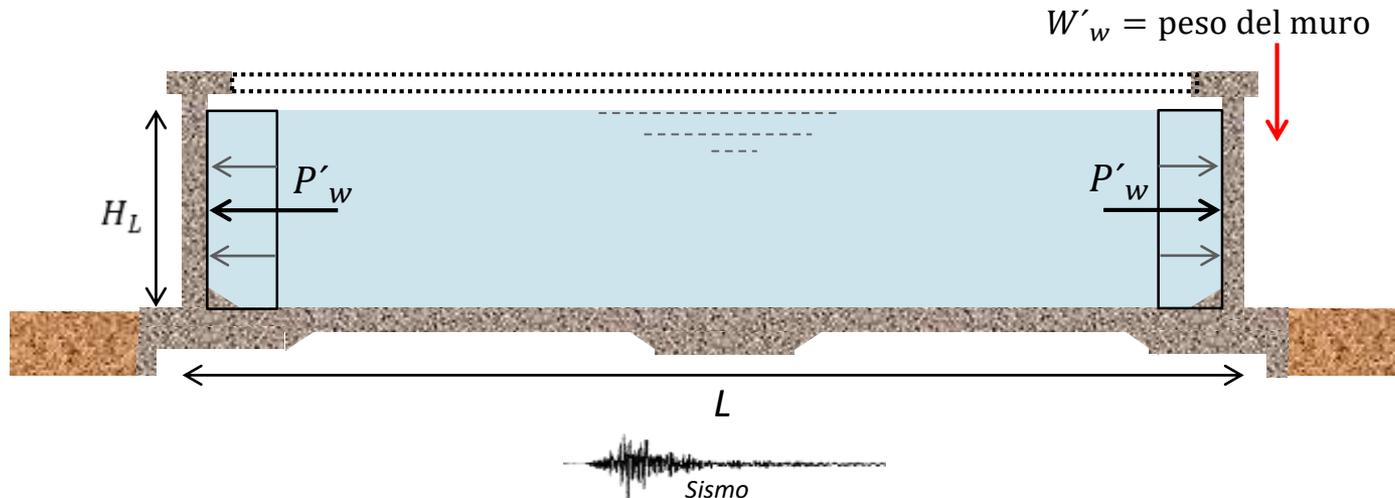
$$\ddot{u}_v = C_t \cdot I \cdot \left(\frac{b}{R_i} \right) \geq 0.2 S_{DS} \quad b = \frac{2}{3}$$

$$C_t = 0.4 \cdot S_{DS} \quad \text{Para tanques rectangulares}$$

\ddot{u}_v = Aceleración espectral (vertical)

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ CARGAS DINÁMICAS DE DISEÑO



Fuerza de inercia lateral del muro, P'_w

$$P'_w = I C_i \varepsilon \frac{W'_w}{R_i} \quad (\text{Ton})$$

Coefficiente de la masa efectiva:

$$\varepsilon = \left[0.0151 \left(\frac{L}{H_L} \right)^2 - 0.1908 \left(\frac{L}{H_L} \right) + 1.021 \right] \leq 1.0$$

C_i : Coeficiente sísmico de respuesta.

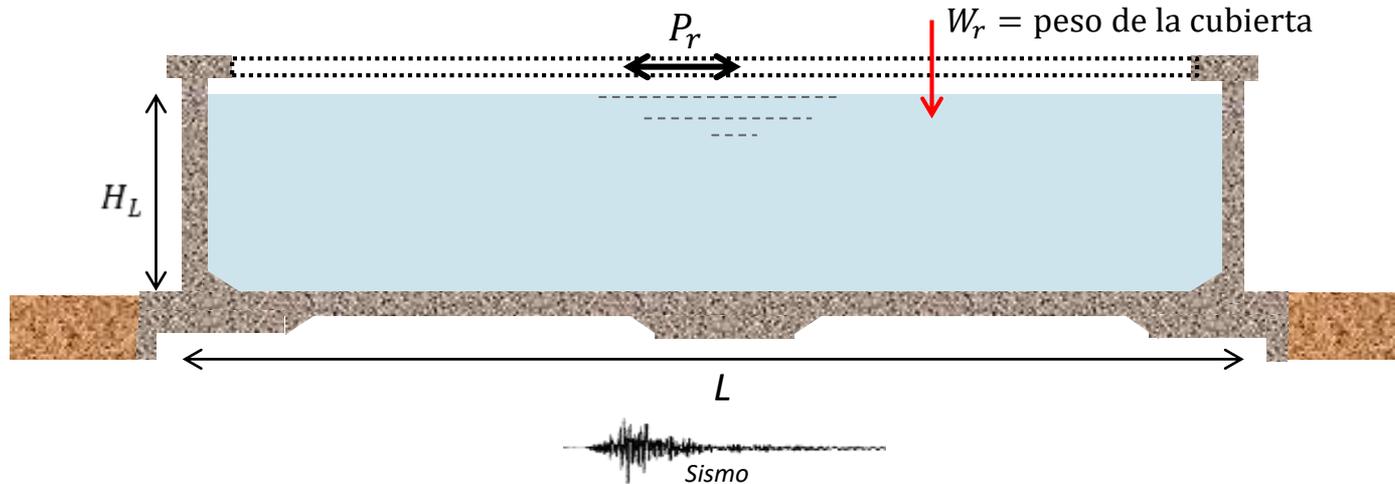
W'_w : Peso de los muros

R_i : Factor de modificación de respuesta de las componente impulsiva

I : Factor de importancia

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ CARGAS DINÁMICAS DE DISEÑO



Fuerza de inercia lateral de la cubierta, P_r

$$P_r = I C_i \frac{W_r}{R_i} \quad (\text{Ton})$$

C_i : Coeficiente sísmico de respuesta

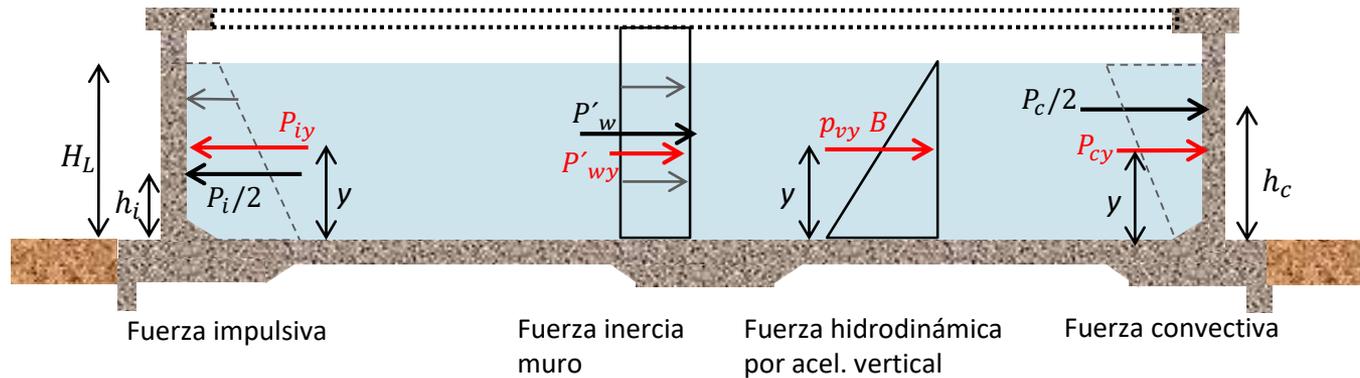
W_r : Peso de la cubierta

R_i : Factor de modificación de respuesta, de la componente impulsiva

I : Factor de importancia

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

- CARGAS DINÁMICAS DE DISEÑO

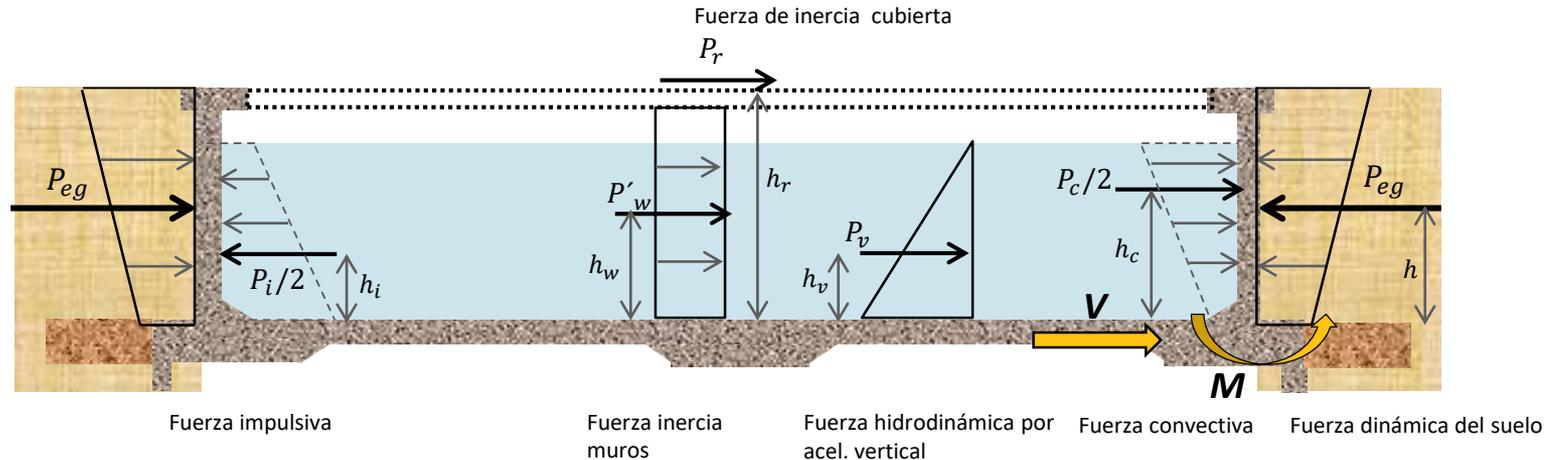


Fuerza hidrodinámica a determinada altura (y) de la base:

$$P_y = \sqrt{\left[(P_{iy} + P'_{wy})^2 + P_{cy}^2 + (p_{vy} B)^2 \right]} \quad (\text{Ton/m})$$

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ CARGAS DINÁMICAS DE DISEÑO



Cortante y Momento total en la base del muro (cargas dinámicas):

$$V = \sqrt{[(P'_w + P_r + P_i)^2 + P_c^2 + P_{eg}^2 + P_v^2]} \quad (\text{Ton})$$

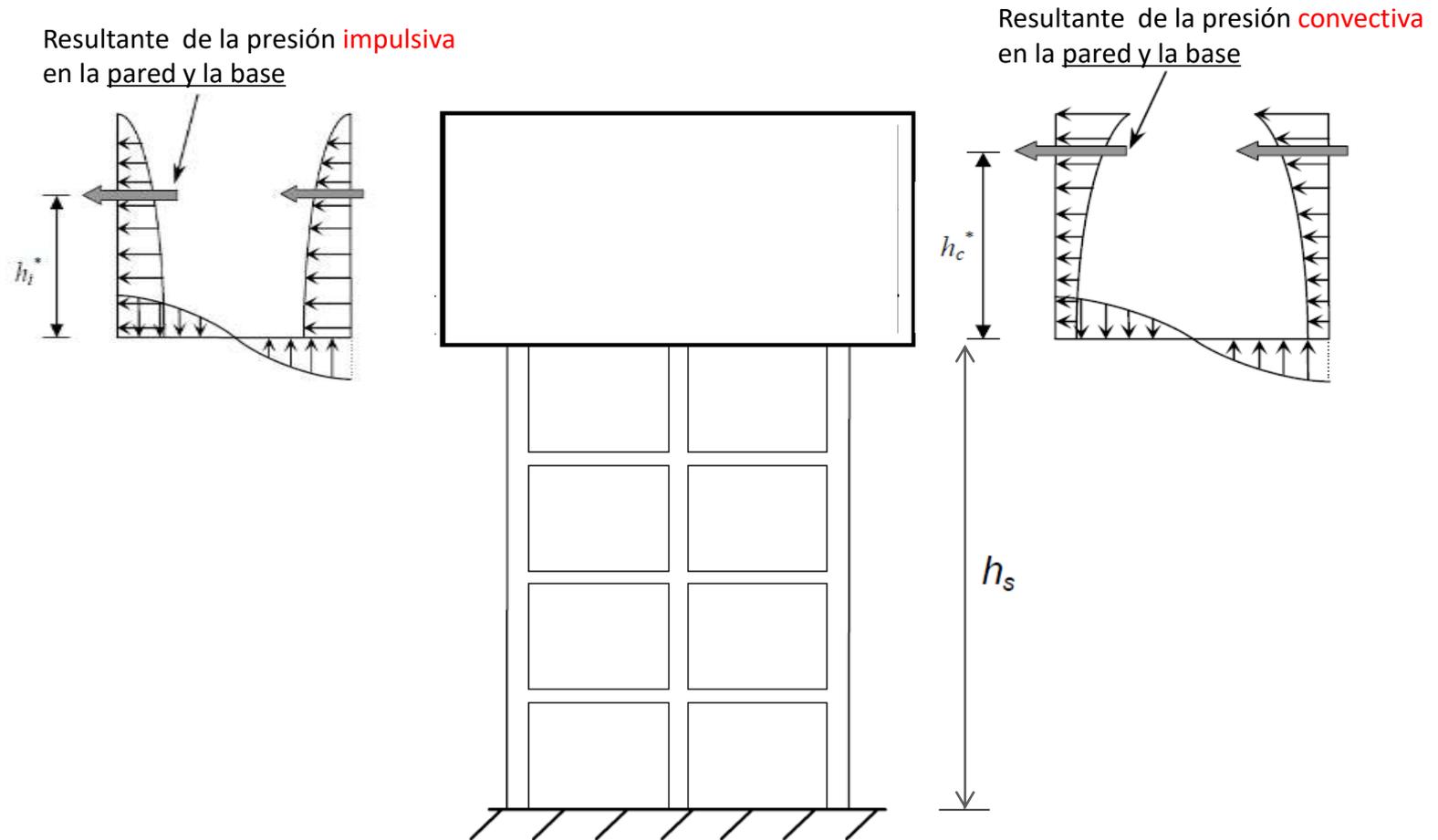
$$M = \sqrt{[(M'_w + M_r + M_i)^2 + M_c^2 + M_{eg}^2 + M_v^2]} \quad (\text{Ton-m})$$

P'_w = Fuerza de inercia muros
 P_r = Fuerza de inercia cubierta
 P_i = Fuerza lateral de la masa impulsiva
 P_c = Fuerza lateral de la masa convectiva
 P_v = Fuerza lateral debido a la acel. vertical
 P_{eg} = Fuerza debido al empuje dinámico del suelo

$$M_w = P'_w h_w, \quad M_r = P_r h_r, \quad M_i = P_i h_i, \quad M_c = P_c h_c, \quad M_v = P_v h_v, \quad M_{eg} = P_{eg} h$$

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

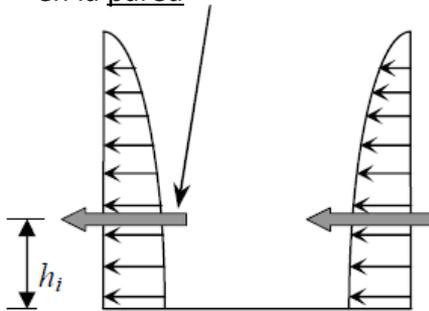
■ CARGAS DINÁMICAS (Tanques elevados):



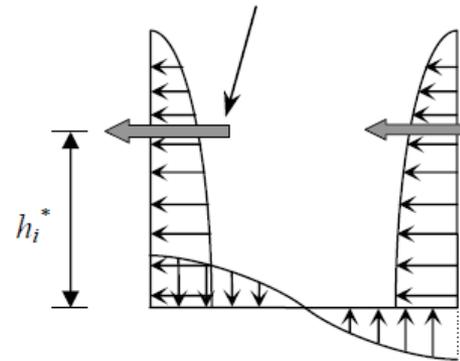
DISEÑO DE TANQUES DE CONCRETO REFORZADO

■ CARGAS DINÁMICAS DE DISEÑO

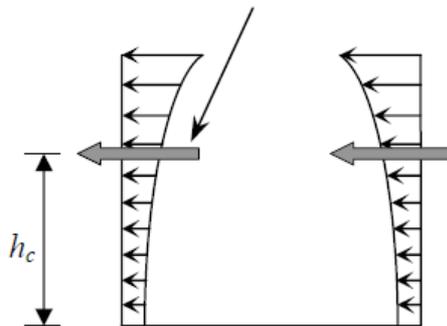
Resultante de la presión **impulsiva**
en la pared



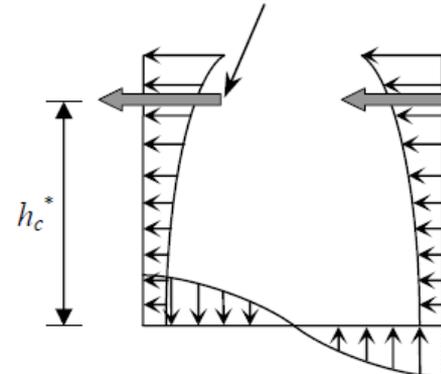
Resultante de la presión **impulsiva**
en la pared y la base



Resultante de la presión **convectiva**
en la pared



Resultante de la presión **convectiva**
en la pared y la base



ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

- CARGAS DINÁMICAS (Tanques elevados):



Sismo de Ecuador
(Abril 16 de 2016)





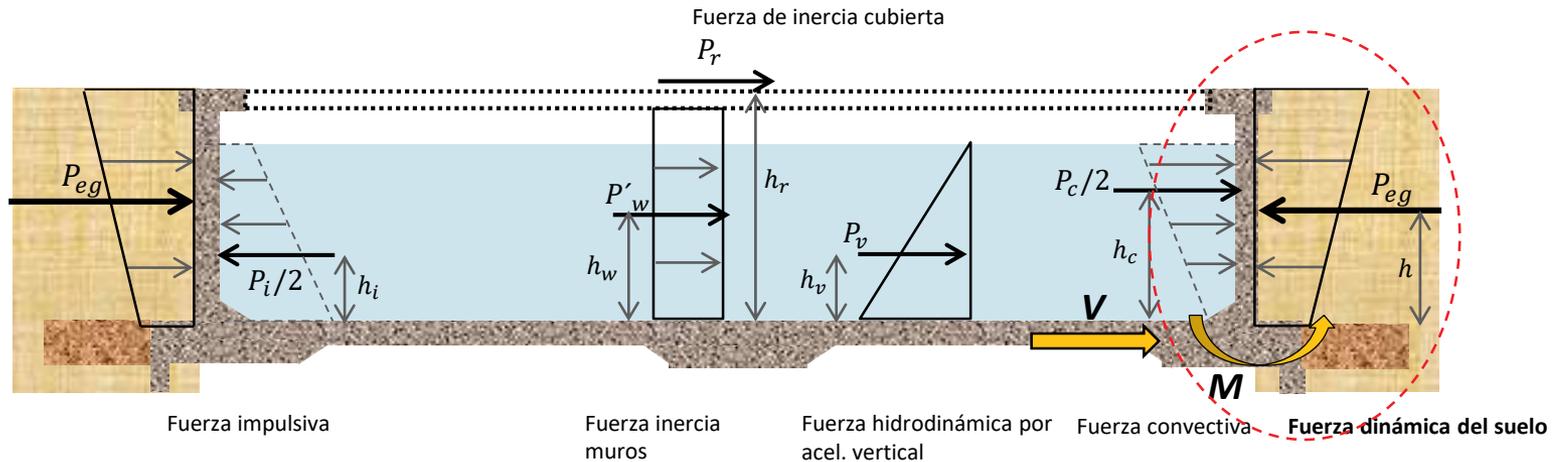
LA FUERZA DINÁMICA DEL SUELO....

CONSTRUYENDO CONFIANZA



ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ CARGAS DINÁMICAS (Empuje dinámico del suelo):



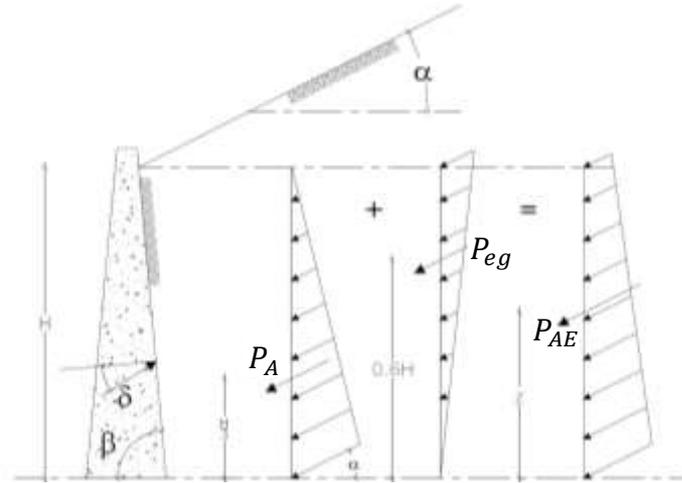
Fuerza debido al empuje dinámico del suelo (Método de Mononobe-Okabe Modificado):

$$P_{AE} = P_A + \underline{P_{eg}}$$

- P_{AE} = Empuje activo total
- P_A = Empuje estático
- P_{eg} = Empuje dinámico

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

- CARGAS DINÁMICAS (Empuje dinámico del suelo):



P_A = Empuje estático (empuje activo de Coulomb):

$$P_A = \frac{1}{2} K_A \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot B$$

$$K_A = \frac{\cos^2(\Phi - \Theta)}{\cos^2\Theta \cos(\delta + \Theta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \Phi)\sin(\Phi - \beta)}{\cos(\delta + \Theta)\cos(\beta - \Theta)}} \right]^2}$$

γ = peso activo del suelo

Φ = coefic. de fricción interna del suelo

Θ = ángulo de la pared interior muro con la vertical

δ = ángulo fricción entre el muro y el suelo

β = ángulo de la superf. suelo con la horizontal

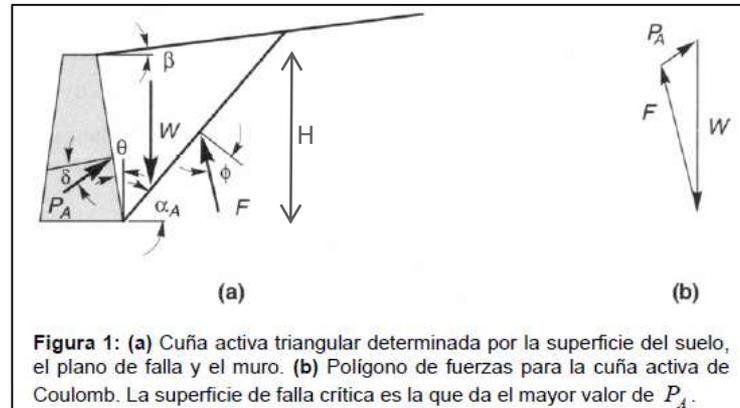
α_A = ángulo de la superf. de falla crítica

K_A = coeficiente de empuje activo

B = ancho depósito

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

- CARGAS DINÁMICAS (Empuje dinámico del suelo):



P_A = Empuje estático (empuje activo de Coulomb):

$$P_A = \frac{1}{2} K_A \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot B$$

$$K_A = \frac{\cos^2(\Phi - \Theta)}{\cos^2\Theta \cos(\delta + \Theta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \Phi)\sin(\Phi - \beta)}{\cos(\delta + \Theta)\cos(\beta - \Theta)}} \right]^2}$$

γ = peso activo del suelo

Φ = coefic. de fricción interna del suelo

Θ = ángulo de la pared interior muro con la vertical

δ = ángulo fricción entre el muro y el suelo

β = ángulo de la superf. suelo con la horizontal

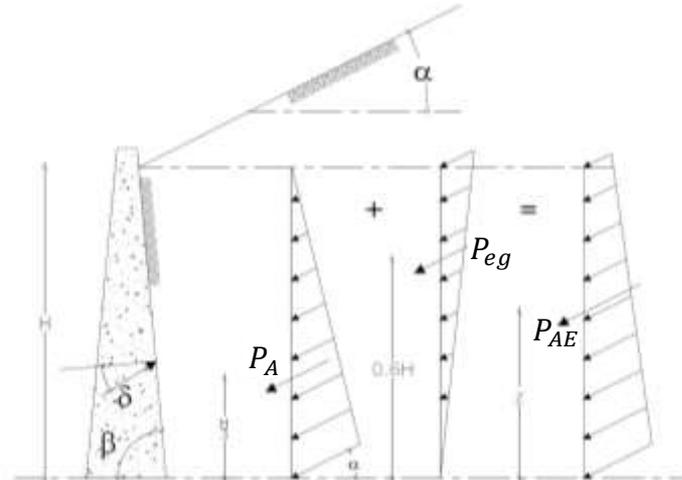
α_A = ángulo de la superf. de falla crítica

K_A = coeficiente de empuje activo

B = ancho depósito

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

- CARGAS DINÁMICAS (Empuje dinámico del suelo):



P_A = Empuje estático (empuje activo de Coulomb):

$$P_A = \frac{1}{2} K_A \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot B$$

$$K_A = \frac{\cos^2(\Phi - \theta)}{\cos^2\theta \cos(\delta + \theta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \Phi)\sin(\Phi - \beta)}{\cos(\delta + \theta)\cos(\beta - \theta)}} \right]^2}$$

ACI 350.3-06 capítulo 8:

El coeficiente de presión lateral de tierra en reposo K_0 debe usarse para el cálculo de la presión de tierra a menos que se demuestre con cálculos que la estructura se deflecta lo suficiente como para rebajar el coeficiente a un valor entre K_0 y el coeficiente activo de presión de tierra K_A .

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ CARGAS DINÁMICAS (Empuje dinámico del suelo):

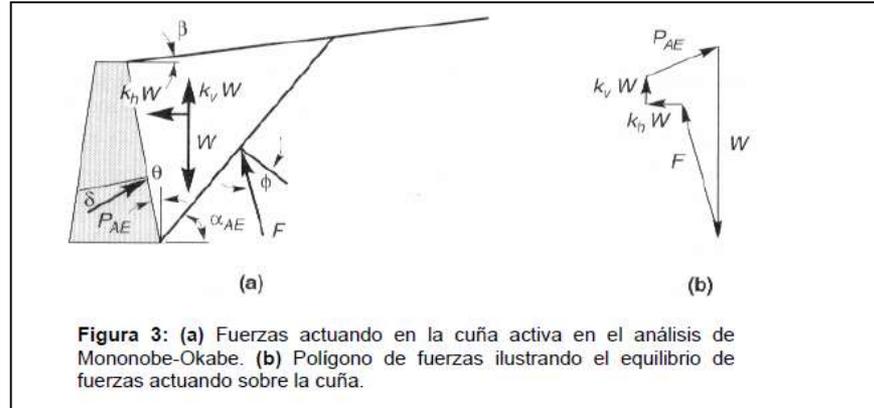


Figura 3: (a) Fuerzas actuando en la cuña activa en el análisis de Monobe-Okabe. (b) Polígono de fuerzas ilustrando el equilibrio de fuerzas actuando sobre la cuña.

P_{AE} = Empuje activo total:

$$P_{AE} = \frac{1}{2} K_{AE} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot (1 - K_v) \cdot B$$

$$K_{AE} = \frac{\cos^2(\Phi - \theta - \psi)}{\cos\psi \cos^2\theta \cos(\delta + \theta + \psi) \left[1 + \sqrt{\frac{\text{sen}(\delta + \Phi)\text{sen}(\Phi - \beta - \psi)}{\cos(\delta + \theta + \psi) \cos(\beta - \theta)}} \right]^2}$$

$$\psi = \tan^{-1} \left[\frac{k_h}{1 - k_v} \right]$$

γ = peso activo del suelo

Φ = coefic. de fricción interna del suelo

Θ = ángulo de la pared interior muro con la vertical

δ = ángulo fricción entre el muro y el suelo

β = ángulo de la superf. suelo con la horizontal

α_A = ángulo de la superf. de falla crítico

K_{AE} = coeficiente dinámico de empuje activo

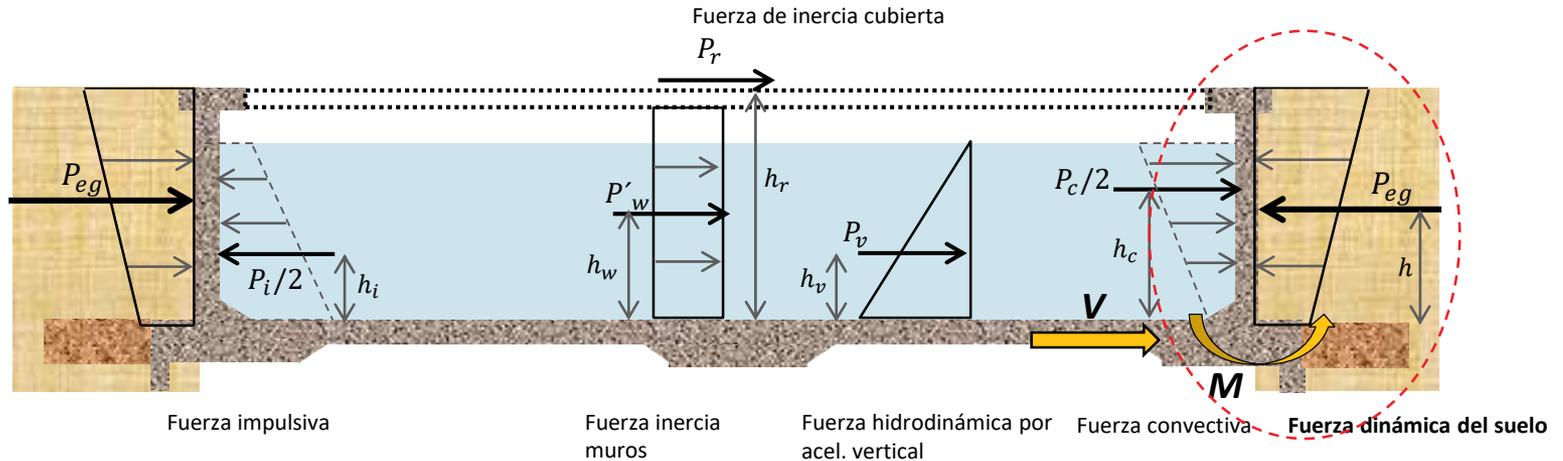
B = ancho depósito

K_v = acel. vertical del terreno

K_h = acel. hztl del terreno

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

- CARGAS DINÁMICAS (Empuje dinámico del suelo):



Fuerza debido al empuje dinámico del suelo (Método de Mononobe-Okabe Modificado):

$$P_{eg} = P_{AE} - P_A$$

- P_{AE} = Empuje activo total
- P_A = Empuje estático
- P_{eg} = Empuje dinámico
- $h = 0.6H$

PERO... ¿DE QUÉ MAGNITUD PUEDEN SER LAS CARGAS HIDRODINÁMICAS?....

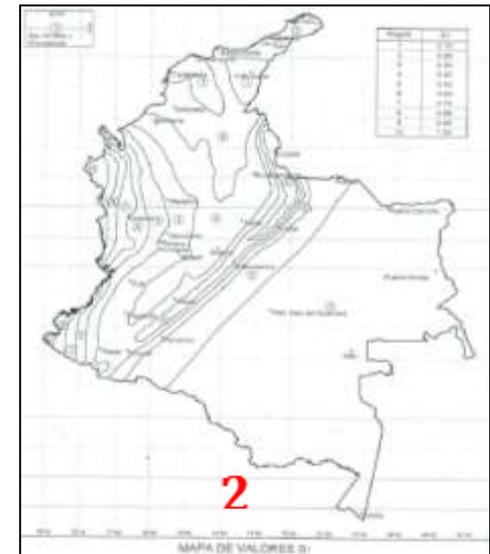
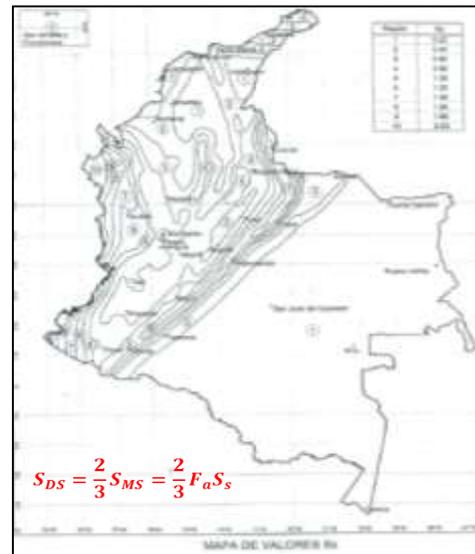
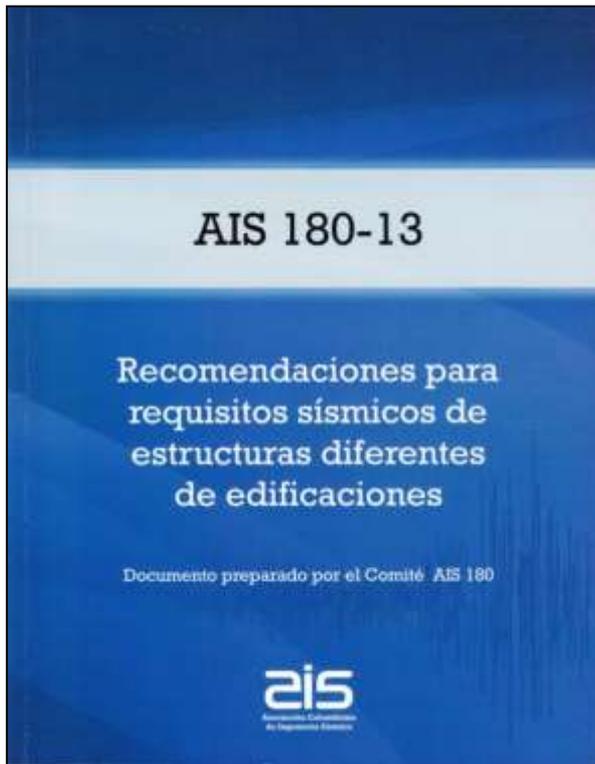
ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

- Documento aplicable

Table 2-5. Level of Seismicity Definitions

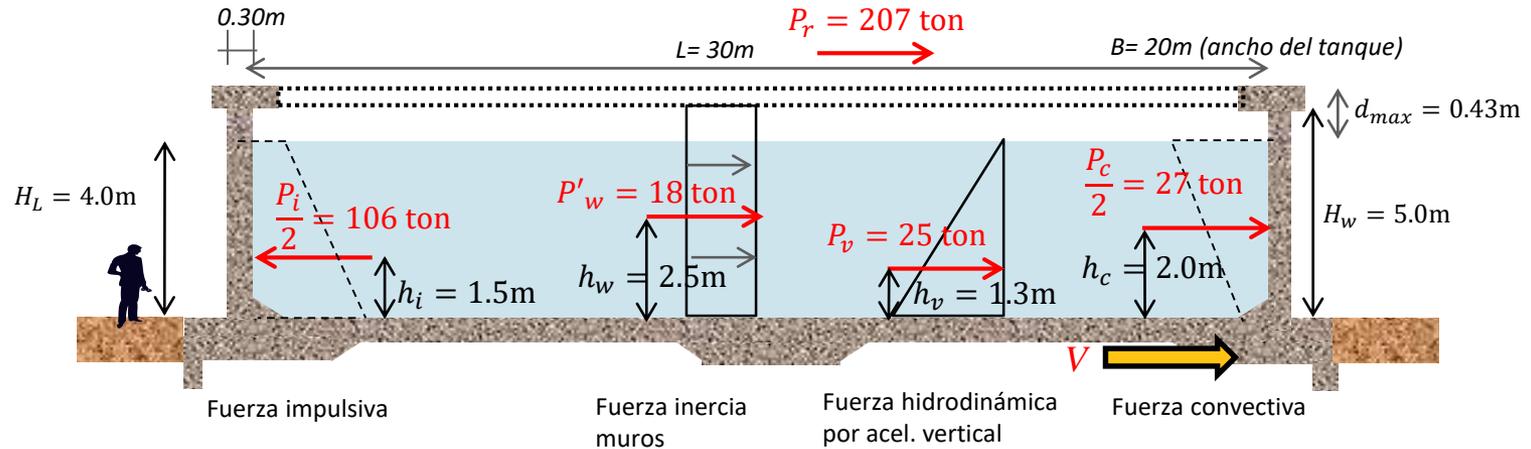
Level of Seismicity*	S_{M1}	S_{M2}
Very low	<0.167 g	<0.067 g
Low	≥0.167 g <0.33 g	≥0.067 g <0.133 g
Moderate	≥0.33 g <0.50 g	≥0.133 g <0.20 g
High	≥ 0.50 g	≥0.20 g

*The higher level of seismicity defined by S_{M1} or S_{M2} shall govern.



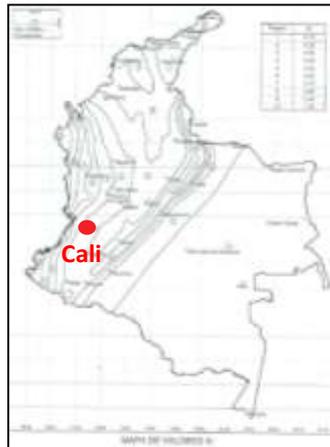
ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ CARGAS DINÁMICAS DE DISEÑO



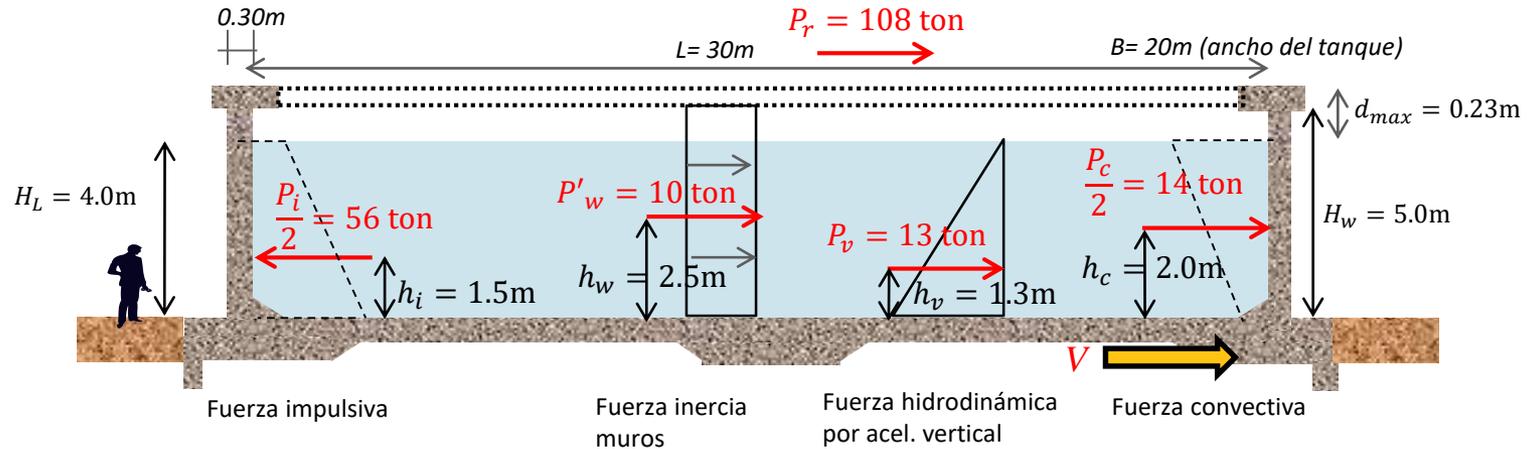
Riesgo Sísmico Alto
(NSR-10)

$$V = \sqrt{[(P'_w + P_r + P_i)^2 + P_c^2 + P_v^2]} = 237\text{ ton (ó 441 ton con tapa)}$$



ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ CARGAS DINÁMICAS DE DISEÑO



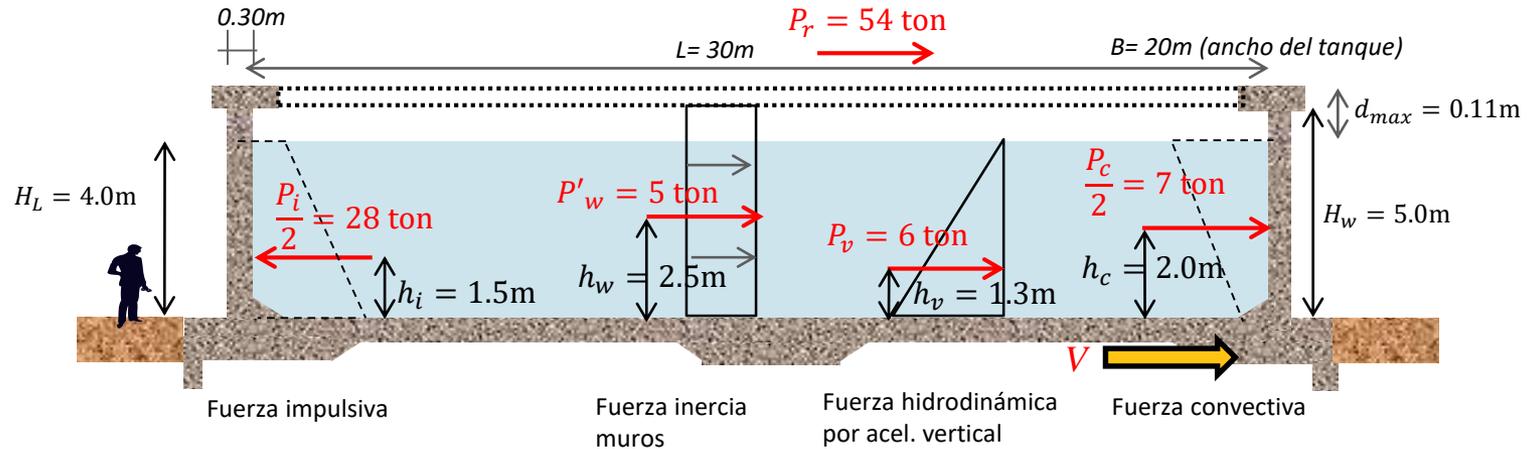
Riesgo Sísmico Medio
(NSR-10)

$$V = \sqrt{[(P'_w + P_r + P_i)^2 + P_c^2 + P_v^2]} = 126\text{ ton (ó 232 ton con tapa)}$$



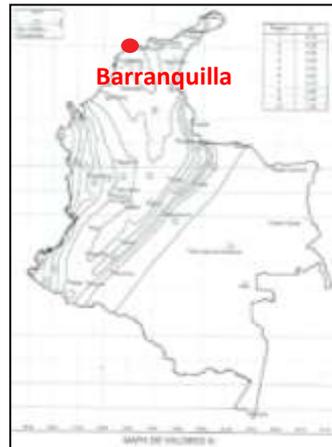
ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ CARGAS DINÁMICAS DE DISEÑO



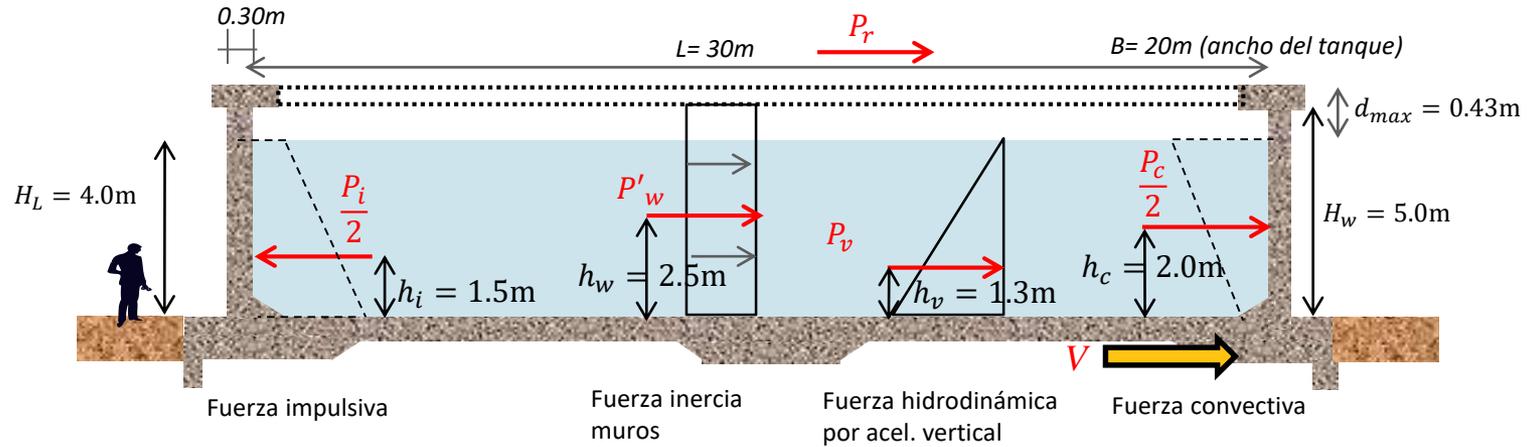
Riesgo Sísmico Bajo
(NSR-10)

$$V = \sqrt{[(P'_w + P_r + P_i)^2 + P_c^2 + P_v^2]} = 63\text{ ton (ó 116 ton con tapa)}$$



ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ CARGAS DINÁMICAS DE DISEÑO

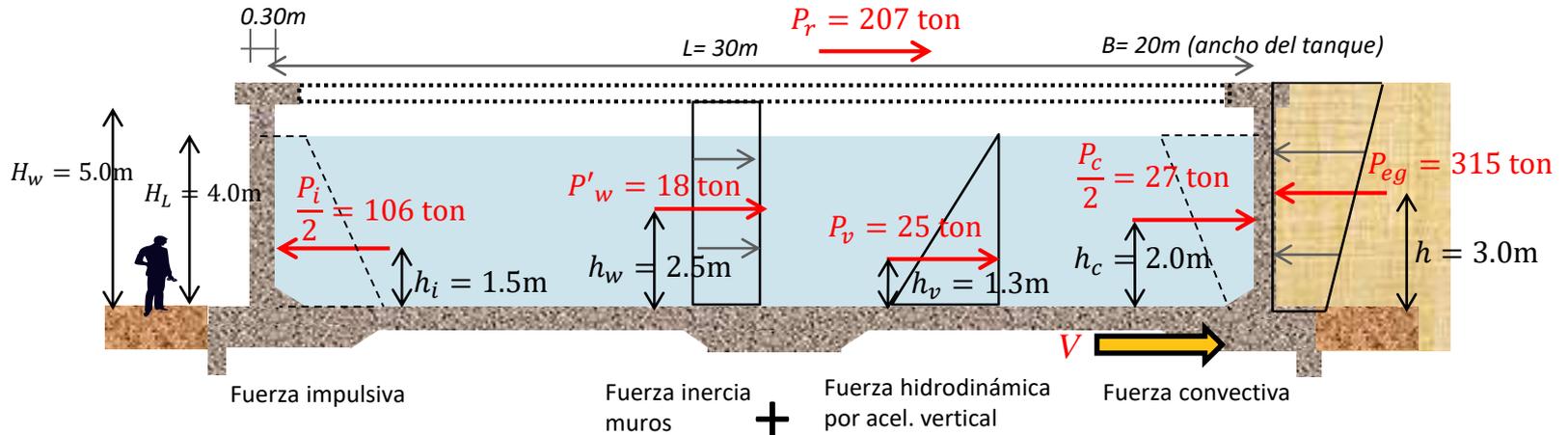


$$V = \sqrt{[(P'_w + P_r + P_i)^2 + P_c^2 + P_v^2]}$$

Riesgo sísmico	Ciudad	Fuerzas Dinámicas (ton)					
		P_i	P_c	P_v	P'_w	P_r	V
Alto	Cali	212	54	25	18	207	441
Medio	Bogotá	112	28	13	10	108	232
Bajo	Barranquilla	56	14	6	5	54	116

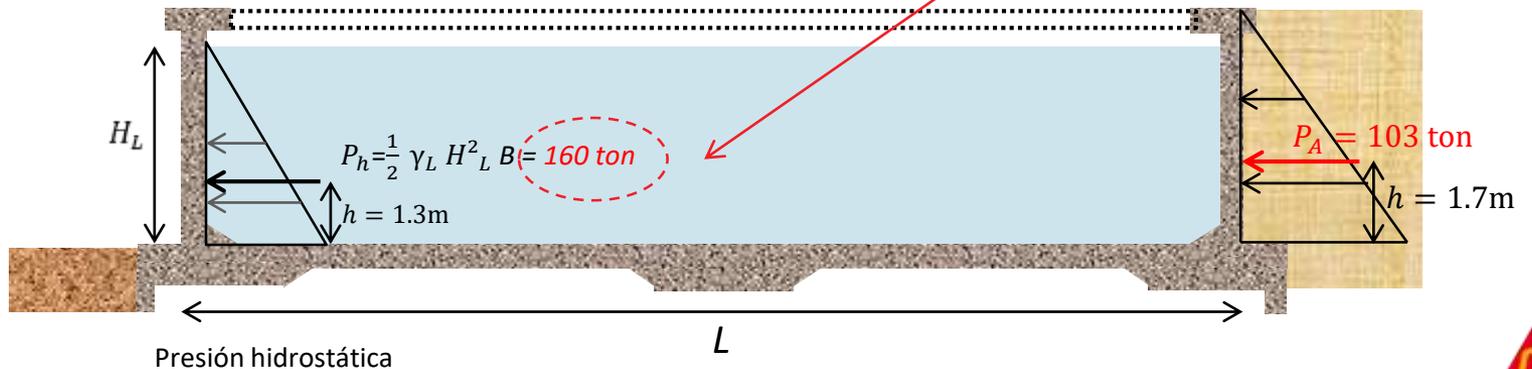
ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ CARGAS DINÁMICAS vs ESTÁTICAS:



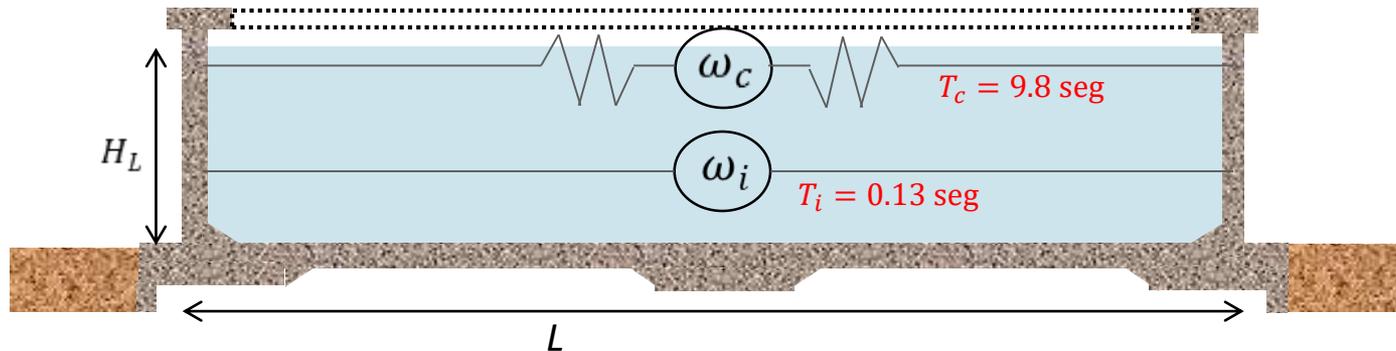
Riesgo Sísmico Alto
(NSR-10)

$$V = \sqrt{[(P'_w + P_r + P_i)^2 + P_c^2 + P_v^2]} = 237\text{ ton! (ó 441 ton con tapa)}$$



ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ CARGAS DINÁMICAS DE DISEÑO



Frecuencia natural circular de masa impulsiva:

$$\omega_i = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$m = m_w + m_i$$

$$T_i = \frac{2\pi}{\omega_i} = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{k}}$$

Rigidez a la flexión (N/mm):

$$k = \frac{E_c \cdot b}{4} \left(\frac{t_w}{h}\right)^3$$

Frecuencia natural circular de la masa convectiva:

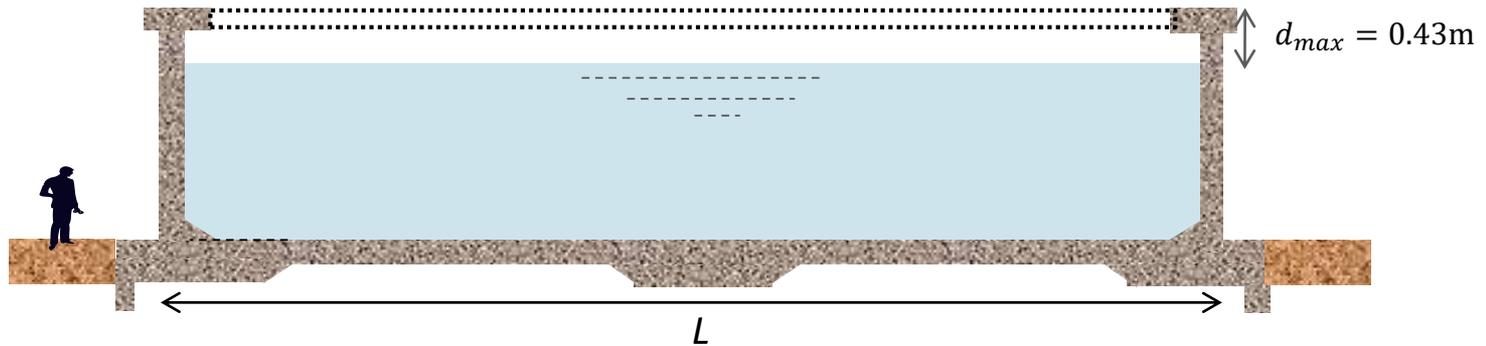
$$\omega_c = \frac{\lambda}{\sqrt{L}}$$

$$\lambda = \sqrt{3.16 \cdot g \cdot \tanh\left(3.16 \left(\frac{H_L}{L}\right)\right)}$$

$$T_c = \frac{2\pi}{\omega_c} = \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right) \sqrt{L}$$

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ OSCILACIÓN DE LA OLA:



Desplazamiento vertical máximo:

$$d_{max} = \frac{L}{2} C_c I$$

C_c = Coeficiente sísmico de respuesta

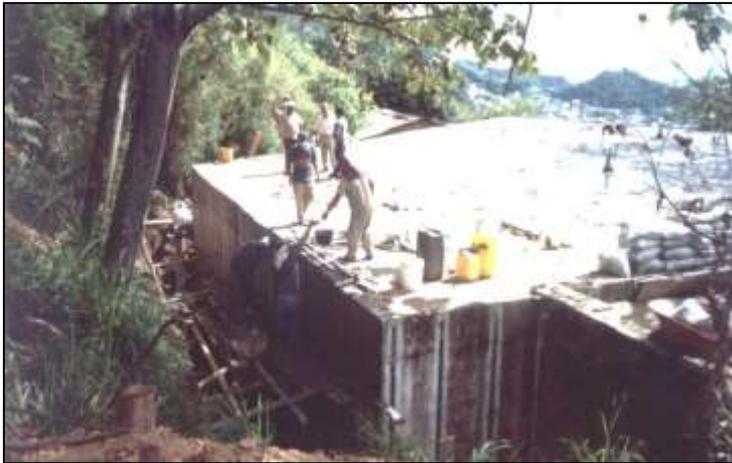
I = Factor de importancia

Para el caso del ejemplo (riesgo sísmico alto):

$$d_{max} = \frac{L}{2} C_c I = \frac{30\text{m}}{2} \times 0.023 \times 1.25 = 0.43\text{m}$$

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

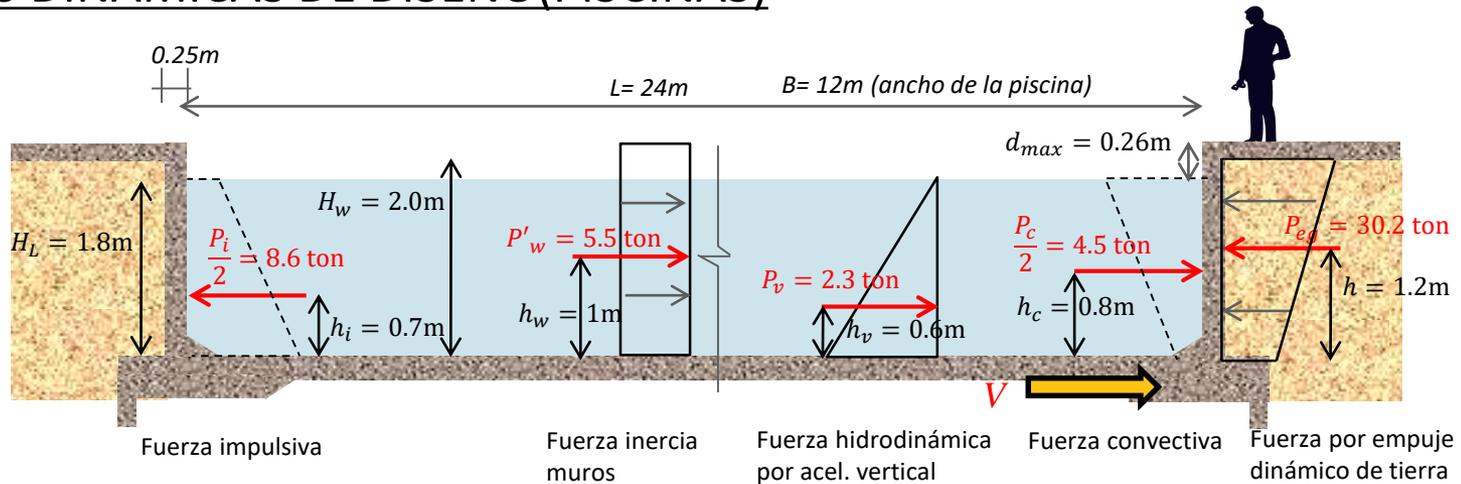
- TANQUES Y PISCINAS:



Normalmente los tanques son más grandes que las piscinas, y sus cargas hidrodinámicas son más grandes, pero en las piscinas las cargas producidas por los sismos son importantes también.....

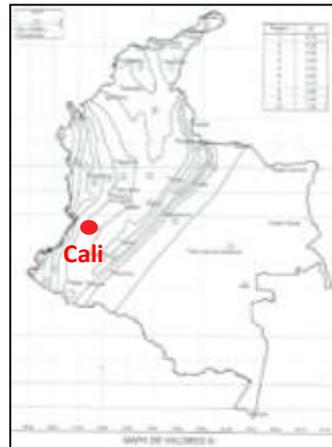
ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ CARGAS DINÁMICAS DE DISEÑO (PISCINAS)



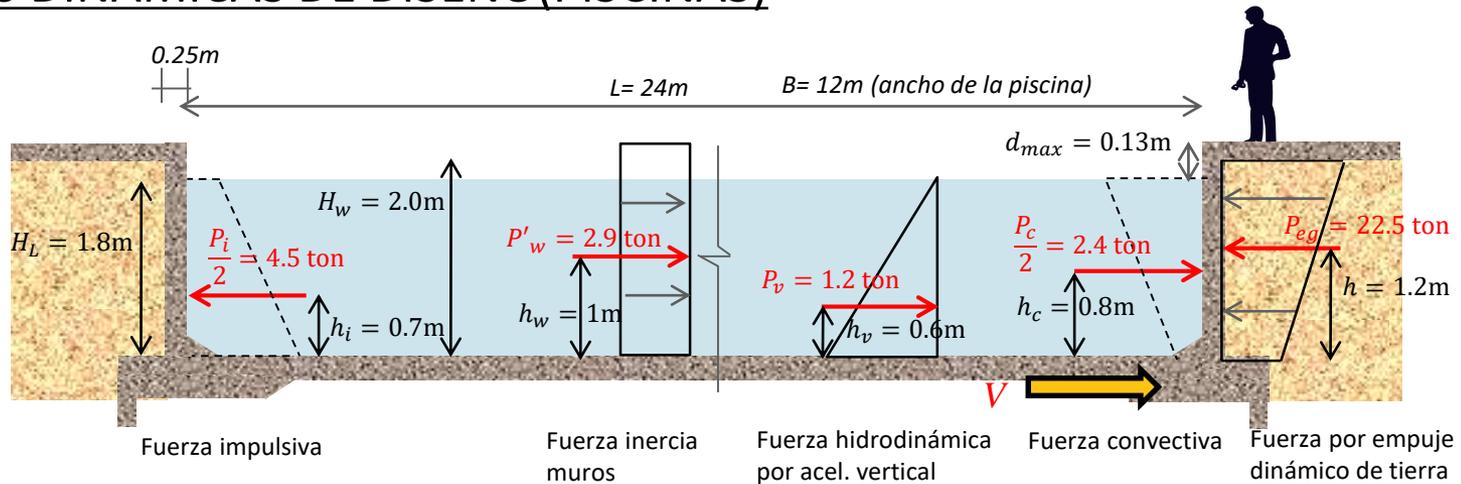
Riesgo Sísmico Alto
(NSR-10)

$$V = \sqrt{[(P'_w + P_r + P_i)^2 + P_c^2 + P_{eg}^2 + P_v^2]} = 38.9\text{ ton}$$



ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ CARGAS DINÁMICAS DE DISEÑO (PISCINAS)



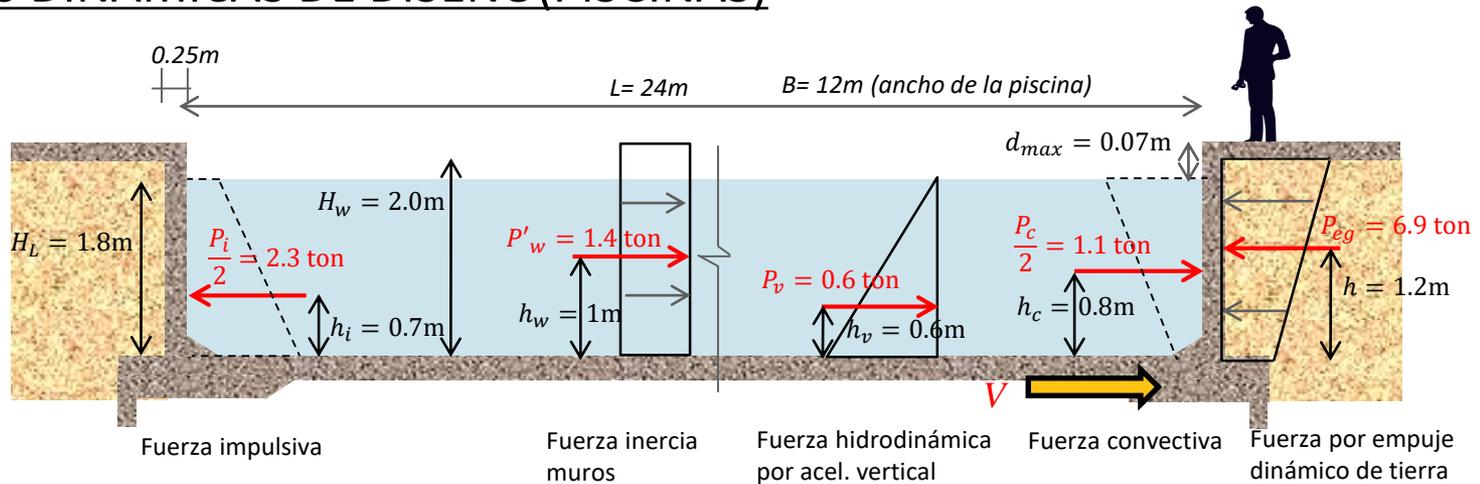
Riesgo Sísmico Medio
(NSR-10)

$$V = \sqrt{[(P'_w + P_r + P_i)^2 + P_c^2 + P_{eg}^2 + P_v^2]} = 25.9\text{ ton}$$



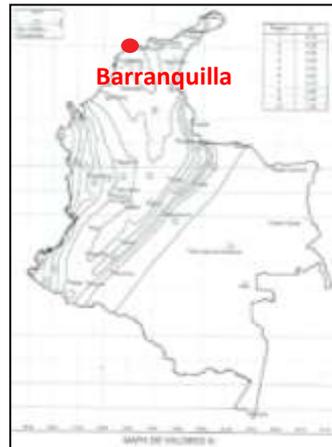
ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ CARGAS DINÁMICAS DE DISEÑO (PISCINAS)



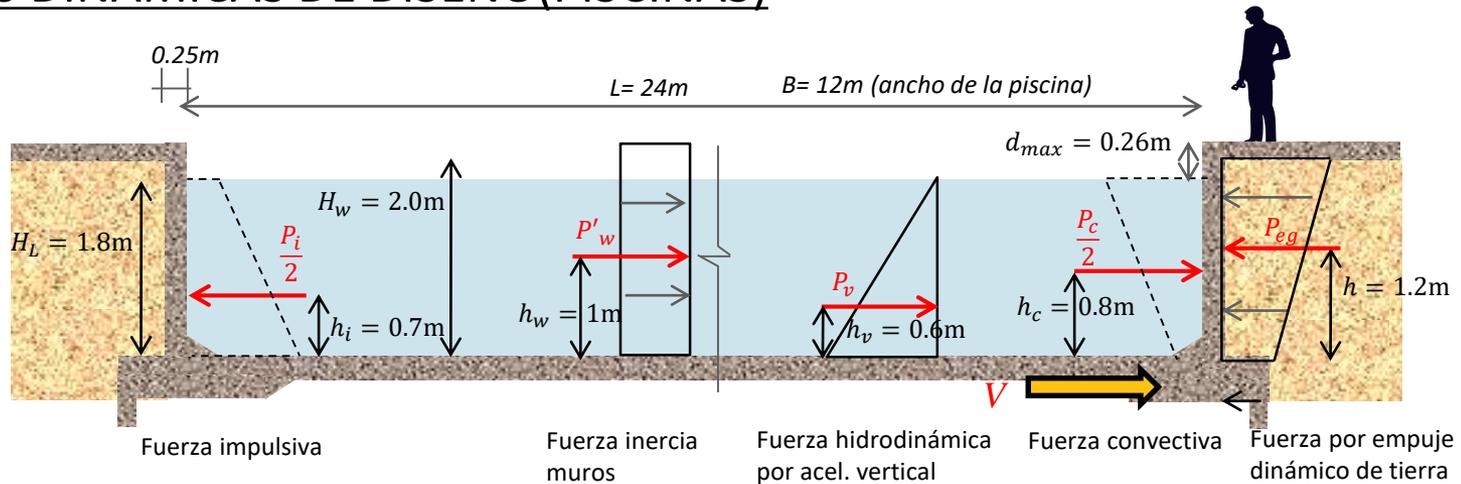
Riesgo Sísmico Bajo
(NSR-10)

$$V = \sqrt{[(P'_w + P_r + P_i)^2 + P_c^2 + P_{eg}^2 + P_v^2]} = 9.4\text{ ton}$$



ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ CARGAS DINÁMICAS DE DISEÑO (PISCINAS)

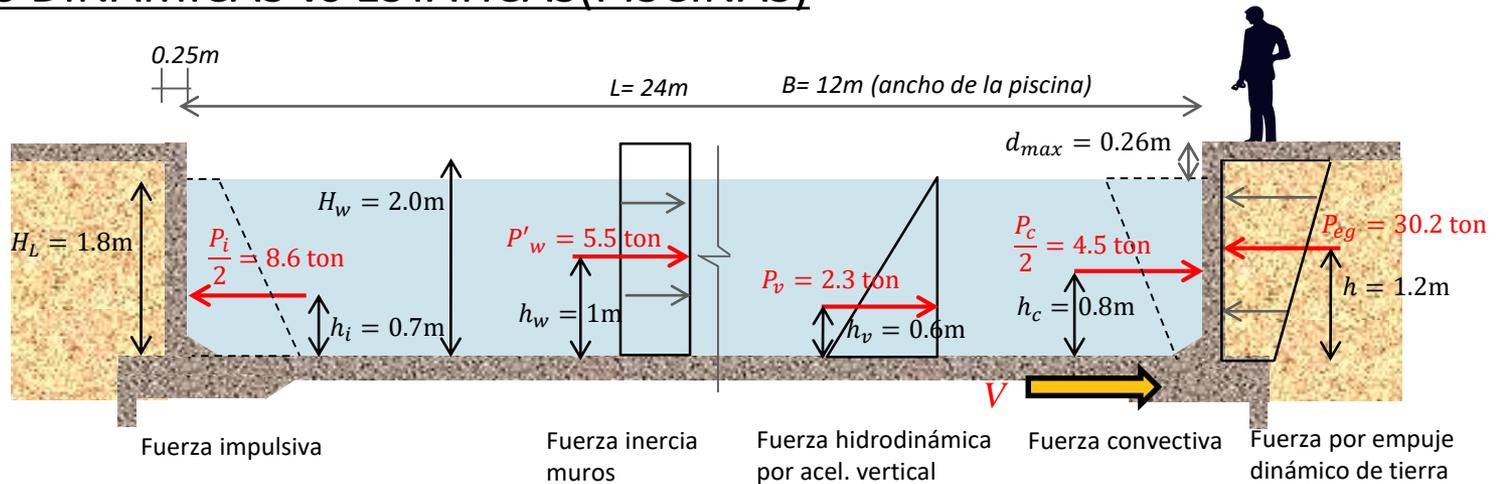


$$V = \sqrt{[(P'_w + P_r + P_i)^2 + P_c^2 + P_{eg}^2 + P_v^2]}$$

Riesgo sísmico	Ciudad	Fuerzas Dinámicas (ton)					
		P_i	P_c	P_v	P'_w	P_{eg}	V
Alto	Cali	17.2	9	2.3	5.5	30.2	38.9
Medio	Bogotá	9	4.8	1.2	2.9	22.5	25.9
Bajo	Barranquilla	4.6	2.2	0.6	1.4	6.9	9.4

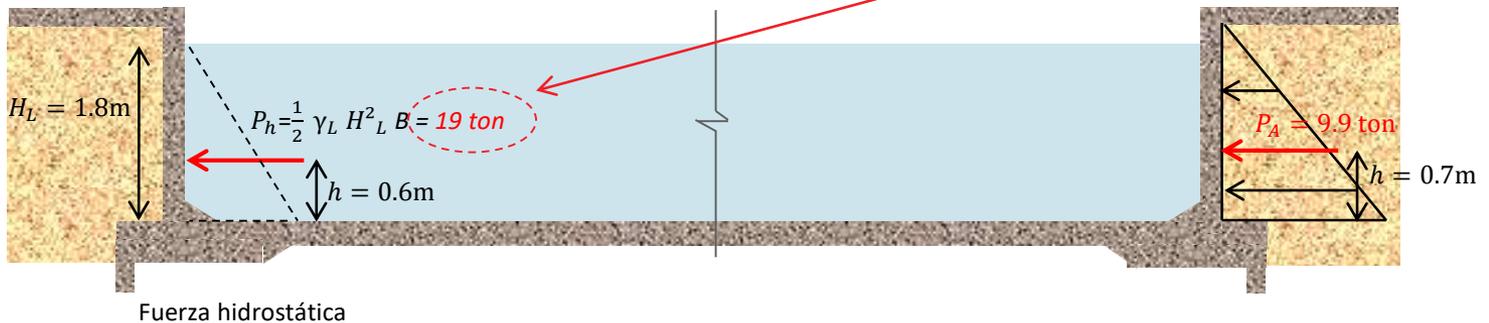
ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ CARGAS DINÁMICAS vs ESTÁTICAS(PISCINAS)



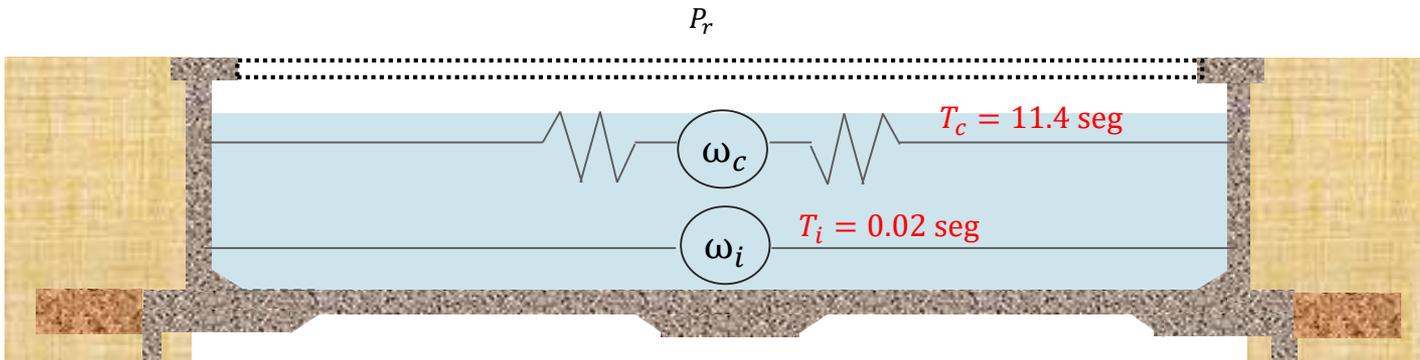
Riesgo Sísmico Alto
(NSR-10)

$$V = \sqrt{[(P'_w + P_r + P_i)^2 + P_c^2 + P_{eg}^2 + P_v^2]} = 38.9\text{ ton}$$



ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ CARGAS DINÁMICAS DE DISEÑO



Frecuencia natural circular de masa impulsiva:

$$\omega_i = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$m = m_w + m_i$$

$$T_i = \frac{2\pi}{\omega_i} = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{k}}$$

Rigidez a la flexión (N/mm):

$$k = \frac{E_c \cdot b}{4} \left(\frac{t_w}{h}\right)^3$$

Frecuencia natural circular de la masa convectiva:

$$\omega_c = \frac{\lambda}{\sqrt{L}}$$

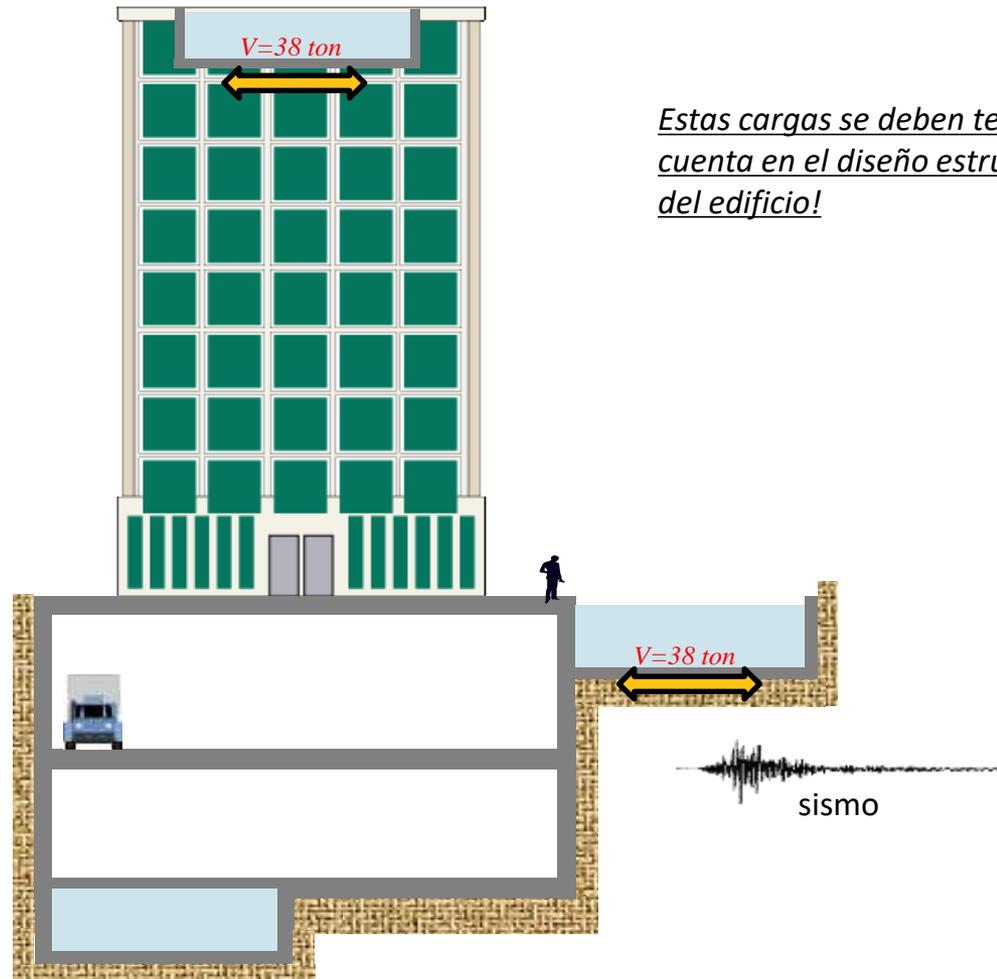
$$\lambda = \sqrt{3.16 \cdot g \cdot \tanh\left(3.16 \left(\frac{H_L}{L}\right)\right)}$$

$$T_c = \frac{2\pi}{\omega_c} = \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right) \sqrt{L}$$

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ CARGAS DINÁMICAS DE DISEÑO

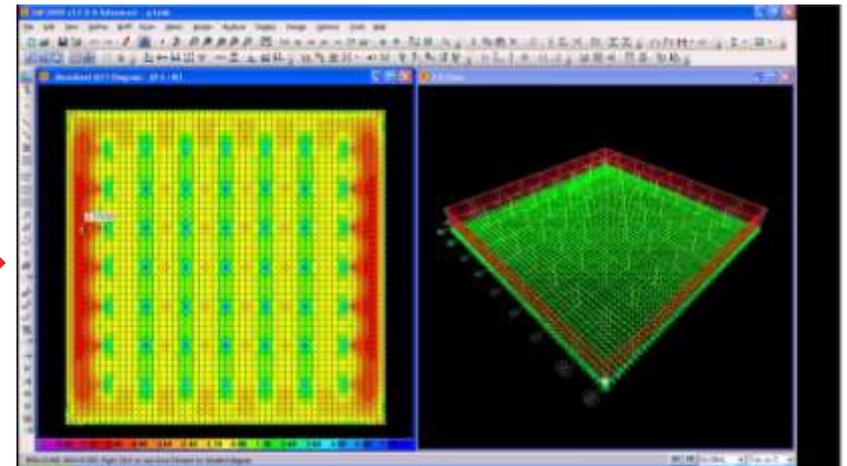
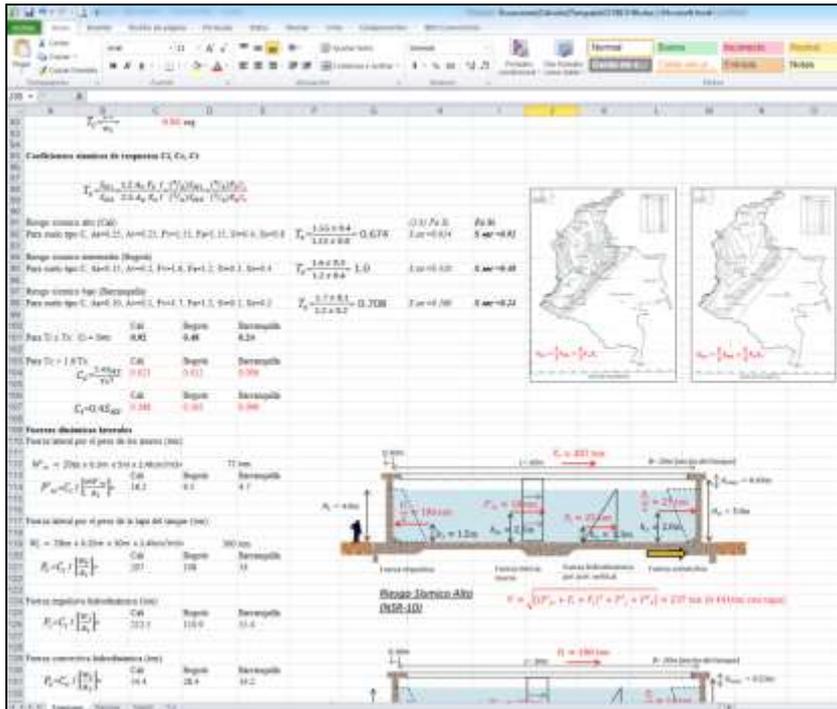
*Riesgo Sísmico Alto
(NSR-10)*



Estas cargas se deben tener en cuenta en el diseño estructural del edificio!

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

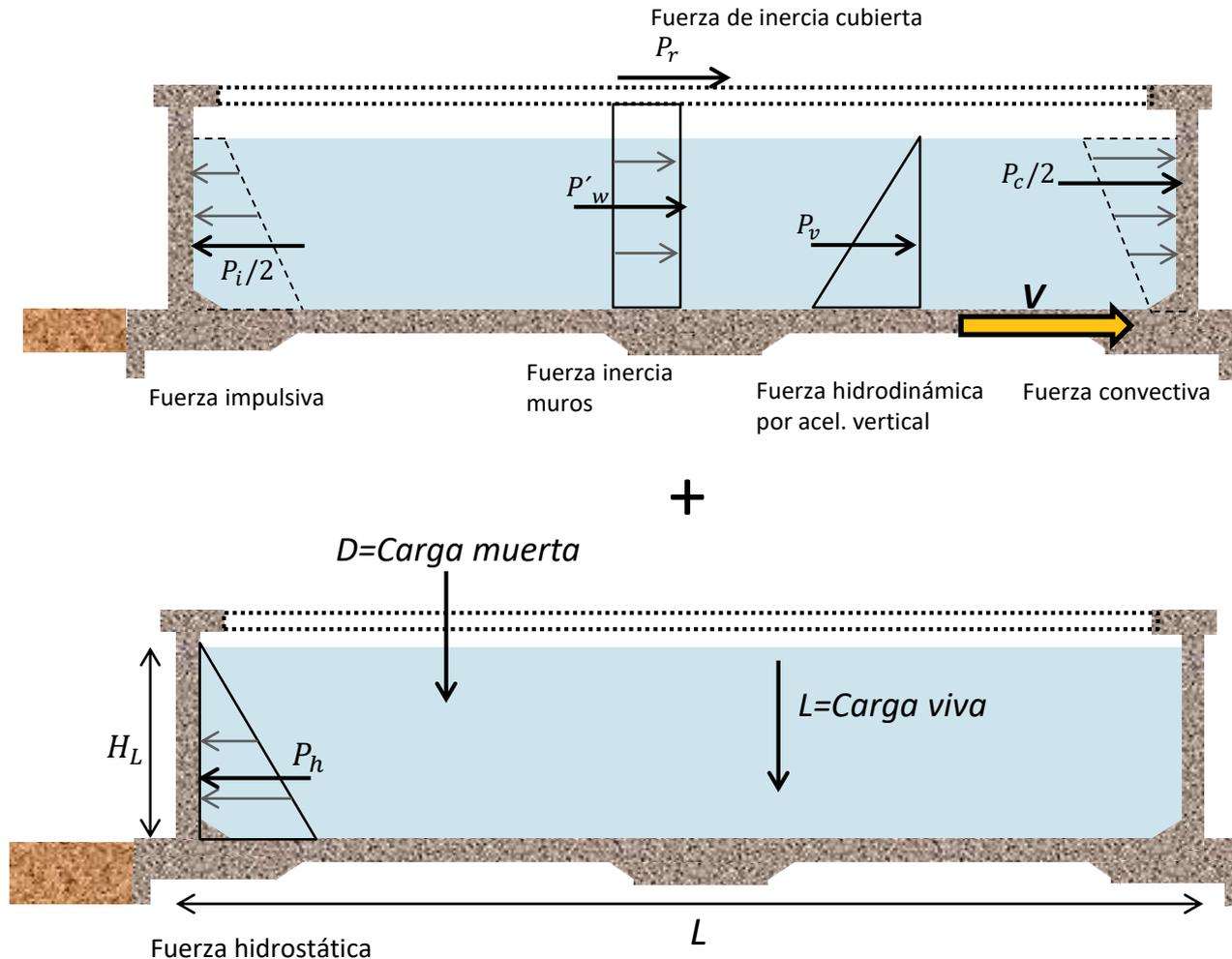
■ CARGAS DINÁMICAS DE DISEÑO



Las cargas dinámicas se calculan a mano (excel) y luego se introducen en programas tipo SAP 2000

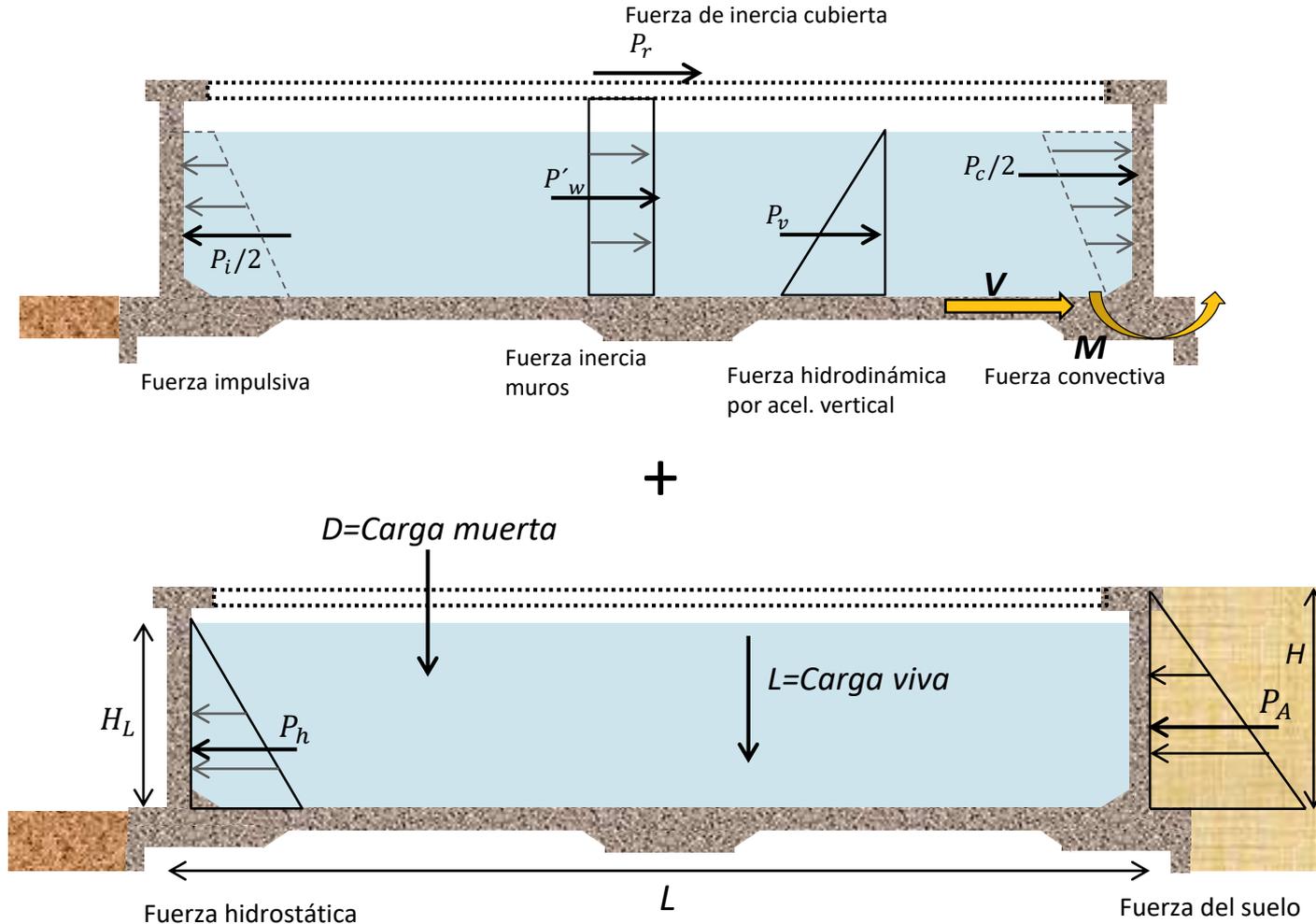
ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ RESISTENCIA REQUERIDA (U):



ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ RESISTENCIA REQUERIDA (U):



ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ RESISTENCIA REQUERIDA (U):

ACI 350M-06 (capítulo 9)

$$\begin{aligned}U &= 1.4(D + F) \\U &= 1.2(D + F + T) + 1.6(L + H) \\&\quad + 0.5(L_r \text{ or } S \text{ or } R) \\U &= 1.2D + 1.6(L_r \text{ or } S \text{ or } R) + (1.0L \text{ or } 0.8W) \\U &= 1.2D + 1.6W + 1.0L + 0.5(L_r \text{ or } S \text{ or } R) \\U &= 1.2D + 1.2F + 1.0E + 1.6H + 1.0L + 0.2S \\U &= 0.9D + 1.2F + 1.6W + 1.6H \\U &= 0.9D + 1.2F + 1.0E + 1.6H\end{aligned}$$

D: Carga muerta

L: Carga viva

L_r: Carga viva de cubierta

S: Carga de nieve

R: Carga de lluvia

F: Carga por presión de fluidos.

H: Carga por presión de suelo, nivel freático.

T: Efecto de temperatura, retracción, deformación en el tiempo, asentamiento diferencial.

W: Carga de viento.

E: Carga sísmica



EL FACTOR DE DURABILIDAD AMBIENTAL S_d

$$S_d = \frac{\Phi f_y}{\gamma f_s} \geq 1.0$$

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

RESISTENCIA REQUERIDA (U):

Factor de durabilidad ambiental:

$$S_d = \frac{\Phi f_y}{\gamma f_s} \geq 1.0$$

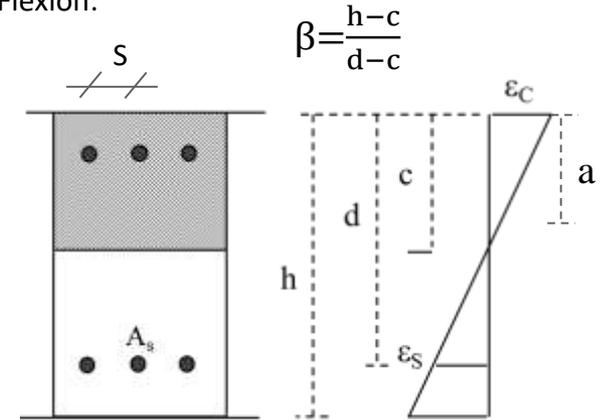
ACI 350M-06 (capítulo 9):

$$\begin{aligned}
 U &= 1.4(D + F) \\
 U &= 1.2(D + F + T) + 1.6(L + H) \\
 &\quad + 0.5(L_r \text{ or } S \text{ or } R) \\
 U &= 1.2D + 1.6(L_r \text{ or } S \text{ or } R) + (1.0L \text{ or } 0.8W) \\
 U &= 1.2D + 1.6W + 1.0L + 0.5(L_r \text{ or } S \text{ or } R) \\
 U &= 1.2D + 1.2F + 1.0E + 1.6H + 1.0L + 0.2S \\
 U &= 0.9D + 1.2F + 1.6W + 1.6H \\
 U &= 0.9D + 1.2F + 1.0E + 1.6H
 \end{aligned}$$

$$\gamma = \frac{\text{Cargas mayoradas}}{\text{Cargas sin mayorar}} = \frac{M_u}{M_s}$$

$$f_{s,max} = \frac{56.000}{\beta \sqrt{s^2 + 4 \left(50 + \frac{d_b}{2}\right)^2}} < f_s$$

Flexión:



f_s = esfuerzo de servicio (tensión) , MPa

$f_{s,max}$ = esfuerzo de tensión admisible, MPa

S = Separación entre barras, mm

d_b = diámetro barras de acero, mm

h = Espesor muro, mm

c = Distancia desde la fibra extrema de compresión al eje neutro, mm

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

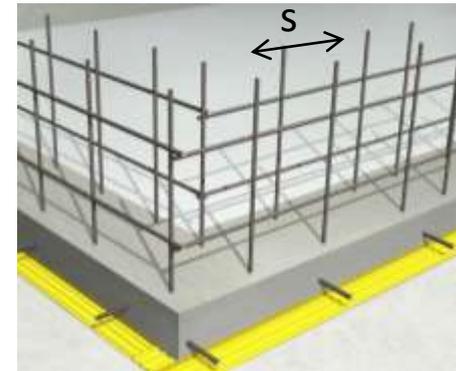
RESISTENCIA REQUERIDA (U):

Factor de durabilidad ambiental:

$$S_d = \frac{\Phi f_y}{\gamma f_s} \geq 1.0$$

ACI 350M-06 (capítulo 9):

$$\begin{aligned}
 & U = 1.4(D + F) \\
 & U = 1.2(D + F + T) + 1.6(L + H) \\
 & \quad + 0.5(L_r \text{ or } S \text{ or } R) \\
 & U = 1.2D + 1.6(L_r \text{ or } S \text{ or } R) + (1.0L \text{ or } 0.8W) \\
 & U = 1.2D + 1.6W + 1.0L + 0.5(L_r \text{ or } S \text{ or } R) \\
 & U = 1.2D + 1.2F + 1.0E + 1.6H + 1.0L + 0.2S \\
 & U = 0.9D + 1.2F + 1.6W + 1.6H \\
 & U = 0.9D + 1.2F + 1.0E + 1.6H
 \end{aligned}$$



$$\gamma = \frac{\text{Cargas mayoradas}}{\text{Cargas sin mayorar}} = \frac{M_u}{M_s}$$

$$f_{s,max} = \frac{56.000}{\beta \sqrt{s^2 + 4 \left(50 + \frac{d_b}{2}\right)^2}} < f_s$$

f_s = esfuerzo de servicio (tensión) , MPa

$f_{s,max}$ = esfuerzo de tensión admisible, MPa

S = Separación entre barras, mm

d_b = diámetro barras de acero, mm

h = Espesor muro, mm

c = Distancia desde la fibra extrema de compresión al eje neutro, mm

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

- RESISTENCIA REQUERIDA (U):

Factor de durabilidad ambiental:

$$S_d = \frac{\Phi f_y}{\gamma f_s} \geq 1.0$$

ACI 350M-06 (capítulo 9):

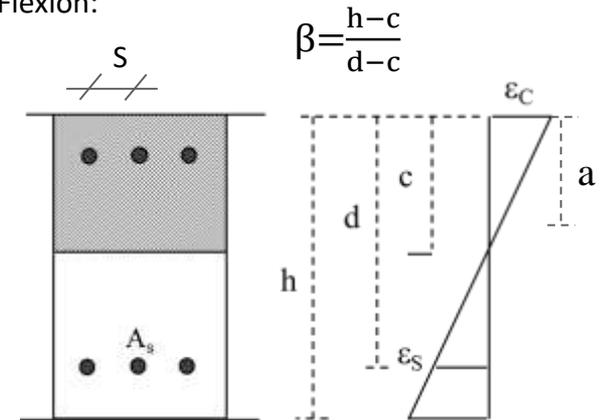
$$\begin{aligned}
 U &= 1.4(D + F) \\
 U &= 1.2(D + F + T) + 1.6(L + H) \\
 &\quad + 0.5(L_r \text{ or } S \text{ or } R) \\
 U &= 1.2D + 1.6(L_r \text{ or } S \text{ or } R) + (1.0L \text{ or } 0.8W) \\
 U &= 1.2D + 1.6W + 1.0L + 0.5(L_r \text{ or } S \text{ or } R) \\
 U &= 1.2D + 1.2F + 1.0E + 1.6H + 1.0L + 0.2S \\
 U &= 0.9D + 1.2F + 1.6W + 1.6H \\
 U &= 0.9D + 1.2F + 1.0E + 1.6H
 \end{aligned}$$

$$\gamma = \frac{\text{Cargas mayoradas}}{\text{Cargas sin mayorar}} = \frac{M_u}{M_s}$$

$$f_s = \frac{M_s}{A_s \cdot J \cdot d}$$

$$f_{s,max} = \frac{56.000}{\beta \sqrt{s^2 + 4 \left(50 + \frac{d_b}{2}\right)^2}} < f_s$$

Flexión:



ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ RESISTENCIA REQUERIDA (U):

$$U = 1.4(D + F)$$

$$U = 1.2(D + F + T) + 1.6(L + H) + 0.5(L_r \text{ or } S \text{ or } R)$$

$$U = 1.2D + 1.6(L_r \text{ or } S \text{ or } R) + (1.0L \text{ or } 0.8W)$$

$$U = 1.2D + 1.6W + 1.0L + 0.5(L_r \text{ or } S \text{ or } R)$$

$$U = 1.2D + 1.2F + 1.0E + 1.6H + 1.0L + 0.2S$$

$$U = 0.9D + 1.2F + 1.6W + 1.6H$$

$$U = 0.9D + 1.2F + 1.0E + 1.6H$$



Factor de durabilidad ambiental:

$$S_d = \frac{\Phi f_y}{\gamma f_s} \geq 1.0$$

$$\gamma = 1.4$$

$$S_d = \frac{\Phi f_y}{\gamma f_s} = \frac{0.9 \cdot 420 \text{MPa}}{1.4 \cdot 160 \text{MPa}} = 1.69$$

$$U = 1.69 \cdot 1.4(D + F)$$

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

RESISTENCIA REQUERIDA (U):

$$U = 1.4(D + F)$$

$$U = 1.2(D + F + T) + 1.6(L + H) + 0.5(L_r \text{ or } S \text{ or } R)$$

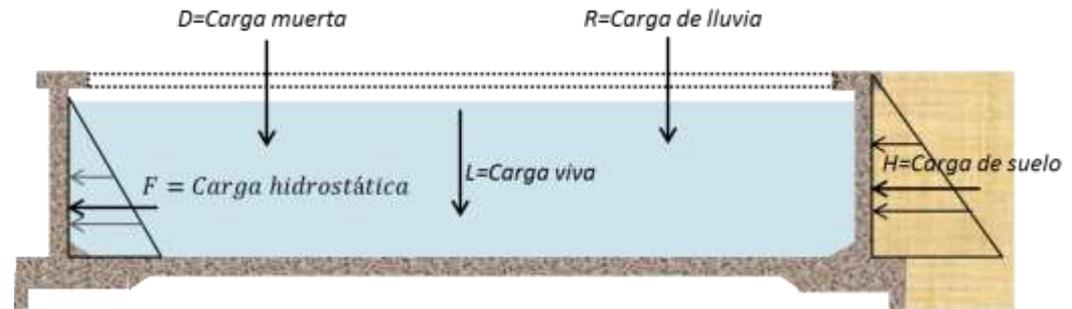
$$U = 1.2D + 1.6(L_r \text{ or } S \text{ or } R) + (1.0L \text{ or } 0.8W)$$

$$U = 1.2D + 1.6W + 1.0L + 0.5(L_r \text{ or } S \text{ or } R)$$

$$U = 1.2D + 1.2F + 1.0E + 1.6H + 1.0L + 0.2S$$

$$U = 0.9D + 1.2F + 1.6W + 1.6H$$

$$U = 0.9D + 1.2F + 1.0E + 1.6H$$



Factor de durabilidad ambiental:

$$S_d = \frac{\Phi f_y}{\gamma f_s} \geq 1.0 \quad \gamma = 1.3 \quad S_d = \frac{\Phi f_y}{\gamma f_s} = \frac{0.9 \cdot 420 \text{MPa}}{1.3 \cdot 160 \text{MPa}} = 1.82$$

$$U = 1.82 [1.2(D + F + T) + 1.6(L + H) + 0.5(R)]$$

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

- RESISTENCIA REQUERIDA (U):

$$U = 1.4(D + F)$$

$$U = 1.2(D + F + T) + 1.6(L + H) + 0.5(L_r \text{ or } S \text{ or } R)$$

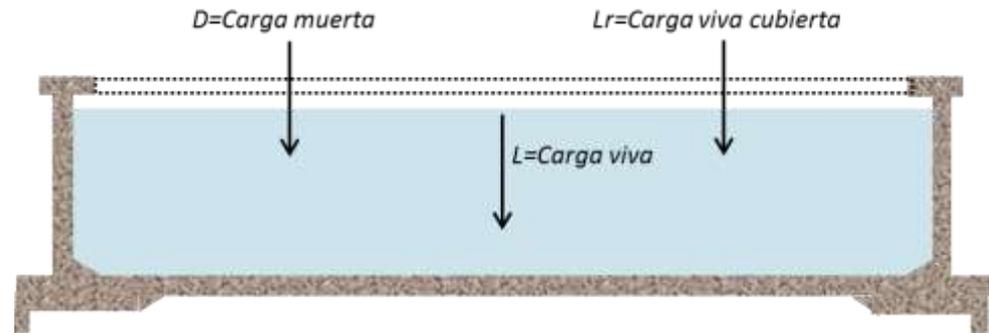
$$U = 1.2D + 1.6(L_r \text{ or } S \text{ or } R) + (1.0L \text{ or } 0.8W)$$

$$U = 1.2D + 1.6W + 1.0L + 0.5(L_r \text{ or } S \text{ or } R)$$

$$U = 1.2D + 1.2F + 1.0E + 1.6H + 1.0L + 0.2S$$

$$U = 0.9D + 1.2F + 1.6W + 1.6H$$

$$U = 0.9D + 1.2F + 1.0E + 1.6H$$



Factor de durabilidad ambiental:

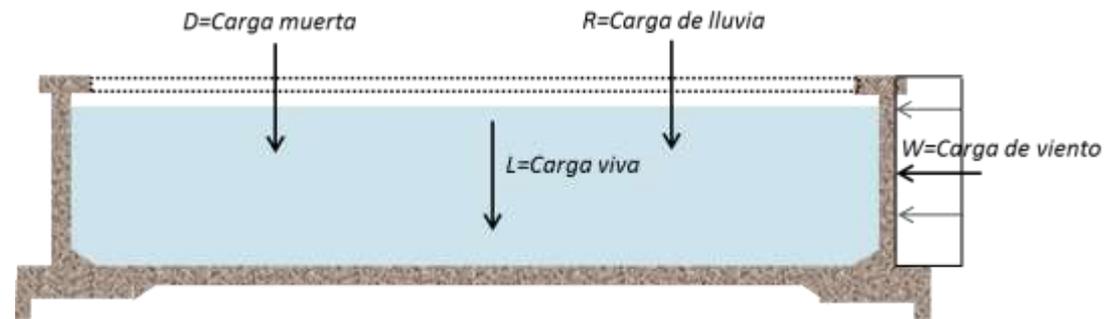
$$S_d = \frac{\Phi f_y}{\gamma f_s} \geq 1.0 \quad \gamma = 1.3 \quad S_d = \frac{\Phi f_y}{\gamma f_s} = \frac{0.9 \cdot 420 \text{MPa}}{1.3 \cdot 160 \text{MPa}} = 1.82$$

$$U = 1.82 [1.2D + 1.6L_r + 1.0L]$$

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ RESISTENCIA REQUERIDA (U):

$$U = 1.4(D + F)$$
$$U = 1.2(D + F + T) + 1.6(L + H) + 0.5(L_r \text{ or } S \text{ or } R)$$
$$U = 1.2D + 1.6(L_r \text{ or } S \text{ or } R) + (1.0L \text{ or } 0.8W)$$
$$U = 1.2D + 1.6W + 1.0L + 0.5(L_r \text{ or } S \text{ or } R)$$
$$U = 1.2D + 1.2F + 1.0E + 1.6H + 1.0L + 0.2S$$
$$U = 0.9D + 1.2F + 1.6W + 1.6H$$
$$U = 0.9D + 1.2F + 1.0E + 1.6H$$



Factor de durabilidad ambiental:

$$S_d = \frac{\Phi f_y}{\gamma f_s} \geq 1.0 \quad \gamma = 1.2 \quad S_d = \frac{\Phi f_y}{\gamma f_s} = \frac{0.9 \cdot 420 \text{MPa}}{1.2 \cdot 160 \text{MPa}} = 1.97$$

$$U = 1.97 [1.2D + 1.6W + 1.0L + 0.5R]$$

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

- RESISTENCIA REQUERIDA (U):

$$\begin{aligned}U &= 1.4(D + F) \\U &= 1.2(D + F + T) + 1.6(L + H) \\&\quad + 0.5(L_r \text{ or } S \text{ or } R) \\U &= 1.2D + 1.6(L_r \text{ or } S \text{ or } R) + (1.0L \text{ or } 0.8W) \\U &= 1.2D + 1.6W + 1.0L + 0.5(L_r \text{ or } S \text{ or } R) \\U &= 1.2D + 1.2F + 1.0E + 1.6H + 1.0L + 0.2S \\U &= 0.9D + 1.2F + 1.6W + 1.6H \\U &= 0.9D + 1.2F + 1.0E + 1.6H\end{aligned}$$

X

Factor de durabilidad ambiental:

$$S_d = \frac{\Phi f_y}{\gamma f_s} \geq 1.0$$

$$S_d = \frac{\Phi f_y}{\gamma f_s} = 1.0$$

$$U = 1.2D + 1.2F + 1.0E + 1.6H + 1.0L + 0.2S$$

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

- RESISTENCIA REQUERIDA (U):

$$U = 1.4(D + F)$$

$$U = 1.2(D + F + T) + 1.6(L + H) + 0.5(L_r \text{ or } S \text{ or } R)$$

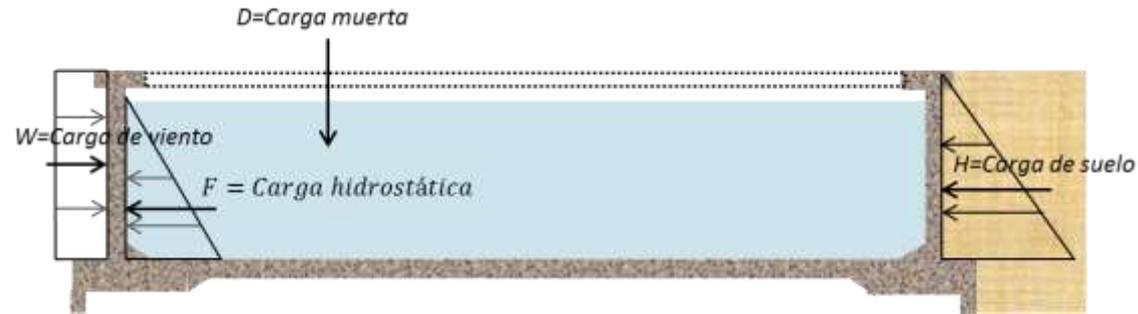
$$U = 1.2D + 1.6(L_r \text{ or } S \text{ or } R) + (1.0L \text{ or } 0.8W)$$

$$U = 1.2D + 1.6W + 1.0L + 0.5(L_r \text{ or } S \text{ or } R)$$

$$U = 1.2D + 1.2F + 1.0E + 1.6H + 1.0L + 0.2S$$

$$U = 0.9D + 1.2F + 1.6W + 1.6H$$

$$U = 0.9D + 1.2F + 1.0E + 1.6H$$



Factor de durabilidad ambiental:

$$S_d = \frac{\Phi f_y}{\gamma f_s} \geq 1.0 \quad \gamma = 1.36 \quad S_d = \frac{\Phi f_y}{\gamma f_s} = \frac{0.9 \cdot 420 \text{MPa}}{1.36 \cdot 160 \text{MPa}} = 1.74$$

$$U = 1.74 [0.9D + 1.2F + 1.6W + 1.6H]$$

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

- RESISTENCIA REQUERIDA (U):

$$\begin{aligned}U &= 1.4(D + F) \\U &= 1.2(D + F + T) + 1.6(L + H) \\&\quad + 0.5(L_r \text{ or } S \text{ or } R) \\U &= 1.2D + 1.6(L_r \text{ or } S \text{ or } R) + (1.0L \text{ or } 0.8W) \\U &= 1.2D + 1.6W + 1.0L + 0.5(L_r \text{ or } S \text{ or } R) \\U &= 1.2D + 1.2F + 1.0E + 1.6H + 1.0L + 0.2S \\U &= 0.9D + 1.2F + 1.6W + 1.6H \\U &= 0.9D + 1.2F + 1.0E + 1.6H\end{aligned}$$

X

Factor de durabilidad ambiental:

$$S_d = \frac{\Phi f_y}{\gamma f_s} \geq 1.0$$

$$S_d = \frac{\Phi f_y}{\gamma f_s} = 1.0$$

$$U = 0.9D + 1.2F + 1.0E + 1.6H$$

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ LA RESISTENCIA REQUERIDA – FACTORES DE CARGA:

ACI 350M-06 (Apéndice C)

$$U=1.4D+1.7L$$

$$U=0.75(1.4D+1.7L)+(1.6W)$$

$$U=0.9D+1.6W$$

$$U=0.75(1.4D+1.7L+1.7H+1.7F)+1.0E$$

$$U=0.9D+0.6H+1.4F+1.0E$$

$$U=0.9D+1.4H+1.0F+1.0E$$

$$U=1.4D+1.7L+1.7H$$

$$U=0.75(1.4D+1.4T+1.7L)$$

$$U=1.4(D+T)$$

No se les aplica el factor de durabilidad ambiental S_d

D: Carga muerta

L: Carga viva

F: Carga por presión de fluidos.

H: Carga por presión de suelo, nivel freático.

W: Carga de viento.

E: Carga sísmica

T: Efecto de temperatura, retracción, deformación en el tiempo, asentamiento diferencial.

Factor de durabilidad ambiental S_d :

Esfuerzo a flexión: $S_d=1.3$

Esfuerzo a tensión directa: $S_d=1.65$

Exceso de esfuerzo a cortante: $S_d=1.3$

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ REFUERZO MÍNIMO A FLEXIÓN (Muros):

Doble parrilla de acero de refuerzo si el espesor del muro es de más de 25cm.



$$A_{s,min} = \frac{0.25 \cdot \sqrt{f'_c}}{f_y} b_w \cdot d > 1.4 \cdot b_w \cdot d / f_y$$

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d} > 0.0030 \quad (\text{Refuerzo vertical})$$

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

- REFUERZO A FLEXIÓN (Muros y losas):



Se prefieren diámetros y separaciones pequeños de las barras de acero

PARA MINIMIZAR LA APARICIÓN DE FISURAS EN EL TANQUE/PISCINA

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

- REFUERZO A FLEXIÓN (Muros y losas):



Se prefieren diámetros y separaciones pequeños de las barras de acero

PARA MINIMIZAR LA APARICIÓN DE FISURAS EN EL TANQUE/PISCINA

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

- REFUERZO A FLEXIÓN (Muros y losas):



Se prefieren diámetros y separaciones pequeños de las barras de acero
PARA MINIMIZAR LA APARICIÓN DE FISURAS EN EL TANQUE/PISCINA

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

- REFUERZO A FLEXIÓN (Muros y losas):



Se prefieren diámetros y separaciones pequeños de las barras de acero
PARA MINIMIZAR LA APARICIÓN DE FISURAS EN EL TANQUE/PISCINA

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

- REFUERZO A FLEXIÓN (Muros y losas):



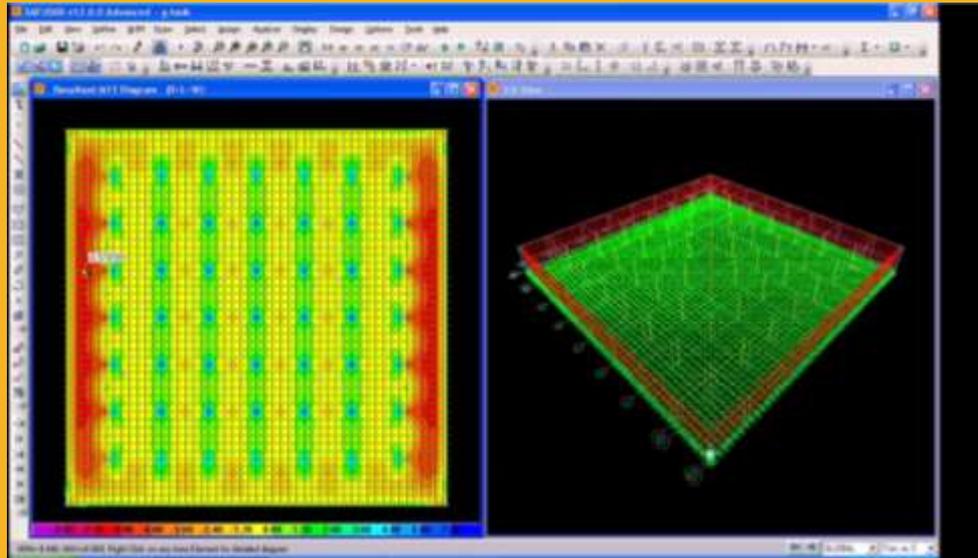
Se prefieren diámetros y separaciones pequeños de las barras de acero
PARA MINIMIZAR LA APARICIÓN DE FISURAS EN EL TANQUE/PISCINA

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

- REFUERZO A FLEXIÓN (Muros y losas):



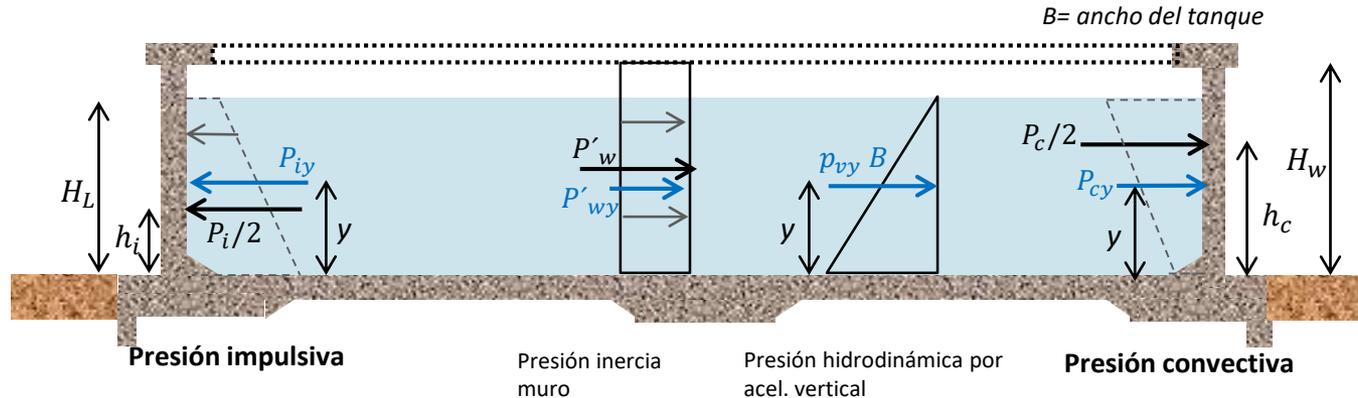
Se prefieren diámetros y separaciones pequeños de las barras de acero
PARA MINIMIZAR LA APARICIÓN DE FISURAS EN EL TANQUE/PISCINA



LAS FUERZAS DINÁMICAS PARA EL COMPUTADOR....

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ CARGAS DINÁMICAS DE DISEÑO



$$P_i = I C_i \frac{W_i}{R_i} \quad (\text{Ton})$$

$$P_c = I C_c \frac{W_c}{R_c} \quad (\text{Ton})$$

$$P_{iy} = \frac{P_i}{2} \left[4H_L - 6h_i - (6H_L - 12h_i) \left(\frac{y}{H_L} \right) \right] \quad (\text{Ton/m})$$

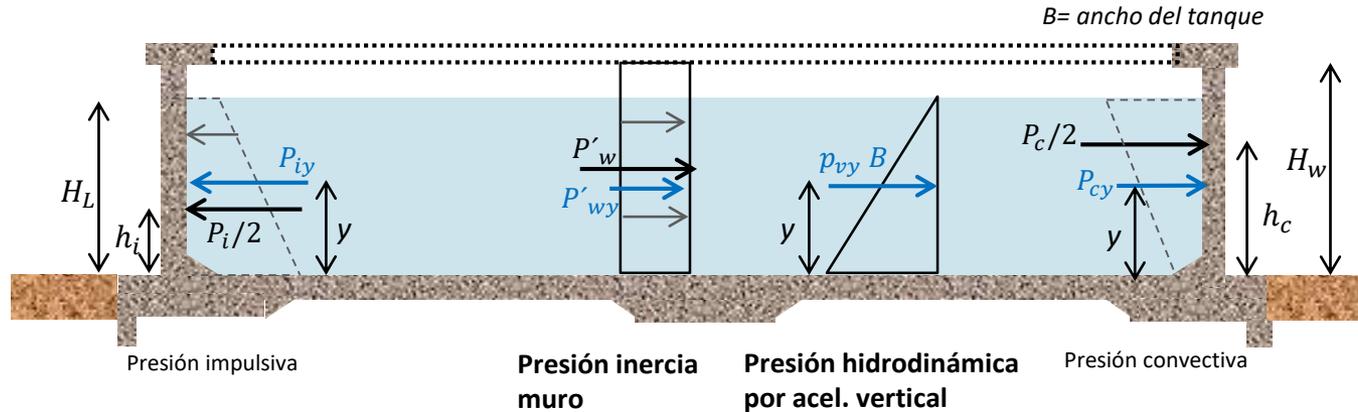
$$P_{cy} = \frac{P_c}{2} \left[4H_L - 6h_c - (6H_L - 12h_c) \left(\frac{y}{H_L} \right) \right]$$

$$p_{iy} = \frac{P_{iy}}{B} \quad (\text{Ton/m}^2)$$

$$p_{cy} = \frac{P_{cy}}{B} \quad (\text{Ton/m}^2)$$

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ CARGAS DINÁMICAS DE DISEÑO



$$P'_w = I C_i \varepsilon \frac{W'_w}{R_i} \quad (\text{Ton})$$

$$p'_{wy} = \frac{P'_w}{H_w B} \quad (\text{ton/m}^2)$$

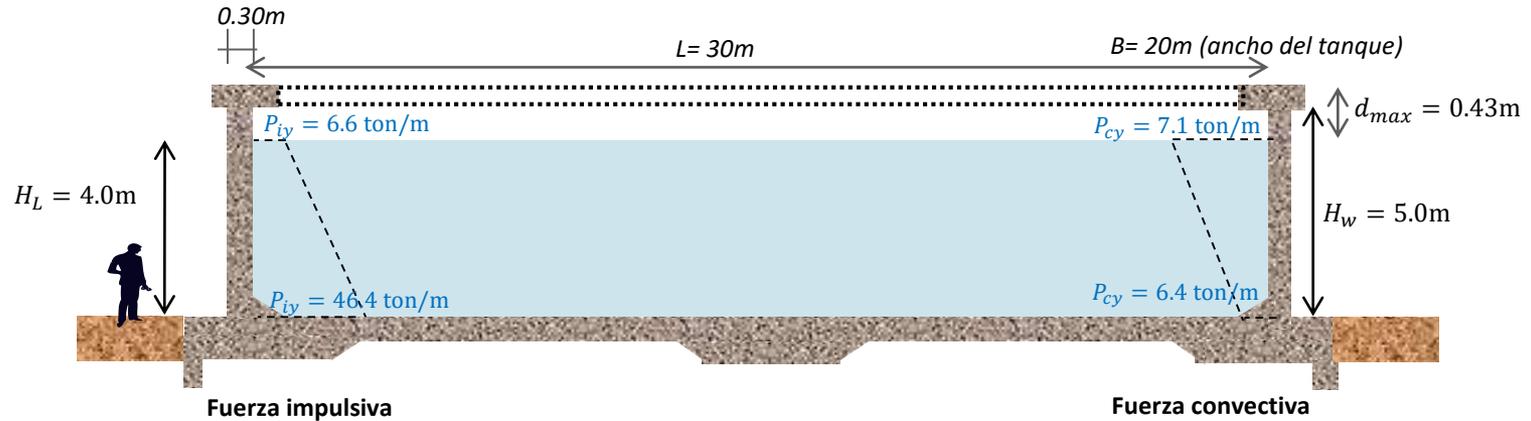
$$P_h = \frac{1}{2} \gamma_L H_L^2 B \quad (\text{ton})$$

$$q_{hy} = \gamma_L (H_L - y) \quad (\text{ton/m}^2)$$

$$p_{vy} = \ddot{u}_v q_{hy} \quad (\text{ton/m}^2)$$

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

- CARGAS DINÁMICAS DE DISEÑO *Riesgo Sísmico Alto (NSR-10)*



$$P_i = I C_i \frac{W_i}{R_i} \quad (\text{Ton})$$

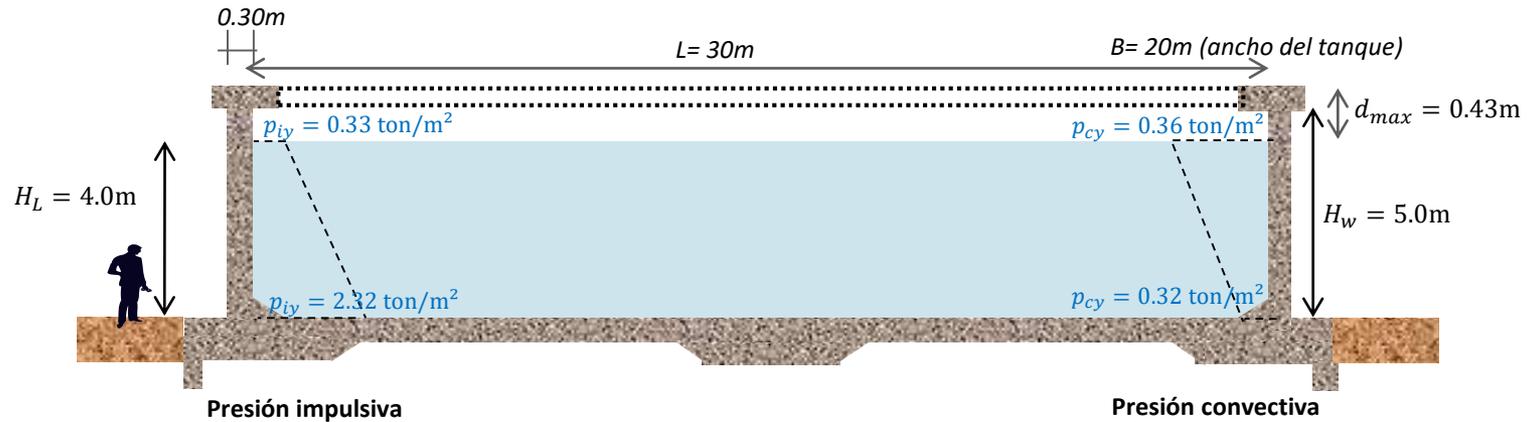
$$P_c = I C_c \frac{W_c}{R_c} \quad (\text{Ton})$$

$$P_{iy} = \frac{P_i}{H^2 L} \left[4H_L - 6h_i - (6H_L - 12h_i) \left(\frac{y}{H_L} \right) \right] \quad (\text{Ton/m})$$

$$P_{cy} = \frac{P_c}{H^2 L} \left[4H_L - 6h_c - (6H_L - 12h_c) \left(\frac{y}{H_L} \right) \right]$$

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ CARGAS DINÁMICAS DE DISEÑO *Riesgo Sísmico Alto (NSR-10)*



$$P_i = I C_i \frac{W_i}{R_i} \quad (\text{Ton})$$

$$P_c = I C_c \frac{W_c}{R_c} \quad (\text{Ton})$$

$$P_{iy} = \frac{P_i}{H_L^2} \left[4H_L - 6h_i - (6H_L - 12h_i) \left(\frac{y}{H_L} \right) \right] \quad (\text{Ton/m})$$

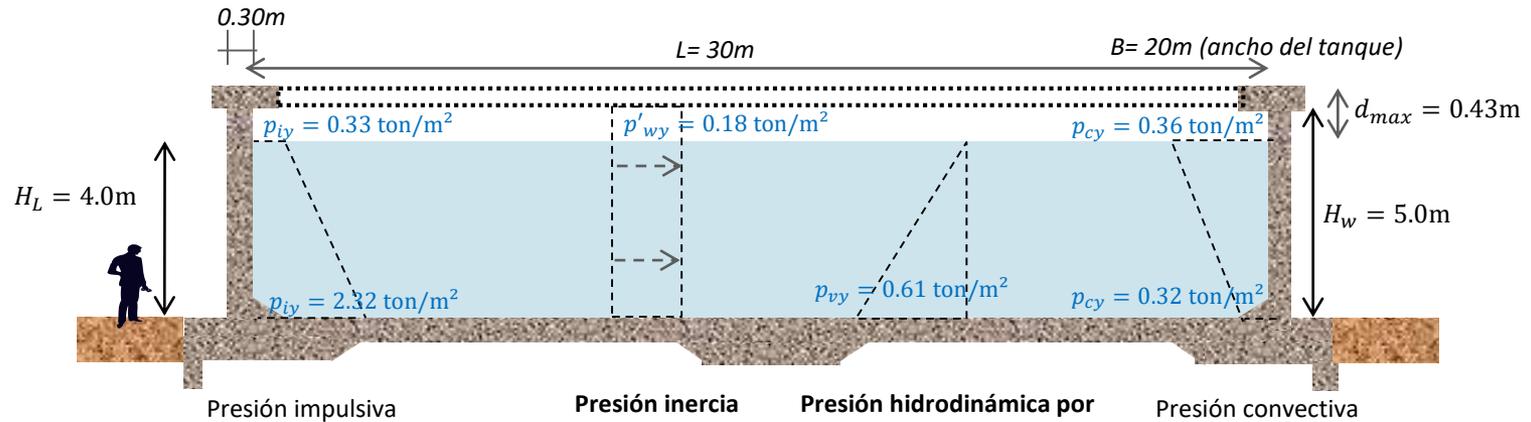
$$P_{cy} = \frac{P_c}{H_L^2} \left[4H_L - 6h_c - (6H_L - 12h_c) \left(\frac{y}{H_L} \right) \right]$$

$$p_{iy} = \frac{P_{iy}}{B} \quad (\text{Ton/m}^2)$$

$$p_{cy} = \frac{P_{cy}}{B} \quad (\text{Ton/m}^2)$$

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ CARGAS DINÁMICAS DE DISEÑO *Riesgo Sísmico Alto (NSR-10)*



$$P'_w = I C_i \varepsilon \frac{W'_w}{R_i} \quad (\text{ton})$$

$$p'_{wy} = \frac{P'_w}{H_w B} \quad (\text{ton/m}^2)$$

$$P_h = \frac{1}{2} \gamma_L H_L^2 B \quad (\text{ton})$$

$$q_{hy} = \gamma_L (H_L - \gamma) \quad (\text{ton/m}^2)$$

$$p_{vy} = \ddot{u}_v q_{hy} \quad (\text{ton/m}^2)$$

Se podrían introducir los datos en un programa tipo SAP 2000

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ LA RESISTENCIA REQUERIDA – FACTORES DE CARGA:

ACI 350M-06

$$\begin{aligned}U &= 1.4(D + F) \\U &= 1.2(D + F + T) + 1.6(L + H) \\&\quad + 0.5(L_r \text{ or } S \text{ or } R) \\U &= 1.2D + 1.6(L_r \text{ or } S \text{ or } R) + (1.0L \text{ or } 0.8W) \\U &= 1.2D + 1.6W + 1.0L + 0.5(L_r \text{ or } S \text{ or } R) \\U &= 1.2D + 1.2F + 1.0E + 1.6H + 1.0L + 0.2S \\U &= 0.9D + 1.2F + 1.6W + 1.6H \\U &= 0.9D + 1.2F + 1.0E + 1.6H\end{aligned}$$

D: Carga muerta

L: Carga viva

L_r: Carga viva de cubierta

S: Carga de nieve

R: Carga de lluvia

F: Carga por presión de fluidos.

H: Carga por presión de suelo, nivel freático.

T: Efecto de temperatura, retracción, deformación en el tiempo, asentamiento diferencial.

W: Carga de viento.

E: Carga sísmica

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ LA RESISTENCIA REQUERIDA – FACTORES DE CARGA:

ACI 350M-06 (Apéndice C)

$$U=1.4D+1.7L$$

$$U=0.75(1.4D+1.7L)+(1.6W)$$

$$U=0.9D+1.6W$$

$$U=0.75(1.4D+1.7L+1.7H+1.7F)+1.0E$$

$$U=0.9D+0.6H+1.4F+1.0E$$

$$U=0.9D+1.4H+1.0F+1.0E$$

$$U=1.4D+1.7L+1.7H$$

$$U=0.75(1.4D+1.4T+1.7L)$$

$$U=1.4(D+T)$$

No se les aplica el factor de durabilidad ambiental S_d

D: Carga muerta

L: Carga viva

F: Carga por presión de fluidos.

H: Carga por presión de suelo, nivel freático.

W: Carga de viento.

E: Carga sísmica

T: Efecto de temperatura, retracción, deformación en el tiempo, asentamiento diferencial.

Factor de durabilidad ambiental S_d :

Esfuerzo a flexión: $S_d=1.3$

Esfuerzo a tensión directa: $S_d=1.65$

Exceso de esfuerzo a cortante: $S_d=1.3$



CALIDAD DEL CONCRETO....

CONSTRUYENDO CONFIANZA



ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ CALIDAD DEL CONCRETO:

Diseño de Concreto - Sistema Watertight Concrete



Criterio	Rango	Recomendación Sika
Mínimo contenido de cementante	320 - 360 Kg /m ³	Min 350 Kg /m ³
Máxima relación A/C	0.42 - 0.48	0.45
Agregados de hormigón (arena, grava) Tamaño máximo aprox 32 mm	1.700 -2100 Kg /m ³	1.885 Kg /m ³ (Bien clasificado y limpio)
Reductores de agua de alto rango	Sikaplast® / Sika Viscocrete® 0.60 - 1.2 % Superplastificante	1 % Sika Viscocrete®
Aditivos Adicionales	Sika® WT-100 Sika® WT-200 CO Sika® Control 50 Sika Fume®	1.5 % Sika® WT-100 2.0 % Sika® WT-200 CO Aditivo impermeabilizante
Trabajabilidad	Depende de los requerimientos de la estructura (Generalmente elementos muy reforzados 10 - 12 cm)	

VARIABLES: Calidad de los agregados, clima, tipo de cemento, transporte y condiciones de colocación.

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

- CALIDAD DEL CONCRETO:



El concreto debe ser capaz de acomodarse entre las barras de acero y las cintas de PVC sin generar hormigueros.

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

Tabla 4.1- Guía de anchos de fisura razonable, para el concreto reforzado bajo cargas de servicio.

ACI 224R-CEB-FIP

Condición de exposición	Ancho de fisura	
	pulg.	mm
Aire seco o membrana protectora	0.016	0.41
Humedad, aire húmedo, suelo	0.012	0.30
Químicos para deshielo	0.007	0.18
Agua de mar, zona de salpique, ciclo húmedo y seco	0.006	0.15
→ Estructuras de retención de agua	0.004	0.10

*Excluye a tuberías sin presión

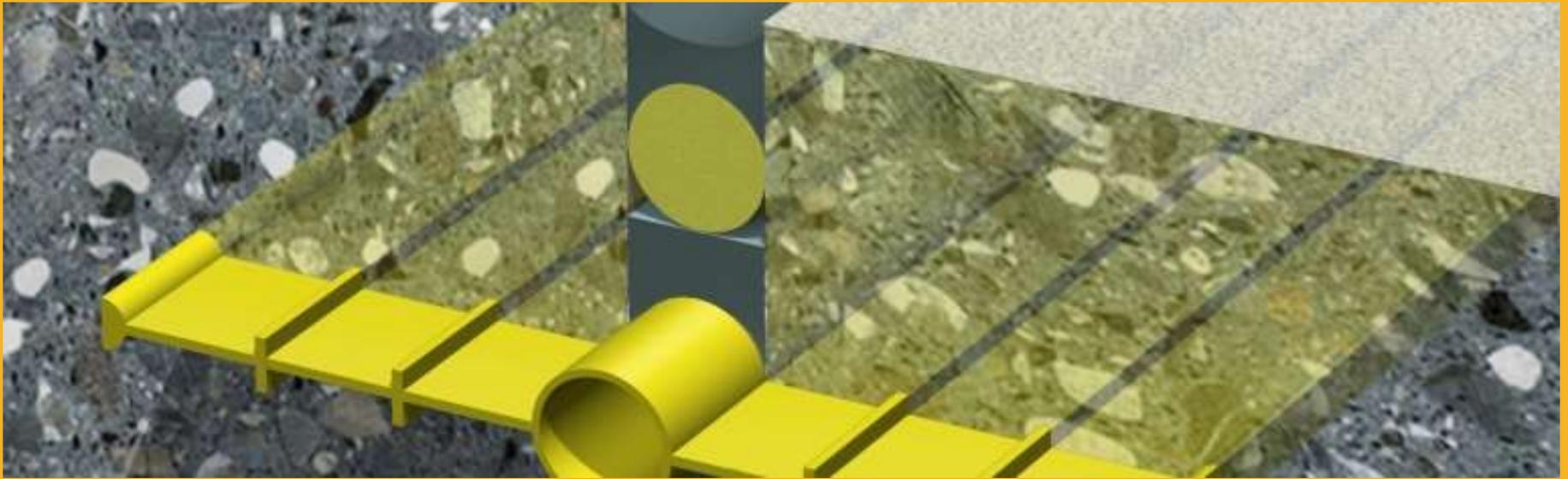
Debe esperarse que una porción de las fisuras en la estructura excedan estos valores. Con el tiempo, una porción significativa puede exceder estos valores. Estas son guías generales para el diseño que deben usarse conjuntamente con un sano juicio de ingeniería.

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

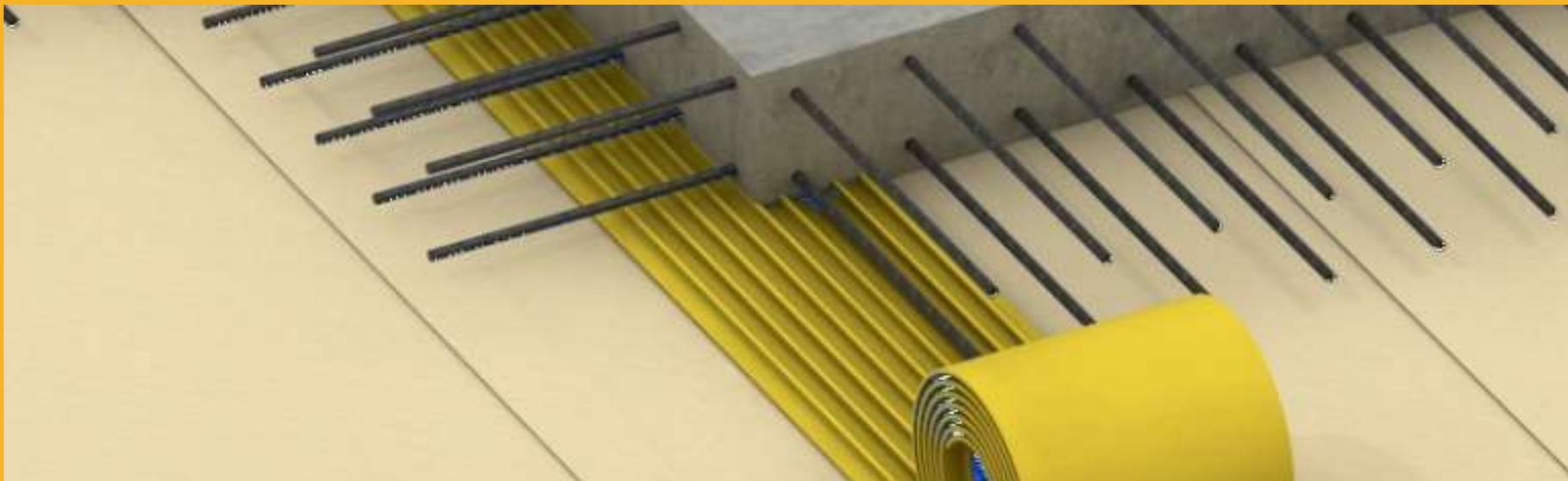
- Espesores mínimos de los muros (ACI 350.2R-04):

Tabla 2.1 – Espesores de los muros y ubicación del acero de refuerzo de acuerdo al tipo de vaciado/colocación del concreto

Descripción	Altura del muro	Espesor mínimo	Ubicación acero de refuerzo
Concreto vaciado en el sitio	Más de 3m	30cm	Ambas caras
	Entre 1.2m y 3m	25cm	Ambas caras
	Menos de 1.2m	15cm	Centro del muro
Concreto prefabricado	1.2m o más	20cm	Centro del muro
	Menos de 1.2m	10cm	Centro del muro



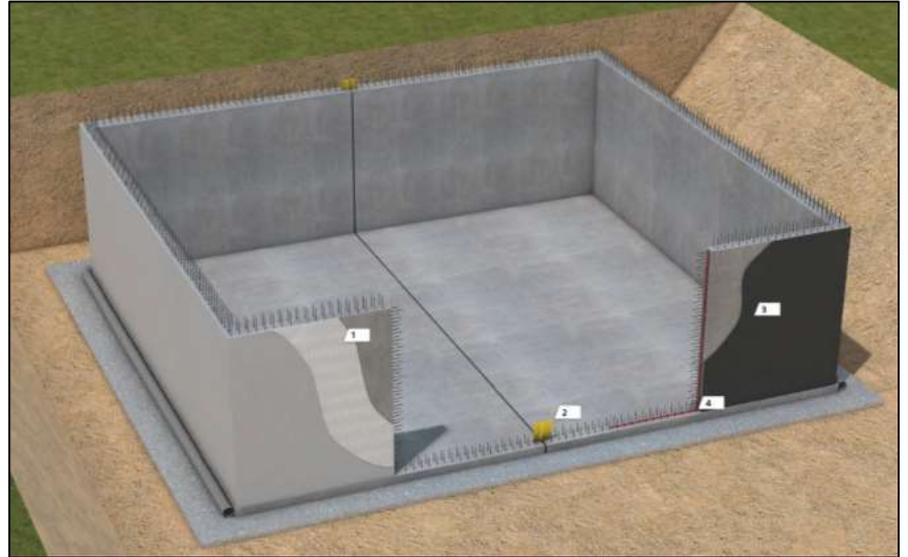
¿Y EL DISEÑO DE LA IMPERMEABILIZACIÓN ESTRUCTURAL?



¿Y EL DISEÑO DE LA IMPERMEABILIZACIÓN ESTRUCTURAL?

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

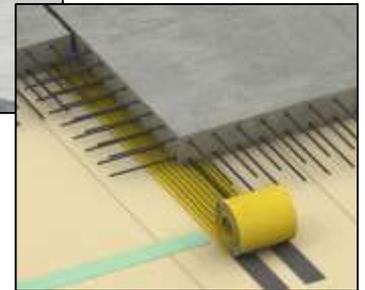
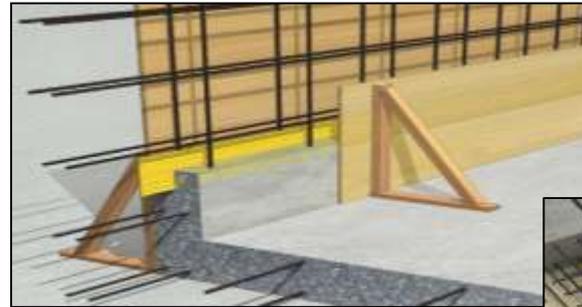
■ LA IMPERMEABILIZACIÓN ESTRUCTURAL



Si se consideran todas las condiciones de carga adecuadas, el diseño debe proveer una adecuada seguridad y servicio de la estructura, con una expectativa de vida entre 50 y 60 años. Algunos componentes de la estructura, como los materiales en las juntas tienen una menor expectativa de vida y requerirán mantenimiento o reemplazo.

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

- LA IMPERMEABILIZACIÓN ESTRUCTURAL

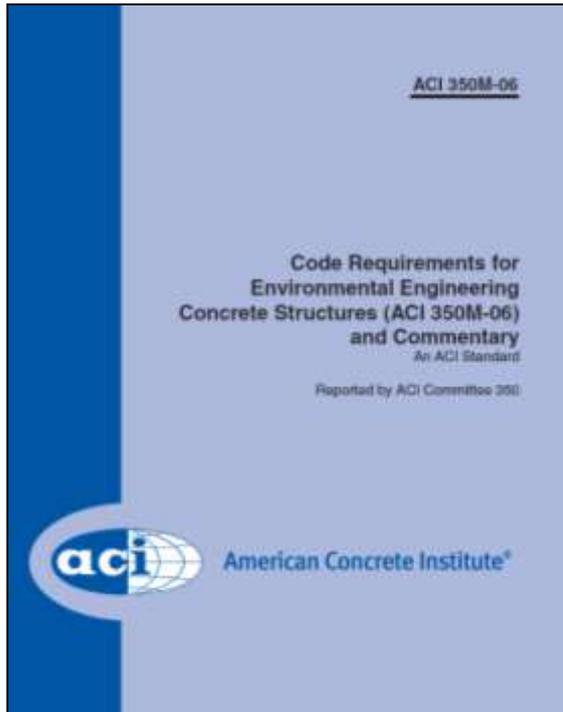


La impermeabilización estructural corresponde al diseño de las juntas en los muros y losas con sus respectivos sellos.

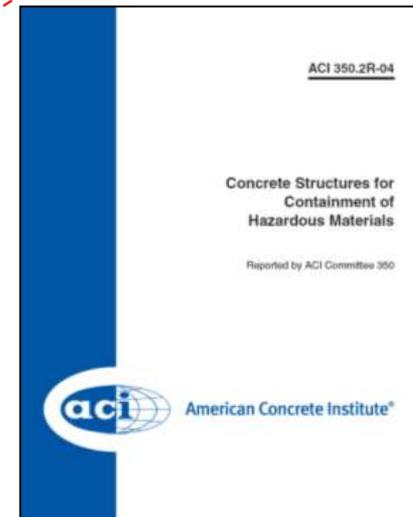
Es responsabilidad del ingeniero estructural.

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

- DISEÑO IMPERMEABILIZACIÓN



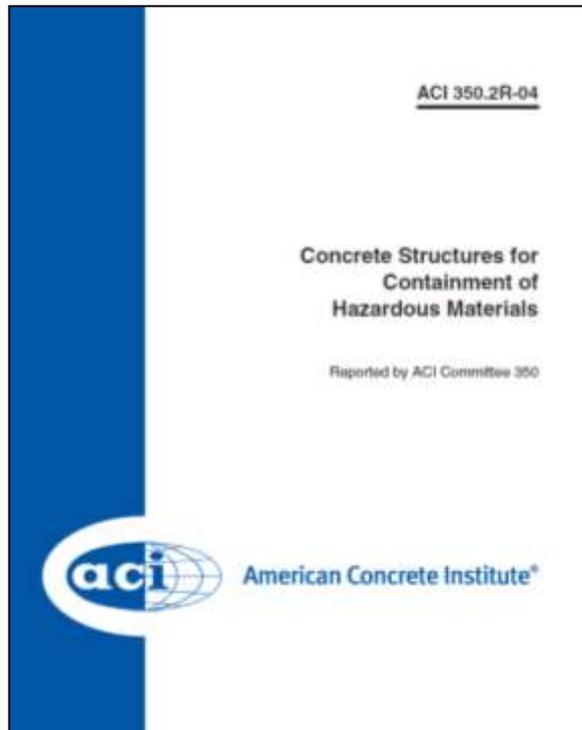
ACI 350.3-06



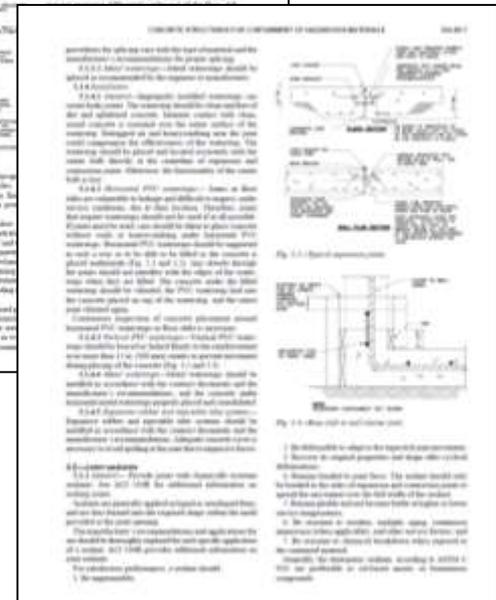
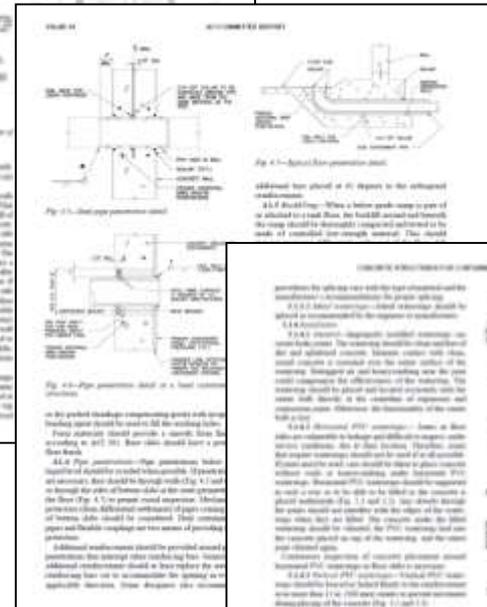
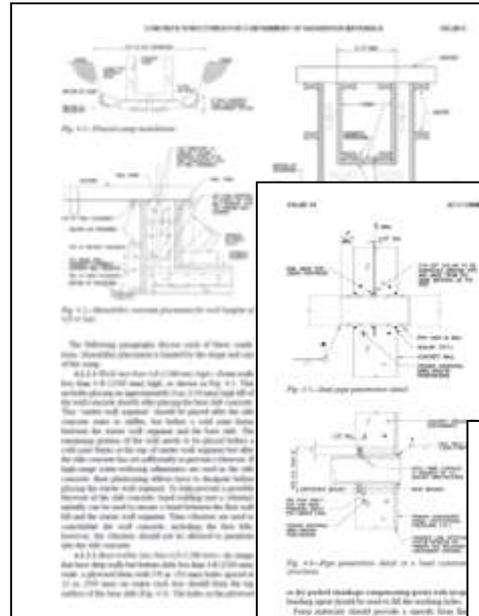
ACI 350.2R-04

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ LA IMPERMEABILIZACIÓN ESTRUCTURAL



ACI 350.2R-04



ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ LA IMPERMEABILIZACIÓN ESTRUCTURAL

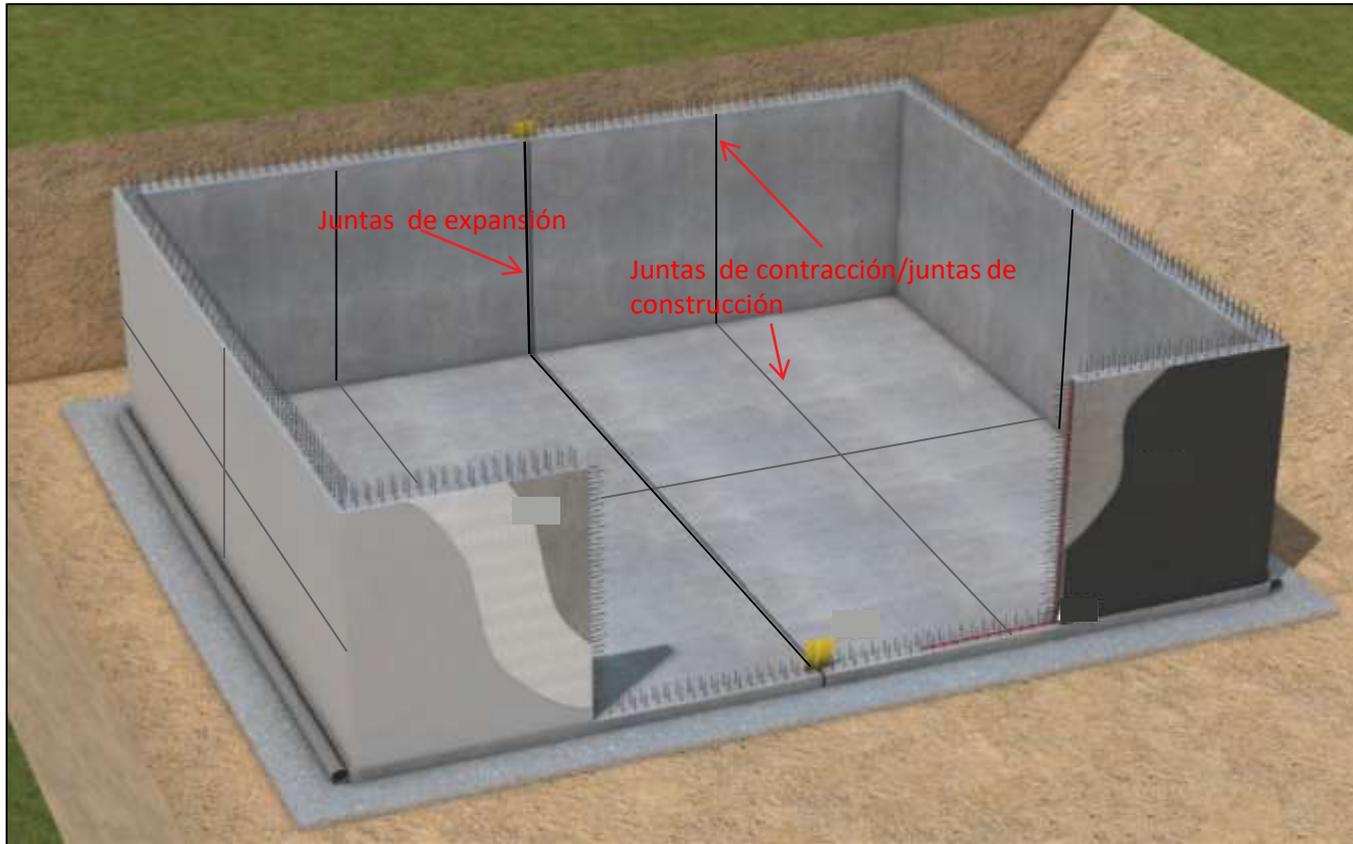




JUNTAS EN LOS MUROS Y LOSAS.....

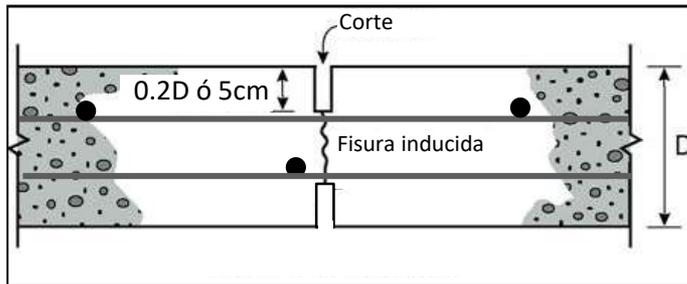
ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

- LA IMPERMEABILIZACIÓN ESTRUCTURAL

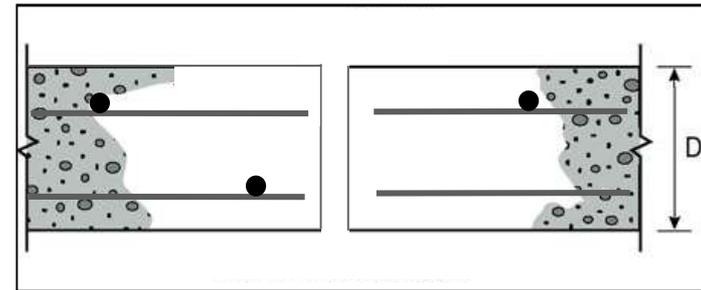


ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

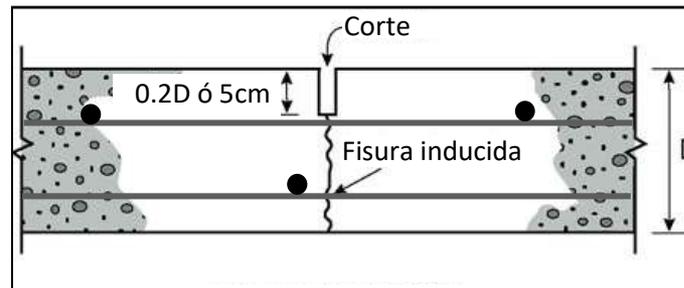
■ LA IMPERMEABILIZACIÓN ESTRUCTURAL



Junta de contracción



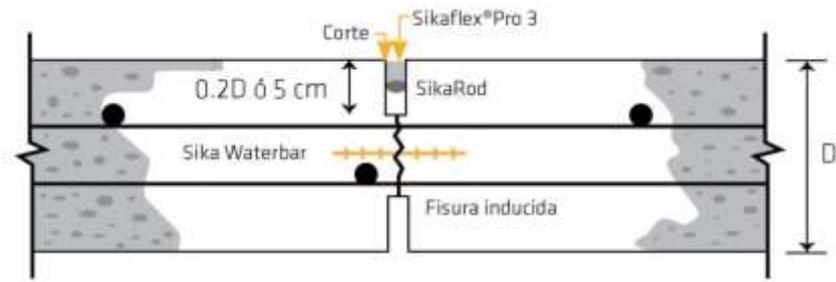
Junta de expansión



Junta de construcción

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

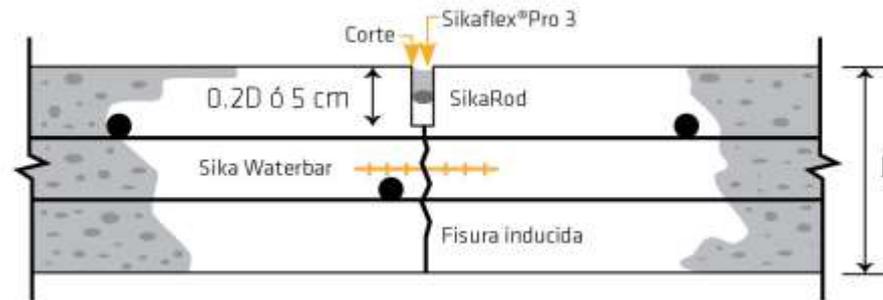
■ LA IMPERMEABILIZACIÓN ESTRUCTURAL



Junta de contracción



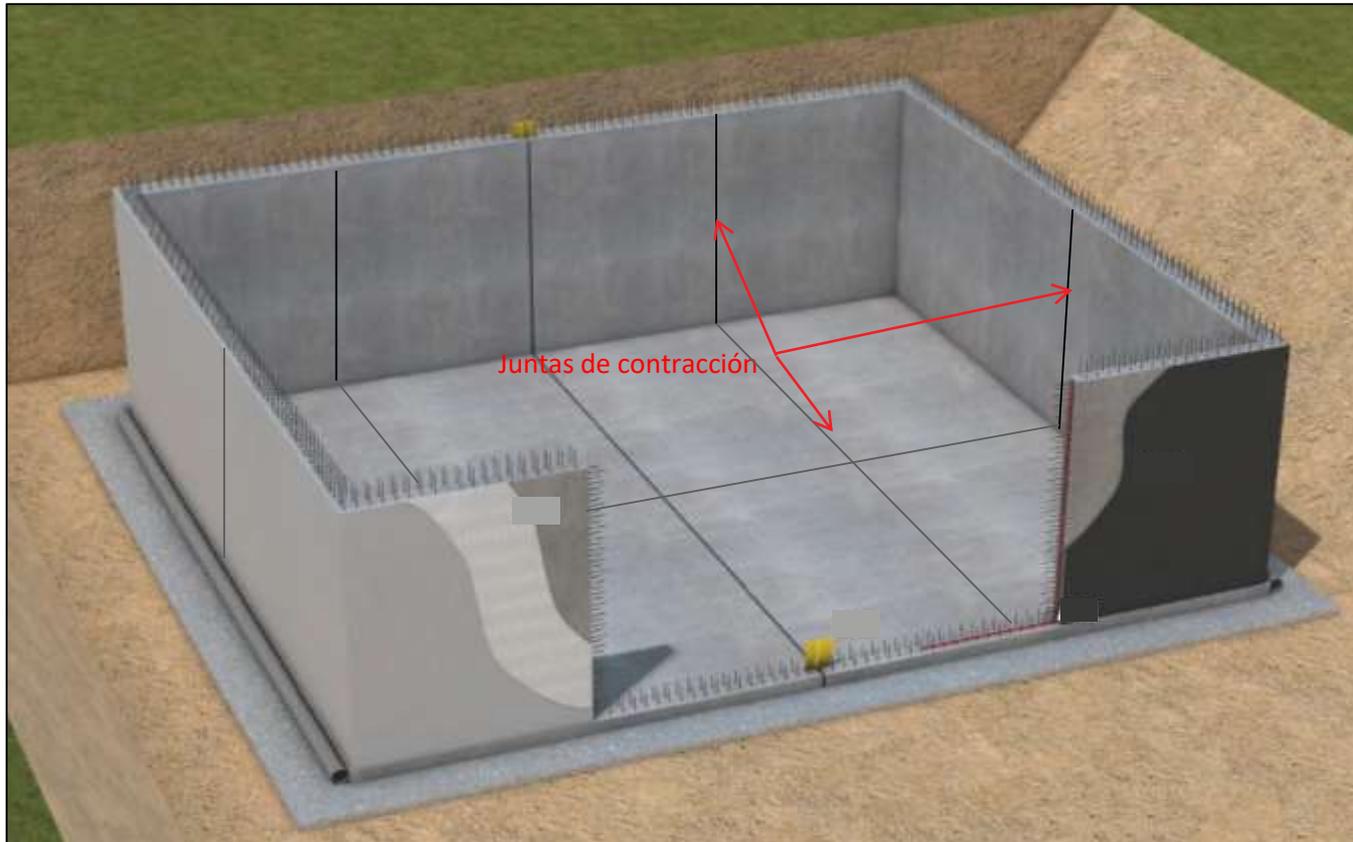
Junta de expansión



Junta de construcción

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

- LA IMPERMEABILIZACIÓN ESTRUCTURAL

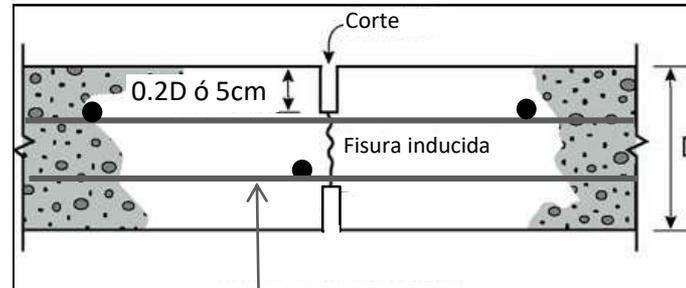


ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ LA IMPERMEABILIZACIÓN ESTRUCTURAL

Junta de contracción: es un plano de debilidad en el muro creado intencionalmente mediante la reducción de la sección, o del acero de refuerzo, o de ambos.

Las juntas de contracción ubican las fisuras en lugares seleccionados por motivos de apariencia estética, impermeabilidad o por integridad estructural.



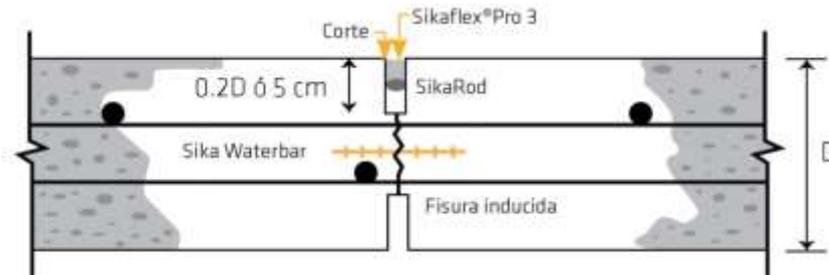
50% o menos del área del acero (junta de contracción parcial)

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ LA IMPERMEABILIZACIÓN ESTRUCTURAL

Junta de contracción: es un plano de debilidad en el muro creado intencionalmente mediante la reducción de la sección, o del acero de refuerzo, o de ambos.

Las juntas de contracción ubican las fisuras en lugares seleccionados por motivos de apariencia estética, impermeabilidad o por integridad estructural.



ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ LA IMPERMEABILIZACIÓN ESTRUCTURAL

Separación de las juntas de contracción en los muros: según el ACI 224.3R

Para muros con altura h entre 3m y 4m, con aberturas:

$$5m < S < 6.5m$$

$$3m < S < 5m \text{ En las esquinas del muro}$$

Para muros con una altura h mayor a 4m, sin aberturas
o muros más altos con aberturas:

$$S < 7.6m$$

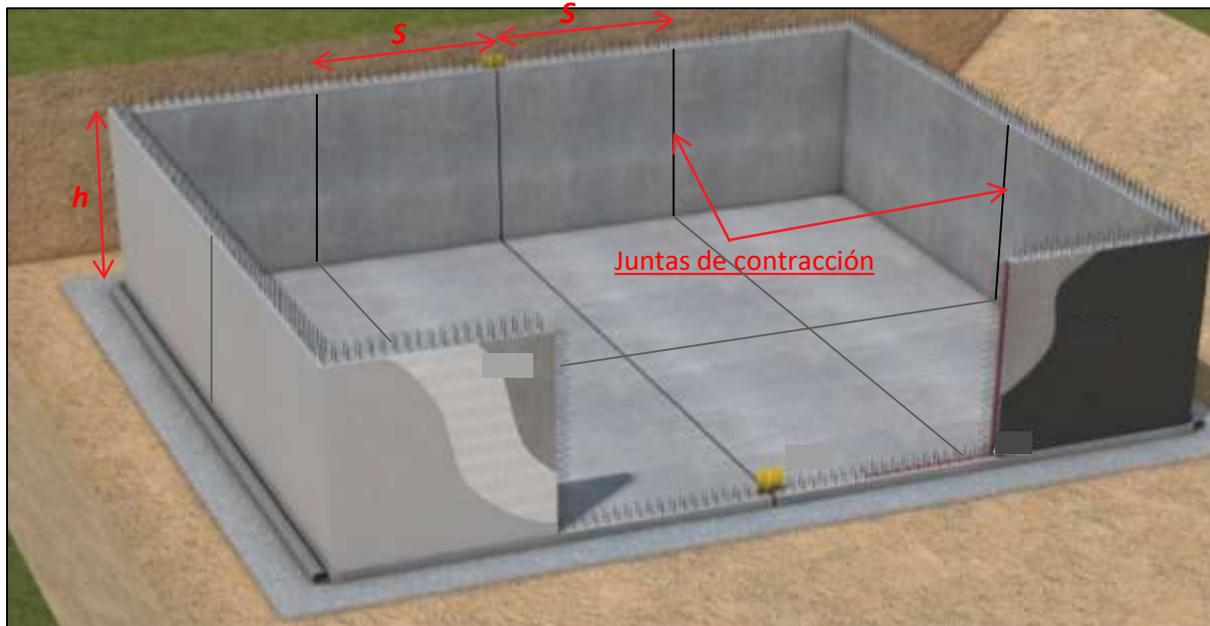
Otras recomendaciones:

- S no debería exceder los 9.1m (ACI 350R)

- Se recomiendan juntas de contracción en los bordes de aberturas, cambios en espesor del muro, o donde puedan aparecer fisuras verticales.

S = separación de las juntas de contracción

h = altura del muro



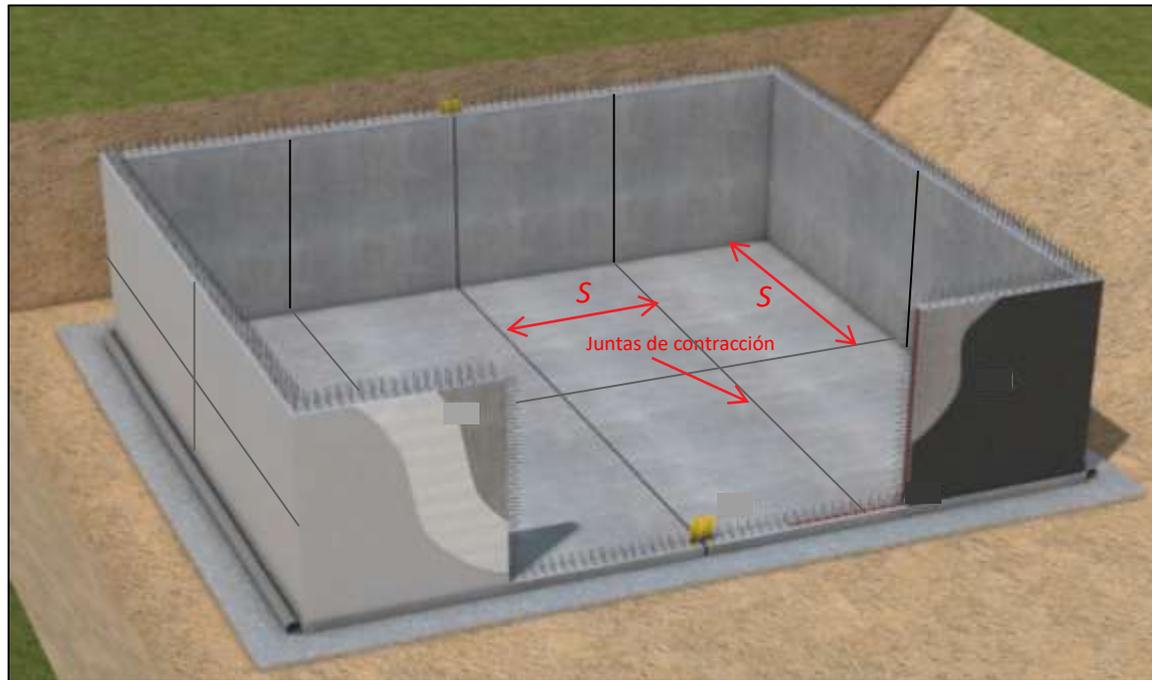
ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ LA IMPERMEABILIZACIÓN ESTRUCTURAL

Juntas de contracción en losas de piso: según el ACI 224.3R

Se prefiere la configuración en áreas rectangulares (cuadradas), y que la relación del lado largo respecto al corto esté entre 1.25 y 1.5.

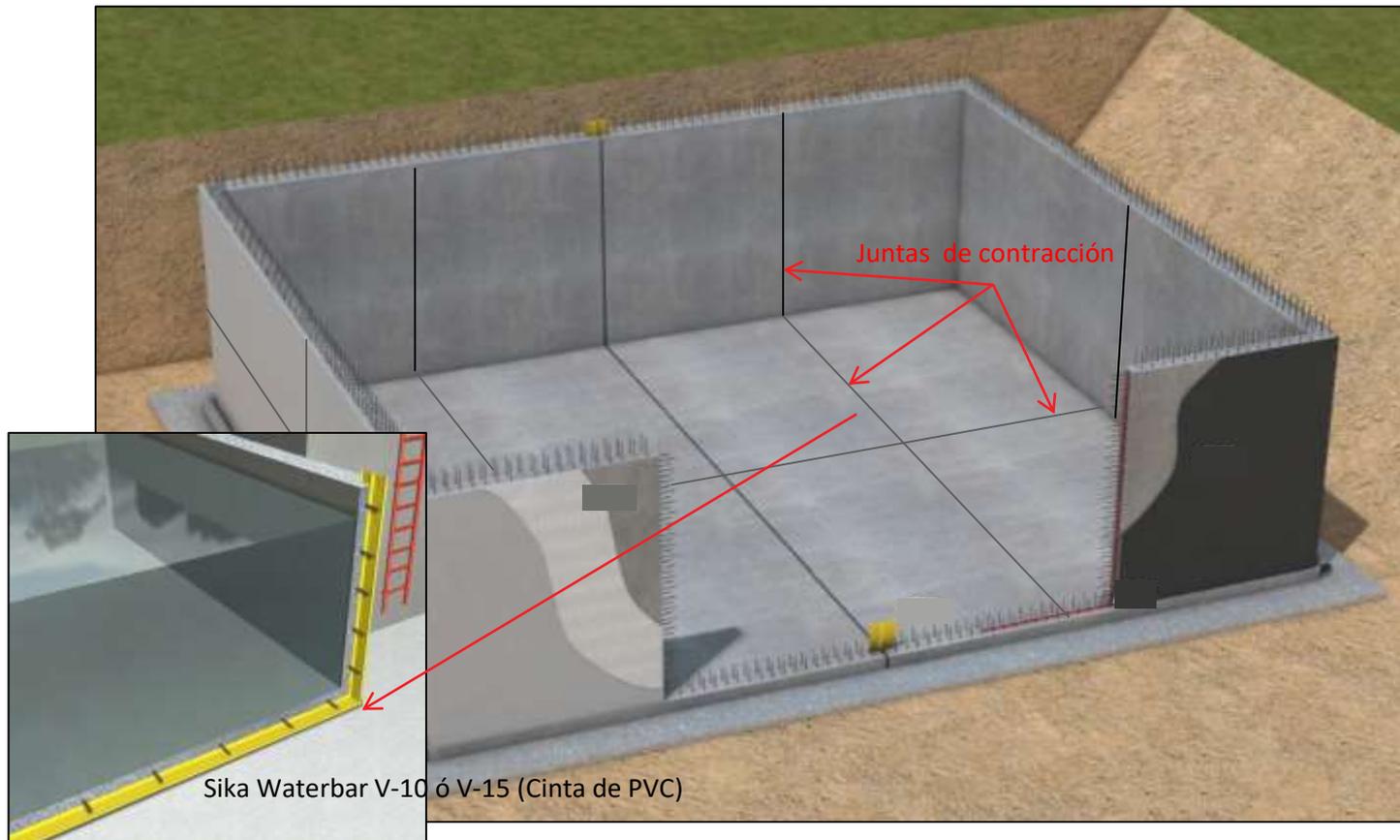
$$24b < S < 36b \quad b = \text{espesor de la losa de piso}$$



ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ LA IMPERMEABILIZACIÓN ESTRUCTURAL

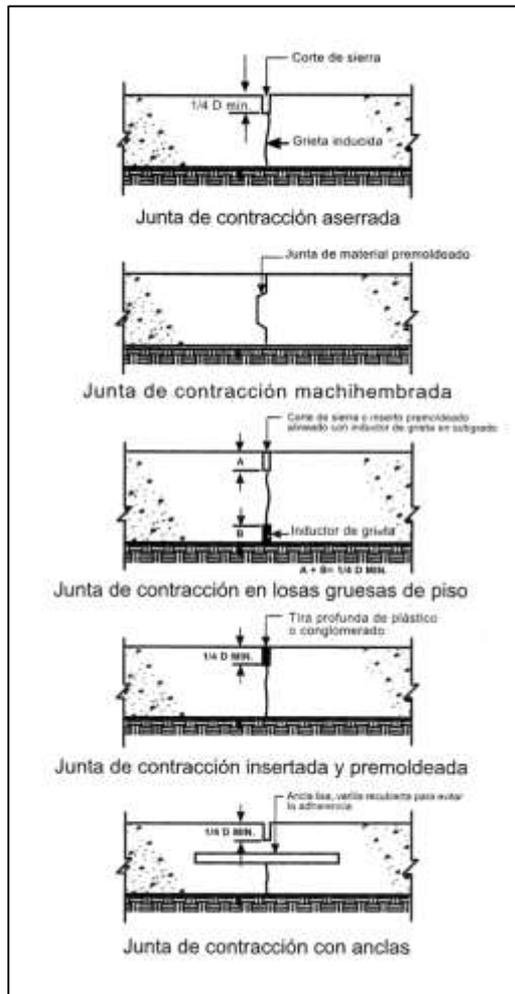
Juntas de construcción en los muros y losas de piso:



ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ LA IMPERMEABILIZACIÓN ESTRUCTURAL

Juntas de contracción en losas de piso: según el ACI 224.3R



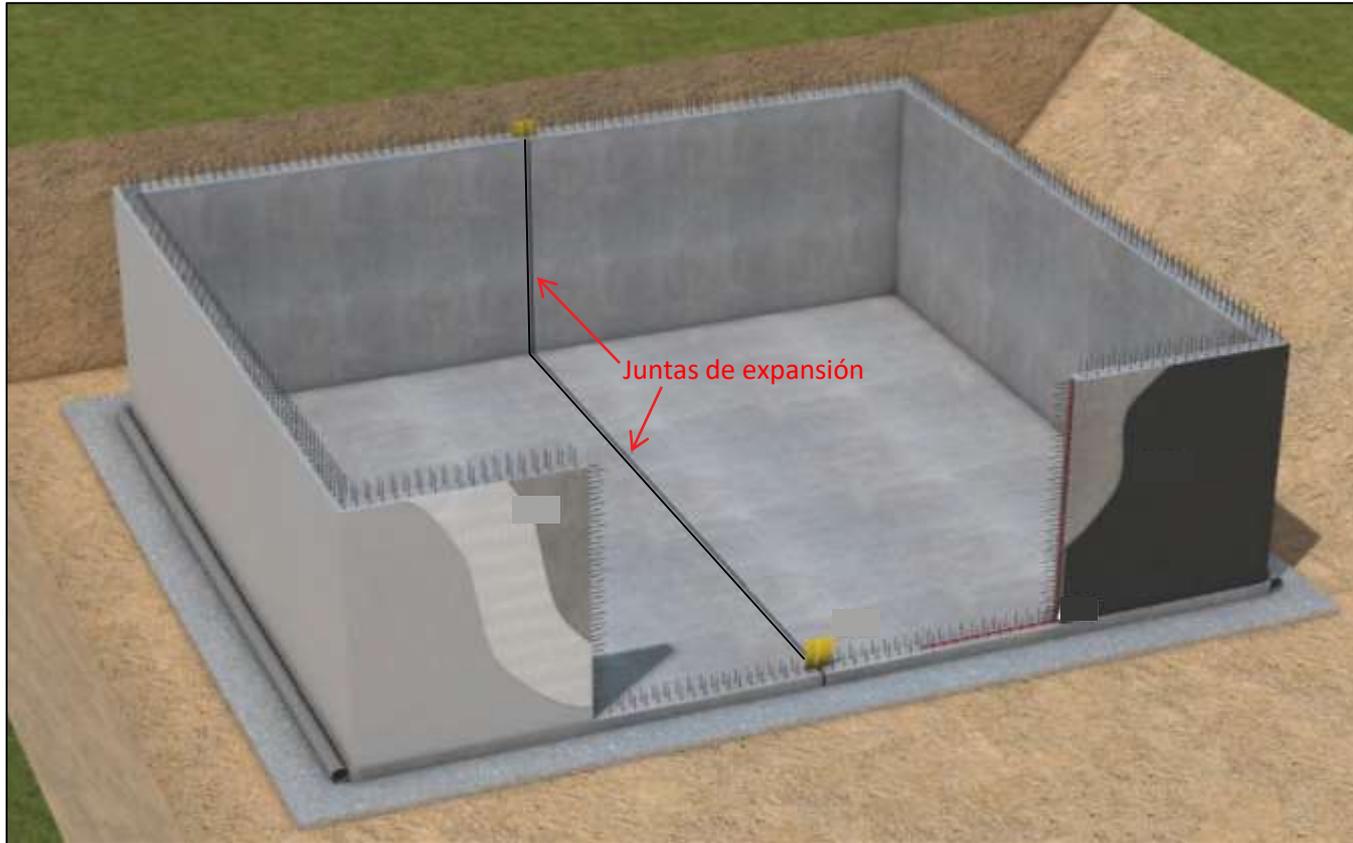
Tomado de la traducción
del ACI 224.3R del IMCYC

CONSTRUYENDO CONFIANZA



ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

- LA IMPERMEABILIZACIÓN ESTRUCTURAL

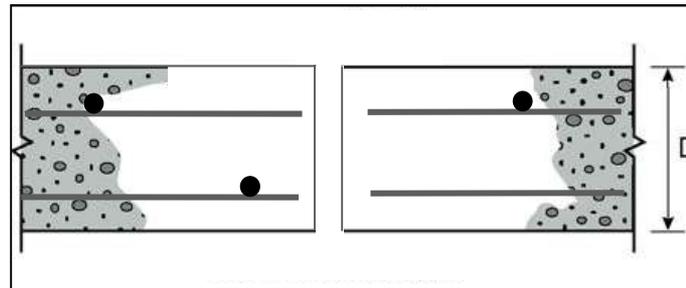


ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ LA IMPERMEABILIZACIÓN ESTRUCTURAL

Junta de expansión: Son juntas en toda la altura del muro y el ancho de la losa que separan dos secciones adyacentes de concreto y permiten su libre movimiento.

El acero de refuerzo se suspende totalmente en las juntas de expansión.

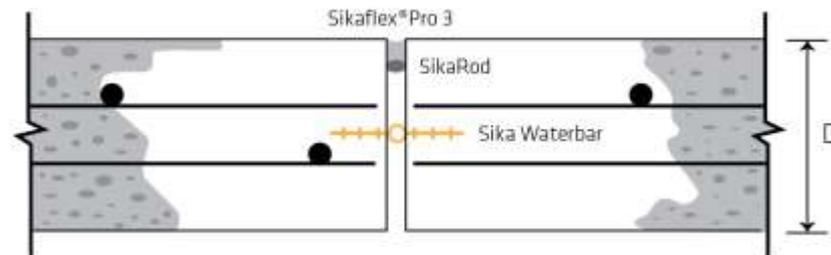


ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ LA IMPERMEABILIZACIÓN ESTRUCTURAL

Junta de expansión: Son juntas en toda la altura del muro y el ancho de la losa que separan dos secciones adyacentes de concreto y permiten su libre movimiento.

El acero de refuerzo se suspende totalmente en las juntas de expansión.



ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ LA IMPERMEABILIZACIÓN ESTRUCTURAL

Separación de las juntas de expansión: según el ACI 224.3R

Coeficiente de expansión térmica del concreto: $\alpha = 11 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$

$L = 100\text{m}$ (Longitud del muro)

$\Delta_T = 20^\circ\text{C}$ (Variación en la temperatura)

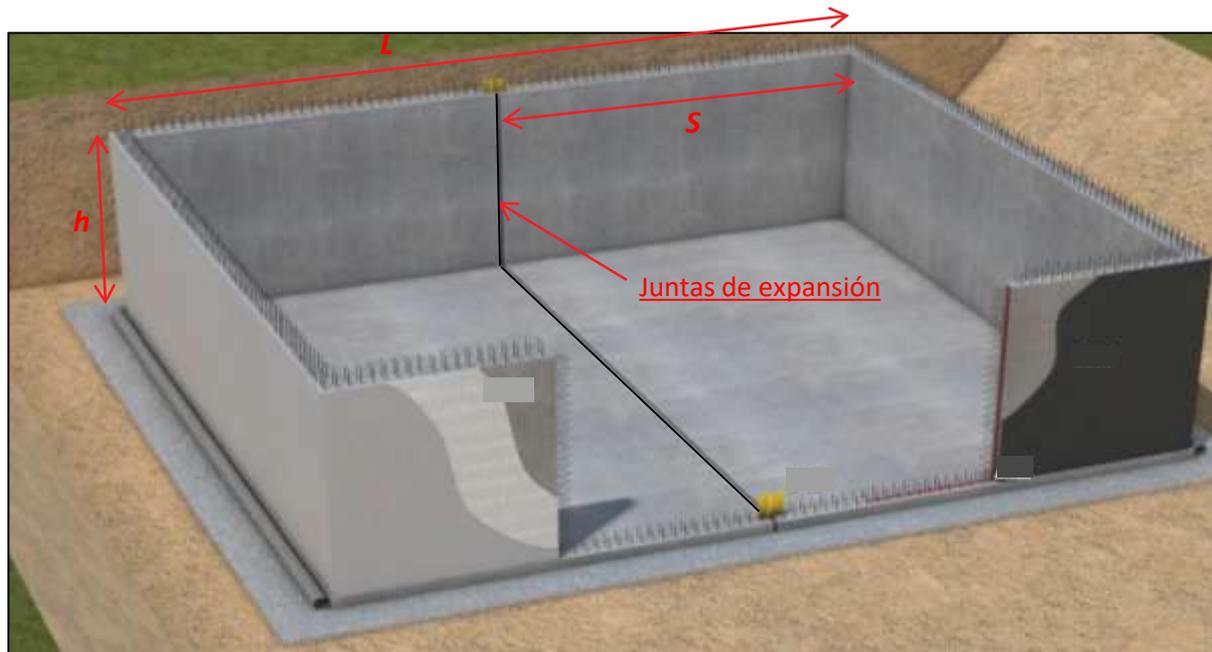
Expansión concreto = $100\text{m} \times 20^\circ\text{C} \times 11 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C} = 0.022\text{m}$ (2.2cm)

Otras recomendaciones:

$60\text{m} < S < 100\text{m}$ (S debe estar entre 60m y 100m)

- Se recomiendan juntas de expansión en los cambios de dirección, o cuando se encuentran muros de diferentes direcciones.

- Los anchos de juntas recomendados oscilan entre 20mm y 25mm.

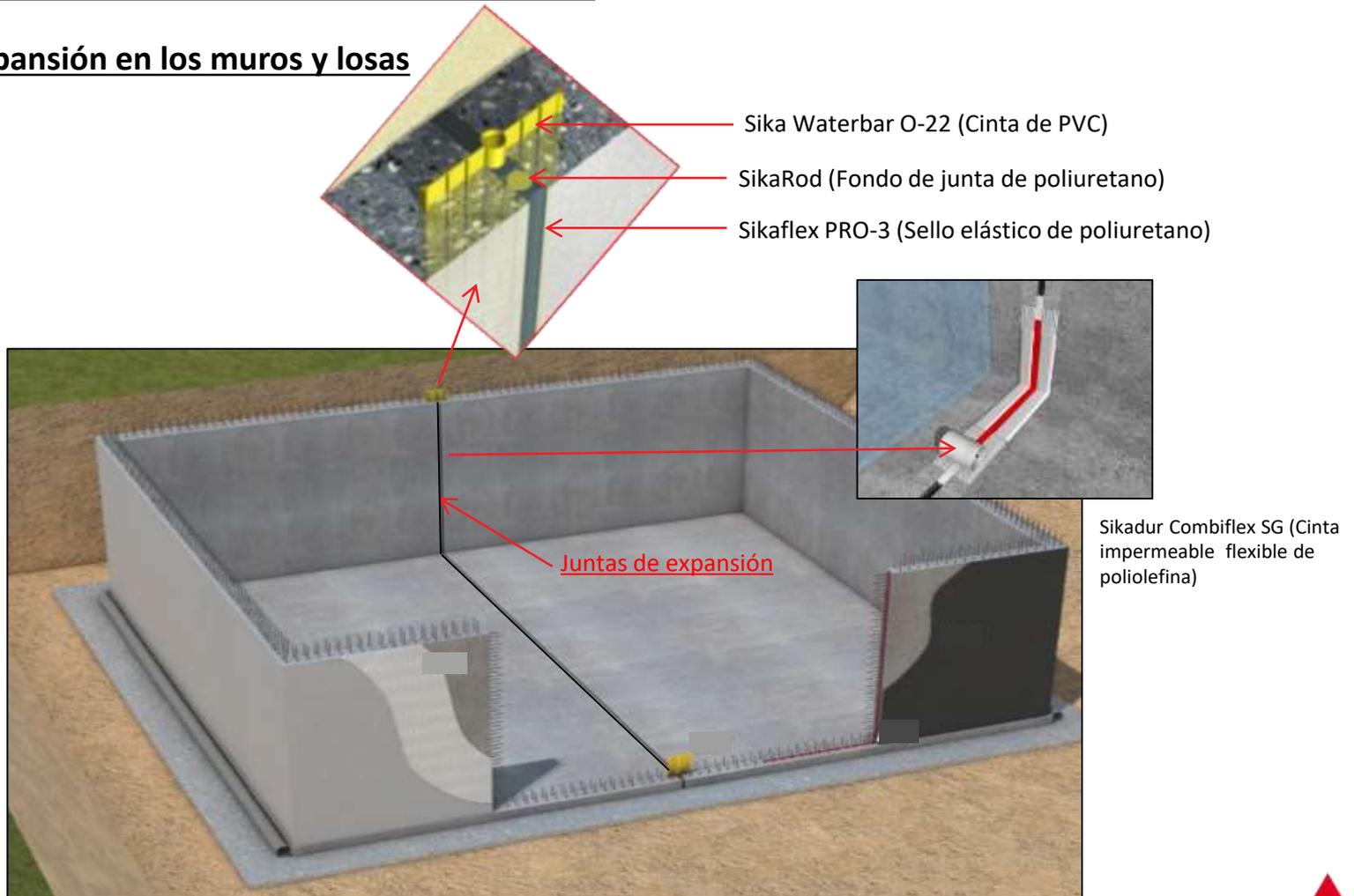


S = separación de las juntas de expansión

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ LA IMPERMEABILIZACIÓN ESTRUCTURAL

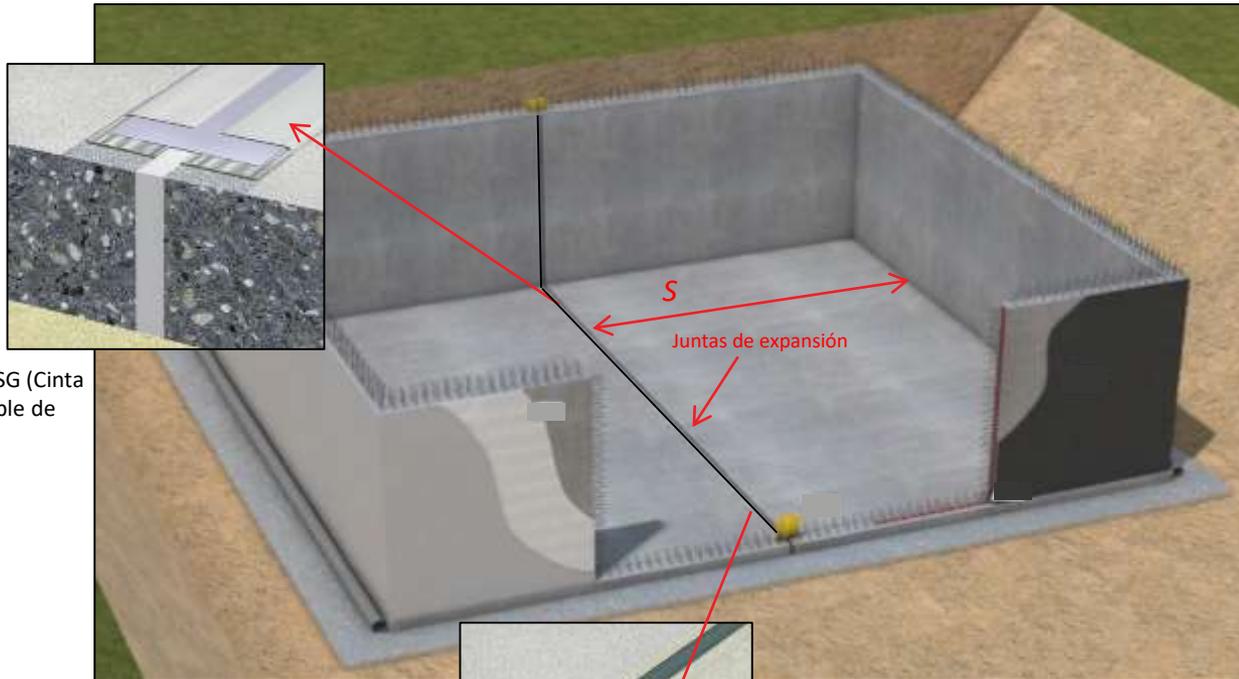
Juntas de expansión en los muros y losas de piso:



ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ LA IMPERMEABILIZACIÓN ESTRUCTURAL

Juntas de expansión en los muros y losas de piso:



Sikadur Combiflex SG (Cinta impermeable flexible de poliolefina)

Sikaflex PRO-3 (Sello elástico de poliuretano)

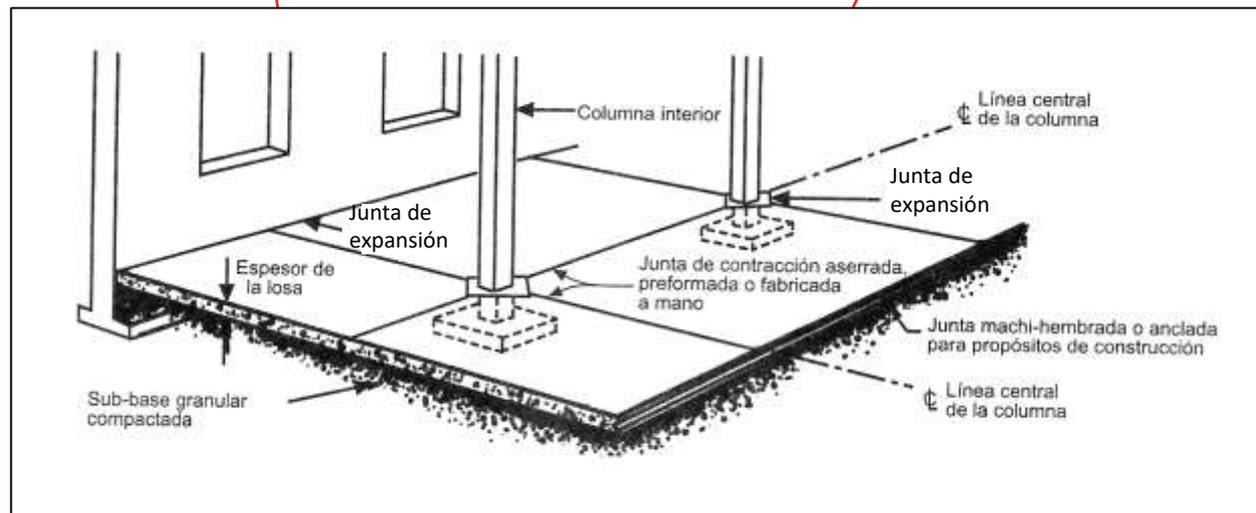
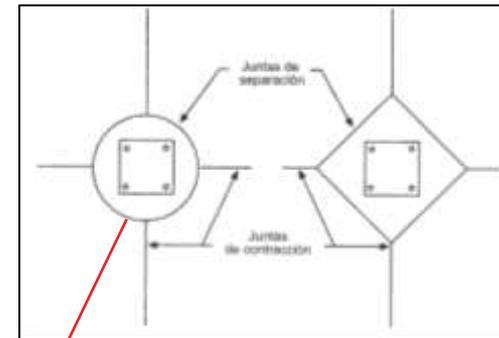
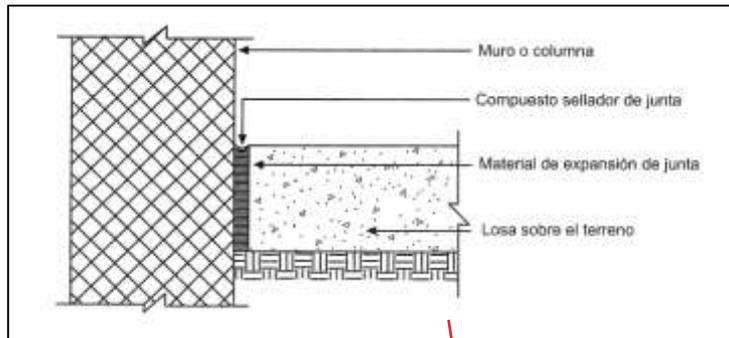
SikaRod (Fondo de junta de poliuretano)

Sika Waterbar O-22 (Cinta de PVC)

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ LA IMPERMEABILIZACIÓN ESTRUCTURAL

Juntas de expansión en losas de piso: según el ACI 224.3R

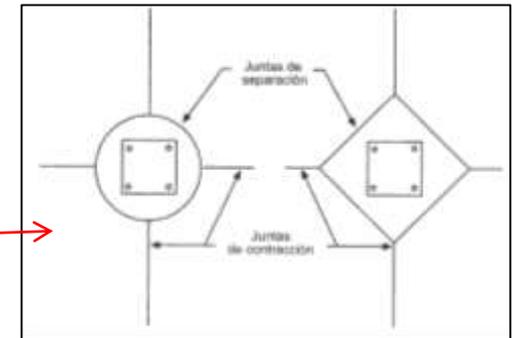


Tomado de la traducción del ACI 224.3R del IMCYC

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

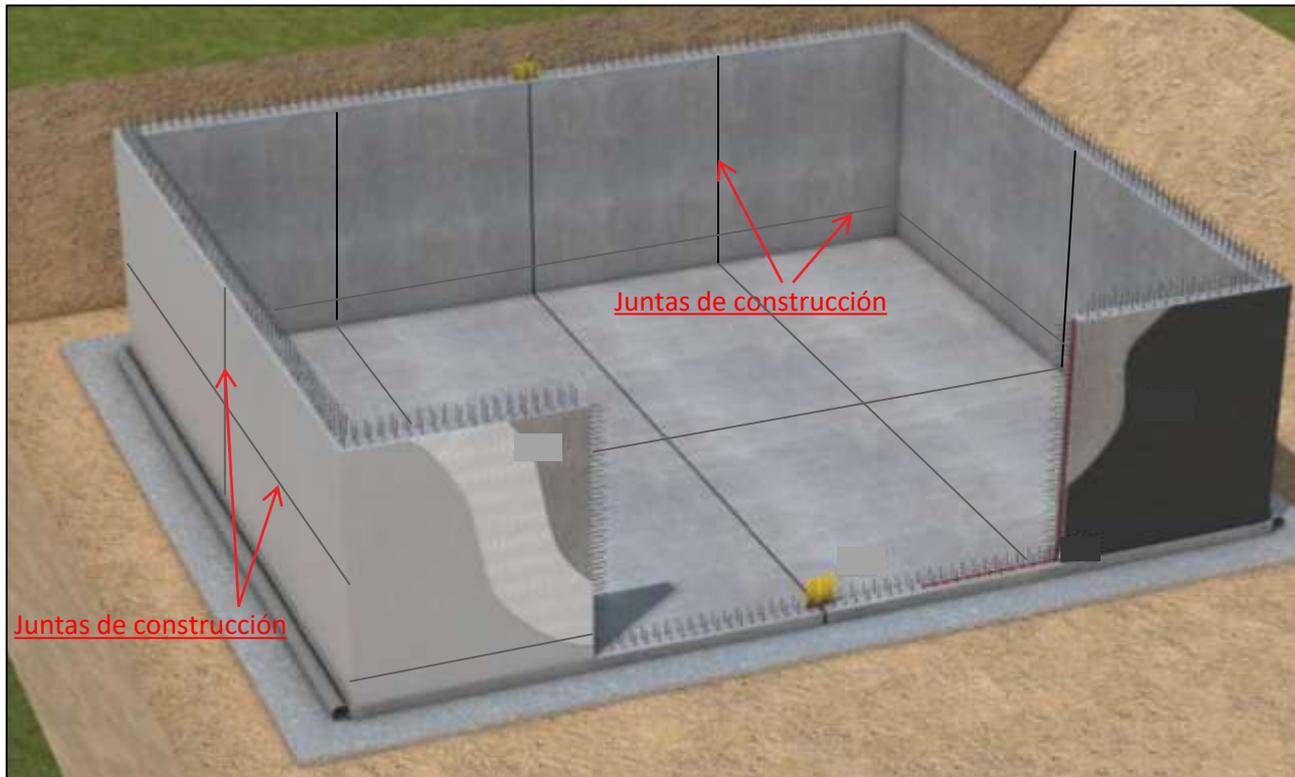
■ LA IMPERMEABILIZACIÓN ESTRUCTURAL

Juntas de expansión en losas de piso: según el ACI 224.3R



ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

- LA IMPERMEABILIZACIÓN ESTRUCTURAL



ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

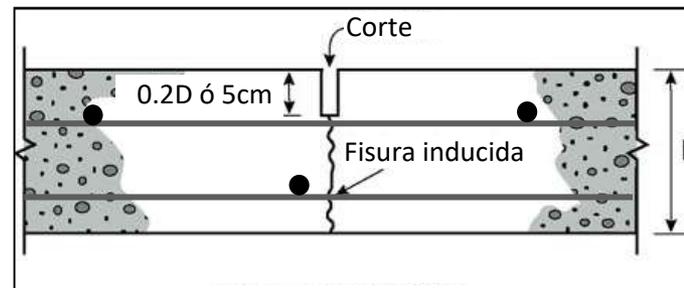
■ LA IMPERMEABILIZACIÓN ESTRUCTURAL

Junta de construcción: Son juntas que se forman por la interrupción de la colocación del concreto. Pueden ser verticales o horizontales y su lugar se establece antes de la construcción.

Las juntas de construcción deberían planearse para coincidir con las juntas de expansión o las de contracción. Si no coinciden con éstas, deben sellarse como si fueran unas juntas de contracción.

La junta de construcción debe hacerse con las hendiduras que permitan la colocación del sellante, a menos que se haya colocado una cinta de PVC.

Las juntas de construcción deberían coincidir con las juntas de contracción y las de expansión.



ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

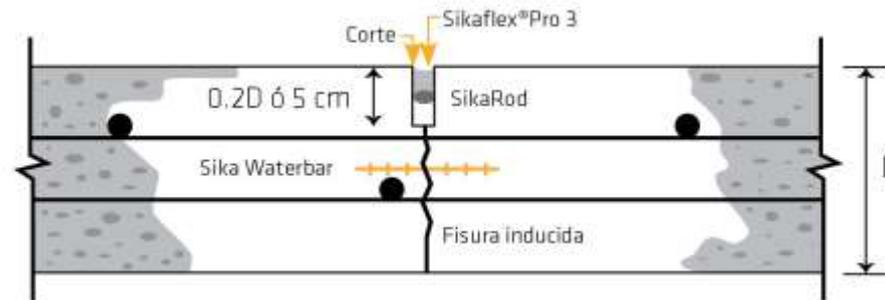
■ LA IMPERMEABILIZACIÓN ESTRUCTURAL

Junta de construcción: Son juntas que se forman por la interrupción de la colocación del concreto. Pueden ser verticales o horizontales y su lugar se establece antes de la construcción.

Las juntas de construcción deberían planearse para coincidir con las juntas de expansión o las de contracción. Si no coinciden con éstas, deben sellarse como si fueran unas juntas de contracción.

La junta de construcción debe hacerse con las hendiduras que permitan la colocación del sellante, a menos que se haya colocado una cinta de PVC.

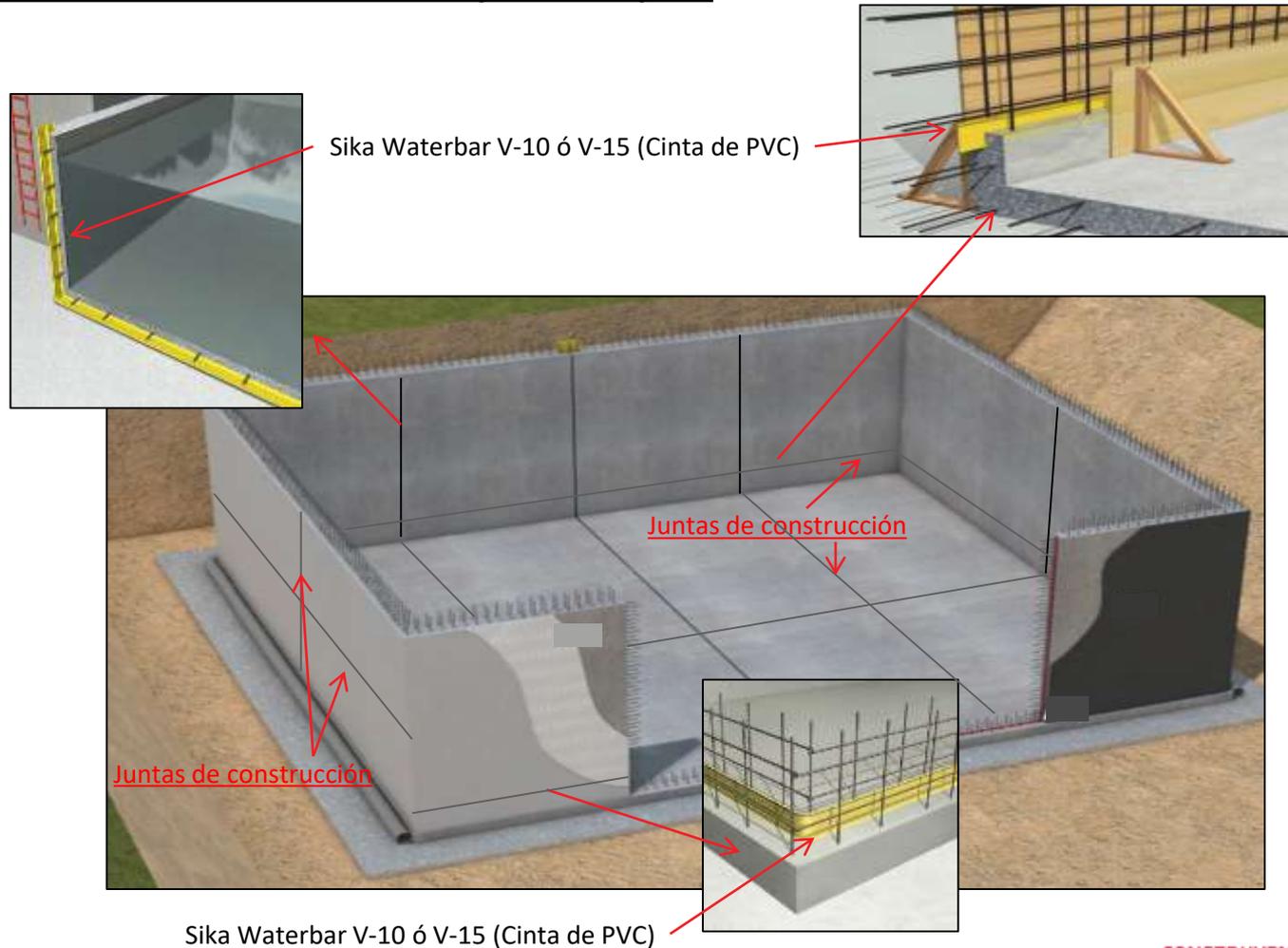
Las juntas de construcción deberían coincidir con las juntas de contracción y las de expansión.



ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ LA IMPERMEABILIZACIÓN ESTRUCTURAL

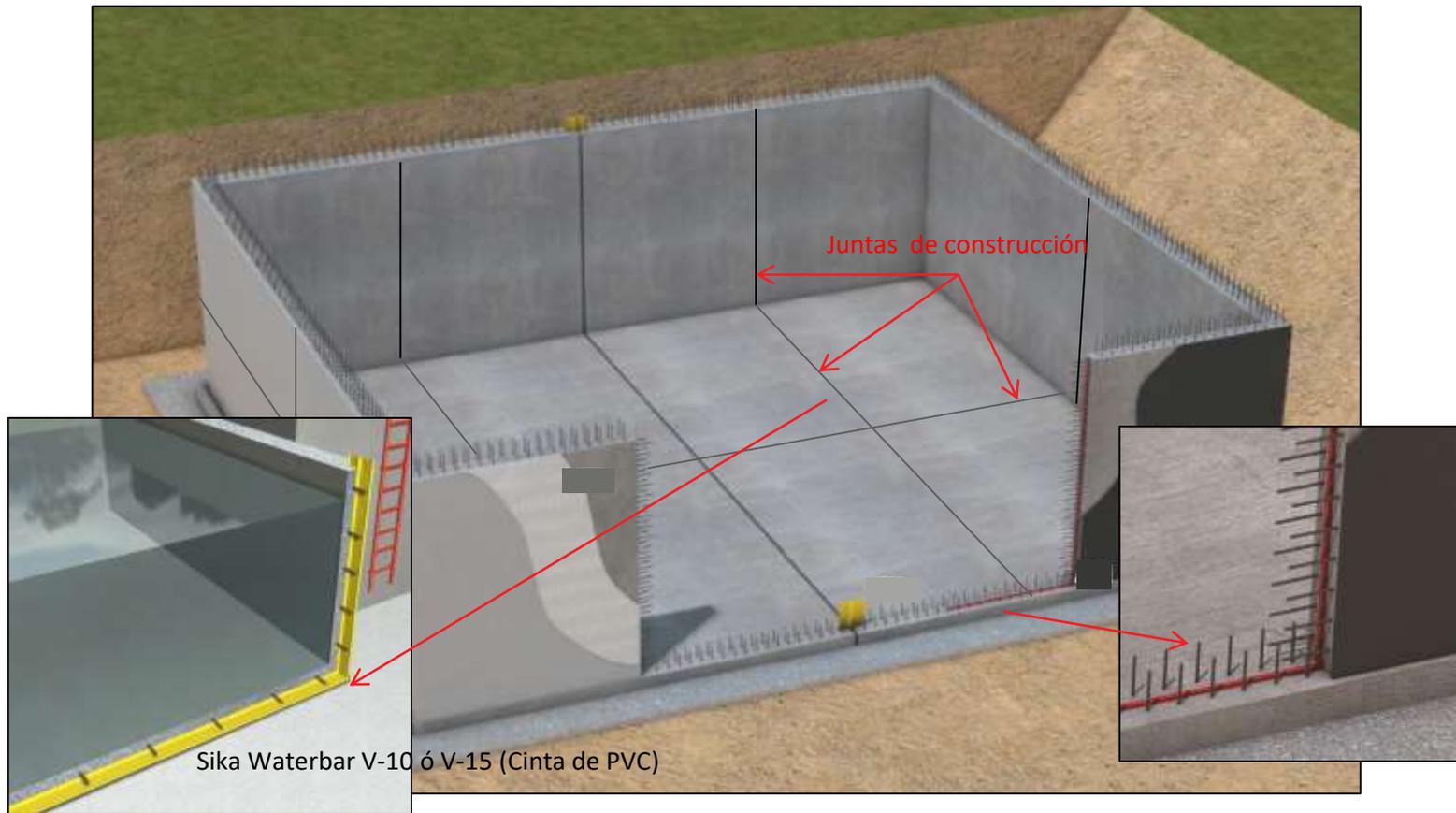
Juntas de construcción en los muros y losas de piso:



ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

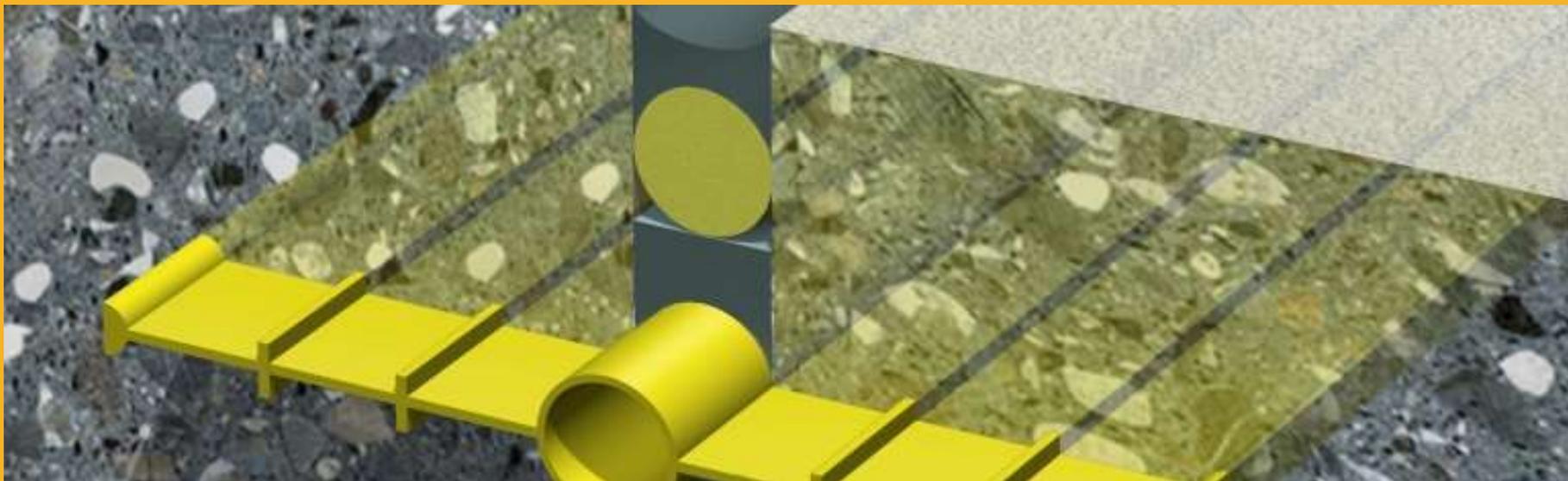
■ LA IMPERMEABILIZACIÓN ESTRUCTURAL

Juntas de construcción en los muros y losas de piso:



Sika Waterbar V-10 ó V-15 (Cinta de PVC)

Sika Swell (Sello expandible hidrofílico)



¿CÓMO ESCOGER LAS CINTAS DE PVC?

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ LA IMPERMEABILIZACIÓN ESTRUCTURAL

Errores de colocación de las cintas de PVC:



La cinta de PVC no quedó centrada en el muro

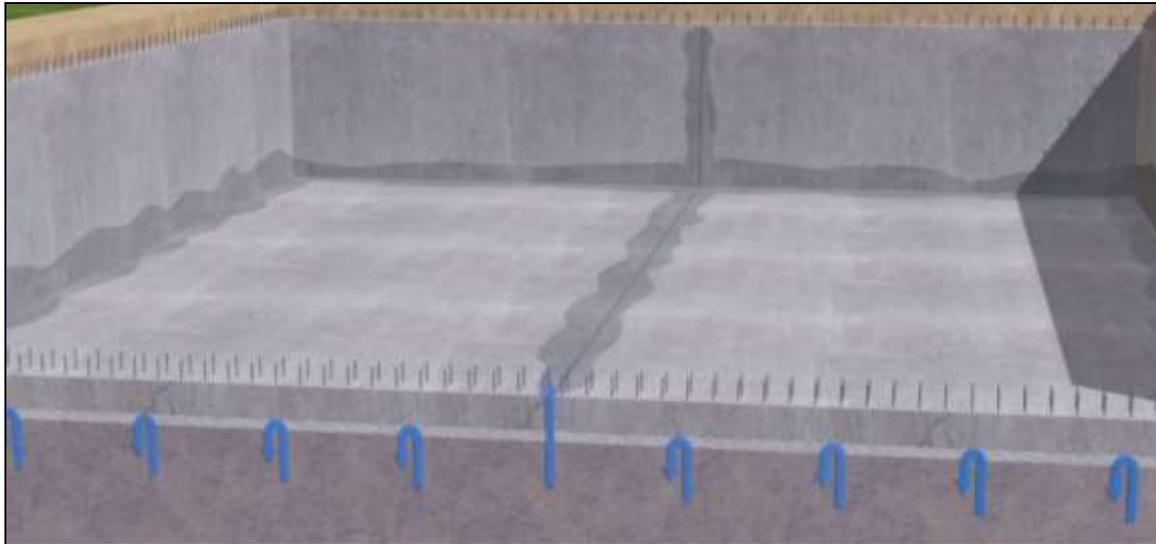


La cinta de PVC quedó en la parte externa del muro en lugar de en el centro

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

- LA IMPERMEABILIZACIÓN ESTRUCTURAL

Funcionamiento de las cintas de PVC:

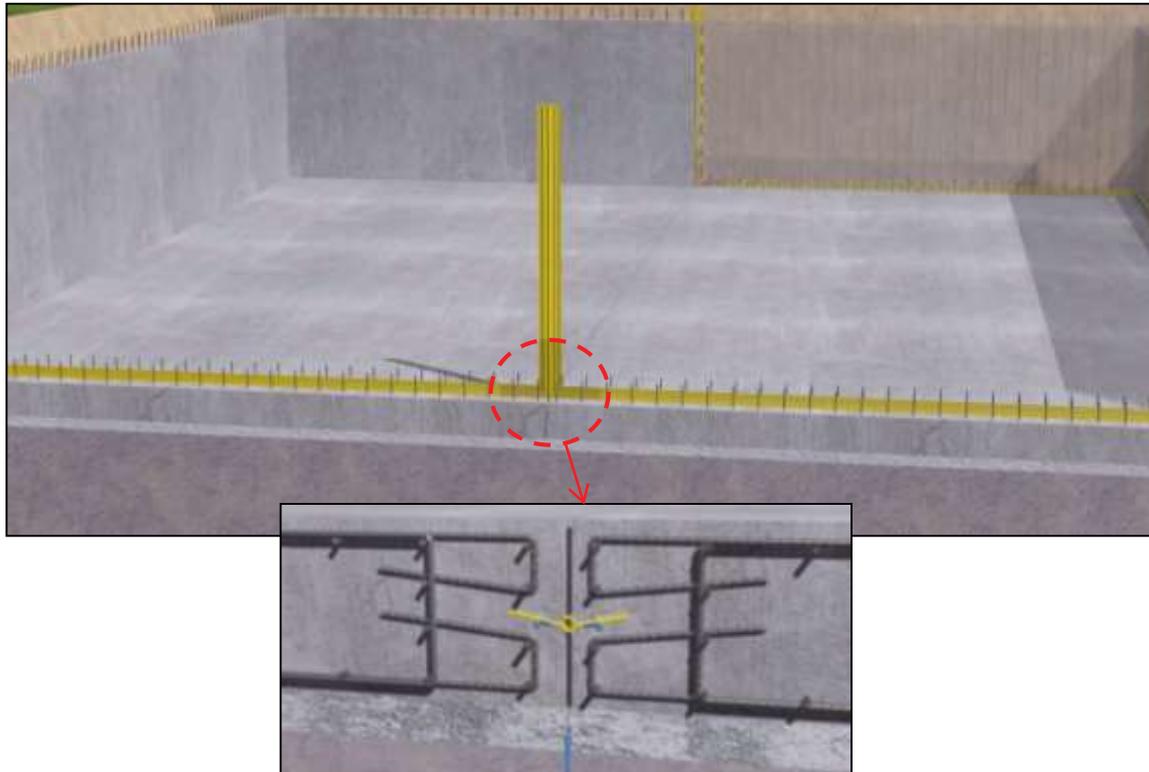


Sin las cintas Sika Waterbar el agua penetrará por las juntas de expansión y por las de contracción/construcción

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

- LA IMPERMEABILIZACIÓN ESTRUCTURAL

Funcionamiento de las cintas de PVC:

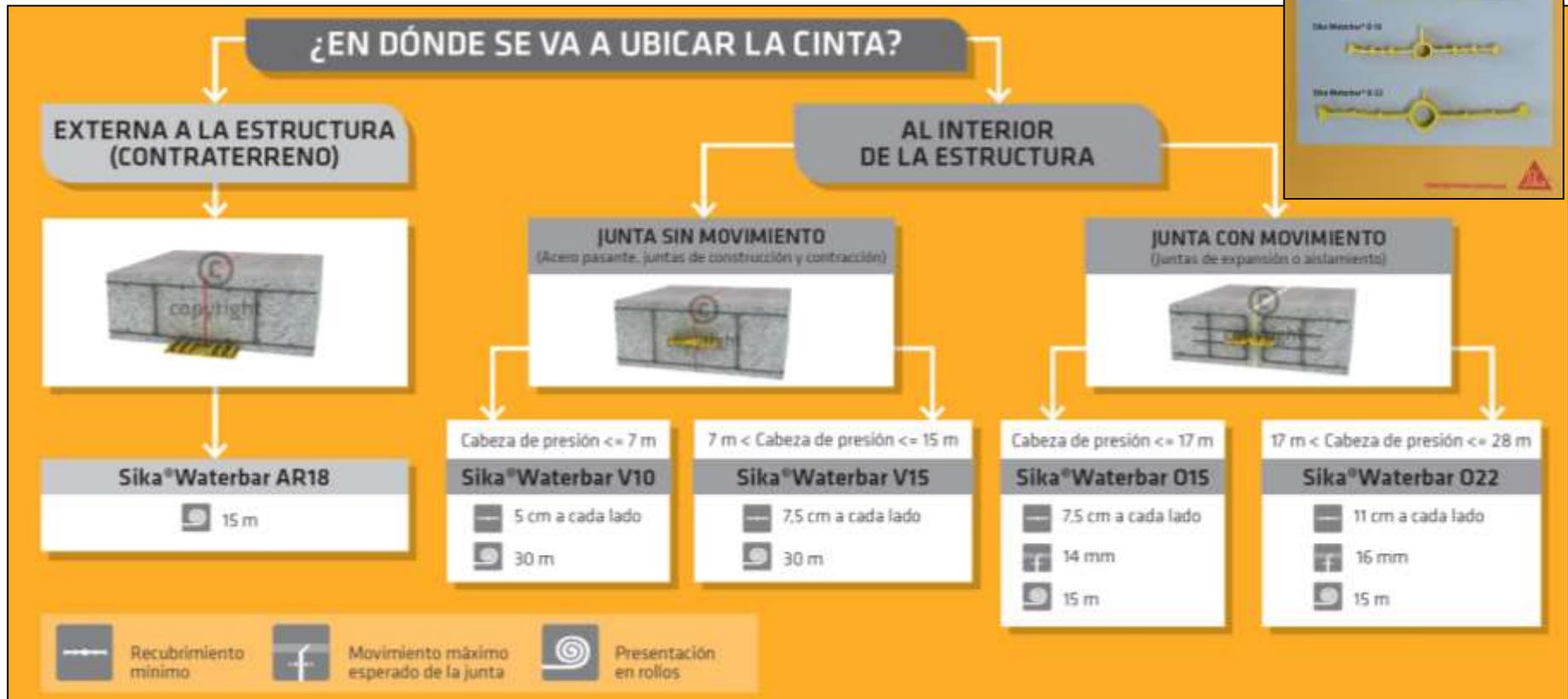
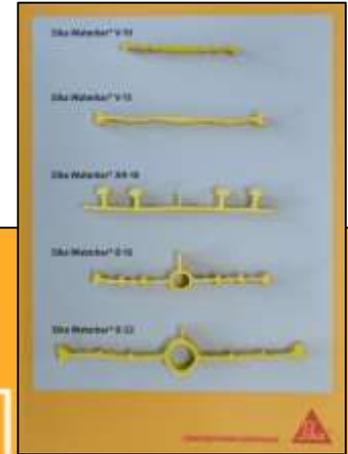


Las cintas Sika Waterbar usan el principio del laberinto (alargan la trayectoria del agua) logrando un sello durable

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ LA IMPERMEABILIZACIÓN ESTRUCTURAL

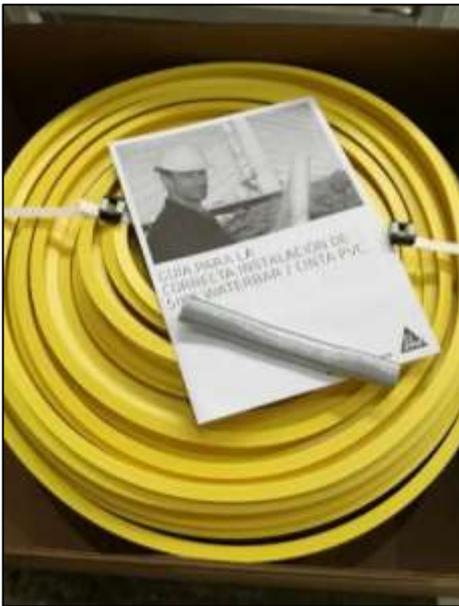
Selección de las cintas de PVC:



ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

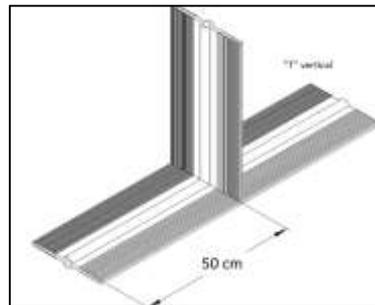
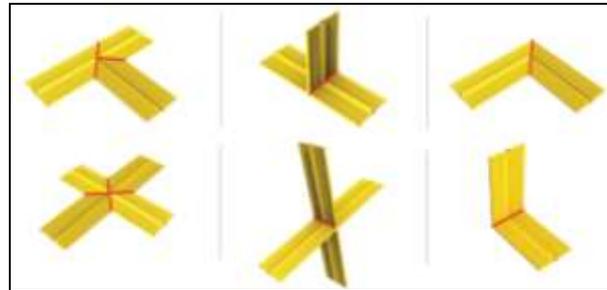
■ LA IMPERMEABILIZACIÓN ESTRUCTURAL

Las cintas de PVC (Sika Waterbars):



Longitudes de 15m y 30m

Guía para la correcta instalación



Suministro de detalles prefabricados
y ganchos de sujeción



Estabilidad dimensional y apilamiento

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ LA IMPERMEABILIZACIÓN ESTRUCTURAL

Las cintas de PVC (Sika Waterbars):



La plancha de las cintas de PVC (Sika Waterbars)



Unión de una Cinta de PVC bien hecha



Unión mal hecha (con soplete)

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

- LA IMPERMEABILIZACIÓN ESTRUCTURAL

Las cintas de PVC (Sika Waterbars):



Usar ganchos que no perforen la cinta de PVC

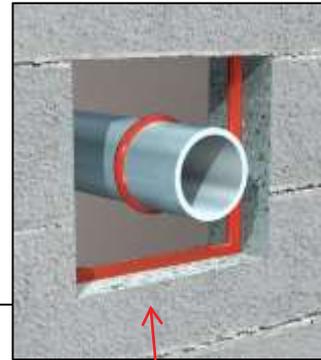
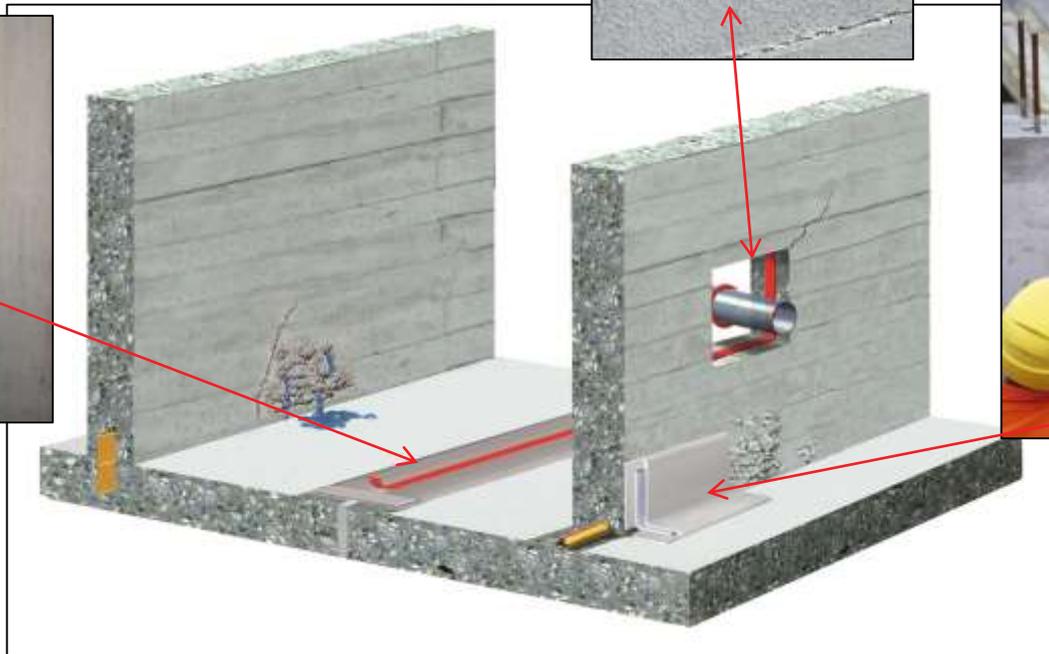
ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ LA IMPERMEABILIZACIÓN ESTRUCTURAL

Otros productos que complementan a las Sika Waterbars:



Sikadur Combiflex SG (Cinta impermeable flexible de poliolefina)



Sika Swell (Sello expandible hidrofílico)



Sikadur Combiflex SG (Cinta impermeable flexible de poliolefina)

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

- LA IMPERMEABILIZACIÓN ESTRUCTURAL

Otros productos que complementan a las Sika Waterbars:

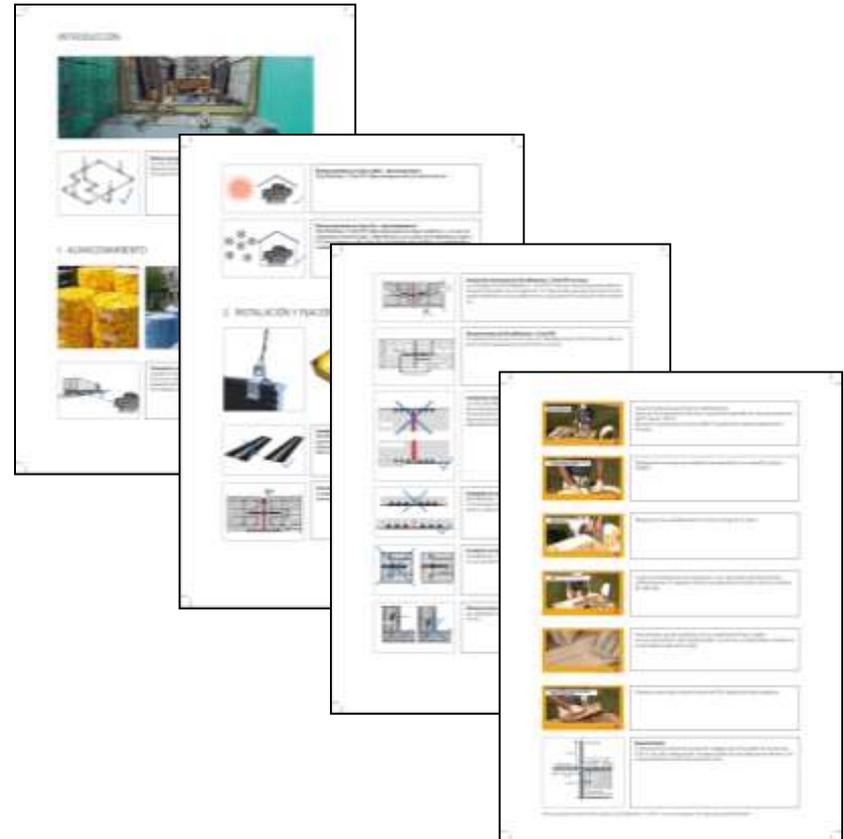


Sika Swell (Sello expandible hidrofílico)

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ LA IMPERMEABILIZACIÓN ESTRUCTURAL

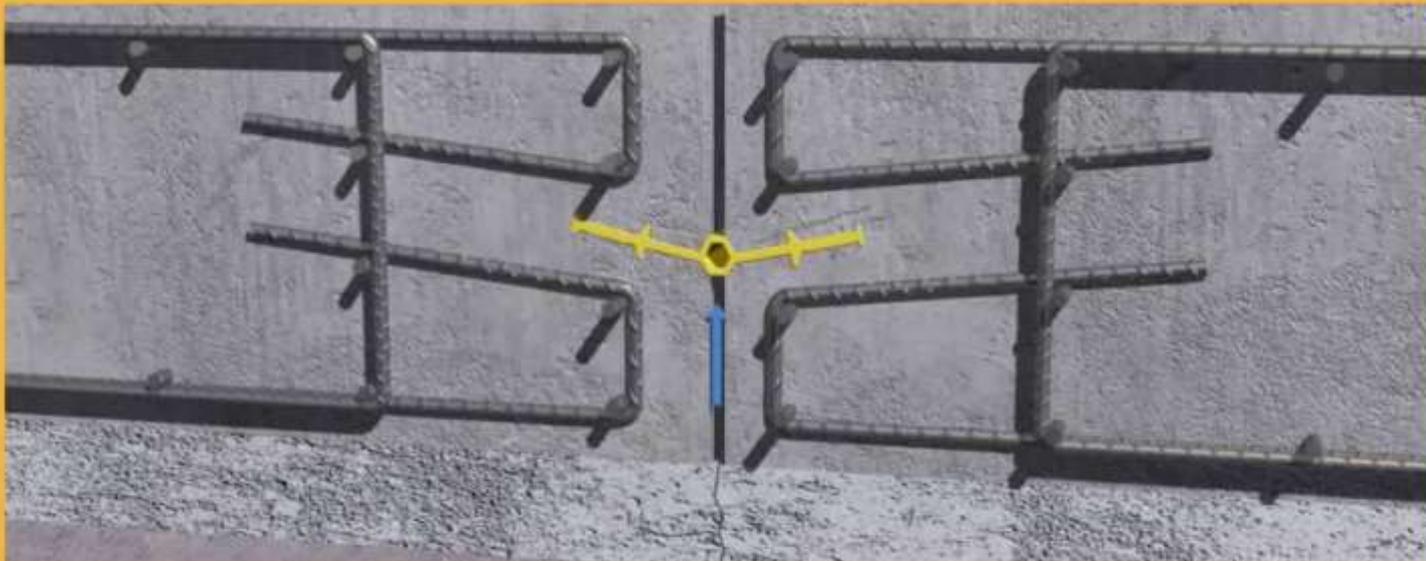
Las cintas de PVC (Sika Waterbars):



ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

- LA IMPERMEABILIZACIÓN ESTRUCTURAL

Las cintas de PVC (Sika Waterbars):



JOINT WATERPROOFING SOLUTION

FLEXIBLE AND DURABLE!

© Copyright Sika Services AG 2014 - All rights reserved

BUILDING TRUST



CONSTRUYENDO CONFIANZA





PERO....¿QUÉ VAMOS A HACER CON LOS TANQUES/PISCINAS EXISTENTES?

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

- REHABILITACIÓN DE TANQUES EXISTENTES



Tanque de agua potable Belén – Ibagué (2002)

Reforzado con platinas de fibra de carbono **Sika CarboDur S512**, para mejorar el desempeño sísmico de los muros del tanque.

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

- REHABILITACIÓN DE TANQUES EXISTENTES



Planta de tratamiento de agua potable – Medellín (2004)

Rehabilitación de toda la estructura mediante la aplicación de:

Inhibidor de corrosión por impregnación (**Sika FerroGard 903**)

Mortero de reparación (**SikaTop 122**)

Recubrimiento protector (**Sikaguard 62**)

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

- REHABILITACIÓN DE TANQUES EXISTENTES



Tanque de agua potable Vitelma – Bogotá (2005)

Recrecimiento de las columnas con un concreto sin retracción (**Sika Concrelisto RE 5000**)

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

- REHABILITACIÓN DE TANQUES EXISTENTES



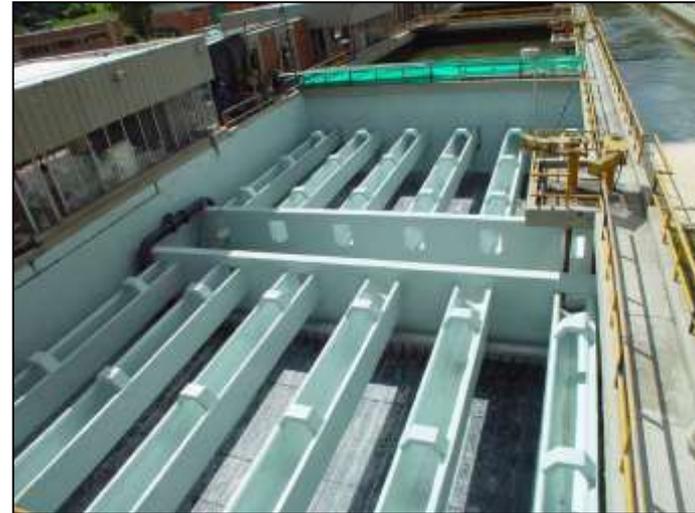
Tanque de agua potable Vitelma – Bogotá (2005)



Reforzamiento de las paredes del tanque con un tejido de fibra de carbono (**SikaWrap 600C**), para mejorar su comportamiento durante un sismo.

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ REHABILITACIÓN DE TANQUES EXISTENTES



Planta de tratamiento de agua potable de Wiesner – La Calera (2006)

Rehabilitación de toda la estructura mediante la aplicación de:

Inhibidor de corrosión (**SikaTop Armatec 108**)

Mortero de reparación (**SikaTop 122**)

Mortero de nivelación (**Sikaguard 720 EpoCem**)

Recubrimiento protector (**Sikaguard 62**)

Resina de poliuretano para inyección de fisuras (**SikaFix HH**)

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ CÓMO ESCOGER LA IMPERMEABILIZACIÓN FINAL?



Sikaplan 15 PR

Membrana de PVC
plastificado con armadura de
fibra de poliéster

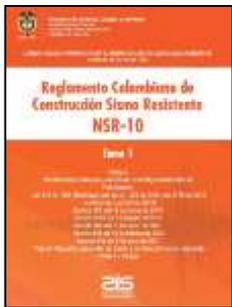
Si la piscina/tanque no fue diseñada según la NSR-10 (ACI 350), se debe usar el sistema de impermeabilización más seguro.

CONCLUSIONES



ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ CONCLUSIONES



NSR-10



ACI 350M-06



ACI 350.3-06



ACI 350.2R-04



AIS 180-13



ACI 504R-90



ACI 224.3R-95

Se requieren varios documentos para el diseño de tanques/piscinas

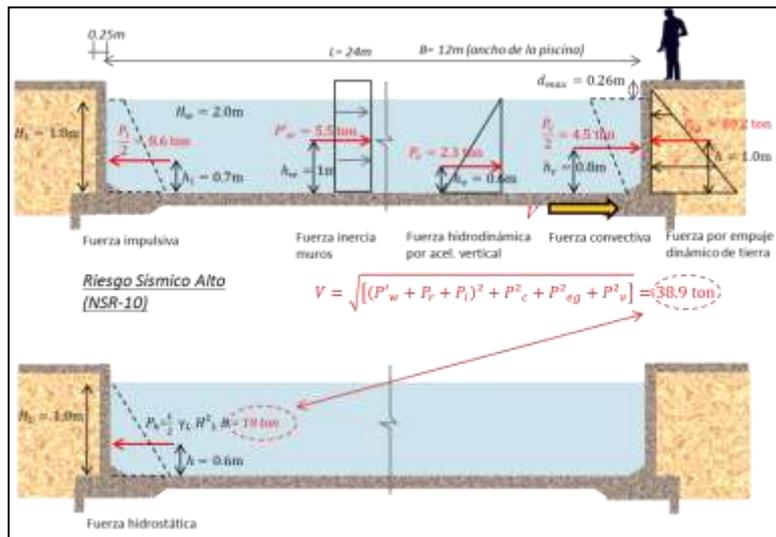
ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ CONCLUSIONES

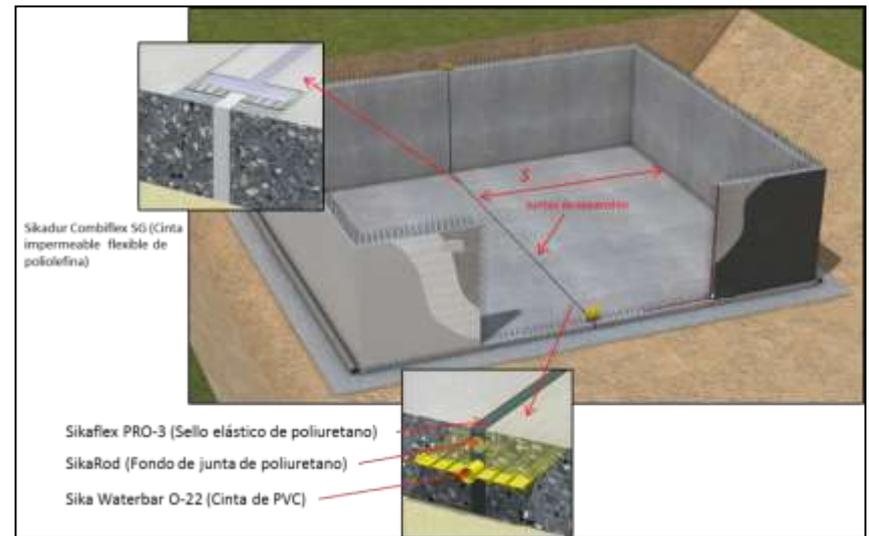
- Diseño estructural completo

Diseño de secciones y acero de refuerzo

Diseño de la impermeabilización estructural (juntas y sus sellos)



Cálculo de Fuerzas Dinámicas



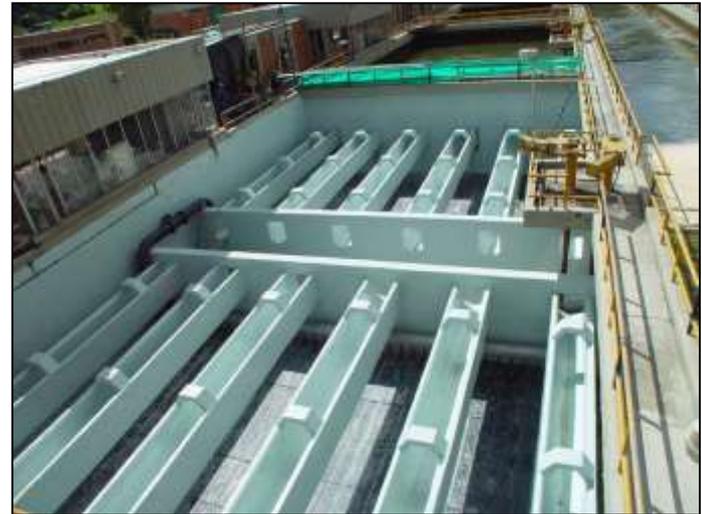
Diseño de la impermeabilización estructural

ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ CONCLUSIONES

- Tanques/Piscinas existentes

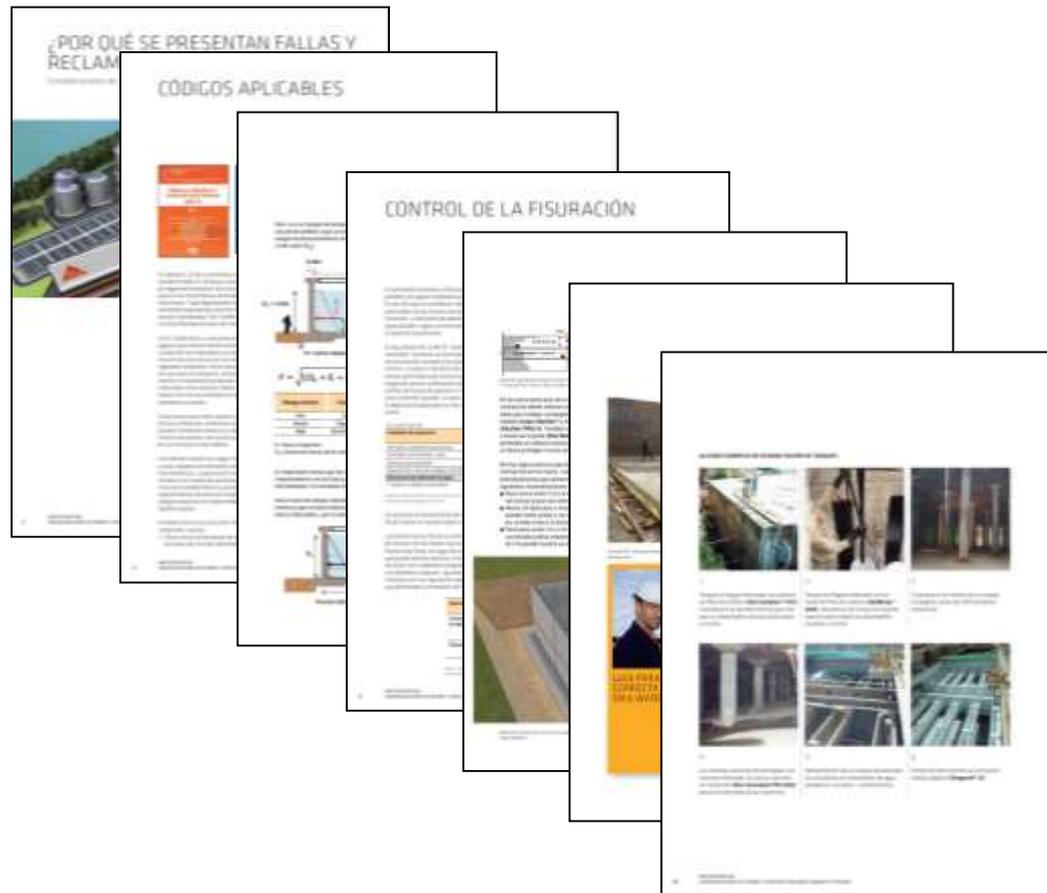
Se pueden rehabilitar/reforzar para que sigan en uso



ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

■ CONCLUSIONES

- Documento Sika sobre el tema



ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA CONTENER LÍQUIDOS

- CONCLUSIONES

¡Que esta piscina no sea nuestro mejor diseño!





GRACIAS



Preguntas ?

rendon.jorge@co.sika.com

CONSTRUYENDO CONFIANZA

