



**NUEVA NORMA NCh2369:2023:**

**DISEÑO SÍSMICO DE  
AEROGENERADORES EN CHILE**

Francisco Jimenez Reid





+ 30  
PROYECTOS

+ 3000 MW  
POTENCIA  
INSTALADA



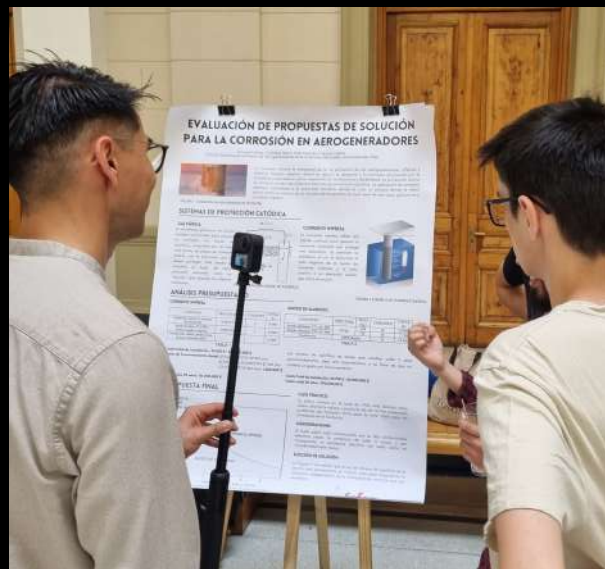
Raúl Campos



Francisco Jiménez



Fernando Ruiz



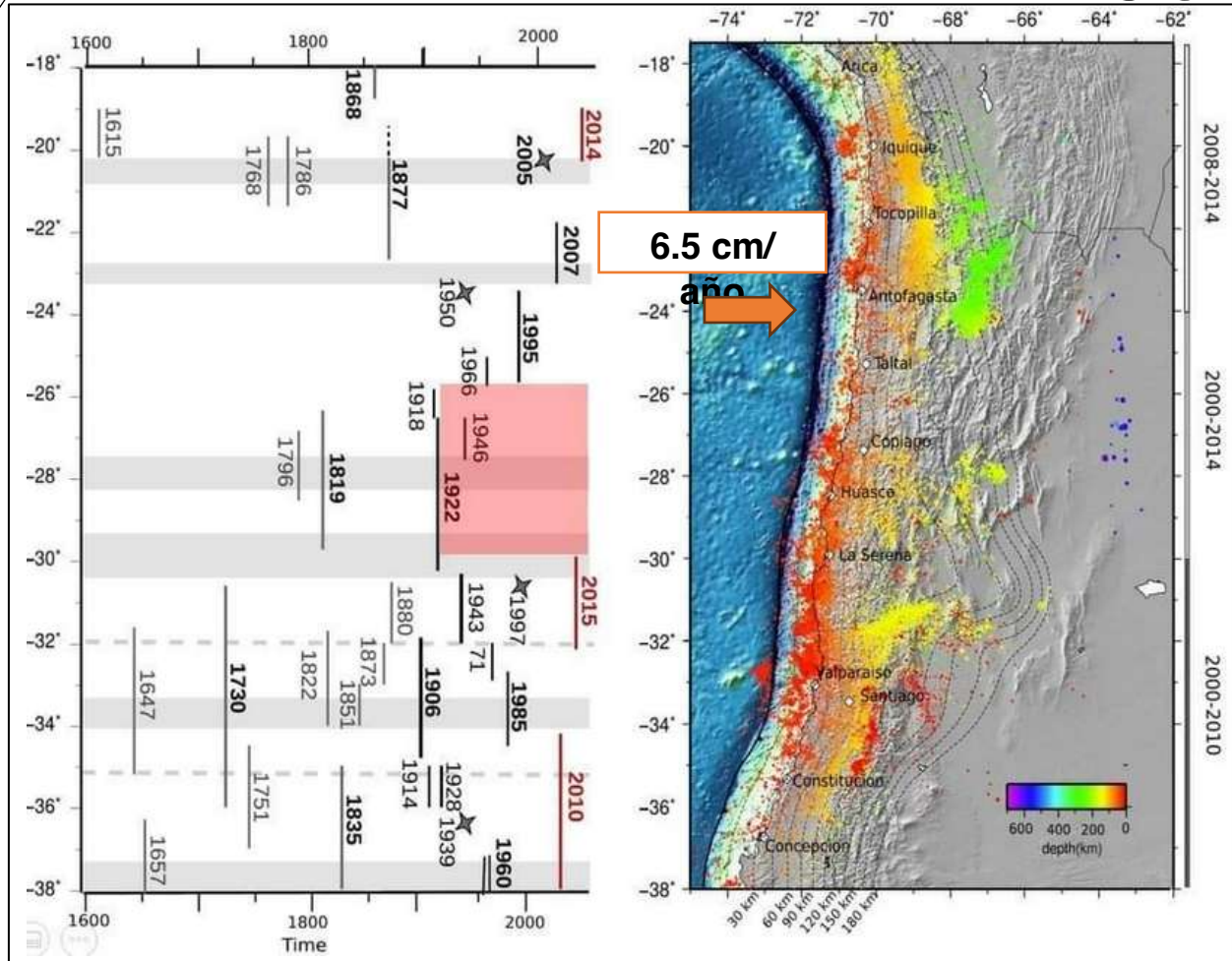
## DISEÑO DE AEROGENERADORES ANTE AMENAZAS NATURALES



PhD(c) Bastián Garrido



# AMENAZA SÍSMICAS EN CHILE Y AEROGENERADORES



Posibles Daños:

- Aspas
- Equipos
- Torres / Conexiones
- Fundaciones / Anclajes



Tohoku Earthquake (2012)



Basado en datos del CSN



# MARCO NORMATIVO



NORMA TÉCNICA DE  
SEGURIDAD Y CALIDAD DE  
SERVICIO

Pre- 2023

ETG 1020 (Ingendesa,  
1998)

Versión resumida

ETG 1.015 (Endesa, 1987)

Conceptos  
obsoletos

NCh2369.Of2003

Instalaciones Industriales

Referencias  
Internacionales

ASCE-AWEA

Estados Unidos

DNV-GL

Noruega - Alemania

IEC

Europa

Desde-  
2023

NCh2369:2023

Cap. 14: Sistemas de generación de  
energía eléctrica

Cap. 14.11: Parques Eólicos

No ha sido oficializada

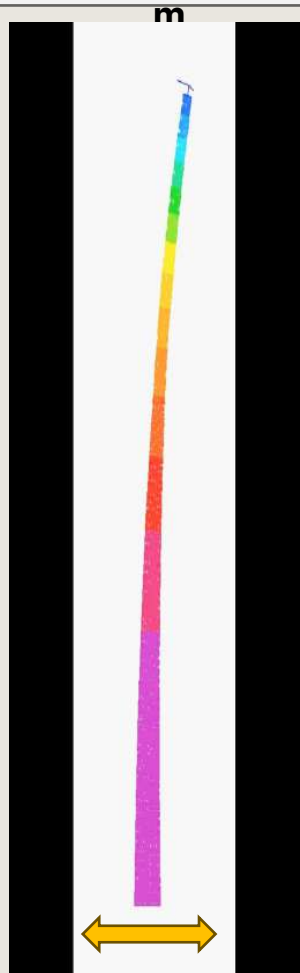
Consulta pública Abril 2024

Artículo 3-3:

Para asegurar la Calidad  
asísmica, en el diseño **se**  
**aplicarán las normas**  
**chilenas**. Donde **no existe**  
norma chilena se deberá usar  
la especificación técnica  
ETG-1020 de ENDESA, o la  
IEEE Std 693-2005 (...)

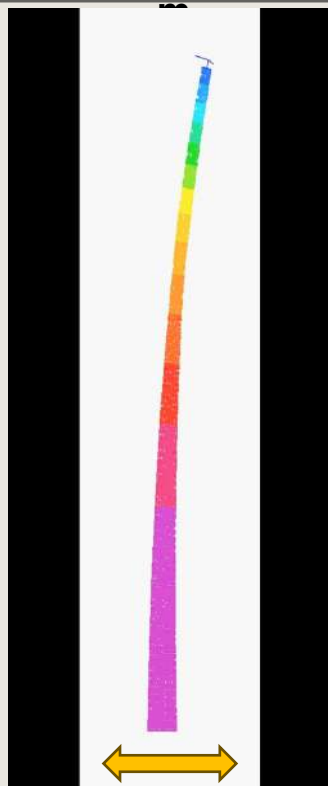
# RESPUESTA SÍSMICA DE LA TORRE

Torre de Acero 148

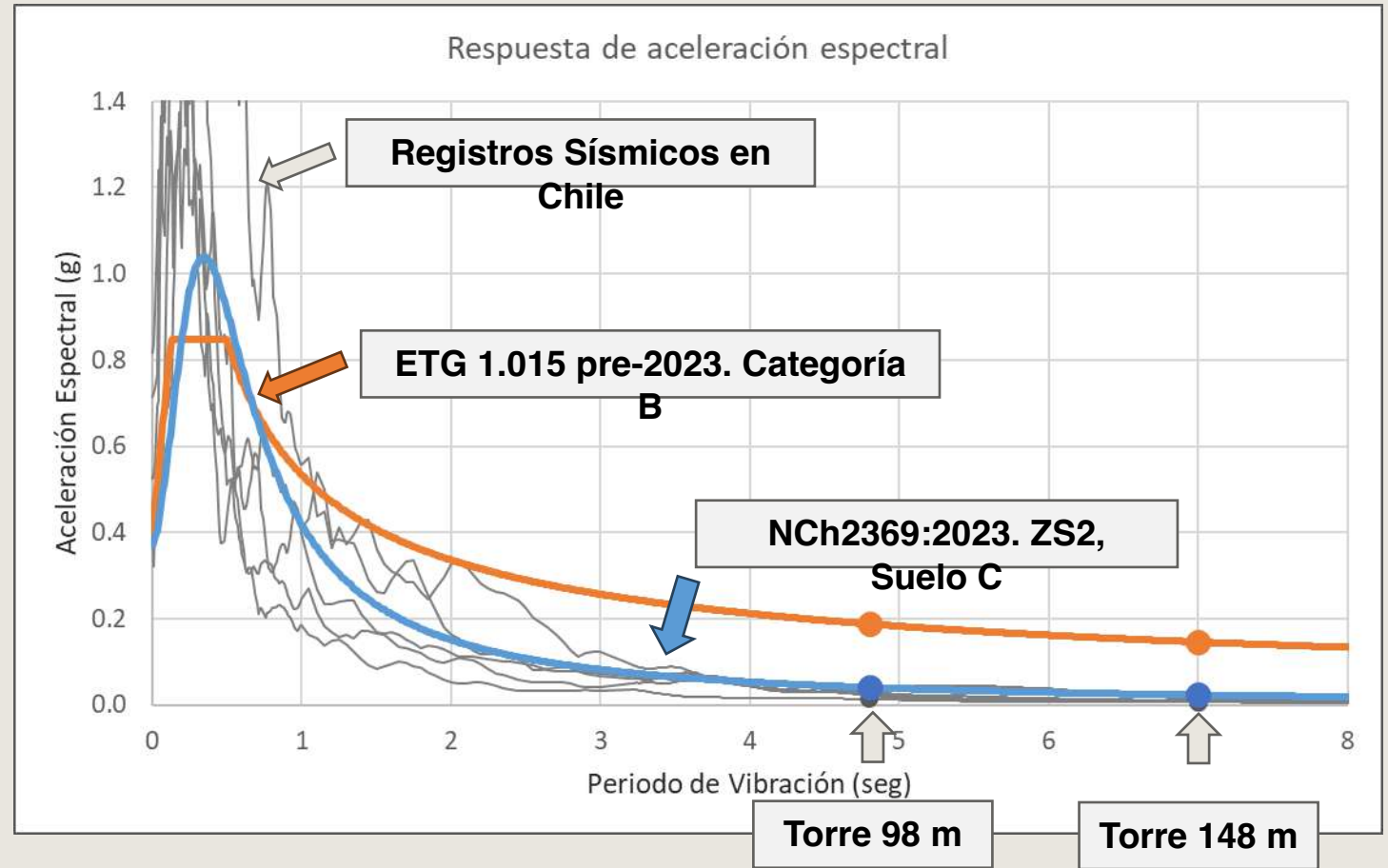


Periodo Fundamental de Vibración = 7.0 s

Torre de Acero 98



Periodo Fundamental de Vibración = 4.8 s



# REDUCCIÓN DE LA ACELERACIÓN POR DUCTILIDAD Y CALIDAD DEL ACERO



Energía Disipada

Falla Dúctil

Ej: Aceros Soldables

A250ESP (Nacional)

S355 (Europeo)



Energía Disipada

Falla No Dúctil

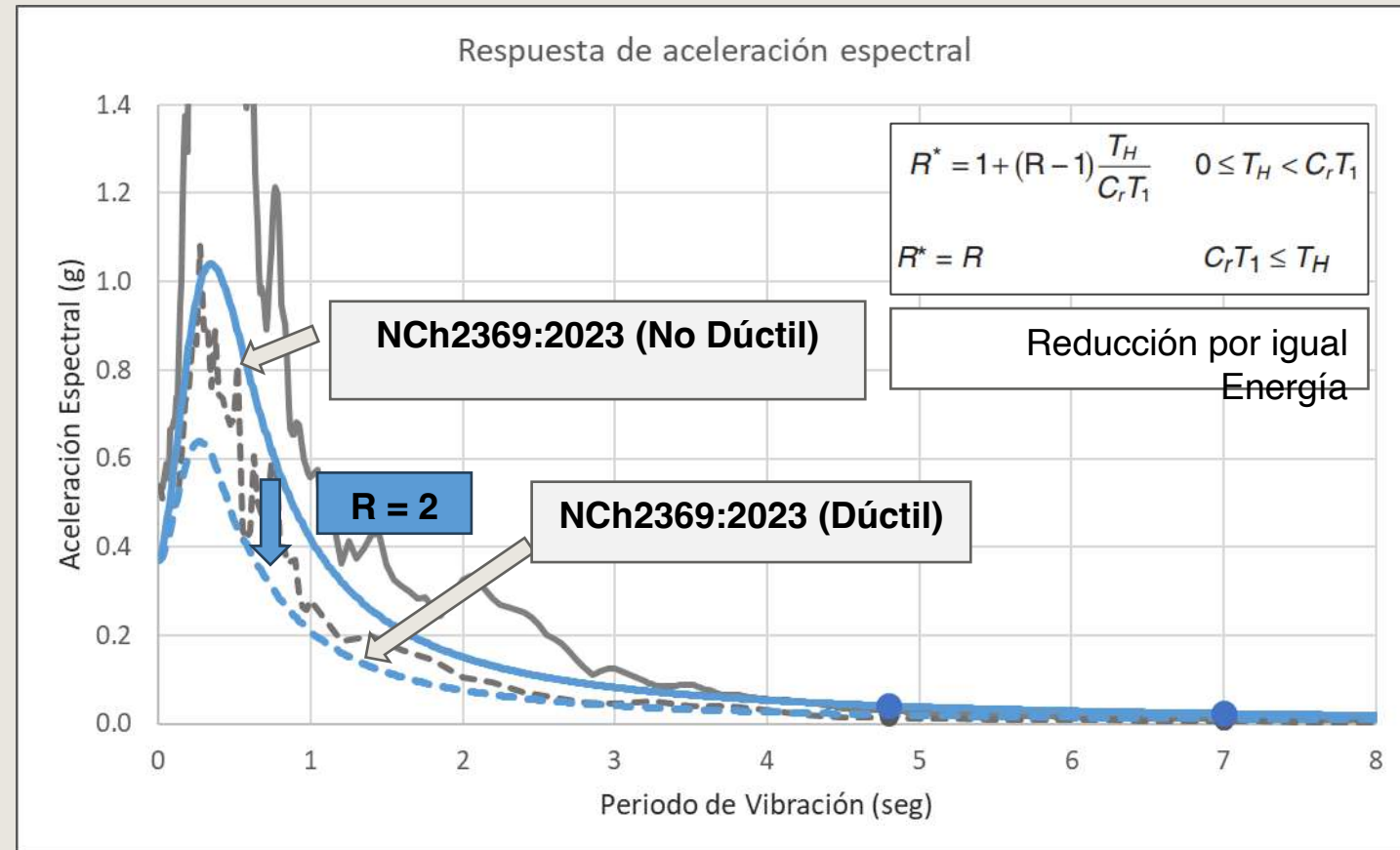
Ej: Aceros Alta

10.9 para Pernos

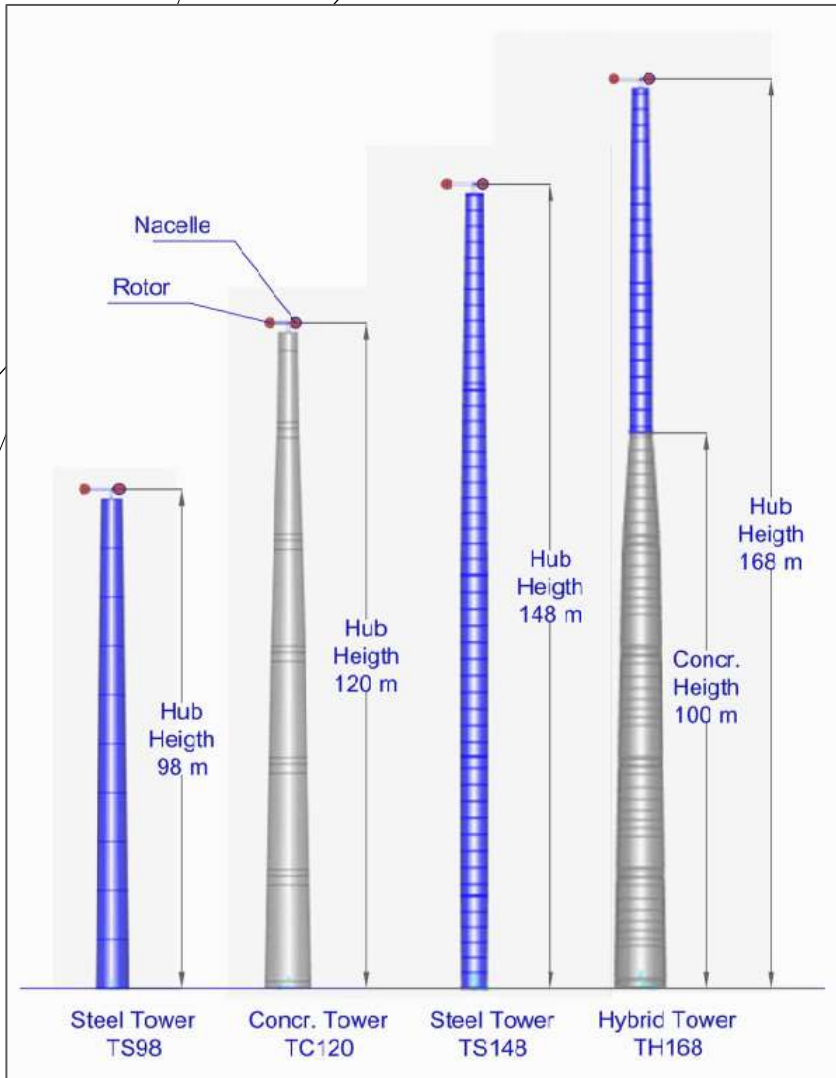
(Europeo)



Reducción de la Respuesta de Aceleración  
"R" = valores entre 1.0 a 2.0



# ARGAS EN LA BASE DE LA TORRE Y ANCLAJES



Periodo fundamental de vibración:

4.7 s      2.5 s      4.8s      7.1 s



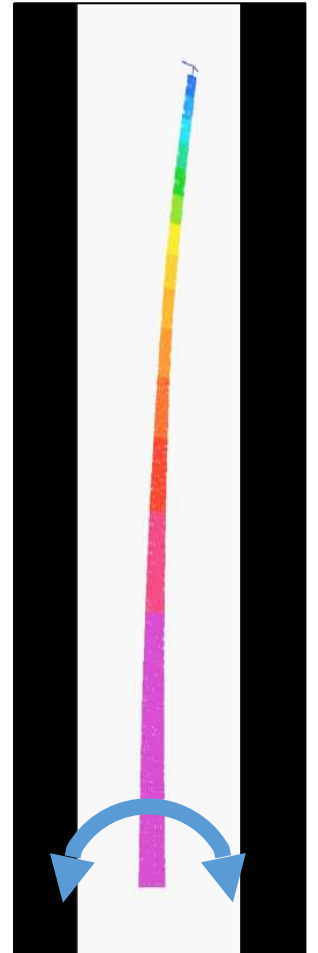
## CASO DÚCTIL (R=2)



¿SIEMPRE FAVORABLE?

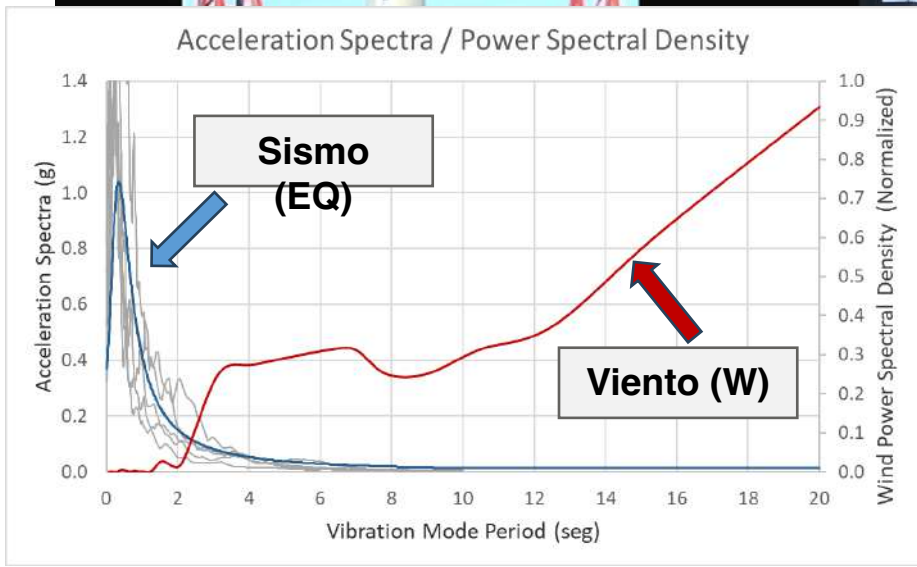
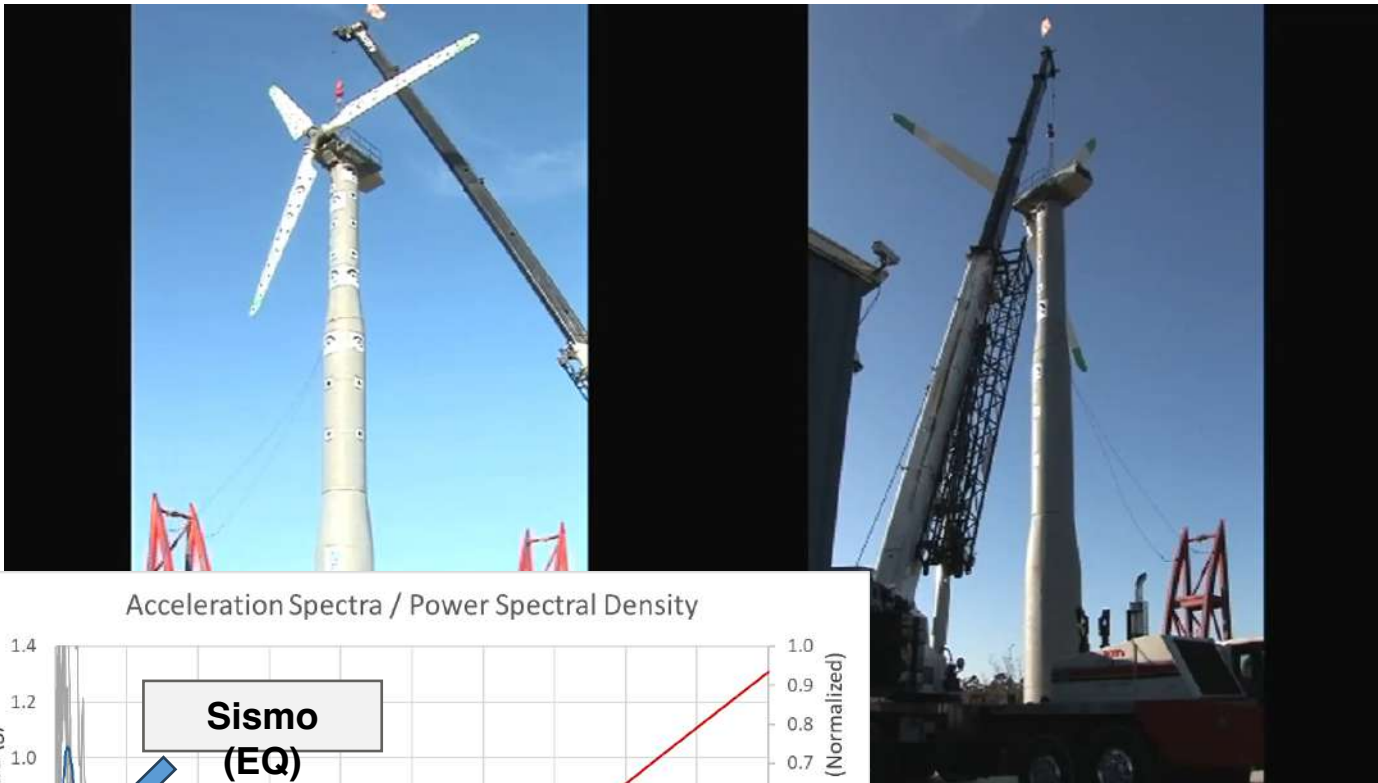
	ETG1.015 + NCh2369 Of.2003	NCh2369 :2023	
TS98	38691	19332	-50% ↓
TC120	106662	60452	-43% ↓
TS148	62933	28080	-55% ↓
TCS168	136445	81660	-40% ↓

- CALIDAD DEL SUELO
- ZONA SÍSMICA (EJ: COSTA)
- MATERIAL TORRE (CONCRETO)
- TIPO DE FALLA (PANDEO MANTO)



**Volcante**

# COMBINACIÓN SISMO (EQ) + VIENTO (W)



Prowell (2008)  
UCSD

No son simultáneos

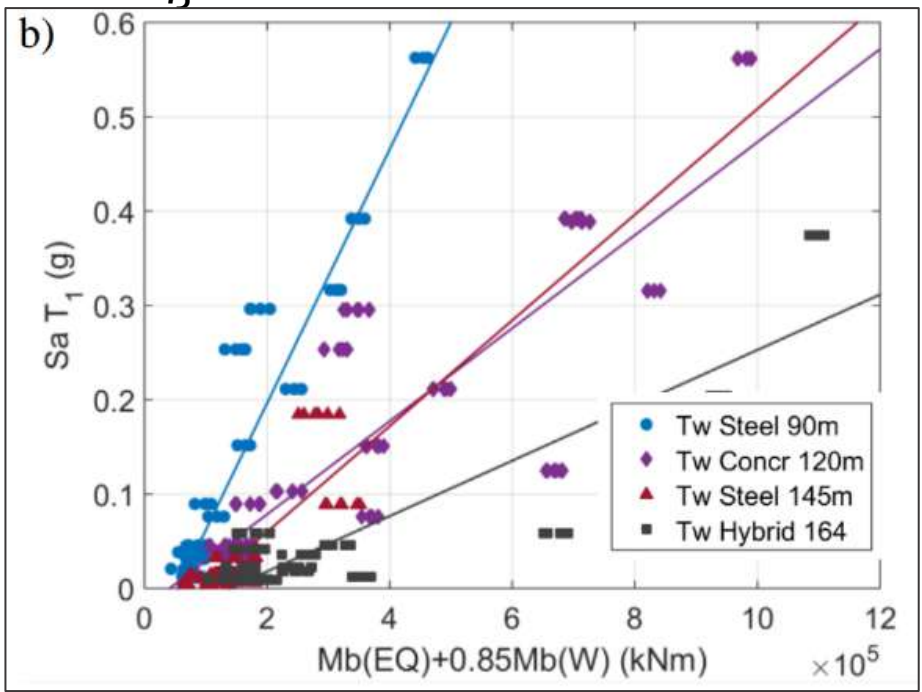
- Casos:
- Sólo Sismo
  - Sismo + Viento Operacional
  - Sismo + Parada Emergencia

ASCE-AWEA  $0.75 \cdot EQ + 0.75 \cdot W$

IEC  
GL  
EQ + W



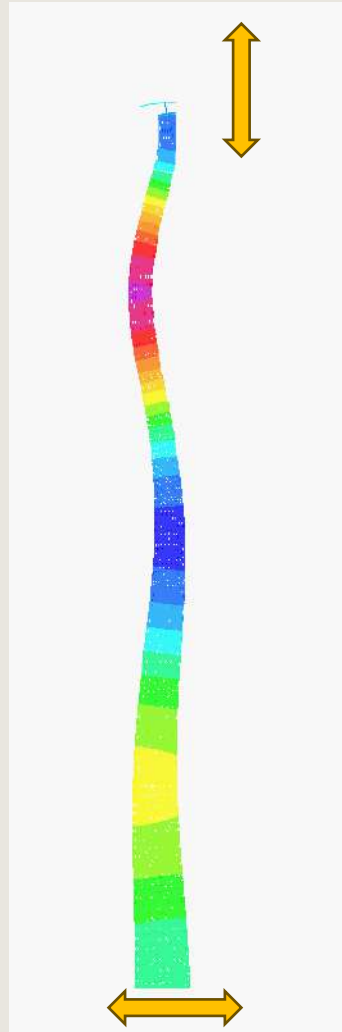
NCh2369:202  $EQ + 0.85 \cdot W$



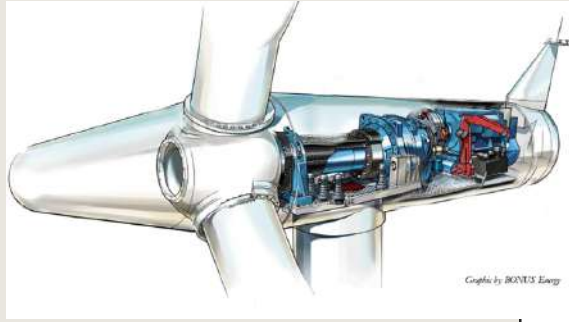
Campos, Jiménez & Montalva (2021) Combination Rules



# RESPUESTA EN EL TRAMO SUPERIOR

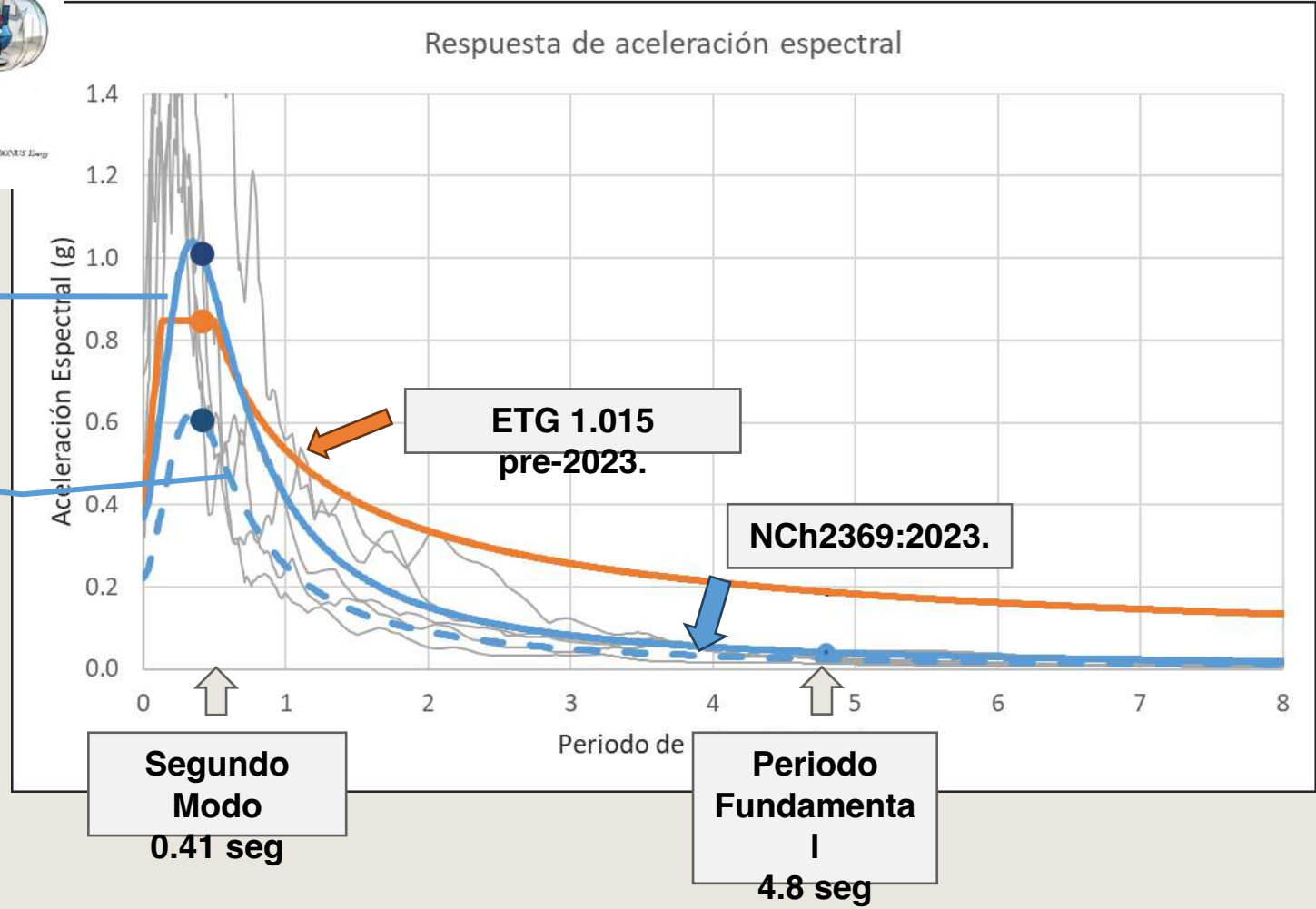


Segundo Modo  
Periodo= 0.41 s



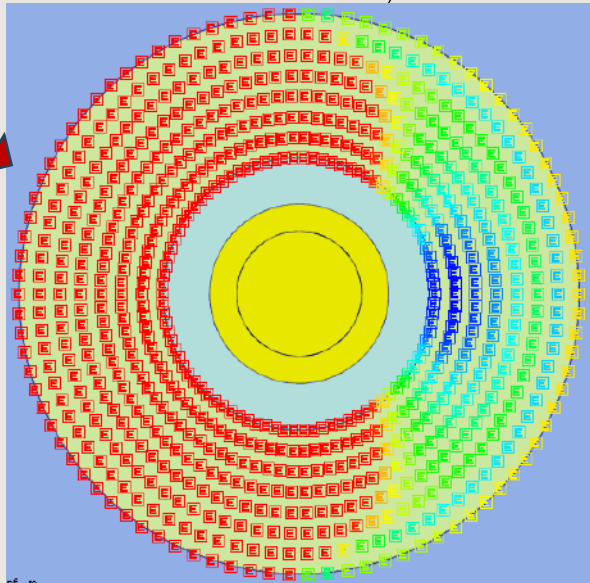
Probabilidad de Excedencia de 10% en 50 años

Probabilidad de Excedencia de 10% en 20 años



# CLASIFICACIÓN SÍSMICAS DE SUELOS

Área levantada



Diseño Tradicional



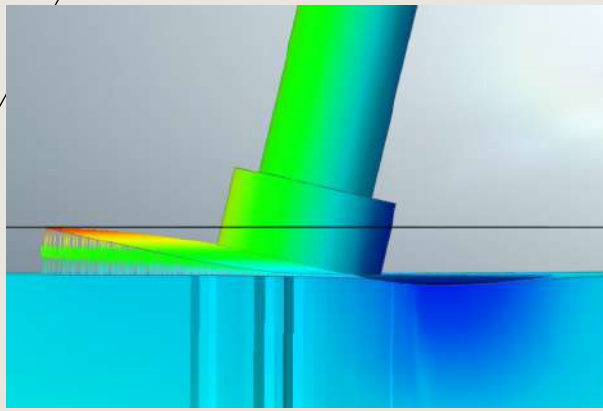
Tabla 4 – Definición de los tipos de suelos de fundación (sólo para ser usada con Tabla 5)

Suelo Tipo	$V_{s30}$ [m/s]	$T_g$ [s]
A	Roca, suelo cementado	$\geq 900$ < 0,15 (o H/V plano)
B	Roca blanda o fracturada, suelo muy denso o muy firme	$\geq 500$ < 0,30 (o H/V plano)
C	Suelo denso o firme	$\geq 350$ < 0,40 (o H/V plano)
D	Suelo medianamente denso, o firme	$\geq 180$ < 1,00
E	Suelo de compactidad, o consistencia mediana	< 180

F: Suelos especiales, licuables, topografía, etc.



- Amenaza Sísmico del Específica del Sitio
- Análisis Integrado del suelo-Fundación



	ÁREA DE SUELO COMPRIMIDA
ANALITICO	58.6%
MODELO TRADICIONAL SAP-WINKLER	50.7%
MODELO ESPECIAL	45,8% ± 1,8%

# GRACIAS

[fcojimenezr@gmail.com](mailto:fcojimenezr@gmail.com)

[fcojimenez@uchile.cl](mailto:fcojimenez@uchile.cl)

