# Actualización prNCh2369

## Capitulo 13
## Diseño Sísmico de Muelles Transparente

**M. Medalla, MEng, PhD©**

**Revisor Sísmico, Worley**

miguel.medalla@worley.com

**Socio, AMU Ingenieros**

miguel.medalla@worley.com

**Secretario Técnico (S) Capítulo 13 Norma NCh2369**

# Contexto General
# Actualización de NCh2369

## Anteproyecto de Modificación NCh2369 (2017)

## Consulta Pública (2018)

## Discusión Comité INN (2018 - 2022)

# Actualización NCh2369

- **Agosto, 2017. Instituto de la Construcción publica Anteproyecto de Norma: Actualización de la NCh2369 Diseño Sísmico de Estructuras e Instalaciones Industriales.**

| | |
|---|---|
| **- Presidente:** | **Pedro Hidalgo O.** |
| **- Coordinador Est. Acero:** | **Ramón Montecinos.** |
| **- Inicio Comité:** | **Nov. 2014.** |
| **- Cierre Comité:** | **Mar. 2017.** |
| **- Total Sesiones:** | **53 (6000 hh aprox.)** |

**Quedaron cosas pendientes!!!**

- **2018, 2 meses de Consulta Pública INN. 58 Personas e Instituciones entregaron un total de 933 observaciones.**

- **Marzo, 2018. Inicio Comité INN. 99 Personas y 45 Instituciones conforman el comité.**

| | |
|---|---|
| **- Secretario INN:** | **Carlos Peña L.** |
| **- Reuniones:** | **Prácticamente semanales.** |
| **- Cierre comité técnico INN:** | **Agosto de 2022.** |

# Filosofía de Revisión

- ✓ No se busca cambiar lo que ha **funcionado bien**, la **filosofía y objetivos** de diseño se mantienen.

- ✓ Se busca resiliencia. Lograr buen comportamiento frente a sismos **más exigentes** que los ocurridos en los últimos 50 años.

- ✓ Se desea lograr que las disposiciones sean entendidas por ingenieros que no están al tanto de la **experiencia sísmica chilena**, por ejemplo, **los diseñadores extranjeros.**

- ✓ **Se desea precisar las disposiciones de análisis, y eliminar interpretaciones, a veces erróneas, por parte del usuario de la norma.**

# Filosofía de Revisión

- ✓ La base del diseño estructural industrial Chileno es proveer una considerable sobrerresistencia y una ductilidad moderada, con el deseo de hacer un uso limitado (o nulo) de esta ductilidad, trabajando preponderantemente dentro del rango definido por la sobrerresistencia.

- ✓ Las modificaciones que se proponen buscan garantizar que el comportamiento que **siempre se ha deseado, efectivamente se produzca**. Esto debido a que, a la luz de algunas investigaciones, podrían generarse problemas al mantener los requisitos actuales tal y como están.

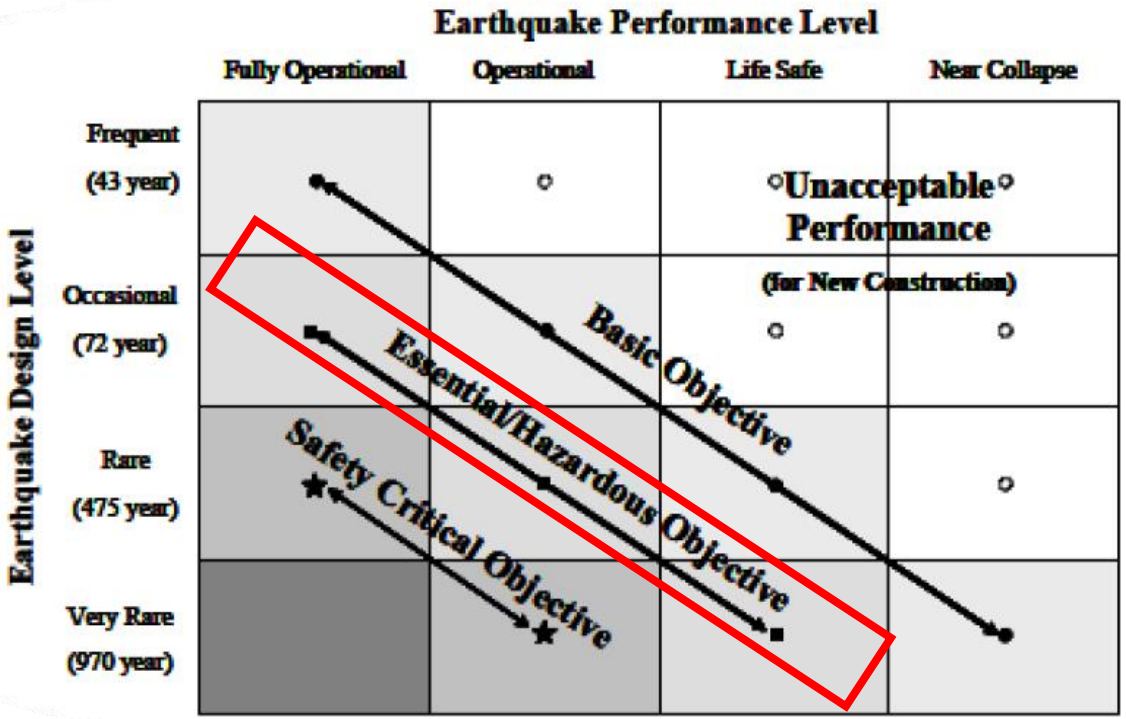
- ✓ En resumen, el objetivo primordial es realizar los ajustes que sean necesarios para mantener los objetivos tradicionales de continuidad de operación y limitación de pérdidas económicas.

- ✓ Generación de nuevos requisitos para deficiencias / ausencias reportadas.

  - ✓ **Incorporación de nuevos capítulos (ej. Cap. 13)**

# Algunas Características de la Infraestructura Industrial

- Sistemas Diversos
- Impacto Económico
- Redundancia global
- Impacto ambiental
- Etc.




Vision 2000 (1995)

# Actualización NCh2369

NORMA CHILENA OFICIAL NCh2369.Of2003

## Diseño sísmico de estructuras e instalaciones industriales

### 4.1 Principios e hipótesis básicos

**4.1.1** Las disposiciones de diseño de esta norma, aplicadas en conjunto con las normas de diseño específicas de cada material, están orientadas al cumplimiento de los objetivos siguientes:

a) **Protección de vida en la industria**

a.1) Evitar el colapso de estructuras para sismos más severos que el sismo de diseño.

a.2) Evitar incendios, explosiones, o emanaciones de gases y líquidos tóxicos.

a.3) Proteger el medio ambiente.

a.4) Asegurar la operatividad de las vías de escape durante la emergencia sísmica.

b) **Continuidad de operación de la industria**

b.1) Mantener los procesos y servicios esenciales.

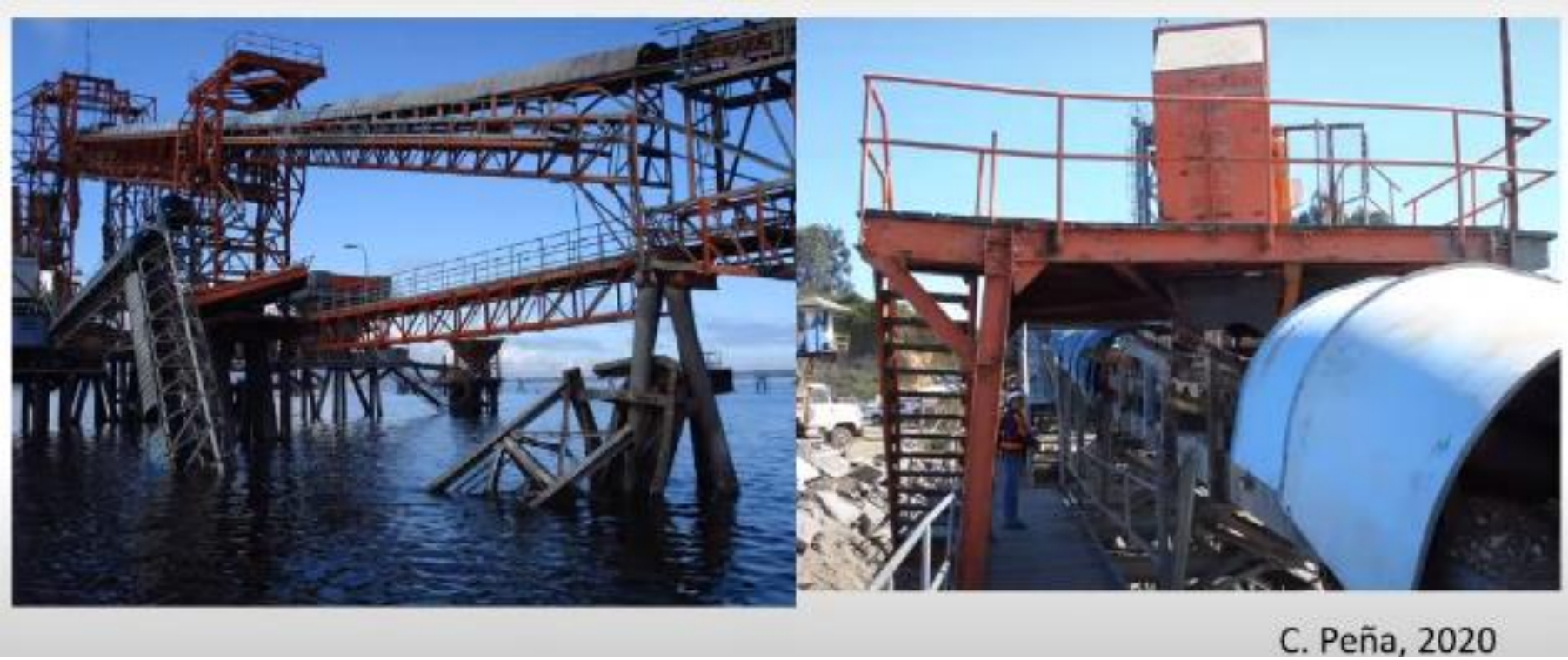
b.2) Evitar o reducir a un tiempo mínimo la paralización de la operación de la industria.

b.3) Facilitar la inspección y reparación de los elementos dañados.

# Desempeño Sísmico
# Estructuras marítimo-portuarias
# (Experiencia Nacional)

# Algunos “problemas” observados el 27/F (2010)

## Equipos



# Algunos “problemas” observados el 27/F (2010)

## Equipos

ASCE, 2016

# Algunos “problemas” observados el 27/F (2010)

## Detallamiento

# Algunos “problemas” observados el 27/F (2010)

## Suelos

GEER, 2010

**Quién se hace cargo ??**

**Qué y dónde tenemos que mejorar???**

**Existen disposiciones para diseño de estructuras marítimo portuarias??**

# Qué Norma Rige el Diseño Sísmico de Estructuras Marítimas ???

# Contexto Normativo Nacional

## ✓NCh433 – Diseño sísmico de Edificios

### 1 Alcance

**1.1** Esta norma establece requisitos exigibles para el diseño sísmico de edificios.

**1.2** Esta norma también se refiere a las exigencias sísmicas que deben cumplir los equipos y otros elementos secundarios de edificios.

**1.3** También se incluyen recomendaciones sobre la evaluación del daño sísmico y su reparación.

**1.4** Esta norma no se aplica al diseño sísmico de otras obras civiles tales como puentes, presas, túneles, acueductos, muelles, canales. Tampoco se aplica a edificios industriales ni a instalaciones industriales. El diseño de estas obras se debe regir por la norma chilena correspondiente.

**1.5** Esta norma es aplicable sólo a materiales o sistemas que tengan una norma técnica de diseño sísmico o que en su defecto se pueda demostrar mediante ensayos cíclicos no lineales, que tienen resistencia y ductilidad equivalente a los requerimientos de esta norma para materiales sísmicos convencionales.

# Contexto Normativo Nacional

✓**NCh2745 – Análisis y diseño de edificios con aislación sísmica**

## 1 Alcance y campo de aplicación

Esta norma establece requisitos para el análisis y diseño sísmico de edificios con aislación sísmica. También establece requisitos para el diseño de los elementos no estructurales soportados por el edificio y los ensayos requeridos para el sistema de aislación. Esta norma no incluye el diseño sísmico de edificios que usan disipadores de energía en la superestructura.

# Contexto Normativo Nacional

✓**NCh3411 – Diseño sísmico de edificios con sistemas pasivos de disipación de energía**

## 1 Alcance y campo de aplicación

**1.1** Esta norma aplica al diseño y construcción de todo edificio con un sistema pasivo de disipación de energía y sus componentes o partes. Se incluyen, sin estar limitados a, sistemas compuestos por disipadores histeréticos o de fricción, que dependen del desplazamiento relativo entre sus extremos y sistemas compuestos por disipadores viscosos o visco-elásticos, que dependen de la velocidad de deformación de los mismos.

**1.2** En los casos de estructuras aisladas sísmicamente, donde se utilicen sistemas de amortiguamiento en la interfaz de aislación, los desplazamientos, velocidades y aceleraciones se deben determinar de acuerdo a NCh2745.

**1.3** Esta norma no aplica a estructuras con disipadores tipo inercial, como son los amortiguadores de masa sintonizada (AMS).

**1.4** Los conceptos de esta norma pueden ser aplicados a otros tipos de estructuras, como por ejemplo, instalaciones industriales, puentes, plantas eléctricas e instalaciones portuarias, entre otras, las cuales deben cumplir además con los requisitos establecidos en sus respectivas normas de diseño.

# Contexto Normativo Nacional

## ✓NCh2369 – Diseño sísmico de estructuras e instalaciones industriales

### 1 Alcance y campo de aplicación

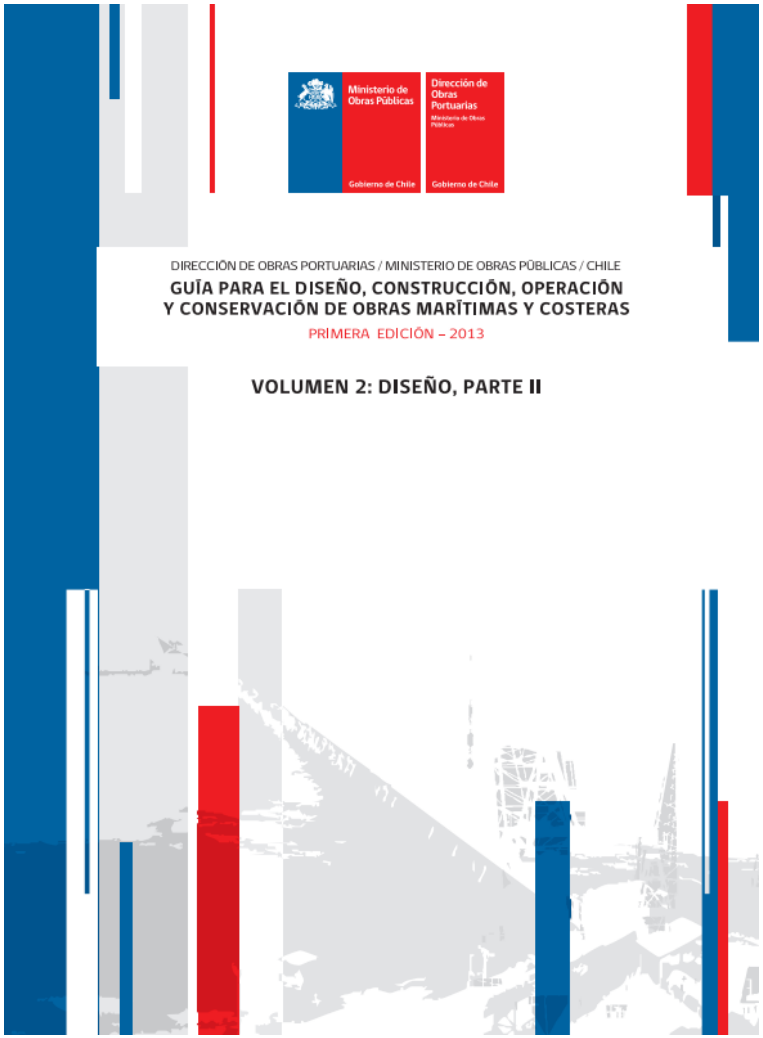
**1.1** Esta norma establece los requisitos para el diseño sísmico de estructuras e instalaciones industriales, ya sea livianas o pesadas. Se aplica, tanto a las estructuras propiamente tales, como a los sistemas de ductos y cañerías y a los equipos de proceso, mecánicos y eléctricos y a sus anclajes. También se aplica a las estructuras de bodegas o recintos de vocación industrial, y a las construcciones estructuradas con columnas en voladizo.

**1.2** Esta norma no se aplica a otros tipos de estructuras tales como centrales nucleares, centrales de energía eléctrica y líneas de transmisión, presas, tranques de relaves, puentes, túneles, muelles gravitacionales, muros de contención, líneas de ductos enterradas, etc.

**1.3** Los edificios de oficinas, casinos o aquellos asimilables a un uso habitacional se pueden diseñar de acuerdo a NCh433.Of96.

**1.4** Se complementa con NCh433.Of96, *Diseño sísmico de edificios*. Todos los requisitos de dicha norma que no se modifiquen específicamente son aplicables.

# Contexto Normativo Nacional

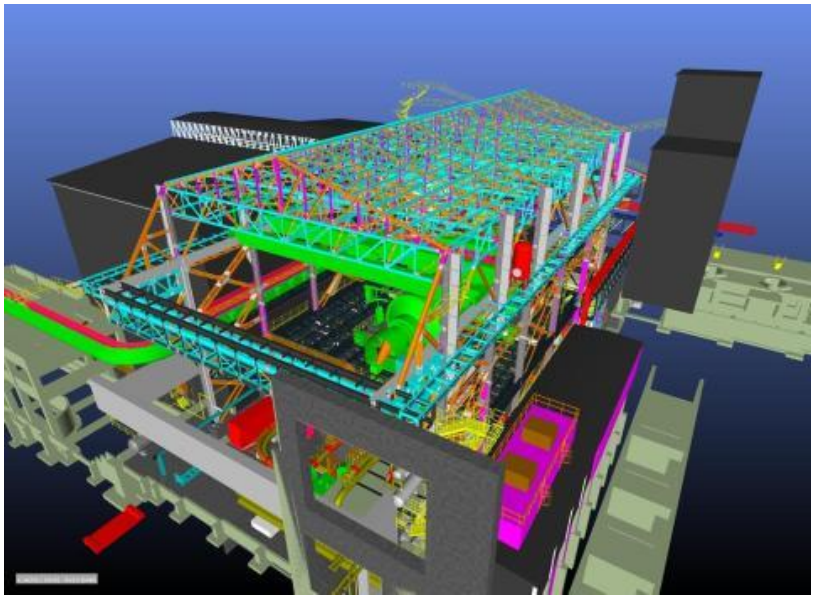


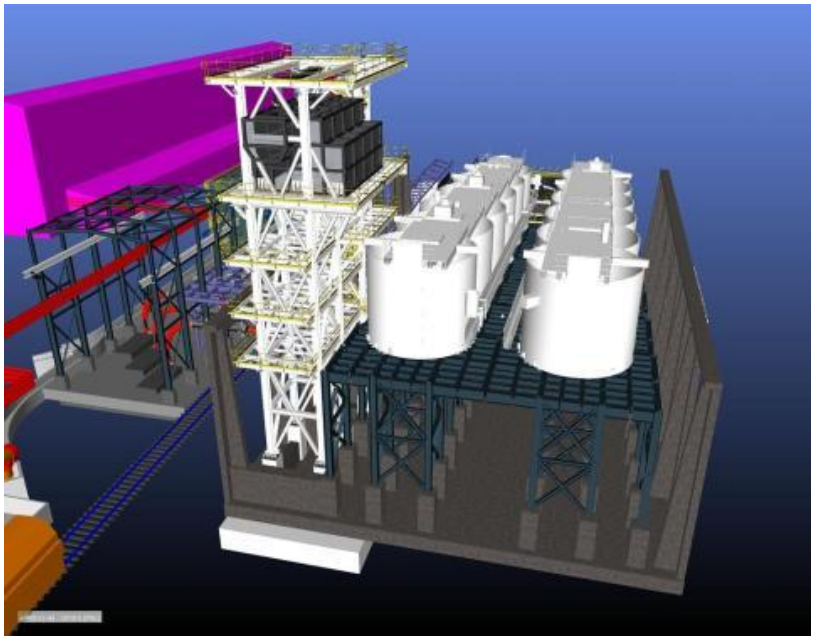

### 3.17 ANÁLISIS SÍSMICO

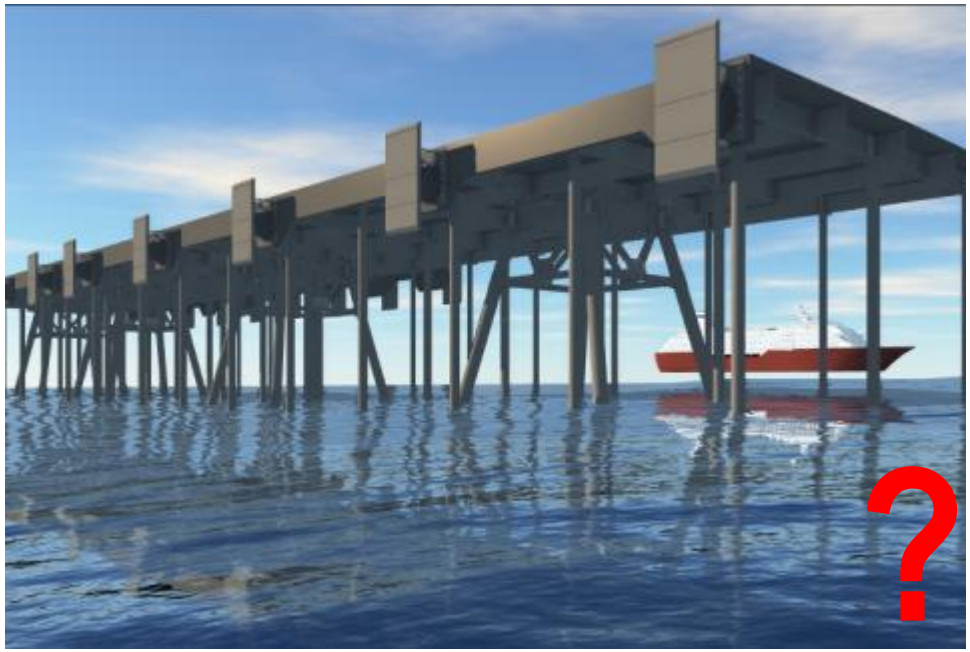
El análisis y diseño sísmico de estructuras marítimas y portuarias se deberá realizar de acuerdo a la norma chilena NCh 2369. Of2003, junto a las consideraciones especiales inherentes a cada tipología estructural.

**NCh2369 es la normativa nacional de diseño Marítimo !!!**

# Contexto Normativo Nacional








P. Cuevas, 2020

## Disposiciones de Diseño Portuario – NCh2369

**NCh2369.Of2003**

- Factor de Modificación de Respuesta R
  - Ausencia de definición específica
- Amortiguamiento Estructural $\xi$
  - Ausencia de definición específica
- Requisitos de detallamiento
  - Ausencia de definición específica
- Requisitos diseño de anclajes (Ficha)
  - Ausencia de definición específica
- Requisitos de serviciabilidad
  - Ausencia de definición específica
- Definiciones Interacción Suelo-Estructura (Muelle)
  - Ausencia de definición específica
- Definiciones para Análisis de Estabilidad de Grúas
  - Ausencia de definición específica

# NCh2369.Of2003

| | Sistema resistente | $R$ |
|---|---|---|
| 1. | Estructuras diseñadas para permanecer elásticas | 1 |
| 2. | Otras estructuras no incluidas o asimilables a las de esta lista[1)] | 2 |
| 3. | Estructuras de acero | |
| 3.1 | Edificios y estructuras de marcos dúctiles de acero con elementos no estructurales dilatados | 5 |
| 3.2 | Edificios y estructuras de marcos dúctiles de acero con elementos no estructurales no dilatados e incorporados en el modelo estructural | 3 |
| 3.3 | Edificios y estructuras de marcos arriostrados, con anclajes dúctiles | 5 |
| 3.4 | Edificios industriales de un piso, con o sin puente grúa, y con arriostramiento continuo de techo | 5 |
| 3.5 | Edificios industriales de un piso, sin puente-grúa, sin arriostramiento continuo de techo, que satisfacen 11.1.2 | 3 |
| 3.6 | Naves de acero livianas que satisfacen las condiciones de 11.2.1 | 4 |
| 3.7 | Estructuras de péndulo invertido[2)] | 3 |
| 3.8 | Estructuras sísmicas isostáticas | 3 |
| 3.9 | Estructuras de plancha o manto de acero, cuyo comportamiento sísmico está controlado por el fenómeno de pandeo local | 3 |
| 4. | Estructuras de hormigón armado | |
| 4.1 | Edificio de estructuras de marcos dúctiles de hormigón armado con elementos no estructurales dilatados | 5 |
| 4.2 | Edificios y estructuras de marcos dúctiles de hormigón armado con elementos no estructurales no dilatados e incorporados en el modelo estructural | 3 |
| 4.3 | Edificios y estructuras de hormigón armado, con muros de corte | 5 |
| 4.4 | Edificios industriales de un piso, con o sin puente grúa, y con arriostramiento continuo de techo | 5 |
| 4.5 | Edificios industriales de un piso, sin puente-grúa, sin arriostramiento continuo de techo, que satisfacen 11.1.2 | 3 |

NOTAS

1) Salvo que un estudio demuestre que se puede usar un valor de $R$ distinto de 2. No son asimilables a esta clasificación estructuras cuyo sistema resistente está explícitamente citado en esta tabla.

2) Más del 50% de la masa sobre el nivel superior. Un solo elemento resistente.

3) El valor $R = 4$ es un límite superior. Si el valor de $R$ es menor para el sistema estructural equivalente de hormigón armado, se debe usar dicho valor menor.

4) En caso de duda sobre la clasificación de un sistema resistente, debe aplicarse la disposición 4.7.

Zona Sísmica 3

R = 2

$\xi = 0.02$

$C_{max} = 0.60$

# Basada en el Criterio y Lectura Selectiva de NCh2369

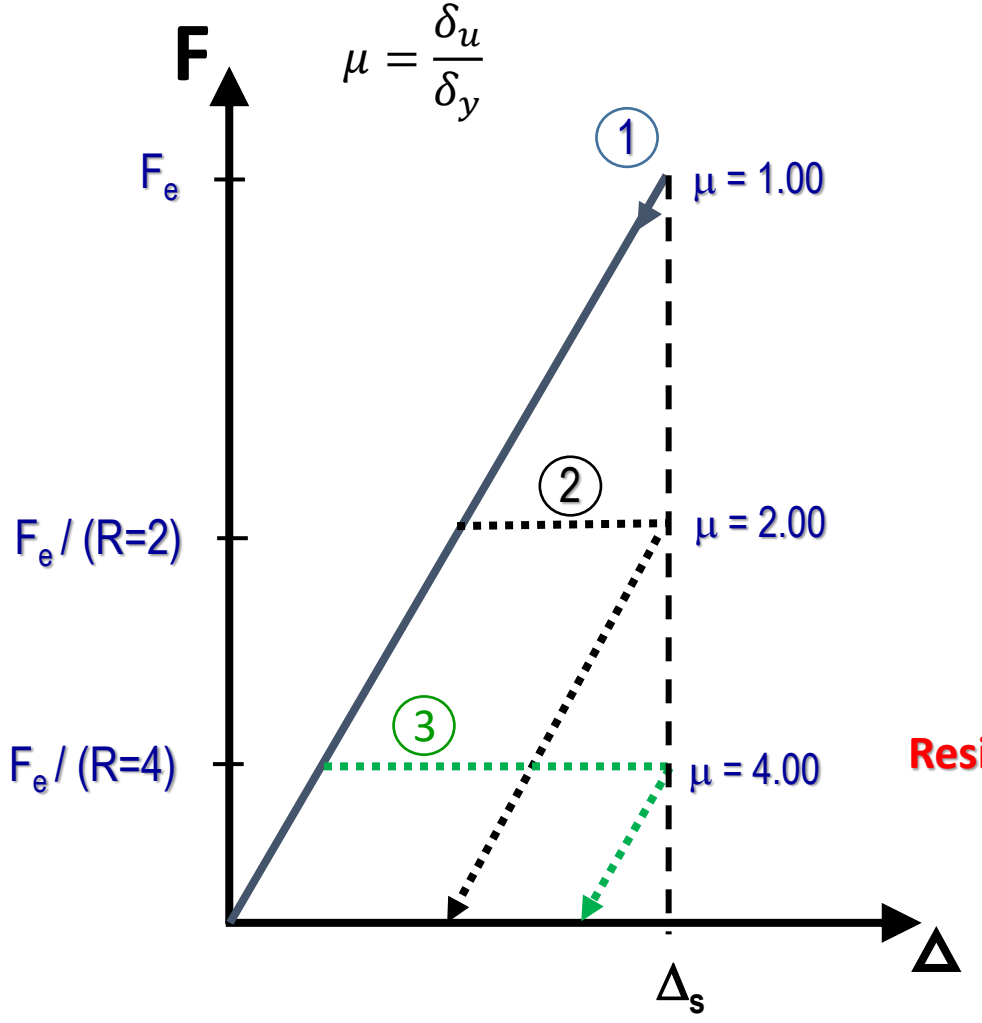
Zona Sísmica 3
R = 2
$\xi$ = 0.02

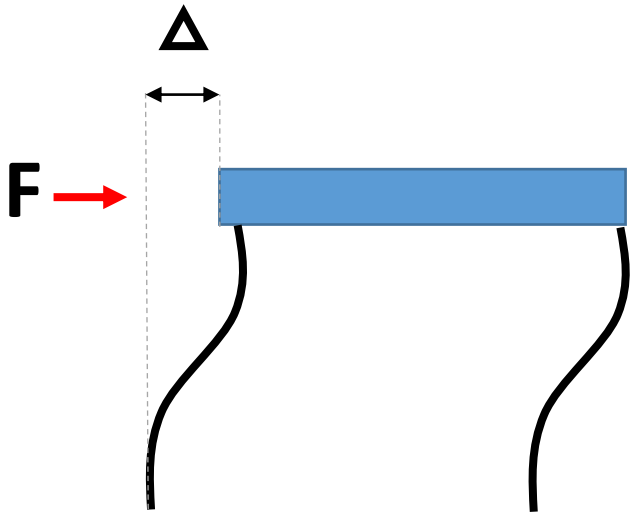
**$C_{max}$ = 0.60**

Zona Sísmica 3
R = 5
$\xi$ = 0.05

**$C_{max}$ = 0.18**

# Concepto de reducción de Fuerzas Sísmicas




Resistencia ⇩ ⇧ Ductilidad Requerida ⇧ Deformación Permanente

# Basada en el Criterio y Lectura Selectiva de NCh2369

Zona Sísmica 3
R = 2
$\xi$ = 0.02

**$C_{max}$ = 0.60**

- ✓ Gran demanda de material
- ✓ Baja demanda de ductilidad (daño).
- ✓ Probabilidad de daño muy bajo

Zona Sísmica 3
R = 5
$\xi$ = 0.05

**$C_{max}$ = 0.18**

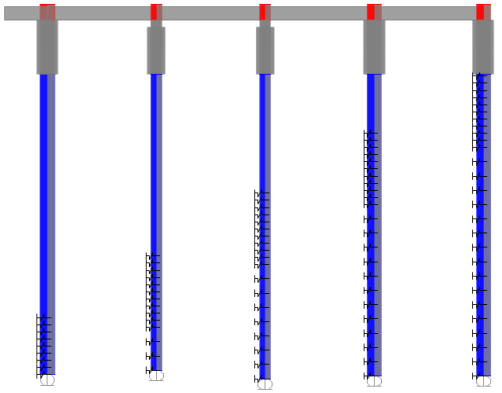
- ✓ Menor peso estructural
- ✓ Alta demanda de ductilidad (daño).
- ✓ Probable necesidad de reparación, reposición de elementos.

# Algunos conflictos de lectura Diseño-Norma

# Práctica Nacional de Diseño Portuario

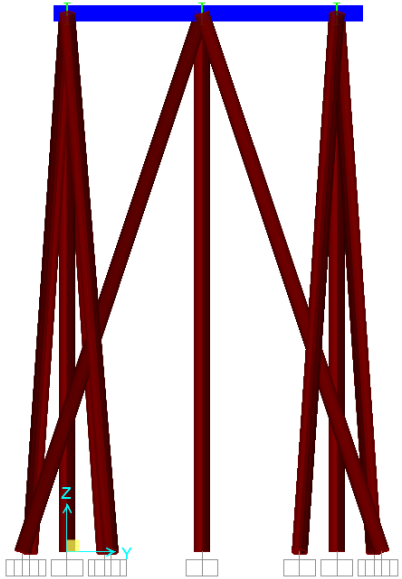
✓Algunos conflictos “típicos” de diseño.

- Marco Resistente a Momento ???
- Criterio viga débil-columna fuerte ??
- Aplica Anexo B ??



Pilotes Verticales

- Marco Arriostrado Concéntrico - Excéntrico ???
- FU Diagonales < 0.8 ??
- Esbeltez global aplica a pilotes ??
- Disposiciones de A. en V invertida aplican ??

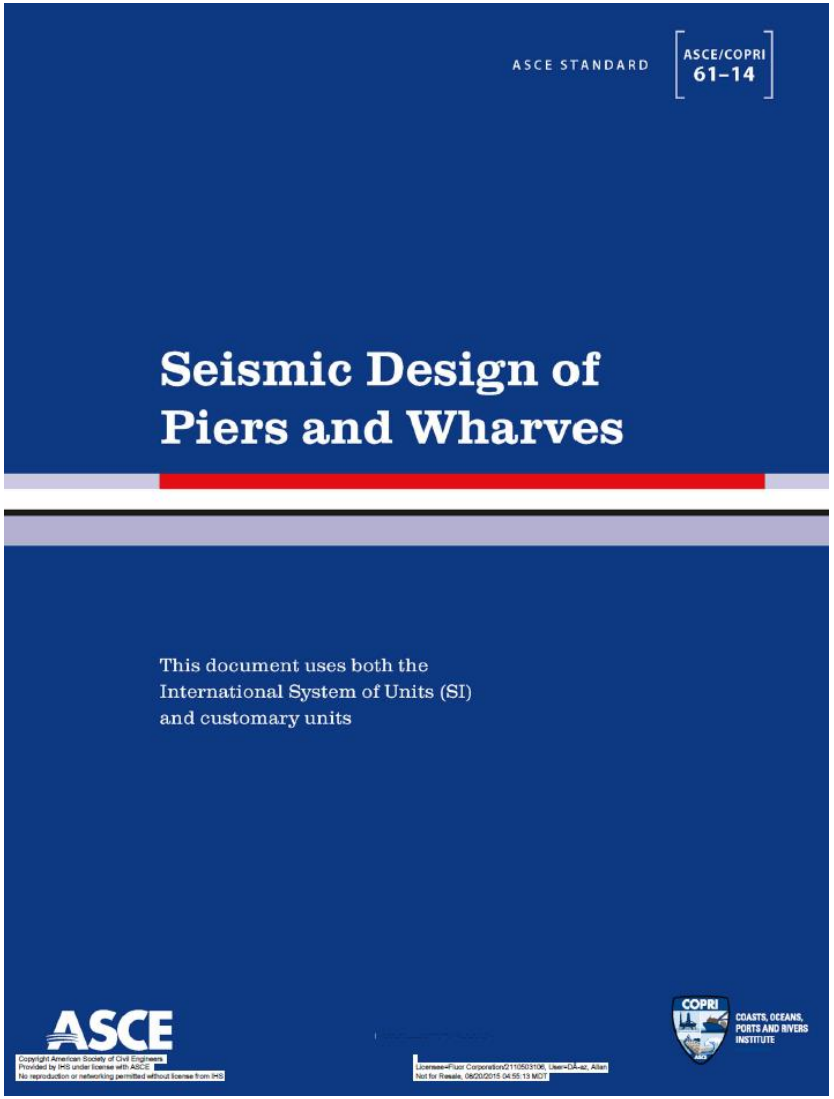


Pilotes Inclinados

- Quién disipa la energía??
- Anclaje (Pilote) debe fluir ??
- Estabilidad de Grúa con cargas reducidas??

# Códigos Internacionales de Diseño Sísmico Portuario

# Contexto Internacional de Referencia



# Contexto Normativo Internacional

### 3.5 DETERMINATION OF ANALYSIS AND DESIGN METHOD

Displacement-based and force-based design methods are permitted by this standard. Analysis and design provisions for force-based design and displacement-based design are provided in Chapters 5 and 6, respectively. Detailing requirements are provided in Chapter 7.

The following list summarizes requirements for selection of the design method:

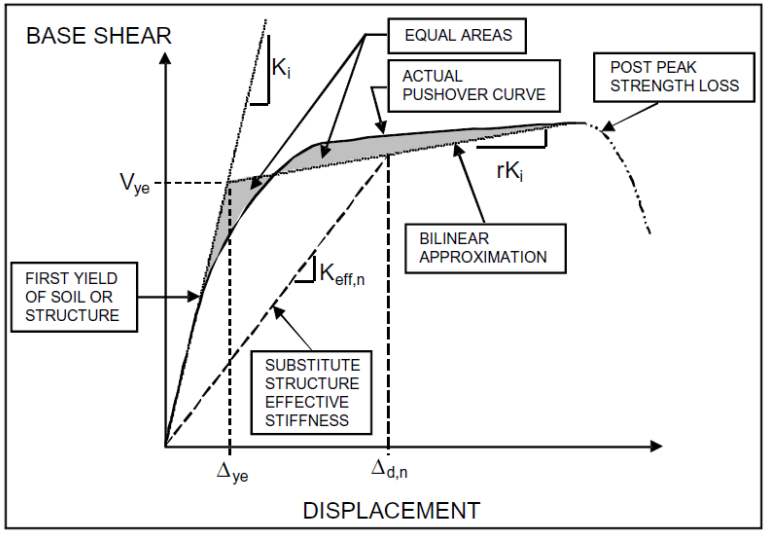
a. Displacement-based design is permitted for all design classifications.
b. Force-based design is permitted for "low" design classifications.
c. Force-based design is permitted for all design classifications when $S_{DS} < 0.33$ (per Section 11.4 of ASCE 7 [2005]).
d. Force-based design is permitted for all design classifications where it can be demonstrated that the capacity of all primary structural members exceeds the elastic earthquake demand force when using a value of $R = 1$.
e. Force-based design is permitted for the design of equipment and piping supports.

Zona Sísmica 3

R = 1

$\xi$ = 0.05

$S_{DSeq} = 0.55$




**NCh2369 ha adoptado conceptos y objetivos de desempeño de ASCE/COPRI 61-14 como referencia, sin embargo, la metodología de diseño y análisis se mantiene de acuerdo a la práctica nacional (método basado en fuerzas).**

# Nace Capitulo 13!!!

# Estructuras Marítimas de tipo Muelle Transparente

## ✓ Alcance y Objetivo

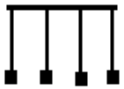
- Estructuras con un único nivel de tablero de operación, construidos sobre pilotes apoyados en el fondo marino.

- Estado Límite de continuidad operacional durante un evento de diseño. Incursión inelástica menor durante un evento superior al nivel de diseño.

- Protección del tablero, posible daño "menor" debe ser concentrado en la "infraestructura".

**Se provee de un nivel de ductilidad (control de fragilidad en eventos extremos), sin embargo, como objetivo de diseño se "espera" comportamiento esencialmente elástico**

## ✓ Parámetros de Diseño Generales (R, ξ)

| | Sistema sismo-resistente | Esquema | R | Vigas de Acero ξ | Vigas de Hormigón ξ |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Tablero de hormigón armado sobre vigas, dispuesto sobre cuplas concéntricas de pilotes de acero. | | 3,0 | 0,03 | 0,04 |
| 2 | Tablero de hormigón armado sobre vigas, dispuesto sobre pilotes de acero verticales que forman marcos resistentes a momento. |  | 4,0 | 0,03 | 0,04 |
| 3 | Tablero de hormigón armado sobre vigas, dispuesto sobre cuplas excéntricas de pilotes de acero. | | 3,5 | 0,03 | 0,04 |
| 4 | Tablero de hormigón armado sobre vigas, dispuesto sobre cuplas de pilotes de acero o pilotes verticales formando marcos resistentes a momento, construido sobre talud. | | 3,0 | 0,03 | 0,04 |
| 5 | Tablero de hormigón armado sobre vigas, dispuesto sobre pilotes de acero inclinados que forman marcos resistentes a momento. | | 3,5 | 0,03 | 0,04 |
| 6 | Tablero de hormigón armado sobre vigas, dispuesto sobre pilotes de acero inclinados y arriostrados en su sector superior. | | 3,5 | 0,03 | 0,04 |
| 7 | Estructura marítima convencional compuesta de tablero de hormigón armado sobre pilotes de acero u hormigón, no asimilable a las configuraciones anteriores. | | 1,5 | 0,03 | 0,03 |

- Se limita el nivel de incursión inelástica a través de valores de R menores a los comúnmente considerados en edificios industriales. Estándar marítimo levemente superior al diseño en "tierra".
- Se establecen un nivel de amortiguamiento estructural consecuente con los R definidos. Sin embargo, se reconoce el amortiguamiento provisto por el agua.

**Se reconoce que reparar un elemento, perno de anclaje, etc. es bastante más factible que la reparación de sistemas construidos sobre nivel del mar !!!**

## ✓ Detallamiento

- **Conexiones Pilote - Viga tablero diseñadas en base a cargas amplificadas (0.7R).**

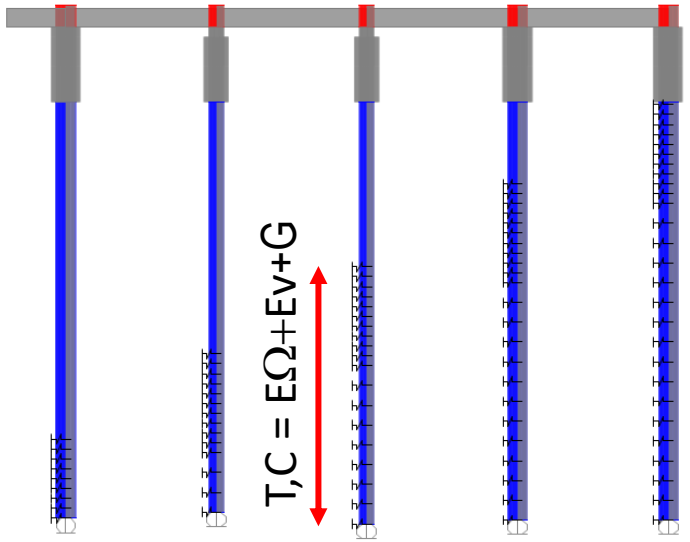
  **No se desea incursión inelástica.**

- **Fichas deben considerar un dimensionamiento a través de cargas amplificadas (0.7R).**

  **No se acepta potenciales fallas de extracción o deslizamiento de pilotes.**

- **Cuplas sísmicas (Chevrón) deben considerar el desequilibrio de carga en pilotes (Cap. 8).**

  **Se reconoce la posibilidad de pandeos menores.**



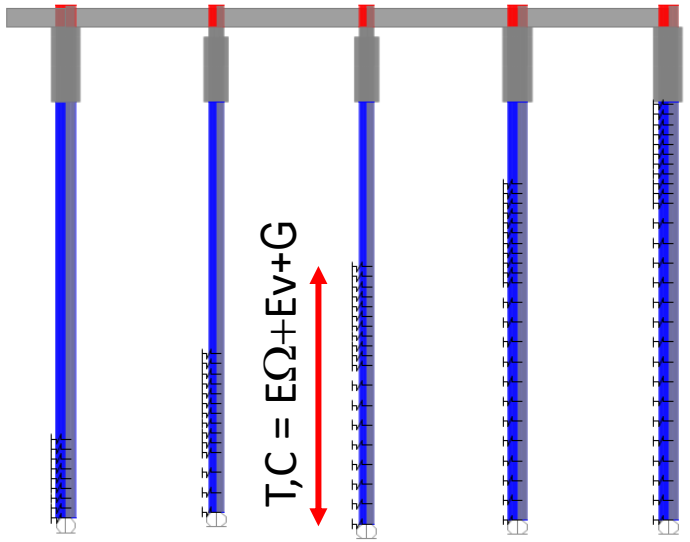
## ✓ Detallamiento

- Salvo sistemas en Chevron se permite el diseño de las vigas de tablero a través de cargas sísmicas amplificadas (0.7R)

  No se desea incursión inelástica ni daño en las vigas.

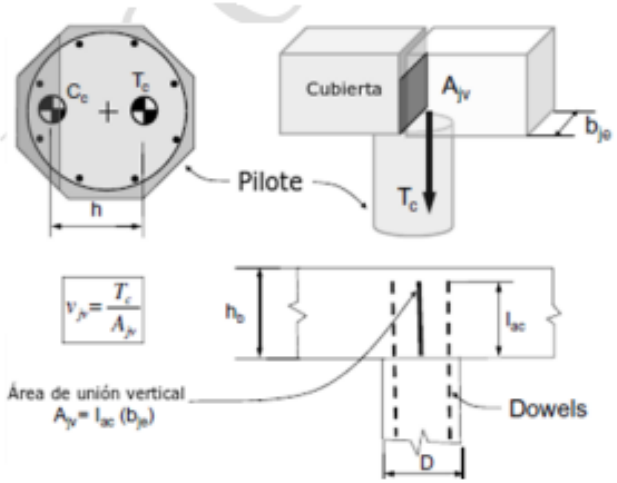
- Relaciones de esbeltez local deben asegurar una ductilidad moderada,

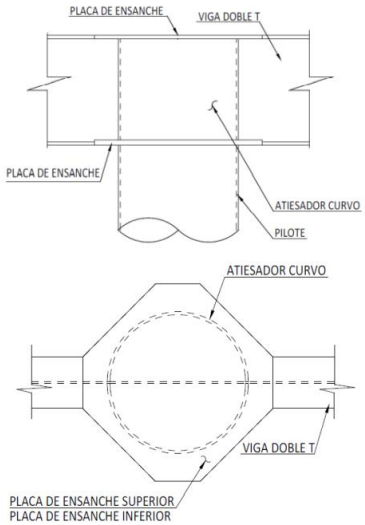
  Salvo que se diseñen con cargas símicas amplificadas por 0.7R.

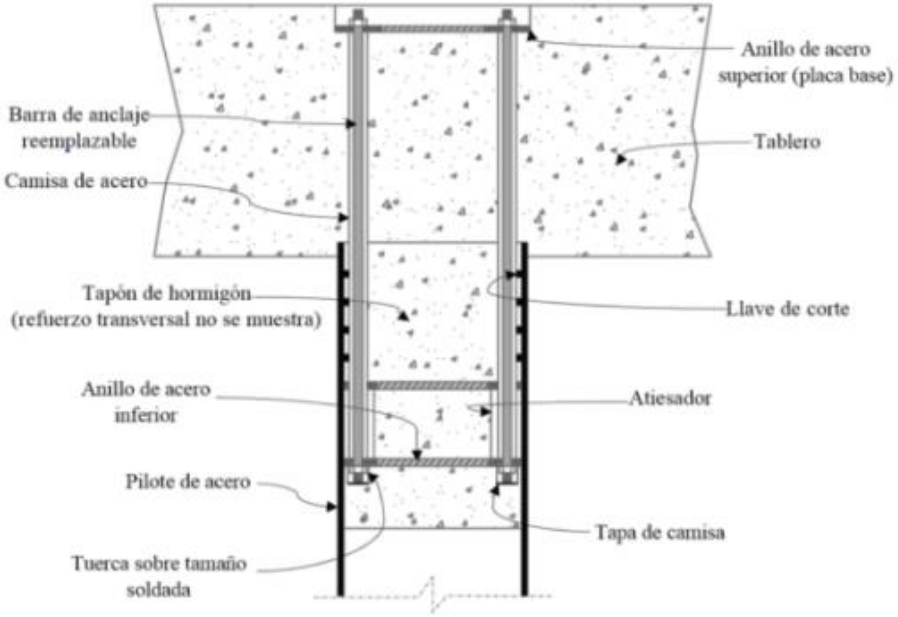


# ✓ Detallamiento





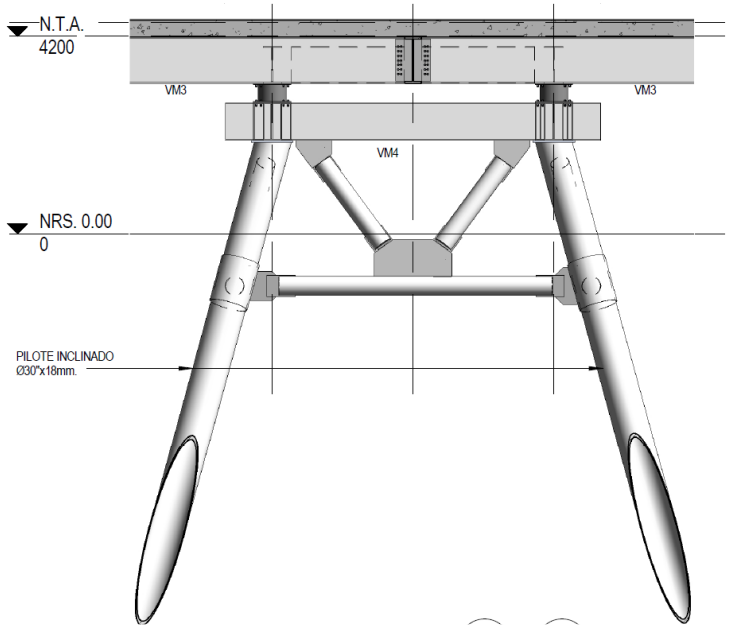



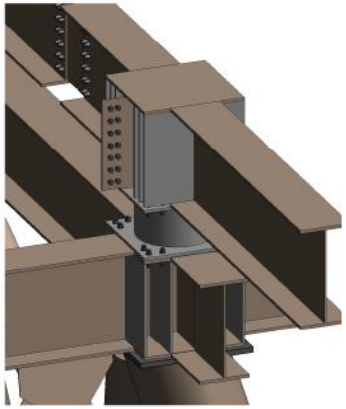



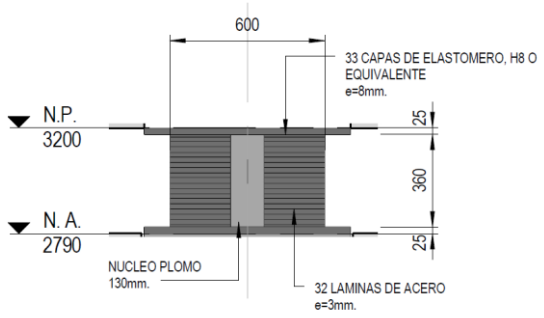

**Se presentan requisitos específicos para el diseño de nudos.**

## ✓ Muelles con Aislación Sísmica

- Aplicación NCh2745 (S.I.C.)
- Factor de modificación de Respuesta R =1
- Liberación de requisitos de ductilidad (Cap. 8).
- Amortiguamiento efectivo máximo de 30%.
- Amortiguamiento inherente no superior al 2%.
- Factibilidad de recambio o inspección.



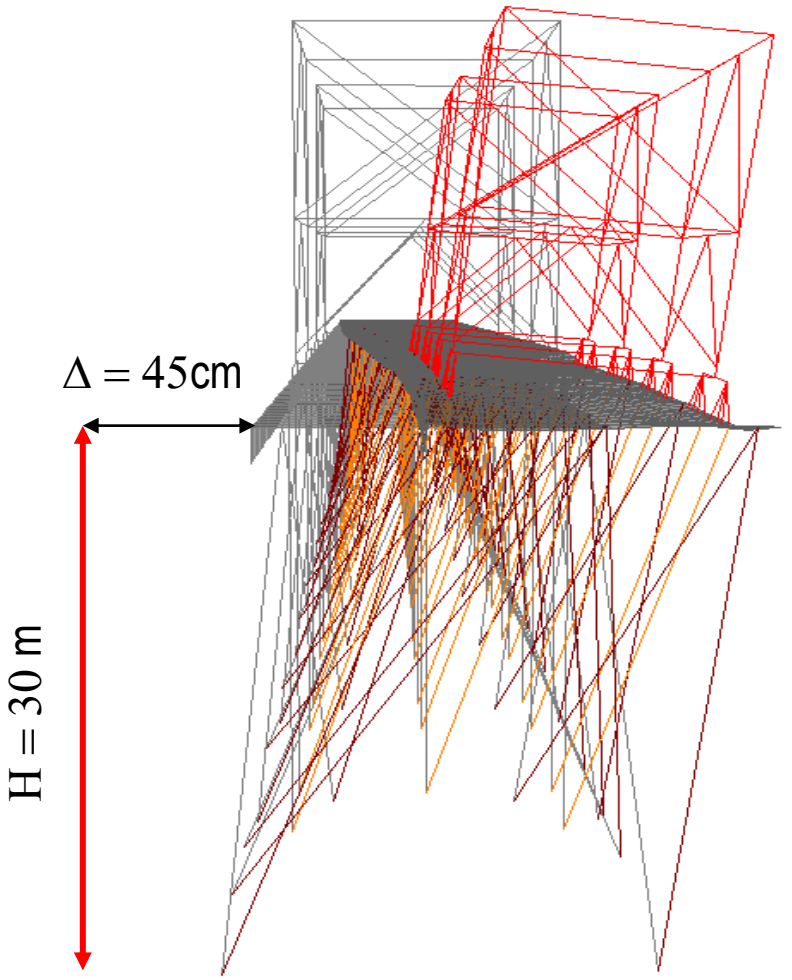


## ✓ Serviciabilidad / Operación

- Demanda de Deformación de acuerdo a Espectro de Referencia (definición general de la norma)

- Verificación de serviciabilidad caso a caso. Comentario de Alerta!!!!.

Control de daño de equipos (i.e. correas, cañerías, etc.) puede ser mucho más estricto que el control de daño estructural.

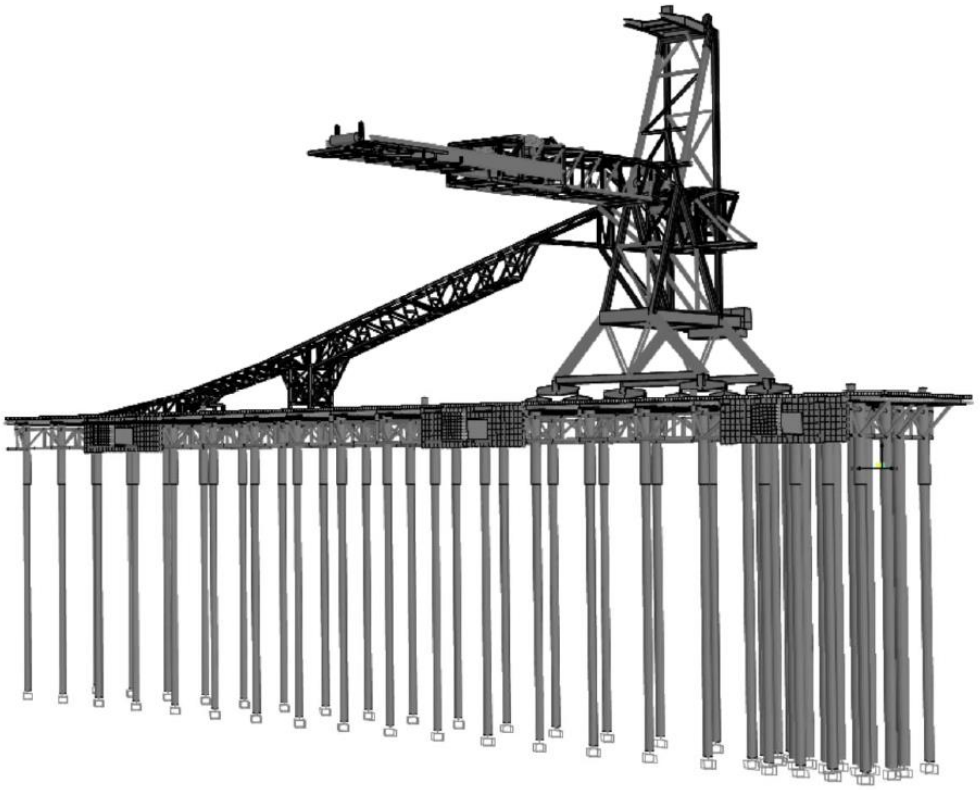


## ✓ Grúas, Cargadores, etc.

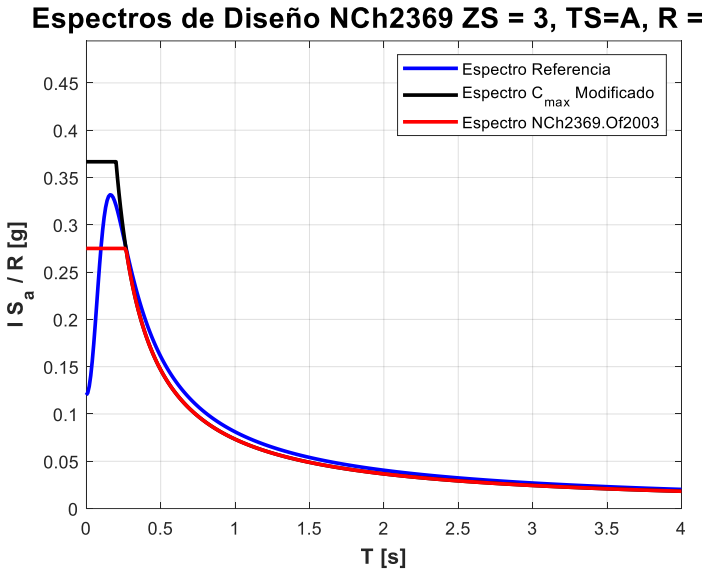
- Equipos mecánicos requieren comúnmente permanecer elásticos ante eventos severos (Comentario).

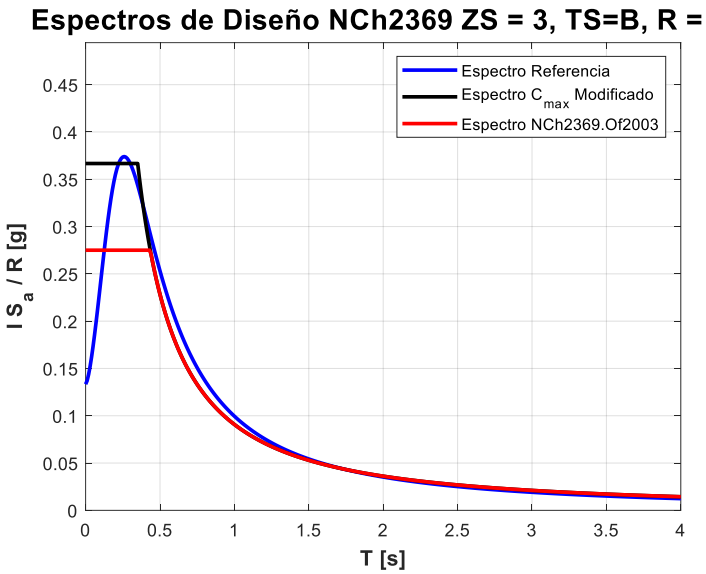
- Verificación de estabilidad a través de análisis lineales elásticos, o a través de análisis especiales con modelos integrados. Espectro Referencia Elástico.

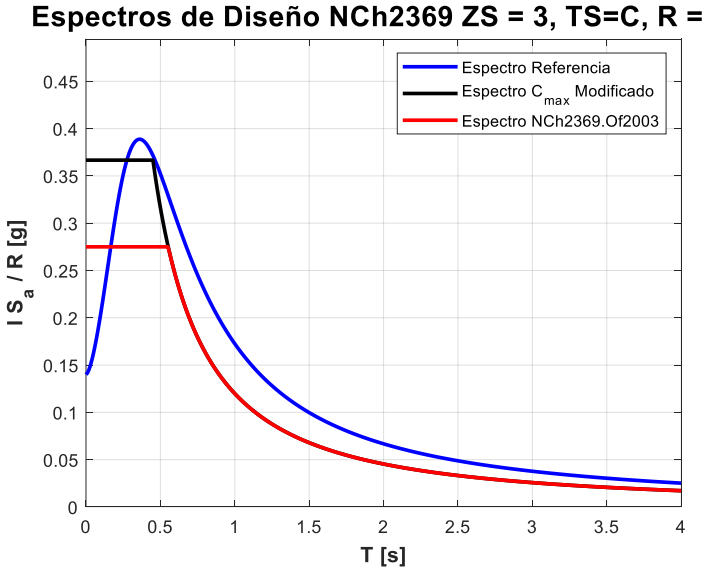
Se debe controlar levantamientos a través de análisis del conjunto muelle-estructura o a través de sistemas de anclajes.

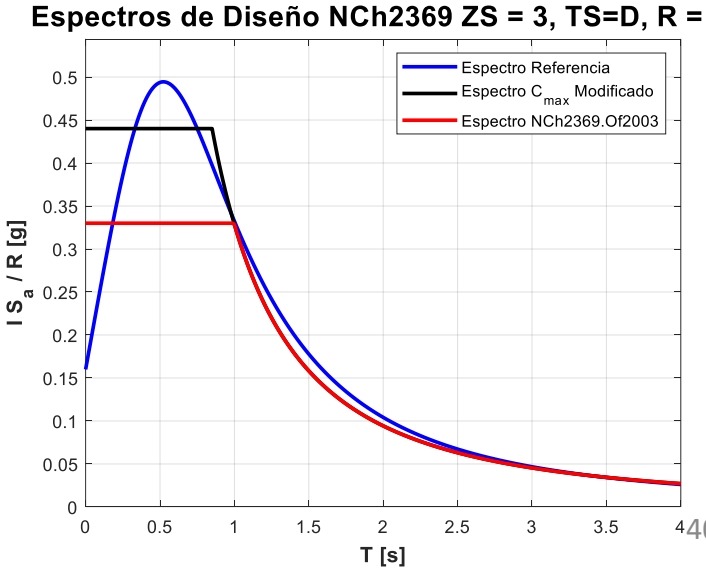


# ✓ Espectros de Diseño

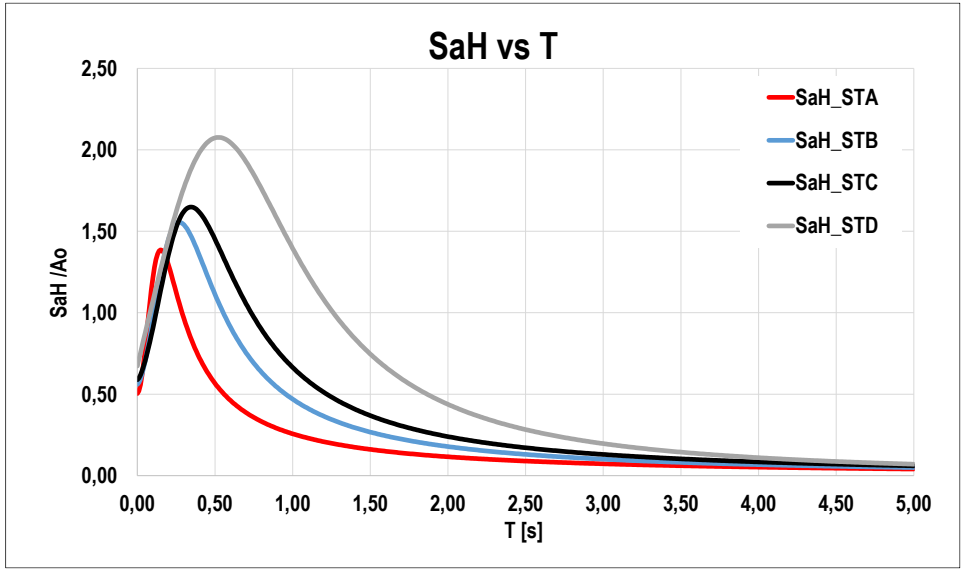


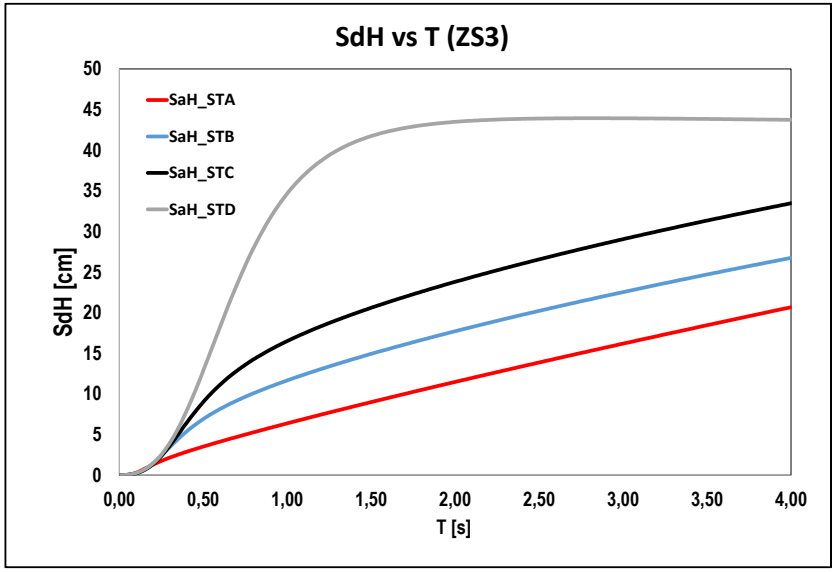



# ✓ Espectros de Diseño



# Comité Técnico Cap. 13

- ✓ Carlos Peña (INN)
- ✓ Carolina Acevedo (DOP)
- ✓ Francisco Castro (DOP)
- ✓ Hugo Baesler (PMI)
- ✓ Gregorio Aldunate (PRDW)
- ✓ Guillermo Montero (PRDW)
- ✓ José Manuel González (Visors G.)
- ✓ Camilo de la Barra (Indep.)
- ✓ Nelson Novoa (M&N)
- ✓ Carlos Vega (IDIEM)
- ✓ Miguel Medalla (AMU)

SIOP VALPARAÍSO 2022
IX Seminario Internacional de Ingeniería y Operación Portuaria

# Actualización prNCh2369

## Capitulo 13
## Diseño Sísmico de Muelles Transparente

## MUCHAS GRACIAS!!!


**M. Medalla, MEng, PhD©**

**Revisor Sísmico, Worley**

miguel.medalla@worley.com

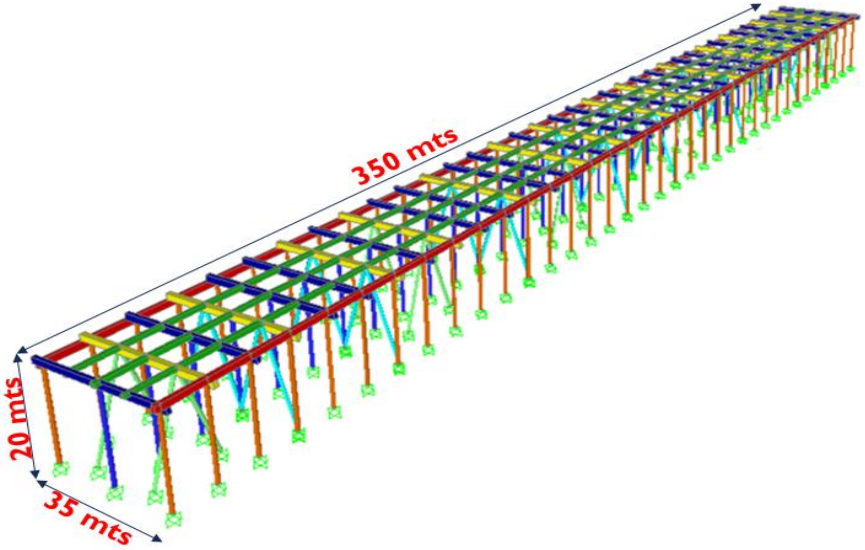
**Socio, AMU Ingenieros**

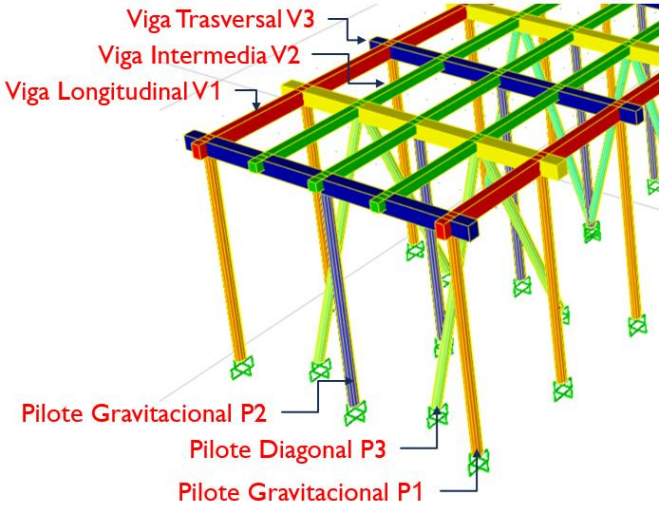
miguel.medalla@worley.com

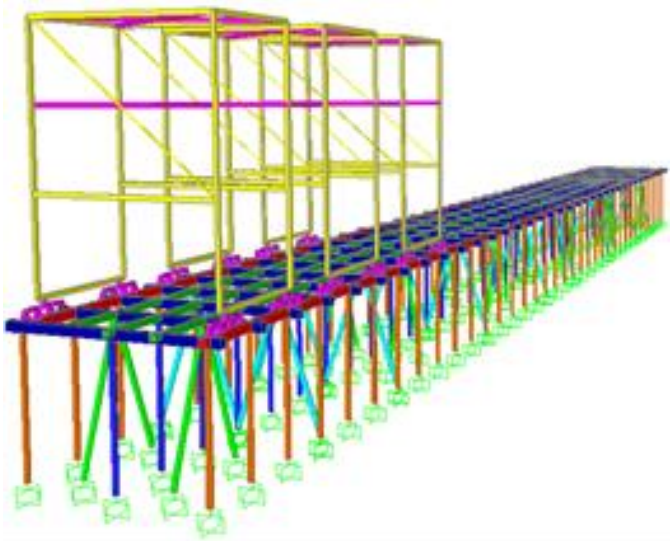
**Secretario Técnico (S) Capítulo 13 Norma NCh2369**

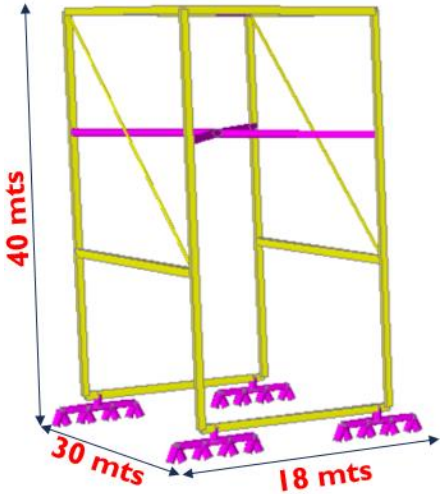
# Ejemplo Evaluación de Desempeño

# Sistema Estructural

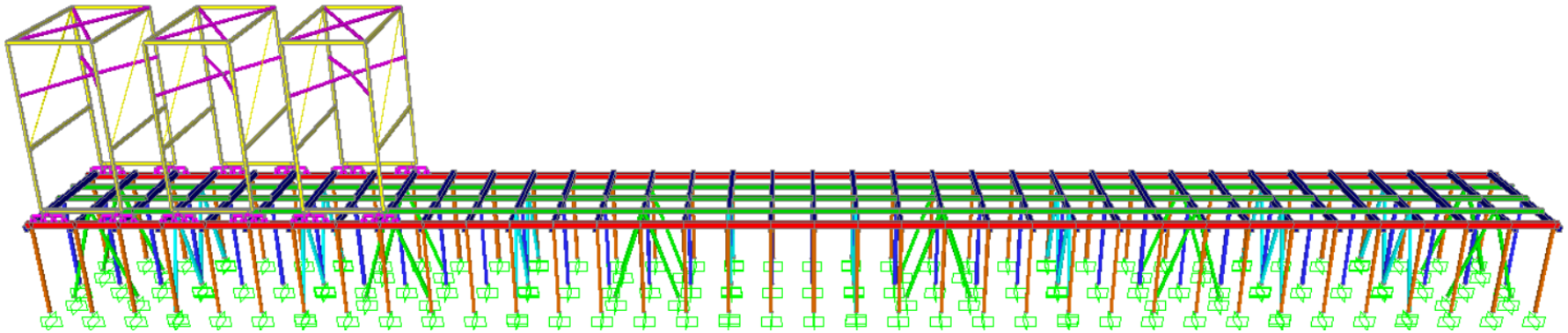


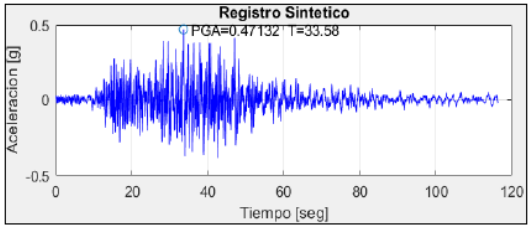



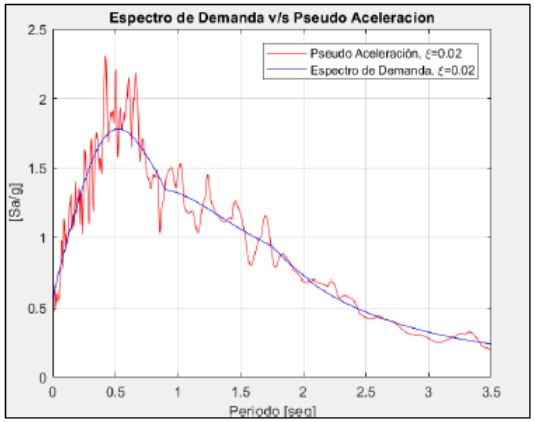


# Análisis de Desempeño

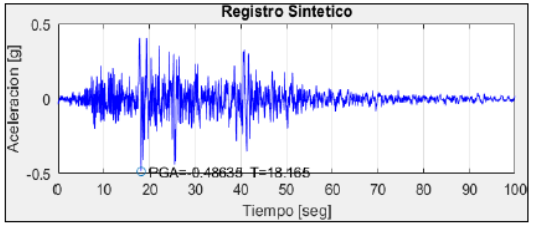


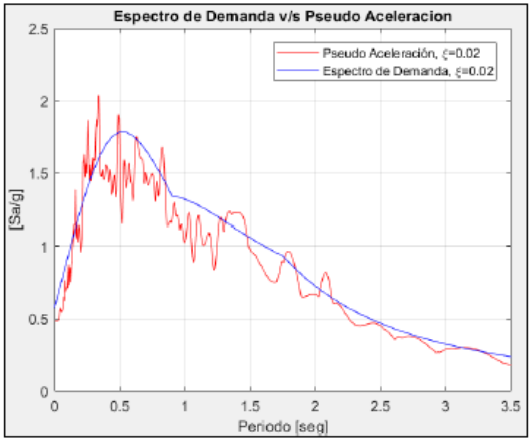
## Llolleo 2010 - Longitudinal



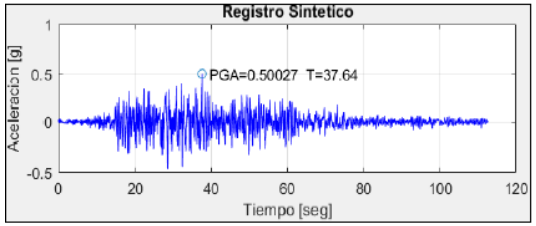



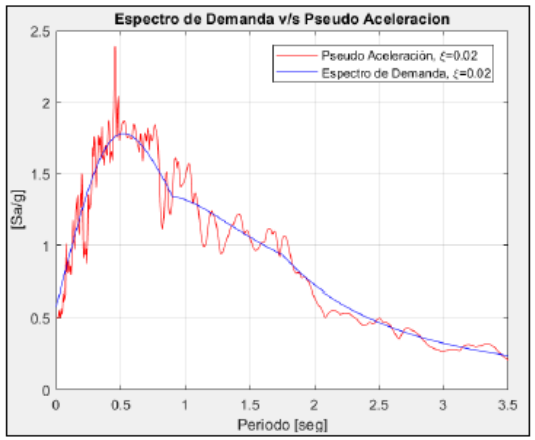

## Concepción 2010 - Longitudinal




## Constitución 2010 - Longitudinal



# Conclusiones

El utilizar un factor de modificación de la respuesta (R) igual a 5 y un amortiguamiento (ξ) del 5% para el diseño estructural del muelle no parece representar el nivel de disipación de energía que puede desarrollar ni el que se desea.

En el caso estudiado el corte basal de diseño resultó muy similar en ambos escenarios, por lo que las diferencias se centraron en el detallamiento de: unión pilote-viga, ficha, corte y flexión en vigas de tablero.

El uso de cargas amplificadas ($0.7R_1$) para la evaluación de la ficha y la conexión pilote-viga, genera mejoras sustanciales en el desempeño sísmico.

Si bien se registra pandeo de pilotes sísmicos, la incursión inelástica no resulta elevada.

Los resultados del Modelo 2 permiten establecer, al menos desde el punto de vista estructural, una continuidad operacional prácticamente inmediata. El Modelo 1 no permite establecer aquello.

# Referencia

**Nuevas disposiciones de diseño NCh2369 Capitulo 13 “Estructuras marítimo-portuarias de tipo muelle transparente”. Ejemplo de diferencias entre desempeños esperados**

C. Peña L. (1), D. Durán S. (2)

SIOP VALPARAÍSO 2022
IX Seminario Internacional de Ingeniería y Operación Portuaria

# Actualización prNCh2369

## Capitulo 13
## Diseño Sísmico de Muelles Transparente

## MUCHAS GRACIAS!!!


**M. Medalla, MEng, PhD©**

**Revisor Sísmico, Worley**

miguel.medalla@worley.com

**Socio, AMU Ingenieros**

miguel.medalla@worley.com

**Secretario Técnico (S) Capítulo 13 Norma NCh2369**