



## **PROCEDIMIENTO DE DISEÑO**

# **ESTANQUES ATMOSFÉRICOS DE ACERO APOYADOS EN EL SUELO**

**AICE-PRC-001-0**

**Revisión 0**

**VIGENCIA 23 DE ABRIL DEL 2015**



ASOCIACIÓN DE INGENIEROS CIVILES ESTRUCTURALES  
COMITÉ TÉCNICO DE MINERÍA E INDUSTRIAS

## PROCEDIMIENTO DE DISEÑO

### ESTANQUES ATMOSFÉRICOS DE ACERO APOYADOS EN EL SUELO

<b>Rev.</b>	<b>Fecha</b>	<b>Emitido Para</b>	<b>Por</b>	<b>Revisor</b>	<b>CTMI</b>	<b>Presidente AICE</b>
A	14-10-2013	Revisión CTMI	P. Pineda	R. Montecinos	P. Pineda R. Montecinos	René Lagos
B	09-07-2014	Revisión Socios AICE	P. Pineda	R. Montecinos	P. Pineda R. Montecinos	René Lagos
0	23-04-2015	Difusión y Aplicación	P. Pineda	R. Montecinos	P. Pineda R. Montecinos	René Lagos

	<b>ASOCIACIÓN DE INGENIEROS CIVILES ESTRUCTURALES</b>	<b>PROCEDIMIENTO DE DISEÑO</b>	
		<b>ESTANQUES ATMOSFÉRICOS DE ACERO APOYADOS EN EL SUELO</b>	
		<b>AICE-PRC-001-0</b>	<b>Página 3 de 35</b>

## **PREFACIO**

El presente procedimiento de diseño – Estanques Atmosféricos de Acero Apoyados en el Suelo – está orientado a proveer a los ingenieros civiles estructurales de procedimientos y prácticas para la ingeniería estructural en el área Minera e Industrial.

Este procedimiento tiene carácter general, por lo tanto, contiene estándares mínimos y en algunos casos no detallados, según las condiciones geotécnicas, sísmicas, estructurales, disposiciones de equipos, instalaciones y características de cada proyecto en particular.

Estos documentos no tienen carácter normativo, de criterios de diseño o especificaciones, por lo que su aplicación es un complemento a las disposiciones definidas en cada proyecto.

Este procedimiento de diseño ha sido elaborado por el Comité Técnico de Minería e Industrias de AICE y solo puede ser modificado por este.

	ASOCIACIÓN DE INGENIEROS CIVILES ESTRUCTURALES	PROCEDIMIENTO DE DISEÑO <b>ESTANQUES ATMOSFÉRICOS DE ACERO APOYADOS EN EL SUELO</b>	
		AICE-PRC-001-0	Página 4 de 35

## ÍNDICE

CONTENIDO	PÁGINA
1. ALCANCE Y CAMPO DE APLICACIÓN .....	6
2. DEFINICIONES.....	8
3. SIMBOLOGÍA .....	9
4. NORMAS Y DOCUMENTOS DE REFERENCIA.....	10
4.1 Normas Nacionales .....	10
4.2 Normas Internacionales .....	10
4.3 Publicaciones.....	12
5. BASES DE DISEÑO.....	13
5.1 Metodología de Cálculo.....	13
5.2 Coeficiente de Importancia.....	14
5.3 Estudios Geotécnicos .....	15
5.4 Estudios Sísmicos.....	15
5.5 Unidades .....	16
6. ESTADOS DE CARGAS .....	16
6.1 Peso Propio (PP) .....	16
6.2 Empujes de Terreno en Fundaciones (TE).....	16
6.3 Sobrecarga de Techo (SC) .....	17
6.4 Carga de Viento (V).....	17
6.5 Carga de Nieve (N) .....	17
6.6 Carga de Sismo (S) .....	17
6.7 Cargas de Operación (OP).....	20
6.8 Presiones Hidrostáticas (PE) .....	21
6.9 Presiones Hidrodinámicas (PH) .....	21
6.10 Combinaciones de Cargas.....	22
6.11 Solicitaciones Sísmicas .....	23
7. DISEÑO.....	25
7.1 Manto.....	26

	ASOCIACIÓN DE INGENIEROS CIVILES ESTRUCTURALES	<b>PROCEDIMIENTO DE DISEÑO</b>	
		<b>ESTANQUES ATMOSFÉRICOS DE ACERO APOYADOS EN EL SUELO</b>	
		AICE-PRC-001-0	Página 5 de 35

<b>7.2</b>	<b>Techo.....</b>	<b>27</b>
<b>7.3</b>	<b>Fundaciones.....</b>	<b>27</b>
<b>7.4</b>	<b>Sistemas de Anclajes.....</b>	<b>28</b>
<b>7.5</b>	<b>Deformaciones Sísmicas .....</b>	<b>31</b>
<b>7.6</b>	<b>Ola Sísmica.....</b>	<b>31</b>
<b>7.7</b>	<b>Plataformas .....</b>	<b>33</b>
<b>7.8</b>	<b>Escaleras.....</b>	<b>33</b>
<b>7.9</b>	<b>Recomendaciones Generales.....</b>	<b>34</b>

	<b>ASOCIACIÓN DE INGENIEROS CIVILES ESTRUCTURALES</b>	<b>PROCEDIMIENTO DE DISEÑO</b>	
		<b>ESTANQUES ATMOSFÉRICOS DE ACERO APOYADOS EN EL SUELO</b>	
		<b>AICE-PRC-001-0</b>	<b>Página 6 de 35</b>

## **1. ALCANCE Y CAMPO DE APLICACIÓN**

Este procedimiento se aplica al diseño estructural de estanques atmosféricos de acero apoyados en el suelo, orientado a proyectos mineros, industriales y otras instalaciones que requieran el uso de este tipo de estanques.

Las metodologías de diseño, estados de cargas y combinaciones que no estén explícitas en este procedimiento, deben ser definidas por el ingeniero estructural para su posterior aprobación por parte del proyecto y el cliente. Esta será concedida sin perjuicio de la responsabilidad correspondiente del ingeniero estructural.

El diseño de los estanques debe concluir con la entrega de a lo menos la siguiente información:

- Planos con todas las vistas y detalles del estanque y sus componentes.
- Planos de formas y armaduras para las fundaciones de hormigón armado.
- Planos de diseño y detalles para acero estructural.
- Planos de insertos, pernos de anclaje, llaves de corte u otro dispositivo de transferencia de corte sísmico basal.
- Resistencia especificada del hormigón.
- Tensión de fluencia del acero estructural y pernos de anclaje.
- Códigos de diseño u otras referencias utilizadas.
- Capacidad del estanque y estados de cargas aplicados en el diseño.

Este procedimiento se refiere a estanques cilíndricos de eje vertical que comúnmente tienen diámetros de 3 a 25m y altura variable de 3 a 16m, apoyados directamente en el suelo con planchas de acero en el fondo. Estos valores se basan en la información de las normas extranjeras citadas en el capítulo 4.0 de este procedimiento de diseño y en las instalaciones existentes de la industria petroquímica.

El techo puede ser fijo ligeramente cónico de planchas de acero o flotante sobre el líquido contenido.



Estanques de Almacenamiento



Estanque Anclado



Pandeo tipo "Pata de Elefante"

	ASOCIACIÓN DE INGENIEROS CIVILES ESTRUCTURALES	PROCEDIMIENTO DE DISEÑO <b>ESTANQUES ATMOSFÉRICOS DE ACERO APOYADOS EN EL SUELO</b>	
		AICE-PRC-001-0	Página 8 de 35

## 2. DEFINICIONES

**Masa Impulsiva.** Se comporta como si estuviera unida rígidamente a la pared del estanque, por esto, se suma directamente a la masa de dichas paredes y el techo en los cálculos dinámicos.

**Masa Convectiva.** El fluido oscila con un período natural cuya masa se considera como parte de un oscilador de un grado de libertad conectado a la pared del estanque a través de un resorte (ficticio), cuya rigidez es igual al producto de la masa convectiva por el cuadrado de la frecuencia natural de las ondas.

**Presión Impulsiva.** Es producto del movimiento horizontal del estanque, generada por la masa impulsiva que llega hasta la altura en donde se comienzan a producir las olas. Debido a su confinamiento esta masa tiene una respuesta de períodos cortos con niveles de amortiguamiento del orden de 2 a 5%.

**Presión Convectiva.** Se debe al movimiento de la masa convectiva del líquido que produce las olas superficiales generadas durante el movimiento (Sloshing). Dicha masa tiene una respuesta de períodos largos sobre varios segundos, con amortiguamiento cercano a 0.5% y permite determinar la altura de la ola sísmica.

	<b>ASOCIACIÓN DE INGENIEROS CIVILES ESTRUCTURALES</b>	<b>PROCEDIMIENTO DE DISEÑO</b>	
		<b>ESTANQUES ATMOSFÉRICOS DE ACERO APOYADOS EN EL SUELO</b>	
		<b>AICE-PRC-001-0</b>	<b>Página 9 de 35</b>

### 3. SIMBOLOGÍA

- D : Diámetro nominal del estanque, en m.
- E : Módulo de elasticidad del material del estanque, en MPa.
- H : Altura máxima del líquido almacenado, en m.
- I : Coeficiente de Importancia.
- K : Coeficiente de ajuste para la aceleración espectral para 0.5 a 5% de amortiguamiento, valor igual a 1.5.
- $C_i$  : Coeficiente para determinar el período impulsivo del estanque.
- $S_{D1}$  : Parámetro de respuesta para la aceleración espectral, para períodos largos (sobre 1 segundo).
- $S_{DS}$  : Parámetro de respuesta para la aceleración espectral, para períodos cortos (cercano a 2 segundos).
- $T_i$  : Período natural de vibración para el modo impulsivo, en segundos.
- $T_c$  : Período natural de vibración para el modo convectivo, en segundos.
- $T_L$  : Valor representativo de la zona para períodos largos, en segundos.
- $T'$  : Parámetro que depende del tipo de suelo, tabla 5.4, NCh2369.Of2003.
- n : Parámetro que depende del tipo de suelo, tabla 5.4, NCh2369.Of2003.
- $t_u$  : Espesor promedio del manto del estanque, en mm.
- $\rho$  : Densidad de masa del líquido almacenado, en  $\text{kg/m}^3$ .

	<b>ASOCIACIÓN DE INGENIEROS CIVILES ESTRUCTURALES</b>	<b>PROCEDIMIENTO DE DISEÑO</b>	
		<b>ESTANQUES ATMOSFÉRICOS DE ACERO APOYADOS EN EL SUELO</b>	
		<b>AICE-PRC-001-0</b>	<b>Página 10 de 35</b>

#### **4. NORMAS Y DOCUMENTOS DE REFERENCIA**

Los diseños se deben realizar con la última revisión de los documentos listados a continuación, los que forman parte de este Procedimiento de Diseño. Si existieran contradicciones entre estos documentos se aplicará el que resulte más restrictivo.

##### **4.1 Normas Nacionales**

- NCh431.Of2010: Diseño estructural – cargas de Nieve.
- NCh432.Of2010: Diseño estructural – cargas de Viento.
- NCh1537.Of2009: Diseño estructural – cargas permanentes y cargas de uso.
- NCh2369.Of2003: Diseño sísmico de estructuras e instalaciones industriales.
- NCh3171.Of2010: Diseño estructural – Disposiciones generales y combinaciones de cargas.
- NCh170.Of85 Hormigón – Requisitos generales.
- NCh203.Of2006 Acero para uso estructural – Requisitos.
- NCh204.Of2006 Acero – barras laminadas en caliente para hormigón armado.
- NCh211.Of70 Barras con resaltes en obras de hormigón armado.
- NCh428.Of1957 Ejecución de construcciones de acero.

##### **4.2 Normas Internacionales**

- API Standard 650. Welded Tanks for Oil Storage. American Petroleum Institute, Twelfth Edition, March 2013. Addendum 1: September 2014.
- AWWA Standard. Welded Carbon Steel Tanks for Water Storage. 2011 American Water Works Association, ANSI/AWWA D100-11, revision of ANSI/AWWA D100-11.
- Seismic Design of Storage Tanks, 2009: Recommendations Of a Study Group Of The New Zealand Society For Earthquake Engineering.
- ASCE 7-2010. Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures.

	<b>ASOCIACIÓN DE INGENIEROS CIVILES ESTRUCTURALES</b>	<b>PROCEDIMIENTO DE DISEÑO</b>	
		<b>ESTANQUES ATMOSFÉRICOS DE ACERO APOYADOS EN EL SUELO</b>	
		<b>AICE-PRC-001-0</b>	<b>Página 11 de 35</b>

- ACI 207.2R-95. Effect of Restraint, Volume Change and Reinforcement on Cracking of Mass Concrete.
- ACI 224R-01. Control of Cracking in Concrete Structures.
- ACI 224.1R-93. Causes, Evaluation and Repair of Cracks in Concrete Structures.
- ACI 224.2R-92. Cracking of Concrete Members in Direct Tension.
- ACI 224.3R-95. Joints in Concrete Construction.
- ACI 318-05. Building code Requirements for Structural Concrete and Commentary.
- ACI 350. Code Requirements for Environmental Engineering Concrete Structures and Commentary.
- ACI 350.3. Seismic Design of Liquid-Containing Concrete Structures.
- ACI 371R-98 Guide for the Analysis, Design and Construction of Concrete-Pedestal Water Towers.
- AISC 2005. Specification for Structural Steel Building. ASD and LRFD.
- AISI 1996. Specification for the Design of Cold Formed Steel Structural Members.
- ASME STS-1 Steel Stacks.
- AWS D1.1 2004. Structural Welding Code – Steel.
- ASTM A36. Standard Specification for Carbon Structural Steel.
- ASTM A307. Standard Specification for Carbon Steel Bolts and Studs, 60000 PSI Tensile Strength.
- ASTM A325. Standard Specification for Structural Bolts, Steel, Heat Treated, 120/105 ksi Minimum Tensile Strength.
- ASTM A325M. Standard Specification for High-Strength Bolts for Structural Steel Joints (Metric).

	ASOCIACIÓN DE INGENIEROS CIVILES ESTRUCTURALES	PROCEDIMIENTO DE DISEÑO	
		<b>ESTANQUES ATMOSFÉRICOS DE ACERO APOYADOS EN EL SUELO</b>	
		AICE-PRC-001-0	Página 12 de 35

- ASTM A500. Standard Specification for Cold-Formed Welded and Seamless Carbon Steel Structural Tubing in Rounds and Shapes.
- IBC 2006. International Building Code.
- BS 1966. Domed Ends for Tanks and Pressure Vessels.

### 4.3 Publicaciones

- Pineda P, Saragoni R, Arze E, “Performance of Steel Tanks in Chile 2010 and 1985 Earthquakes”, Proceedings of the 7th International Conference on Behaviour of Steel Structures in Seismic Areas, Santiago, Chile, pp. 337-342, 9-11, 2012.
- Housner G, “The dynamic behaviour of water tank”, Bulletin of the Seismological Society of America, vol. 53(2), 381-87, 1963.
- Clough D, “Experimental Evaluation of Seismic Design Methods for Broad Cylindrical Tanks”, Earthquake Engineering Research Center, Report to the Sponsor Administrator: Chevron Oil Field Research Company, Report NO. UCB/EERC-77/10, College of Engineering, University of California – Berkeley, California, 1977.
- Rinne J E, “Oil Storage Tanks”, in volume II-A: The Prince William Sound, Alaska earthquake of 1964 and Aftershocks, Environmental Science Services Administration, U.S. Coast and Geodetic Survey, Washington: Government Printing Office, pp. 245-252, 1967.
- Cooper T W, “A Study of the Performance of Petroleum Storage Tanks During Earthquakes, 1933-1995”, NIST GCR 97-720, United States Department of Commerce Technology Administration, National Institute of Standards and Technology, 1997.
- Zama S, Nishi H, Hatayama K, Yamada M, Yoshihara H, Ogawa Y. “On Damage of Oil Storage Tanks due to the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake (Mw9.0), Japan”, 15th World Conference on Earthquake Engineering, Lisboa – Portugal, 2012.

	<b>ASOCIACIÓN DE INGENIEROS CIVILES ESTRUCTURALES</b>	<b>PROCEDIMIENTO DE DISEÑO</b>	
		<b>ESTANQUES ATMOSFÉRICOS DE ACERO APOYADOS EN EL SUELO</b>	
		<b>AICE-PRC-001-0</b>	<b>Página 13 de 35</b>

## 5. BASES DE DISEÑO

### 5.1 Metodología de Cálculo

- Este procedimiento aborda el diseño de estanques de acero desde el punto de vista civil-estructural, por lo que se indican fórmulas para estimar el diseño de sus partes, tales como el manto, techo, fondo, dispositivos de traspaso de esfuerzos de corte sísmico (anclajes, llaves de corte, etc.), plataformas de operación y mantenimiento, escaleras, pretilas y fundaciones.
- En el análisis y diseño sísmico de los estanques, se deberán aplicar las disposiciones de la Norma Chilena NCh2369.Of2003 tal como indica el párrafo 11.8, respecto los parámetros de diseño y el uso de normas según el contenido almacenado, tal como se indica a continuación:
  - API 650-E:           Petróleo y derivados
  - AWWA D-100:        Agua
  - NZSEE 2009:        Cualquier tipo de líquido
- Una vez calculadas las fuerzas sísmicas, el diseño se efectúa según la norma adoptada entre las que se indican anteriormente. Se debe evitar mezclar disposiciones de normas diferentes.
- Para el modelo de análisis se debe considerar la acción del líquido almacenado con la respuesta impulsiva, convectiva y vertical, de acuerdo a la descripción de los párrafos siguientes. Los métodos más utilizados se basan en el Modelo de Housner, sistema masa resorte.
- Los efectos de amortiguamiento por radiación en la fundación reducen la respuesta ante un sismo, obteniendo niveles de amortiguamiento de hasta 20-30% menores.
- En los casos que corresponda, los esfuerzos y deformaciones modales se deben superponer según el criterio especificado en la norma de diseño utilizada.

	<b>ASOCIACIÓN DE INGENIEROS CIVILES ESTRUCTURALES</b>	<b>PROCEDIMIENTO DE DISEÑO</b> <b>ESTANQUES ATMOSFÉRICOS DE ACERO APOYADOS EN EL SUELO</b>	
		<b>AICE-PRC-001-0</b>	<b>Página 14 de 35</b>

- La respuesta amplificada del estanque debido a las aceleraciones verticales de la base no contribuye al corte basal, pero afecta a las tensiones en el manto del estanque.
- Si se efectúa un análisis suelo-estructura se deben considerar los siguientes aspectos en la modelación:
  - o Los estanques deben disponer de fundaciones de hormigón armado conformadas por anillos, losas o tipos similares apoyadas en el suelo.
  - o Los estanques deben estar debidamente anclados, cumpliendo con las disposiciones del párrafo 8.4 de este procedimiento de diseño.
  - o El esfuerzo de corte basal y momento volcante para el modo impulsivo, no deben ser menores que el 80% de los valores obtenidos del análisis sin considerar la interacción suelo-estructura.
- Los efectos de la respuesta vertical proveniente de las fuerzas sísmicas deben considerarse en los siguientes aspectos:
  - o Tensiones de diseño del manto, en especial en la compresión.
  - o Diseño de anclajes.
  - o Componentes de las conexiones del techo.
  - o Deslizamiento.
  - o Diseño de fundaciones.

## **5.2 Coeficiente de Importancia**

El valor del coeficiente de importancia que se aplicará en el análisis, debe ser definido por la disciplina de procesos en conjunto con el cliente. De no contar con un valor específico, se

recomienda utilizar los criterios que se proponen las normas más utilizadas para el diseño de estanques y que se indican a continuación:

<b>Código de Diseño</b>	<b>Categoría</b>	<b>Coefficiente de Importancia</b>
NCh2369 (10)	C1	1,20
	C2	1,0
	C3	0,8
API 650 (24) ACI 350.3 (19)	C1	1,5
	C2	1,25
	C3	1,0

**Categoría C1** Obras Críticas, fallas prolongadas y pérdidas importantes en la producción.

**Categoría C2** Obras Normales, fallas menores no causan detenciones prolongadas ni pérdidas importantes en la producción.

**Categoría C3** Obras y Equipos Menores, fallas menores no causan detenciones prolongadas ni hay peligro en obras de categorías 1 y 2.

Los valores propuestos se han uniformado de acuerdo a criterios generales según su categoría.

### **5.3 Estudios Geotécnicos**

El ingeniero estructural deberá solicitar estudios/análisis que descarten la ocurrencia de amplificación dinámica y potencial riesgo de licuación de suelos, los que estarán respaldados por un especialista geotécnico, además de los perfiles geofísicos correspondientes.

Además del estudio geotécnico general para las instalaciones, se deben solicitar estudios específicos para las zonas en donde se ubicaran los estanques, no es recomendable utilizar extrapolaciones de valores para el diseño, tales como parámetros del suelo, control de asentamientos, etc.

### **5.4 Estudios Sísmicos**

	<b>ASOCIACIÓN DE INGENIEROS CIVILES ESTRUCTURALES</b>	<b>PROCEDIMIENTO DE DISEÑO</b>	
		<b>ESTANQUES ATMOSFÉRICOS DE ACERO APOYADOS EN EL SUELO</b>	
		<b>AICE-PRC-001-0</b>	<b>Página 16 de 35</b>

En caso de realizar análisis especiales, se deberán aplicar las disposiciones de la Norma Chilena NCh2369.Of2003, párrafo 5.8. Para esto se deberá solicitar un estudio de riesgo sísmico a un especialista aprobado por el cliente.

## **5.5 Unidades**

Se recomienda que todas las dimensiones sean dadas en el sistema métrico, preferentemente en milímetros. No es necesario abreviaciones (mm).

Para el acero estructural fabricado en Chile se debe utilizar la designación del Manual del Instituto Chileno del Acero (ICHA). Para el acero estructural fabricado en el extranjero se utilizará la denominación del país de origen (sic).

Se recomienda que los cálculos y análisis estructurales se hagan en el Sistema Métrico Técnico (fuerzas expresadas en kg o toneladas métricas y masas en unidades técnicas) o en el Sistema Internacional de unidades MKS (fuerzas expresadas en Newton o kN y masas en kg).

## **6. ESTADOS DE CARGAS**

### **6.1 Peso Propio (PP)**

Se deben considerar todos los componentes del estanque siendo a lo menos lo que se indica a continuación:

- Líquido almacenado.
- Manto.
- Techo.
- Plataformas y escaleras.
- Equipos.
- Accesorios tales como manholes, escapes de aire (ventosas), etc.

### **6.2 Empujes de Terreno en Fundaciones (TE)**

Corresponde a los empujes del suelo en las fundaciones de los estanques, este estado de carga solo se considera en las verificaciones de estabilidad global.

	<b>ASOCIACIÓN DE INGENIEROS CIVILES ESTRUCTURALES</b>	<b>PROCEDIMIENTO DE DISEÑO</b>	
		<b>ESTANQUES ATMOSFÉRICOS DE ACERO APOYADOS EN EL SUELO</b>	
		<b>AICE-PRC-001-0</b>	<b>Página 17 de 35</b>

### 6.3 Sobrecarga de Techo (SC)

Se debe considerar la sobrecarga mínima de techo que indica la Norma Chilena NCh1537, a menos que las condiciones de operación del proyecto especifiquen un valor diferente, en cuyo caso se aplicará el mayor valor.

$$q_{sc} = 100\text{kg/m}^2$$

Esta sobrecarga no considera el efecto de la nieve.

### 6.4 Carga de Viento (V)

Se deben aplicar las cargas según lo especificado por la Norma Chilena NCh432.

### 6.5 Carga de Nieve (N)

Debido a las condiciones climáticas extremas en que se encuentran algunas instalaciones mineras e industriales por su ubicación geográfica, se deben solicitar estudios (preparados por expertos) para la definición de las cargas de nieve específicos considerando que la Norma Chilena NCh431 no entrega soluciones reales para la determinación de estas cargas para condiciones extremas. En conjunto con los estudios solicitados se recomienda utilizar las especificaciones del código ASCE 7-10 en su capítulo 7 de Cargas de Nieve. En este procedimiento no se considera el efecto de avalanchas en el diseño.

### 6.6 Carga de Sismo (S)

Las masas, alturas hidrodinámicas y períodos de vibración asociados a los modos de las respuestas impulsivas y convectivas, se deben determinar de acuerdo a las Figuras 5.1 y 5.2 para estanques circulares que provienen de la norma API650 apéndice E. Los gráficos propuestos en las normas de diseño de estanques de acero provienen del método de Housner (1954). Para un análisis detallado de la interacción suelo-estructura la Norma Neozelandesa (2009) propone una metodología que considera este efecto:

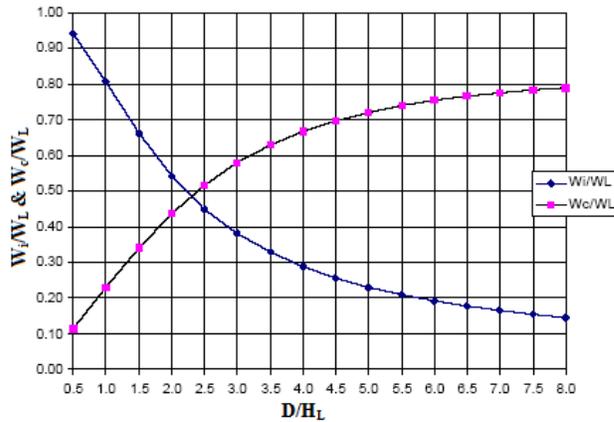


Figura 5.1 Factores de masas impulsiva ( $W_i/W_L$ ) y convectiva ( $W_c/W_L$ ) versus relación  $D/H_L$

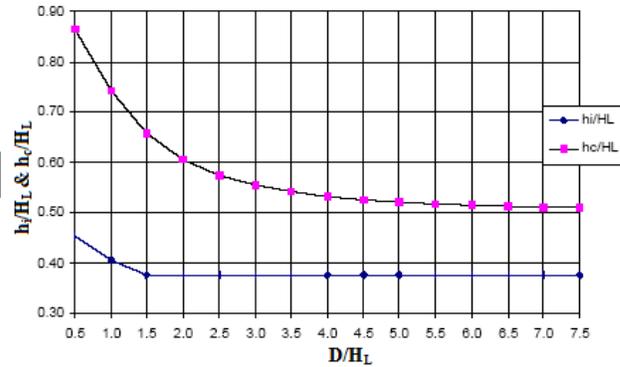


Figura 5.2 Factores de altura impulsiva ( $h_i/H_L$ ) y convectiva ( $h_c/H_L$ ) versus relación  $D/H_L$  (Valores en la base del manto)

De manera alternativa se pueden calcular las masas y alturas sísmicas con las fórmulas que se indican a continuación:

Masa impulsiva:

$$D/H \geq 1.33 \qquad D/H < 1.33$$

$$W_i = \frac{\tanh\left(0,866 \cdot \frac{D}{H}\right)}{0,866 \cdot \frac{D}{H}} \cdot W_p \qquad W_i = \left[1 - 0,218 \cdot \frac{D}{H}\right] \cdot W_p$$

Masa convectiva:

$$W_c = 0,230 \cdot \frac{D}{H} \cdot \tanh\left(3,67 \cdot \frac{H}{D}\right) \cdot W_p$$

Altura impulsiva:

$$D/H \geq 1.33 \qquad D/H < 1.33$$

$$h_i = 0,375 \cdot H \qquad h_i = \left(0,5 - 0,094 \cdot \frac{D}{H}\right) \cdot H$$

	ASOCIACIÓN DE INGENIEROS CIVILES ESTRUCTURALES	PROCEDIMIENTO DE DISEÑO <b>ESTANQUES ATMOSFÉRICOS DE ACERO APOYADOS EN EL SUELO</b>	
		AICE-PRC-001-0	Página 19 de 35

Altura convectiva:

$$h_c = \left( 1 - \frac{\cosh\left(3,67 \cdot \frac{H}{D}\right) - 1}{3,67 \cdot \frac{H}{D} \cdot \sinh\left(3,67 \cdot \frac{H}{D}\right)} \right) \cdot H$$

- Coeficiente sísmico del modo impulsivo, se debe obtener de la Tabla 5.7 de la Norma Chilena NCh2369.Of2003 considerando los siguientes parámetros de diseño:

Factor de modificación de la respuesta:  $R_i = 4$

Razón de amortiguamiento:  $\xi_i = 0,02$

Coeficiente Sísmico Impulsivo:  $C_i = 0,32$

- Coeficiente sísmico del modo convectivo, se debe calcular de acuerdo a la ecuación 5-2 indicada en la Norma Chilena NCh2369.Of2003, considerando los siguientes parámetros de diseño:

Factor de modificación de la respuesta:  $R_c = 1^{(*)}$

(\*) Este valor debe ser corregido en NCh2369.Of2003 (STESSA 2012).

Razón de amortiguamiento:  $\xi_c = 0,005$

Coeficiente Sísmico Convectivo:  $C_c = \frac{2,75 \cdot A_o}{g \cdot R} \cdot \left(\frac{T'}{T^*}\right)^n \cdot \left(\frac{0,05}{\xi}\right)^{0,4}$

En ningún caso este valor será menor que  $0,10A_o/g$ .

- El coeficiente sísmico vertical deberá ser igual a 2/3 del coeficiente sísmico del modo impulsivo:  $C_v = \frac{2}{3} \cdot C_i$

- Aceleración efectiva máxima del suelo  $A_o$ : se debe obtener de la Tabla 5.2 de la Norma Chilena NCh2369.Of2003 de acuerdo a la zona sísmica en donde esté ubicado el estanque.

- Período fundamental de vibración  $T^*$  en la dirección del análisis sísmico, valor que deberá calcularse a través de alguno de los métodos propuestos a continuación:

a. Disposiciones del Código API 650 (24)

Período de vibración para el modo impulsivo:

$$T_i = \sqrt{\frac{1}{2000}} \cdot \frac{C_i \cdot H}{\sqrt{\frac{t_u}{D}}} \cdot \left[ \frac{\sqrt{\rho}}{\sqrt{E}} \right]$$

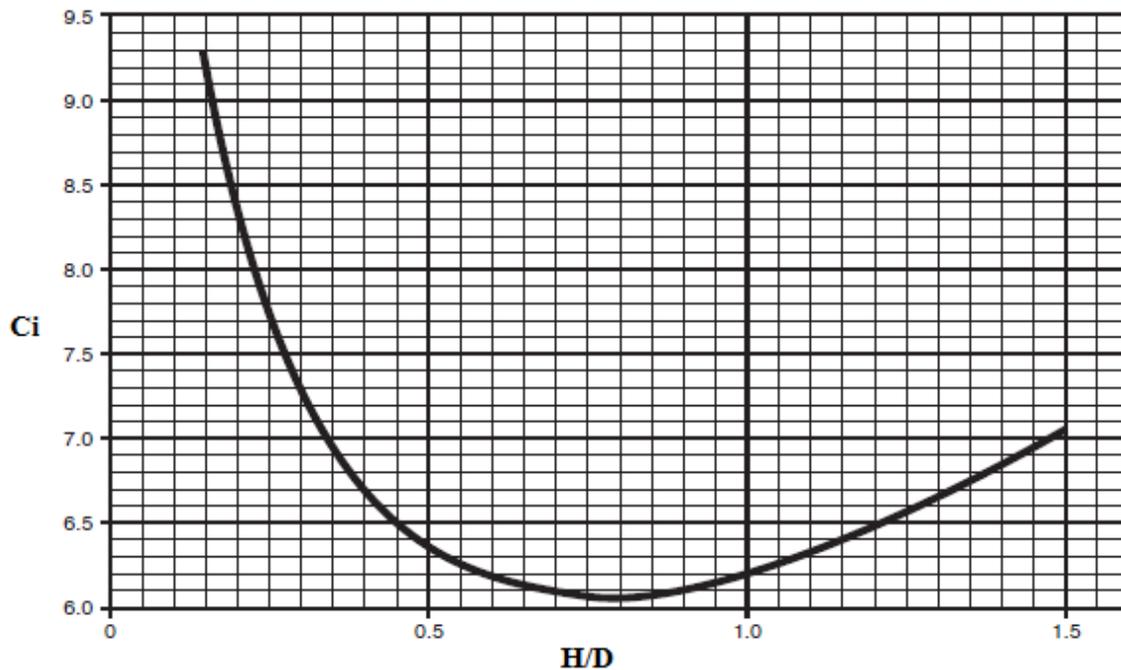


Figura 5.3 Coeficiente  $C_i$  (período impulsivo)

Período de vibración para el modo convectivo:

$$T_c = 1,8 \cdot K_s \cdot \sqrt{D}$$

$$K_s = \frac{0,578}{\sqrt{\tanh\left(\frac{3,68 \cdot H}{D}\right)}}$$

## 6.7 Cargas de Operación (OP)

Se considera el peso del líquido almacenado en estado estático de acción vertical.

### 6.8 Presiones Hidrostáticas (PE)

Se considera la presión estática que ejerce radialmente el líquido sobre el manto del estanque:

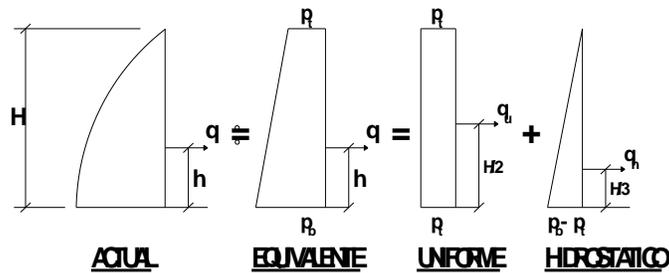
$$P_e = \gamma_L \cdot H$$

$P_e$  : Presión estática que ejerce el líquido almacenado sobre las paredes del estanque.

$\gamma_L$  : Peso específico del líquido almacenado.

### 6.9 Presiones Hidrodinámicas (PH)

Para el cálculo de las presiones hidrodinámicas se debe emplear los criterios de la norma NZS Seismic Design of Storage Tanks – 1986, de acuerdo a los siguientes criterios:



Efecto Impulsivo:

$$Q_i = \frac{1}{2} \cdot (p_{bi} + p_{ti}) \cdot H$$

$$M_i = \frac{1}{2} \cdot p_{ti} \cdot H^2 + \frac{1}{6} \cdot (p_{bi} - p_{ti}) \cdot H^2$$

$$p_{bi} = \frac{4 \cdot Q_i}{H} - \frac{6 \cdot M_i}{H^2}$$

$$p_{tc} = \frac{6 \cdot M_i}{H^2} - \frac{4 \cdot Q_i}{H}$$

$Q_i$  : Esfuerzo de corte impulsivo.

$M_i$  : Momento volcante impulsivo.

	ASOCIACIÓN DE INGENIEROS CIVILES ESTRUCTURALES	PROCEDIMIENTO DE DISEÑO <b>ESTANQUES ATMOSFÉRICOS DE ACERO APOYADOS EN EL SUELO</b>	
		AICE-PRC-001-0	Página 22 de 35

$p_{bi}$  : Presión impulsiva en el fondo del estanque.

$p_{ti}$  : Presión impulsiva en la superficie del estanque.

Efecto Convectivo:

$$Q_c = \frac{1}{2} \cdot (p_{bc} + p_{tc}) \cdot H$$

$$M_c = \frac{1}{2} \cdot p_{tc} \cdot H^2 + \frac{1}{6} \cdot (p_{bc} - p_{tc}) \cdot H^2$$

$$p_{bc} = \frac{4 \cdot Q_c}{H} - \frac{6 \cdot M_c}{H^2}$$

$$p_{tc} = \frac{6 \cdot M_c}{H^2} - \frac{4 \cdot Q_c}{H}$$

$Q_c$  : Esfuerzo de corte convectivo.

$M_c$  : Momento volcante convectivo.

$p_{bc}$  : Presión convectiva en el fondo del estanque.

$p_{tc}$  : Presión convectiva en la superficie del estanque.

$$Q_i = C_i \cdot m_i$$

$$Q_c = C_c \cdot m_c$$

Efecto Vertical:

$$p_v = C_v \cdot \gamma_L \cdot H$$

$p_v$ : Presión vertical sísmica.

## 6.10 Combinaciones de Cargas

Diseño del Manto (Método ASD) y Verificaciones de Estabilidad

	ASOCIACIÓN DE INGENIEROS CIVILES ESTRUCTURALES	PROCEDIMIENTO DE DISEÑO <b>ESTANQUES ATMOSFÉRICOS DE ACERO APOYADOS EN EL SUELO</b>	
		AICE-PRC-001-0	Página 23 de 35

Combinación 1:	PP + OP + PE + TE	(normal)
Combinación 2:	PP + OP + PE + TE + SC	(eventual)
Combinación 3:	PP + OP + PE + TE + N	(eventual)
Combinación 4:	PP + OP + PE + TE + V	(eventual)
Combinación 5:	PP + OP + PE + TE + 0,7x(S + PH)	(eventual)
Combinación 6:	PP + OP + PE + TE + 0,75x(SC + V)	(eventual)
Combinación 7:	PP + OP + PE + TE + 0,75x(SC + N)	(eventual)
Combinación 8:	PP + OP + PE + TE + 0,53x(S + PH) + 0,75xSC	(eventual)
Combinación 9:	PP + OP + PE + TE + 0,53x(S + PH) + 0,75xN	(eventual)
Combinación 10:	PP + TE + V	(eventual)
Combinación 11:	PP + TE + S	(eventual)

#### Diseño de Fundaciones

Combinación 1:	$1,2x(PP + OP + PE) + 1,6xTE + 0,5xSC$	(eventual)
Combinación 2:	$1,2x(PP + OP + PE) + 1,6xTE + 0,5xN$	(eventual)
Combinación 3:	$1,2x(PP + OP + PE) + 1,6x(TE + SC) + 0,8x(S + PH)$	(eventual)
Combinación 4:	$1,2x(PP + OP + PE) + 1,6x(TE + N) + 0,8x(S + PH)$	(eventual)
Combinación 5:	$1,2x(PP + OP + PE) + 1,6x(TE + V) + 0,5xSC$	(eventual)
Combinación 6:	$1,2x(PP + OP + PE) + 1,6x(TE + V) + 0,5xN$	(eventual)
Combinación 7:	$1,2x(PP + OP + PE) + 0,2xN + 1,0x(S + PH)$	(eventual)
Combinación 8:	$0,9x(PP + OP + PE) + 1,6x(TE + V)$	(eventual)
Combinación 9:	$0,9x(PP + OP + PE) + 1,6xTE + 1,0x(S + PH)$	(eventual)

### 6.11 Solicitaciones Sísmicas

a) Esfuerzo de Corte

	<b>ASOCIACIÓN DE INGENIEROS CIVILES ESTRUCTURALES</b>	<b>PROCEDIMIENTO DE DISEÑO</b>	
		<b>ESTANQUES ATMOSFÉRICOS DE ACERO APOYADOS EN EL SUELO</b>	
		<b>AICE-PRC-001-0</b>	<b>Página 24 de 35</b>

El esfuerzo de corte basal de diseño se debe calcular de acuerdo a la fórmula especificada en el capítulo 5 de la Norma Chilena NCh2369, el cual no debe ser inferior al que resulta de aplicar las disposiciones del párrafo 4.1.1.8 de este documento.

$$Q_o = C_i \cdot I \cdot (P_i + P_m + P_t) + C_c \cdot I \cdot P_c$$

Siendo:

$Q_o$  : Esfuerzo de corte basal total, en ton.

$C_i$  : Coeficiente sísmico impulsivo.

$C_c$  : Coeficiente sísmico convectivo.

$P_i$  : Peso de la masa impulsiva de líquido, en ton.

$P_c$  : Peso de la masa convectiva de líquido, en ton.

$P_m$  : Peso del manto del estanque, en ton.

$P_t$  : Peso del techo del estanque, en toneladas.

$I$  : Coeficiente de importancia, definido en párrafo 1.6 de este Criterio de Diseño.

b) Momento Volcante

El momento volcante de diseño se debe calcular de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$M_o = C_i \cdot I \cdot (P_i \cdot h_i + P_m \cdot h_m + P_t \cdot h_t) + C_c \cdot I \cdot P_c \cdot h_c$$

Siendo:

$h_i$  : Altura de la masa impulsiva de líquido, en m.

$h_c$  : Altura de la masa convectiva de líquido, en m.

$h_m$  : Centro de gravedad del manto, en m.

$h_t$  : Centro de gravedad del techo, en m.

c) Esfuerzos de Diseño

	<b>ASOCIACIÓN DE INGENIEROS CIVILES ESTRUCTURALES</b>	<b>PROCEDIMIENTO DE DISEÑO</b>	
		<b>ESTANQUES ATMOSFÉRICOS DE ACERO APOYADOS EN EL SUELO</b>	
		<b>AICE-PRC-001-0</b>	<b>Página 25 de 35</b>

Para determinar la respuesta resultante total del estanque se deben combinar las máximas respuestas espectrales en cada dirección, correspondientes a los modos Impulsivo, Convectivo y Vertical aplicando el Método de la Raíz Cuadrada de la Suma de los Cuadrados (SRSS).

$$Q_s = \sqrt{Q_i^2 + Q_c^2}$$

$$M_s = \sqrt{M_i^2 + M_c^2}$$

$$p_s = \sqrt{p_i^2 + p_c^2 + p_v^2}$$

Siendo:

$Q_s$  : Esfuerzo de corte basal total, en ton.

$Q_i$  : Esfuerzo de corte correspondiente a la masa impulsiva, en ton.

$Q_c$  : Esfuerzo de corte correspondiente a la masa convectiva, en ton.

$M_s$  : Momento volcante total, en ton-m.

$M_i$  : Momento volcante correspondiente a la masa impulsiva, en ton-m.

$M_c$  : Momento volcante correspondiente a la masa convectiva, en ton-m.

$p_s$  : Presión total, en ton/m<sup>2</sup>.

$p_i$  : Presión impulsiva, en ton/m<sup>2</sup>.

$p_c$  : Presión convectiva, en ton/m<sup>2</sup>.

$p_v$  : Presión vertical, en ton/m<sup>2</sup>.

## 7. DISEÑO

	ASOCIACIÓN DE INGENIEROS CIVILES ESTRUCTURALES	PROCEDIMIENTO DE DISEÑO <b>ESTANQUES ATMOSFÉRICOS DE ACERO APOYADOS EN EL SUELO</b>	
		AICE-PRC-001-0	Página 26 de 35

## 7.1 Manto

De acuerdo a lo especificado por R. Saragoni en el Criterio de Diseño CD-7/94 preparado para Codelco, con el fin de prevenir el pandeo del manto o colapso elasto-plástico (Pata de Elefante) en la primera hilada inferior de planchas, las tensiones admisibles se deben calcular de acuerdo a las siguientes fórmulas:

$$F = 0,908 \cdot \alpha \cdot E \cdot \frac{t}{D} < 0,375 \cdot F_y$$

$$\text{Para: } \alpha = \frac{0,83}{\sqrt{1 + 0,005 \cdot \frac{D}{t}}} \quad \text{si } \frac{D}{t} < 424 \qquad \alpha = \frac{0,70}{\sqrt{0,1 + 0,005 \cdot \frac{D}{t}}} \quad \text{si } \frac{D}{t} \geq 424$$

Siendo:

F : Tensión admisible de compresión por flexión, en kg/cm<sup>2</sup>.

E : Módulo de elasticidad del acero, en kg/cm<sup>2</sup>.

t : Espesor de la hilada inferior del manto, en m.

D : Diámetro del estanque, en m.

F<sub>y</sub> : Módulo de elasticidad del acero, en kg/cm<sup>2</sup>.

Si:  $\frac{D}{t} < 2,422 \cdot \alpha \cdot \frac{E}{F_y} \rightarrow$  la falla corresponde a un pandeo inelástico.

Para prevenir este efecto, la tensión admisible F debe ser calculada considerando una variación lineal entre:

$$0,375 \cdot F_y \leq F \leq 0,60 \cdot F_y$$

Dentro del rango:  $0 \leq \frac{D}{t} \leq 2,422 \cdot \alpha \cdot \frac{E}{F_y}$

Cuando se presente la condición:  $400 \leq D/t \leq 2000$ , se debe aplicar:

$$F = 0,20 \cdot E \cdot \frac{t}{D} < 0,375 \cdot F_y$$

Considerando una variación lineal de la tensión admisible F como se indica:

	<b>ASOCIACIÓN DE INGENIEROS CIVILES ESTRUCTURALES</b>	<b>PROCEDIMIENTO DE DISEÑO</b>	
		<b>ESTANQUES ATMOSFÉRICOS DE ACERO APOYADOS EN EL SUELO</b>	
		<b>AICE-PRC-001-0</b>	<b>Página 27 de 35</b>

$$0,375 \cdot F_y \leq F \leq 0,60 \cdot F_y$$

Dentro del rango:  $0 \leq \frac{D}{t} \leq 0,534 \cdot \frac{E}{F_y}$

Durante el proceso de fabricación de las planchas del manto se debe mantener un estricto control de las deformaciones e imperfecciones, este efecto se puede considerar con las correcciones indicadas en la norma Neozelandesa para el diseño de estanques de acero.

Se deberán aplicar los códigos de diseño especificados en la Norma Chilena NCh2369.Of2003 y que se indican en el capítulo 4 de este procedimiento.

La oficina de proyectos encargada del diseño de los estanques deberá efectuar un análisis comparativo, considerando las indicaciones de este subtema, debiendo aplicar los valores más conservadores de las tensiones admisibles para el diseño, según el tipo de líquido almacenado.

## 7.2 Techo

El diseño del techo se debe realizar con las presiones producidas por la ola convectiva, por efecto del movimiento lateral de estanque ante las fuerzas sísmicas.

Se indica la metodología que propone la norma Neozelandesa (41) para este efecto:

$$p_r = p_b + c_s \cdot u^2 \cdot \frac{\gamma_L}{2 \cdot g} \quad p_b = \gamma_L \cdot h_r \quad u = \frac{2 \cdot \pi}{T_1} \cdot d_{\max}$$

Siendo:

$p_r$  : Presión total en el techo, en ton/m<sup>2</sup>.

$c_s$  : Coeficiente de impacto de la ola, se debe considerar el valor 5,0.

$u$  : Velocidad de las partículas de la ola, en m/seg<sup>2</sup>.

$\gamma_L$  : Peso específico del líquido almacenado, en ton/m<sup>3</sup>.

$g$  : Aceleración de gravedad, en m/seg<sup>2</sup>.

$p_b$  : Presión boyante en el techo, en ton.

$h_r$  : Altura proyectada de la ola sobre la revancha, en m.

## 7.3 Fundaciones

	<b>ASOCIACIÓN DE INGENIEROS CIVILES ESTRUCTURALES</b>	<b>PROCEDIMIENTO DE DISEÑO</b>	
		<b>ESTANQUES ATMOSFÉRICOS DE ACERO APOYADOS EN EL SUELO</b>	
		<b>AICE-PRC-001-0</b>	<b>Página 28 de 35</b>

El tipo de fundación a usar dependerá de tanto del tipo de suelo como de la base del estanque, de acuerdo a lo siguiente:

- Base anclada: con pernos de anclaje de acuerdo a lo indicado en el párrafo 7.4.
- Base libre, sin pernos de anclaje: con base de ripio compactado (de acuerdo a lo especificado en el Estudio de Mecánica de Suelos de cada proyecto) bajo las planchas de fondo.

En casos puntuales en que la resistencia del suelo a la compresión sea muy baja, se requiere losa de fundación bajo las planchas de fondo y eventualmente apoyadas sobre pilotes.

En estanques no anclados se debe dar al fondo una inclinación cónica de 1% como mínimo para reducir el riesgo de deslizamiento horizontal.

La calidad de los materiales que componen el sistema de fundación, tanto los pernos de anclaje, topes sísmicos, planchas para las sillas y llaves de corte, como el grado del hormigón armado, deben cumplir con las disposiciones del Criterio de Diseño de cada proyecto además de lo especificado en la Norma Chilena NCh2369.Of2003.

Para los tipos de fundaciones se recomienda aplicar las consideraciones que se entregan en las normas y capítulos que se indican a continuación:

- API 650 : Apéndice B
- AWWA D100 : Capítulo 12
- NZS 1986 : Capítulos 6 y C6

#### **7.4 Sistemas de Anclajes**

La decisión de anclar o no el estanque se debe tomar en base a los criterios especificados en el código de diseño que se aplique (los más utilizados que son API 650, AWWA D100 y NZS 1986 entregan ecuaciones para determinar esta condición) en conjunto con el líder de la disciplina civil-estructural del proyecto. Para STESSA (Pineda, Saragoni y Arze, 2012) se investigaron las causas de las fallas concluyéndose que principalmente se deben a que estanques diseñados con API 650-E no estaban anclados.

En estanques de acero anclados de fondo plano, el diseño de los pernos de anclaje se debe hacer de modo que 1/3 del número total de pernos sean capaces de tomar el esfuerzo de corte sísmico total, a no ser que el sistema de anclaje considere un dispositivo que garantice que el 100% de los pernos sean activos para tomar el corte sísmico total. Se aceptará una

	<b>ASOCIACIÓN DE INGENIEROS CIVILES ESTRUCTURALES</b>	<b>PROCEDIMIENTO DE DISEÑO</b>	
		<b>ESTANQUES ATMOSFÉRICOS DE ACERO APOYADOS EN EL SUELO</b>	
		<b>AICE-PRC-001-0</b>	<b>Página 29 de 35</b>

distribución de esfuerzos de corte en los pernos siempre que se acompañe un análisis de respaldo justificado, en función de su variación por efecto de la relación D/H del estanque, el que deberá ser aprobado por el líder de la disciplina civil-estructural del proyecto.

En el diseño de las placas de corte no se debe considerar la resistencia del mortero de nivelación.

En el caso que se utilicen placas de corte se supondrán activas el 50% del total de ellas.

El diseño de los elementos de anclaje al corte no debe contemplar el roce entre la placa base y la fundación.

Se debe verificar la interferencia entre llaves de corte y pernos de anclaje debiendo ser intercalados como solución.

No se debe considerar la superposición de resistencia entre llaves de corte y pernos de anclaje.

Cuando el esfuerzo de corte sísmico transmitido a cada perno efectivo sea superior a 5ton, se debe usar placas de corte embebidas en la fundación o topes sísmicos diseñados para resistir el 100% del esfuerzo de corte sísmico basal.

Los pernos de anclaje deben sujetar el manto de acero a través de sillas de anclaje o por medio de un anillo de anclaje continuo reforzado.

El sistema de anclaje debe diseñarse de manera que los pernos fluyan antes que el manto.

En el diseño de los anclajes se debe verificar a lo menos los siguientes efectos:

- Tracción del anclaje.
- Corte del anclaje.
- Arrancamiento del hormigón por tracción del anclaje.
- Arrancamiento del hormigón por corte del anclaje.
- Extracción por deslizamiento del anclaje en tracción.
- Desprendimiento lateral del hormigón por tracción del anclaje.
- Desprendimiento del hormigón por cabeceo del anclaje por corte.

El diseño de los pernos debe considerar la ocurrencia simultánea de las tensiones por tracción y por cizalle según lo siguiente:

	<b>ASOCIACIÓN DE INGENIEROS CIVILES ESTRUCTURALES</b>	<b>PROCEDIMIENTO DE DISEÑO</b>	
		<b>ESTANQUES ATMOSFÉRICOS DE ACERO APOYADOS EN EL SUELO</b>	
		<b>AICE-PRC-001-0</b>	<b>Página 30 de 35</b>

$$\frac{N_{ua}}{\phi N_n} + \frac{V_{ua}}{\phi V_n} = 1,2$$

Siendo:

$N_{ua}$  : Fuerza mayorada de tracción aplicada a un anclaje o grupo de anclajes, en ton.

$\phi$  : Factor de reducción de resistencia.

$N_n$  : Resistencia nominal en tracción, en ton.

$V_{ua}$  : Fuerza de corte mayorada aplicada a un anclaje o grupo de anclajes, en ton.

$V_n$  : Resistencia nominal de corte, en ton.

El espaciamiento mínimo entre centros de anclajes debe ser:

- Para anclajes preinstalados no sometidos a torsión :  $4 \cdot d_0$
- Para anclajes preinstalados sometidos a torsión :  $6 \cdot d_0$

Siendo:

$d_0$  : Diámetro exterior de un anclaje o diámetro del fuste del perno con cabeza, en mm.

La distancia crítica al borde requerida para desarrollar la resistencia básica del hormigón al arrancamiento, para un anclaje post instalado en hormigón no figurado sin refuerzo suplementario para controlar el hendimiento debe ser:

- Para anclajes con sobre perforación en su base :  $2,5 \cdot h_{ef}$
- Para anclajes con torsión controlada :  $4 \cdot h_{ef}$
- Para anclajes con desplazamiento controlado :  $4 \cdot h_{ef}$

La profundidad efectiva de empotramiento del anclaje no debe exceder al mayor valor entre 2/3 del espesor del elemento o el espesor del elemento menos 100mm.

Los planos del proyecto deben especificar los anclajes con la distancia mínima al borde que se consideró en los diseños.

El calculista debe asegurar en el diseño la falla dúctil del acero de los anclajes, por lo que el acero deberá fallar antes que el hormigón a la falla cónica por tracción por efecto del reventón

	<b>ASOCIACIÓN DE INGENIEROS CIVILES ESTRUCTURALES</b>	<b>PROCEDIMIENTO DE DISEÑO</b>	
		<b>ESTANQUES ATMOSFÉRICOS DE ACERO APOYADOS EN EL SUELO</b>	
		<b>AICE-PRC-001-0</b>	<b>Página 31 de 35</b>

lateral. De no cumplirse alguna de estas condiciones se deberá colocar armaduras de refuerzo que intercepten los planos de agrietamientos potenciales.

### 7.5 Deformaciones Sísmicas

Con el fin de evitar daños o arrancamientos de los apoyos de equipos, cañerías, escaleras u otros elementos conectados a los estanques así como choques con estructuras adyacentes por efecto de las fuerzas sísmicas, las deformaciones se deben limitar de acuerdo a lo indicado en el capítulo 6 de la Norma Chilena NCh2369.Of2003.

### 7.6 Ola Sísmica

Con el fin de reducir el riesgo de derrames y prevenir daños en el techo y en la parte superior del manto del estanque, se debe dejar una revancha entre la superficie libre del líquido y la estructura del techo, la que deberá ser mayor que la altura de la ola del modo convectivo. Esta revancha se puede determinar según el procedimiento que se indica más adelante.

Se pueden emplear revanchas menores a las calculadas siempre y cuando se consideren las sub-presiones originadas por el contacto entre el líquido y el techo, con las que se deben diseñar el techo y sus conexiones con el resto de las estructuras.

Debido a que las olas producidas por el movimiento del líquido producen fuertes presiones que ocasionan pandeo en los anillos superiores, ruptura de planchas en el techo y fallas en las bases de las columnas, para evitar estos daños se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- No soldar las planchas del techo del estanque a las costaneras.
- Duplicar el diámetro normal de los escapes de aire (ventosas) en el techo.
- Diseñar las bases de las columnas con apoyos deslizantes en sentido vertical, para permitir el desplazamiento de las columnas sobre el fondo del estanque.

A continuación se indica un procedimiento (API 650 2012) para determinar la altura de la Ola Sísmica. Sin embargo, los valores obtenidos deberán ser aprobados por el líder de la disciplina civil-estructural del proyecto.

La altura de la revancha se puede estimar de acuerdo a lo siguiente:

$$\delta_s = 0,5 \cdot D \cdot a_f$$

Para SUG I y II:

$$\text{Para } T_c < 4\text{seg} : a_f = K \cdot S_{D1} \cdot I \cdot \left( \frac{I}{T_c} \right) = 2.5KQF_a S_o I \left( \frac{T_s}{T_c} \right)$$

$$\text{Para } T_c > 4\text{seg} : a_f = K \cdot S_{D1} \cdot I \cdot \left( \frac{4}{T_c^2} \right) = 2.5KQF_a S_o I \left( \frac{4T_s}{T_c^2} \right)$$

Para SUG III:

$$\text{Para } T_c < T_L : a_f = K \cdot S_{D1} \cdot \left( \frac{I}{T_c} \right) = 2.5KQF_a S_o \left( \frac{T_s}{T_c} \right)$$

$$\text{Para } T_c > T_L : a_f = K \cdot S_{D1} \cdot \left( \frac{T_L}{T_c^2} \right) = 2.5KQF_a S_o \left( \frac{T_s T_L}{T_c^2} \right)$$

Valores Mínimos para Revanchas

Valores de SDS	SUG I	SUG II	SUG III
SDS < 0,33·g	(a)	(a)	δ <sub>S</sub> (c)
SDS ≥ 0,33·g	(a)	0,7·δ <sub>S</sub> (b)	δ <sub>S</sub> (c)

- (a) Se recomienda una revancha de 0,7·δ<sub>S</sub> cuando no predomina el aspecto económico en el diseño.
- (b) Se recomienda una revancha de 0,7·δ<sub>S</sub> a menos que se cumpla alguna de las siguientes situaciones:
- Elementos secundarios contengan posibles derrames.
  - El techo y el manto sean diseñados para contener la acción de la masa convectiva.
- (c) Se recomienda una revancha de δ<sub>S</sub> a menos que se cumpla alguna de las siguientes situaciones:
- Elementos secundarios contengan posibles derrames.
  - El techo y el manto sean diseñados para contener la acción de la masa convectiva.

	<b>ASOCIACIÓN DE INGENIEROS CIVILES ESTRUCTURALES</b>	<b>PROCEDIMIENTO DE DISEÑO</b>	
		<b>ESTANQUES ATMOSFÉRICOS DE ACERO APOYADOS EN EL SUELO</b>	
		<b>AICE-PRC-001-0</b>	<b>Página 33 de 35</b>

### Grupos de Uso Sísmico

- SUG III      Estanques que deben seguir abasteciendo las instalaciones industriales luego de un sismo y esenciales para asegurar la salud de las personas, o que contienen cantidades importantes de sustancias peligrosas y no cuentan con sistemas de control para evitar la exposición de estos líquidos a las personas.
- SUG II      Estanques que almacenan sustancias peligrosas para las personas con riesgo de derrames o que abastecen a instalaciones industriales importantes.
- SUG I      Estanques de menor importancia que no clasifican en SUG III o II.

### 7.7 Plataformas

Se indican las consideraciones mínimas que se deben tener en cuenta para las plataformas de mantención de los estanques:

- Todas sus componentes deben ser metálicas.
- El ancho mínimo a nivel de piso debe ser de 610mm.
- El piso debe ser de grating o algún material antideslizante.
- La altura a la parte superior de los pasamanos desde el piso debe ser de 1070mm.
- La altura mínima del rodapié debe ser de 75mm.
- La distancia máxima entre los elementos verticales de las barandas debe ser de 2400mm.
- La estructura completa debe ser capaz de soportar una carga concentrada de 500kg al centro de la luz de las vigas principales, los pasamanos deben ser capaces de soportar una carga concentrada de 100kg aplicada en cualquier dirección y punto de su parte superior.
- Los pasamanos se deben disponer en ambos lados de la plataforma, pero se pueden suspender en los sectores de acceso.
- Las plataformas que conecten estanques adyacentes, un estanque con el suelo u otras estructuras anexas, deben disponer de apoyos deslizantes que permitan el movimiento de estas de acuerdo a las consideraciones del párrafo 4.9 de este Criterio de Diseño.

### 7.8 Escaleras

	<b>ASOCIACIÓN DE INGENIEROS CIVILES ESTRUCTURALES</b>	<b>PROCEDIMIENTO DE DISEÑO</b>	
		<b>ESTANQUES ATMOSFÉRICOS DE ACERO APOYADOS EN EL SUELO</b>	
		<b>AICE-PRC-001-0</b>	<b>Página 34 de 35</b>

Se indican las consideraciones mínimas que se deben tener en cuenta para las escaleras de mantención de los estanques.

- Todas sus componentes deben ser metálicas.
- El ancho mínimo de los peldaños debe ser de 610mm.
- El ancho mínimo de las huellas debe ser de 200mm.
- El piso u huellas que conformas las escaleras deben ser de grating o algún material antideslizante.
- La distancia máxima entre los elementos verticales de la baranda medida en dirección de su pendiente, debe ser de 2400mm.
- La estructura completa debe ser capaz de soportar una carga concentrada de 500kg al centro de la luz de las vigas principales, los pasamanos deben ser capaces de soportar una carga concentrada de 100kg aplicada en cualquier dirección y punto de su parte superior.
- Para escaleras rectas se debe disponer de pasamanos en ambos costados, del mismo modo para escaleras circulares cuando la distancia libre entre mantos de estanques exceda de 200mm.
- Las escaleras circulares deben estar completamente apoyadas en el manto del estanque y en el suelo de fundación.

### **7.9 Recomendaciones Generales**

Se deben tener presente las siguientes consideraciones destinadas al uso óptimo de los estanques durante su vida útil:

- Determinar un revestimiento adecuado y aplicarlo con cierta frecuencia.
- Realizar inspecciones rigurosas con las técnicas disponibles.
- Efectuar una limpieza total y periódica a los estanques.
- Fijar un programa de mantenimiento para evitar fallas en el estanque antes del tiempo estimado.
- Evitar pérdidas o fugas, considerando la importancia, costos y alto riesgo de algunos productos almacenados, tales como: agua potable, petróleo, ácidos, etc.

	<b>ASOCIACIÓN DE INGENIEROS CIVILES ESTRUCTURALES</b>	<b>PROCEDIMIENTO DE DISEÑO</b>	
		<b>ESTANQUES ATMOSFÉRICOS DE ACERO APOYADOS EN EL SUELO</b>	
		<b>AICE-PRC-001-0</b>	<b>Página 35 de 35</b>

- Durante los períodos de fabricación y montaje de los estanques se requiere una inspección minuciosa, ya que por lo general contienen químicos en su interior.
- Los sistemas de cañerías y sus conexiones deben ser diseñados con una amplia capacidad de deformación, con el fin de evitar daños debido a los posibles levantamientos del fondo o desplazamientos del estanque.
- Las planchas del manto se deben disponer de tal forma que las uniones verticales (soldaduras) no queden alineadas.