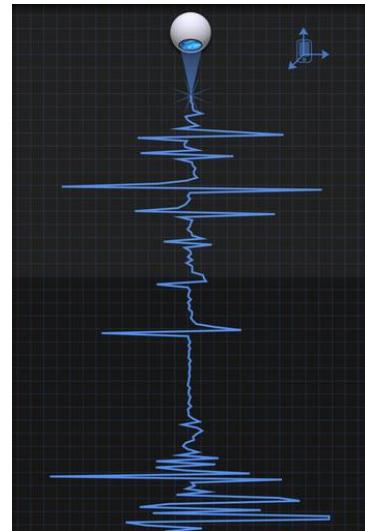
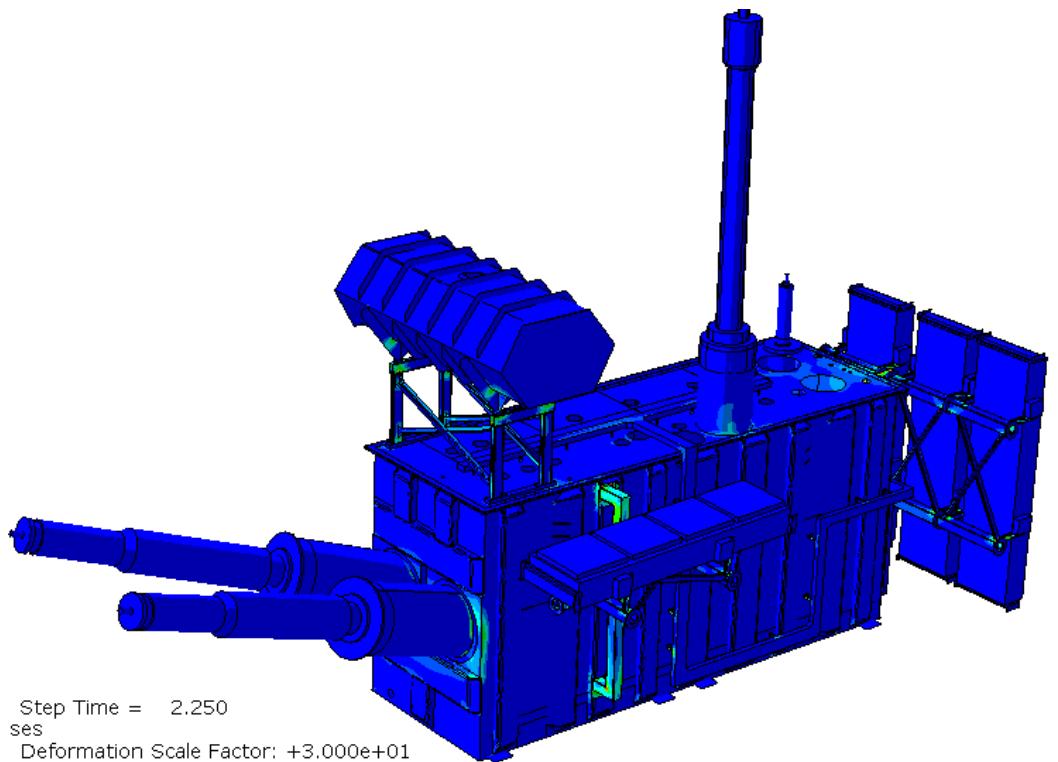


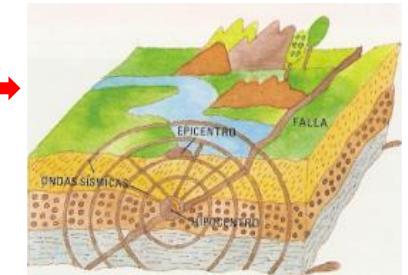


PERU, ABRIL 06 2017

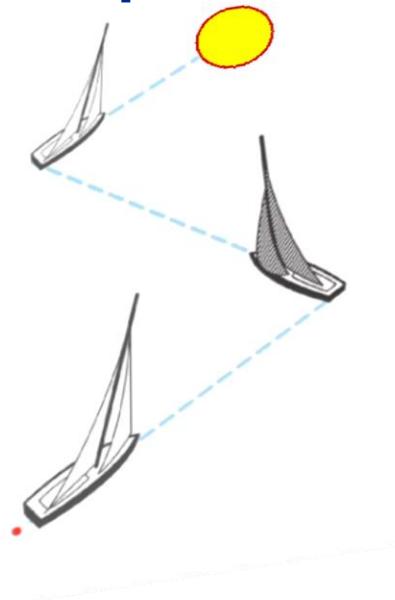
**Sabe Usted si su transformador esta  
preparado para enfrentar el próximo  
sismo?**



# Suministro de energía: limpia, eficiente y confiable entendiendo la naturaleza y sus fenomenos

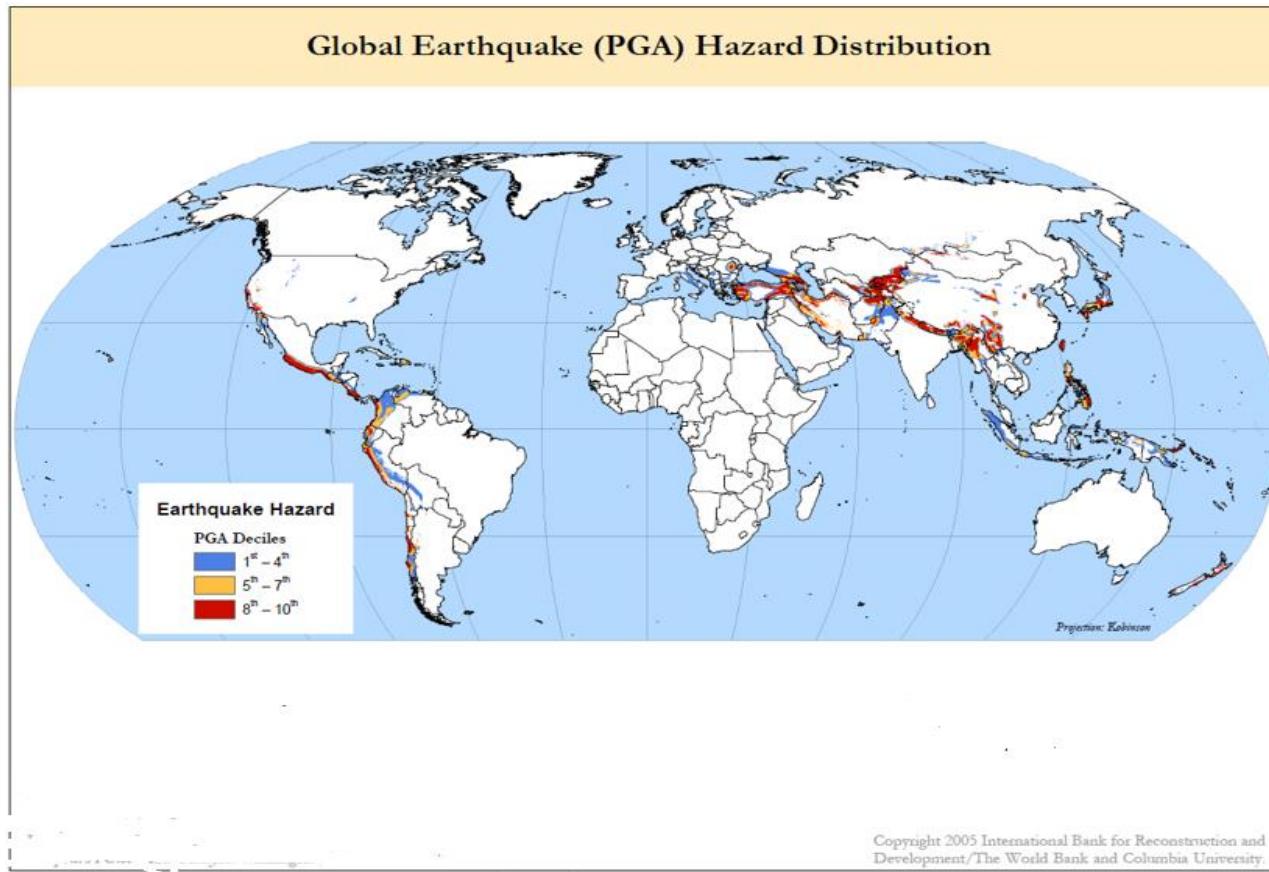


# Objetivos principales de la presentación

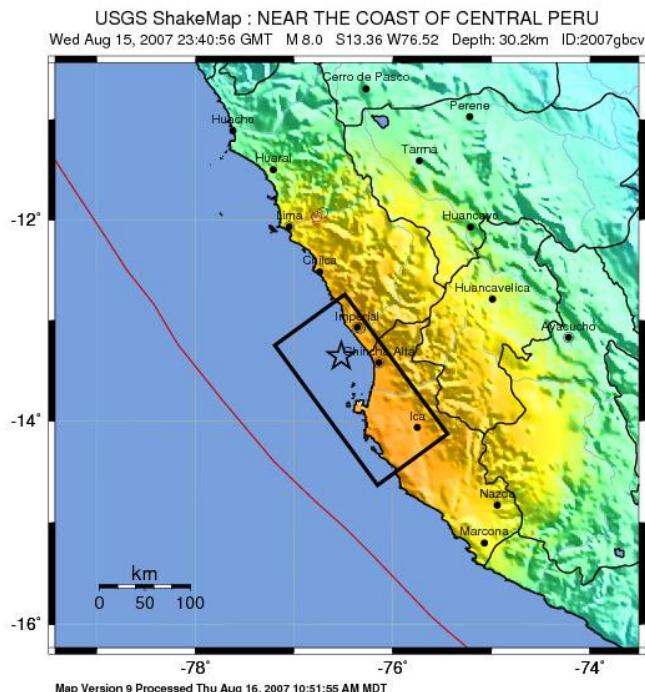


1. Mostrar la importancia y relevancia actual del tema sísmico en equipo eléctrico, región LAM.
2. Conocer brevemente los componentes críticos al sismo en transformadores, fallas y sus causas.
3. Mostrar innovaciones en componentes y técnicas de cálculo-ensayos para aumentar confiabilidad sísmica en transformadores de potencia y distribución.
4. Listar algunas recomendaciones para un buen diseño sismo resistente en transformadores.

# Riesgo sísmico en el mundo: América Latina y el Caribe están entre las regiones más expuestas a terremotos en el mundo



# Riesgo sísmico en Perú: La costa Peruana ha sido ya expuesta a un sismo muy fuerte cerca de Pisco 8.0 Richter.



PERCEIVED SHAKING	Not felt	Weak	Light	Moderate	Strong	Very strong	Severe	Violent	Extreme
POTENTIAL DAMAGE Residential Structures	none	none	none	V. Light	Light	Moderate	Moderate/Heavy	Heavy	V. Heavy
POTENTIAL DAMAGE Vulnerable Structures	none	none	none	Light	Moderate	Moderate/Heavy	Heavy	V. Heavy	V. Heavy
PEAK ACC.(%g)	<1.7	.17-1.4	1.4-3.9	3.9-9.2	9.2-18	18-34	34-65	65-124	>124
PEAK VEL.(cm/s)	<0.1	0.1-1.1	1.1-3.4	3.4-8.1	8.1-16	16-31	31-60	60-116	>116
ESTIMATED INTENSITY	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X+

# Escalas de intensidad y magnitud sísmica

## As Aceleración que sufre la superficie del terreno en g

### Comparación escala Mercalli - Richter

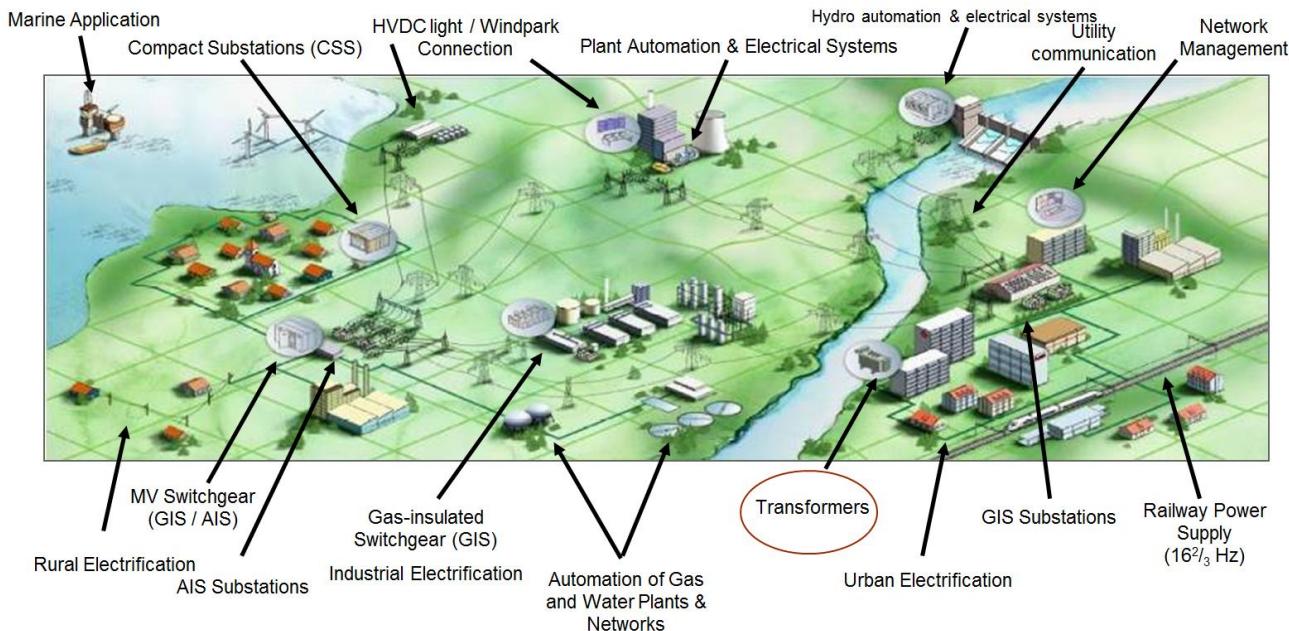


Escala de Mercalli	Aceleración sísmica (g)
I	< 0.0017
II-III	0.0017 – 0.014
IV	0.014 – 0.039
V	0.039 – 0.092
VI	0.092 – 0.18
VII	0.18 – 0.34
VIII	0.34 – 0.65
IX	0.65 – 1.24
X+	> 1.24

Eduardo Gómez

# Impacto sísmico en equipos eléctricos:

## Aplicaciones generales de ABB



- ABB experience of substation equipment seismic design
  - Plants
  - Transformers, bushings, capacitors, reactors
- Circuit Breakers
  - Experience for seismic verification
  - Application of stronger insulators, structures and seismic dampers
  - Composite insulators versus ceramic insulators

**El transformador es el componente principal de la subestación, comprende en capital casi el 60% de la inversión total**



# Daños importantes en subestación 220 KV

## Mayo 12, 2008 en Yingxiu-China (PGA cerca de 0.5g).



Figure 9. Destruction to Ertaishan Substation, 220 kV, Yingzhou

Voltage (kV)	Type	Number Damaged
500	Power Transformers / Reactors	7
220	Power Transformers	25
110	Power Transformers / Reactors	84
110	Current Transformers	115
220	Potential transformers	16
500	Potential transformer	1
	Circuit Breakers	91
	Disconnect Switches	Many

Table 3. Damage to Electric System Components

# Daños en transformadores de distribución

## Febrero 27, 2010 Chile



Fig. 3.20 Mid-voltage,  
pole-mounted transformers  
displaced or shifted outside  
their base.

Fig. 3.20 Transformadores  
de media tensión aéreos  
fuera o desplazados  
de su base.

## **Daños importantes en subestación Manzanillo**

### **Enero 21, 2003 en Manzanillo-Méjico (7.6 Richter).**

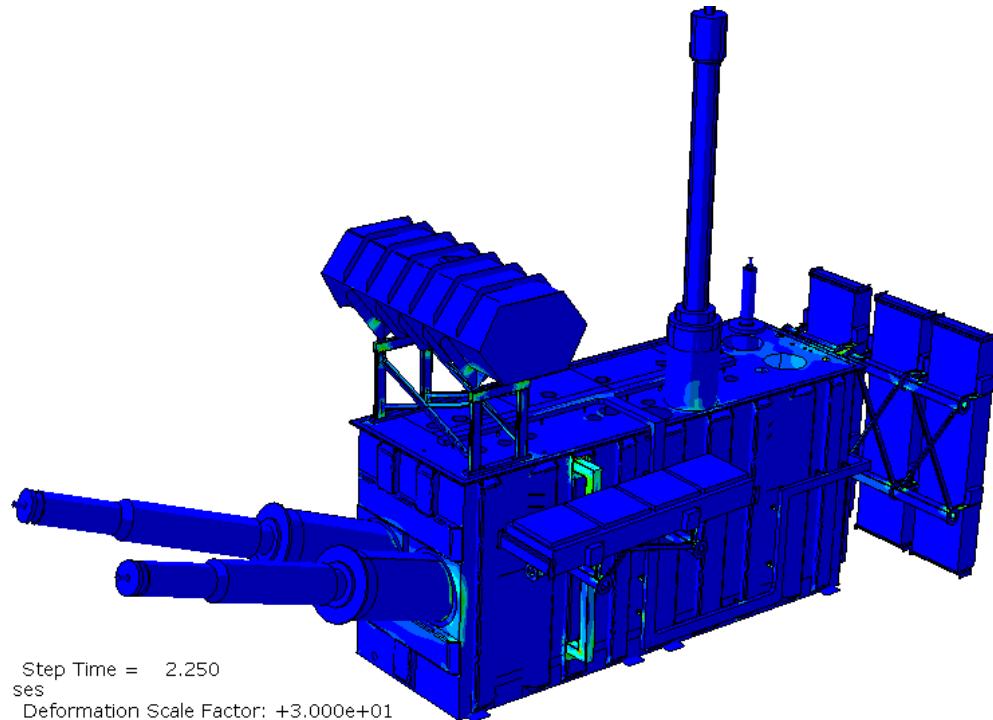


**Figura 15 Colapso de Transformadores de Potencia (TP) de 400 kV**

# Daños importantes en aisladores 115,230, 550 KV Febrero 27, 2010 en Concepción-Chile (PGA >0.5g).



**Transformadores que operan en zonas sísmicamente activas, deben ser diseñados y probados para garantizar un desempeño apropiado.**





Resistencia al fenómeno sísmico  
El valor de la experiencia

Power and productivity  
for a better world™



## Fallas en transformadores durante evento sísmico

- Las fallas usuales en transformadores durante los últimos terremotos se clasifican como:
  1. Falla de transformadores sin anclaje
  2. Falla del anclaje
  3. Falla del fundamento (Obra civil) del transformador
  4. Falla de los aisladores y descargadores
  5. Falla del conservador
  6. Falla del sistema de enfriamiento (Radiadores)
  7. Falla del gabinete de control, fijaciones de parte activa y soportes de descargadores



# Fallas en transformadores durante evento sísmico anclajes



# Fallas en transformadores durante evento sísmico fundaciones y aisladores

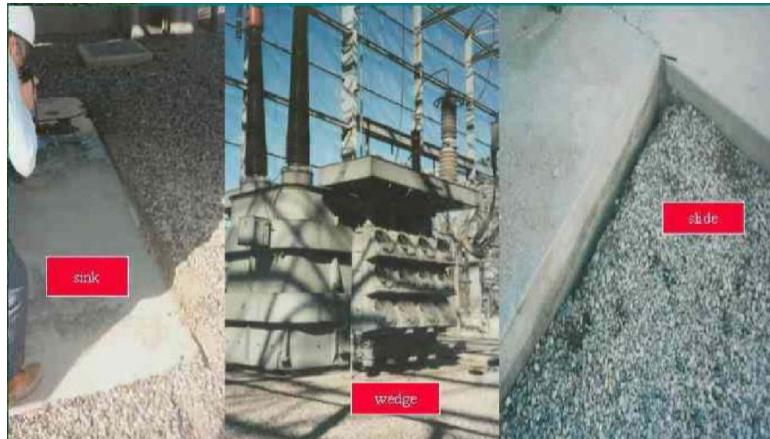
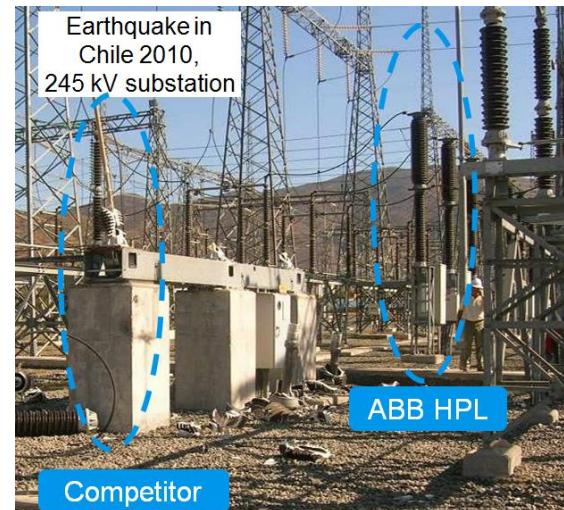
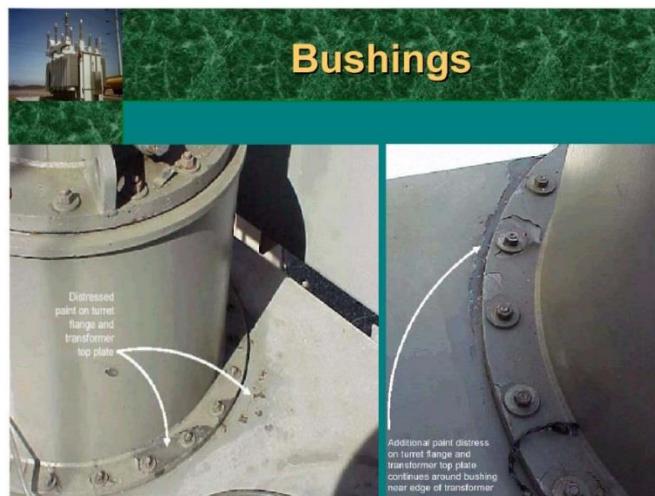
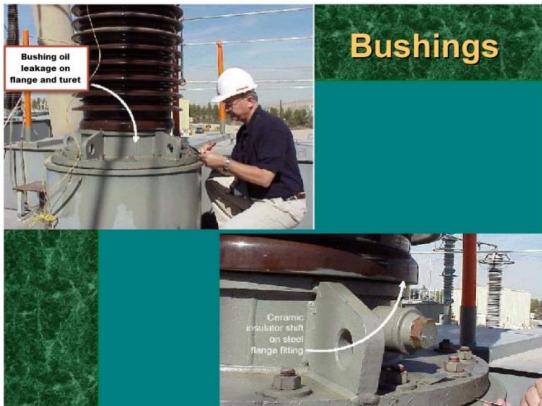


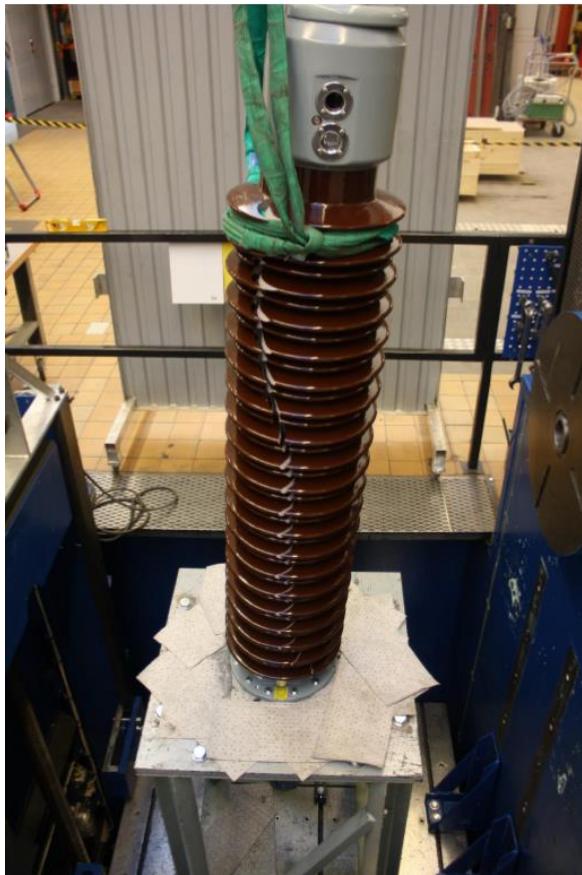
Figure 6. Bushing. 500 kV Transformer

# Fallas en transformadores durante evento sísmico aisladores, domos, interruptores



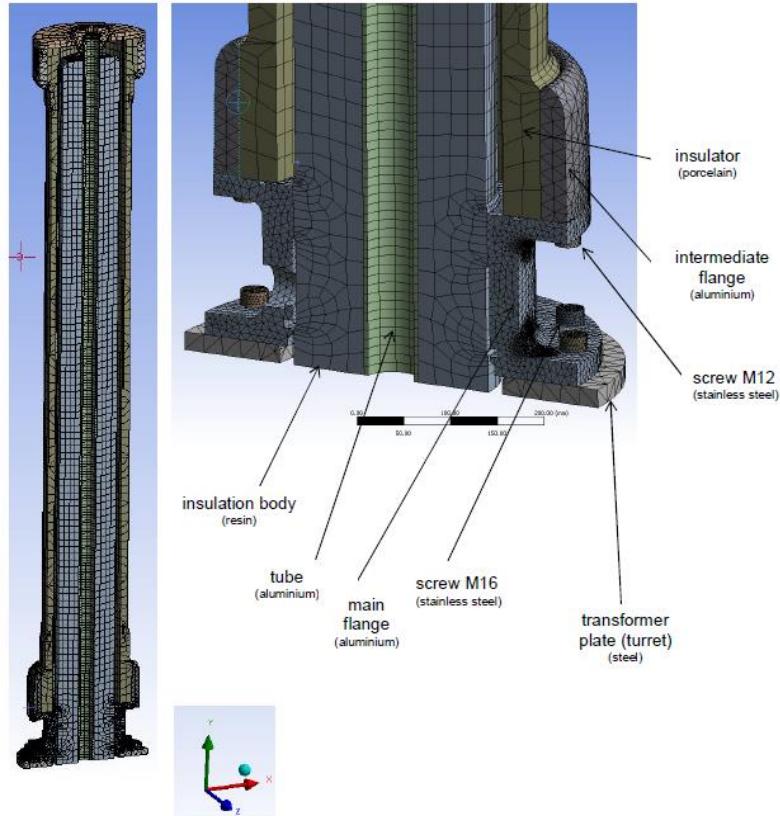
# Causas de fallas en evento sísmico

## Resistencia de porcelanas y flanches inferior a lo garantizado



9.4. FEM Model:

9.4.1. Half model: knots 522902 and elements 309523



# Causas de fallas en evento sísmico

## Verificación estática de aisladores



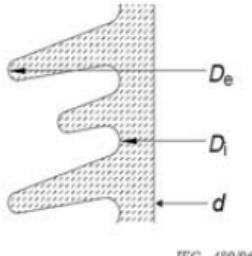
### Appendix - Parameters for Seismic Static Coefficient Calculations on Transformer Bushings

#### Bushing GOE 1050 750 2500

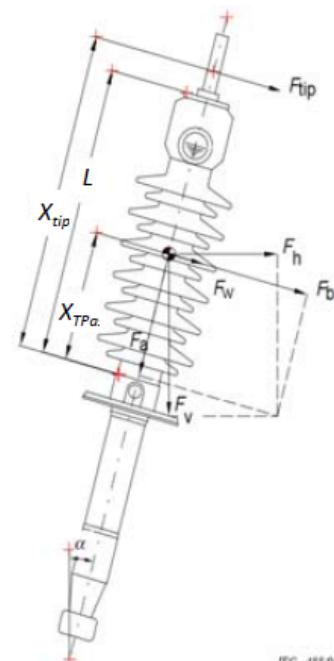
##### Data

Type	3. Mech. Ring	Type (1.Sealing 2.Cemented 3.Mechanical ring)
$U_r$	245 [kV]	Rated Voltage of equipment
$I_c$	18.8 [kA]	RMS Short Circuit current per Design.
$\alpha$	10 [ $^{\circ}$ ]	Installation angle in degrees
$m_{as}$	662 [kg]	Total mass on the air side of Bushing
$X_{tip}$	2,935 [mm]	Distance to the tip on the air side of Bushing
L	2,724 [mm]	Distance to the top of mounting flange on the air side of Bushing
$X_{TPa}$	1,313 [mm]	Distance center of gravity on the air side of Bushing
d	295 [mm]	Inner diameter of insulator
$D_i$	355 [mm]	Outer diameter of the homogen part of insulator
$D_e$	485 [mm]	Outer diameter of the sheeds part of insulator
$F_p$	100,000 [N]	Axial prestressal force in the Bushing
P	0.5 [atm]	Design Pressure (factor for over pressure, i.e. 1.0 = 1 atm over pressure)
Fleak	15,570 [N]	Cantilever load withstand, guaranteed bending force at bending strength test , Leak
Fbreak	32,739 [N]	Cantilever load withstand, guaranteed bending force at bending strength test , Break
$\sigma_{C130}$	40 [Mpa]	Minimum Rated Strength of insulator (Type 1 & 2, Porcelain C130 = 50 MPa) (Type 3, Clamped = 40 MPa)

##### INPUT



IEC 489/96



IEC 489/96

##### Seismic Parameters

ZPA	0.50 [g]	Zero Period Acceleration
$\delta$	2.0 [%]	Damping (ETG A.0.20, 2%. Note! calculation only valid for $2\% \leq \delta \leq 5\%$ )

# Causas de fallas en evento sísmico

## Verificación experimental de aisladores

NTUA  
LEE

EARTHQUAKE TEST  
ABB TRANSFORMER BUSHING TYPE GSB 245/1600 0.6 WITH  
COMPOSITE INSULATOR

Page  
19



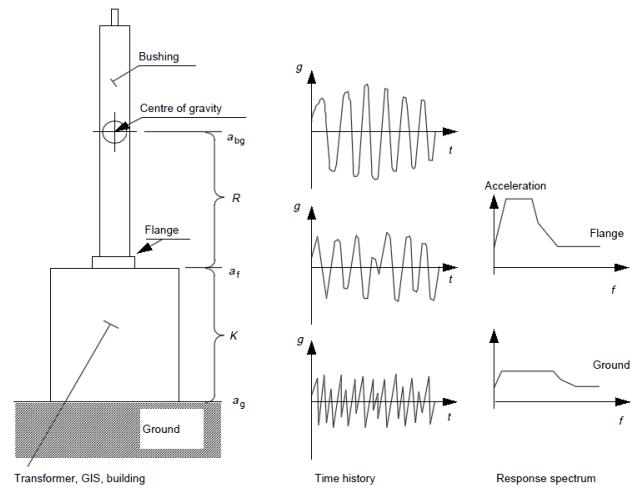
Figure 1. A view of the whole mounting of the specimen.

# Causas de fallas en evento sismico

## Efecto estructura

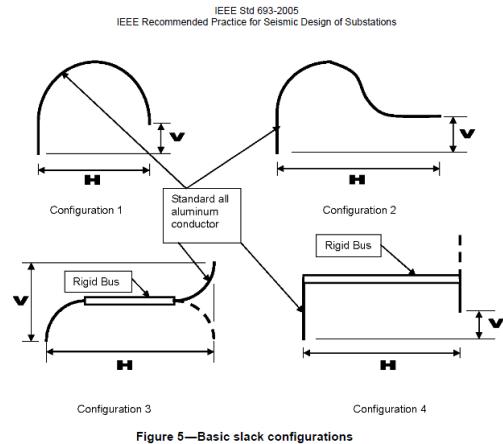
TS 61463 © IEC:1996+A1:2000

- 43 -

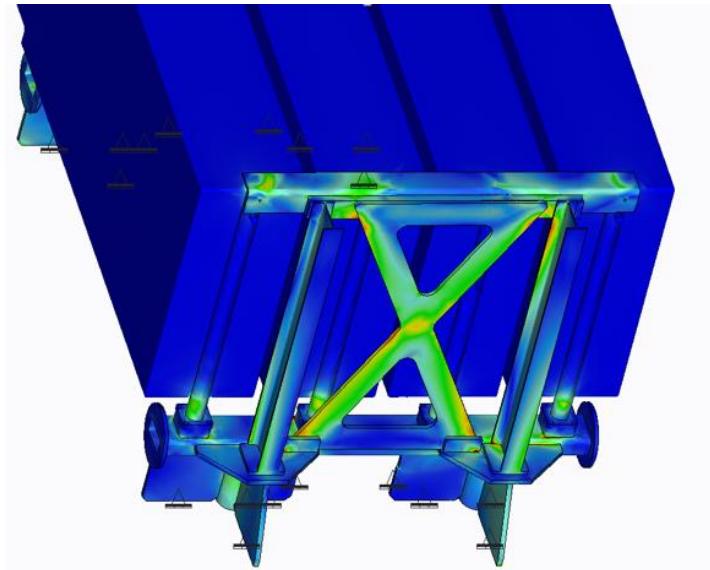
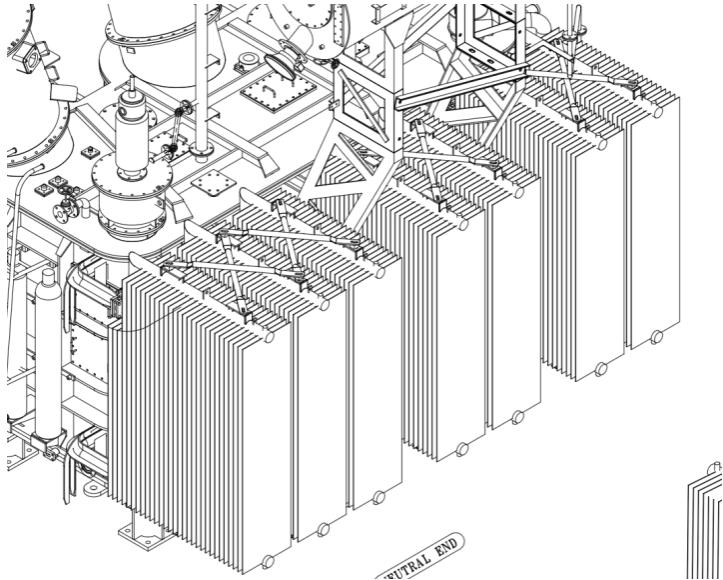


# Causas de fallas en evento sísmico

## Cables de conexión



## Causas de fallas en evento sísmico arriostramiento radiadores-Anclajes con poca rigidez



# Earthquake proof engineering

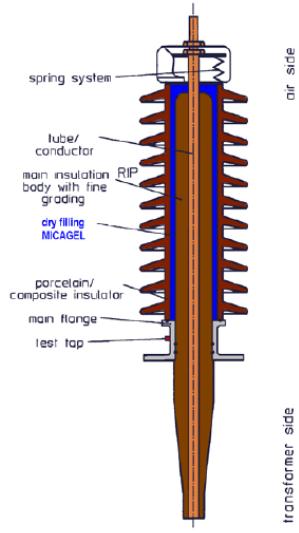
## Avances significativos



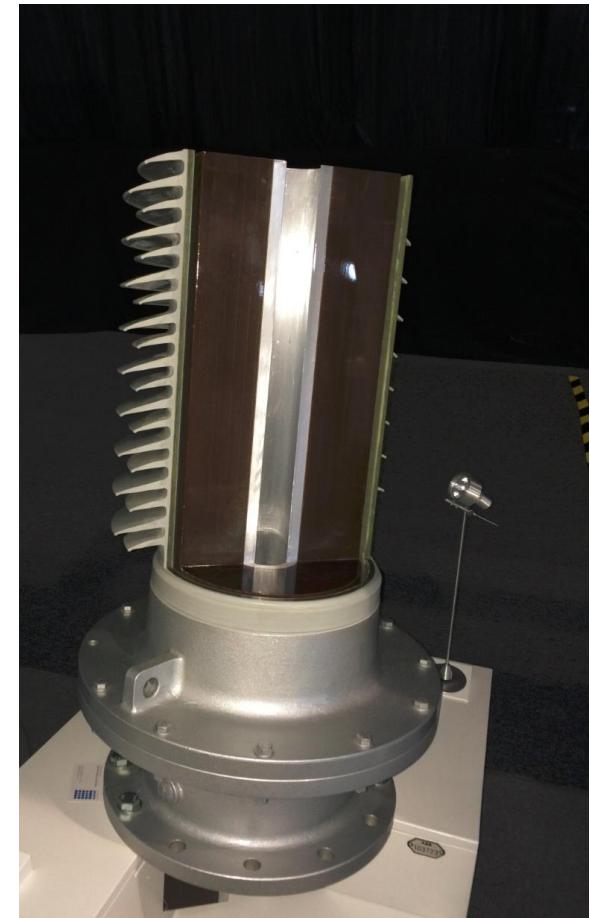
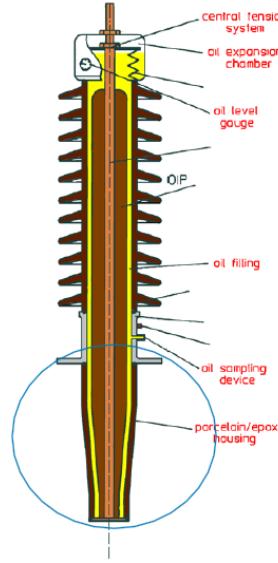
# Earthquake proof engineering

## Tecnología RIP comparada con OIP

Relleno con  
Micagel



Relleno con  
Aceite



TRANSFORMER  
BUSHING

R<sub>esin</sub>  
I mpregnated  
P oper

© ABB Switzerland Ltd, Micafil  
June 14, 2013 | Slide 9

O  
I mpregnated  
P oper

**ABB**

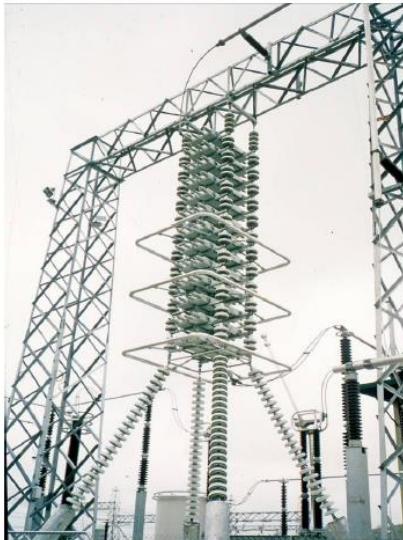
Transformadores que operan en zonas sísmicamente activas,

HVDC transformer, flexible bushing attachment



## Equipo de patio que opera en zonas sísmicamente activas,

DC filter suspended structure to minimize seismic stresses

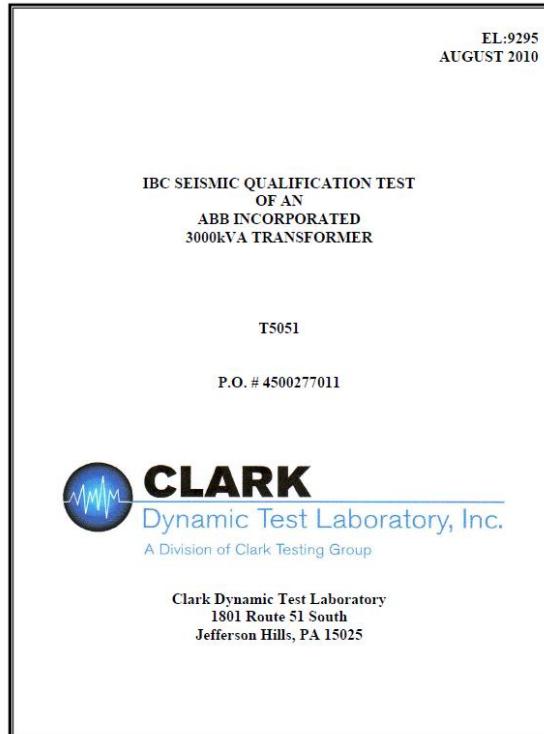


Insulator chains are fixing the capacitor stack.

Insulator chains are provided with dampers attached to ground foundation to minimize deflection of capacitor stack

**ABB**

# Transformadores DTR para centrales nucleares, deben ser diseñados y probados en mesa vibratoria para garantizar un desempeño apropiado.



# Evaluación sísmica de Transformadores DTR , Tipo radiador y tipo corrugado.



## SEISMIC EVALUATION OF STANDARD LMDT TRANSFORMERS

1LBA4660-307  
Rev.: -  
Page: 15 / 34

### 3.4 Simulation Results & Discussion

#### 3.4.1 IEEE693-2005 Results & Discussion

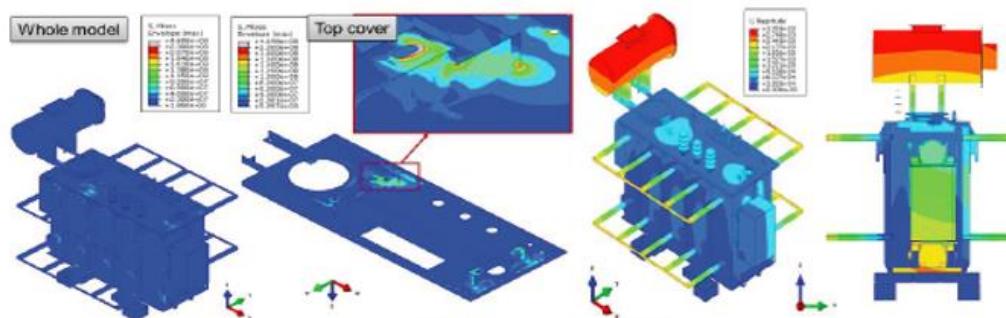
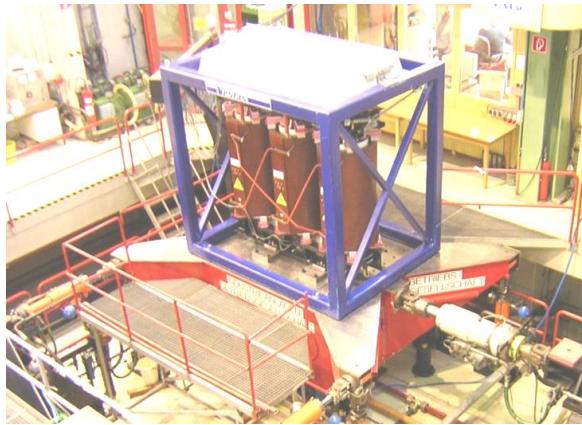
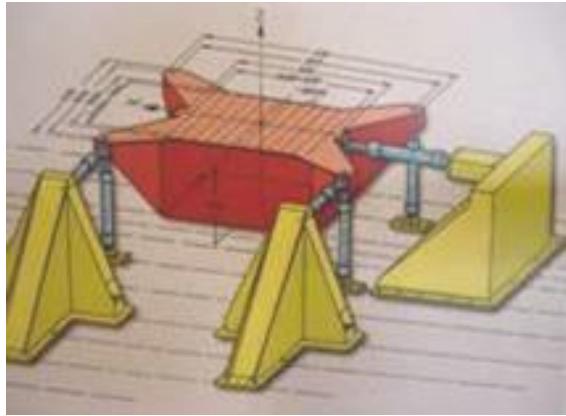


Figure 18: Von mises stress (Pa) (left), displacement (m) (right) distribution, 7 MVA transformer

# Evaluación sísmica de Transformadores DTR , Tipo seco



- The vibration to which the transformer is exposed to during its lifetime, was summarized in an acceleration spectrum with the simulation of its life cycle loads.
- Multi-axis vibration tests, and shock tests were performed as per IEC 68-2-6/59, German edition EN 60068 parts 2-6 and 2-59 as well as particular customer's requirements.
- Extreme accelerations due to handling or harsh vibration were also considered in these tests.

# Aclaración conceptos sísmicos

## Espectro de respuesta

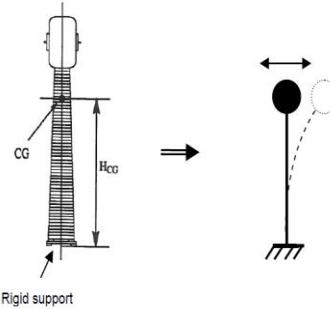


Fig. 4.2 Idealization of equipment by a single-degree-of-freedom system

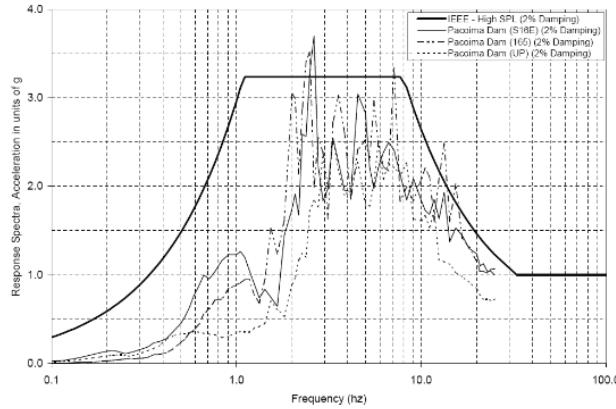


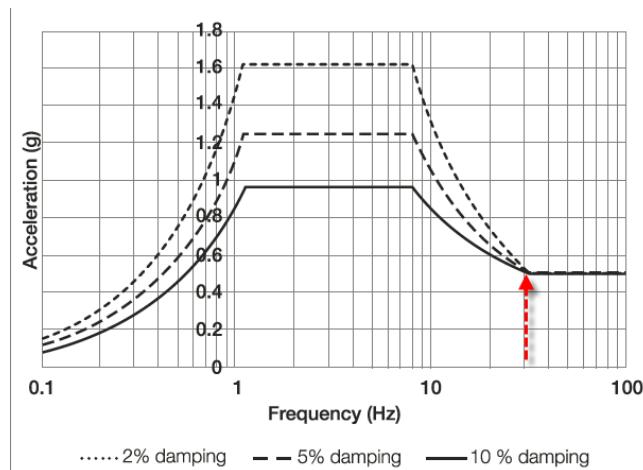
Figure 2-5 Acceleration Response Spectra for Components of Pacoima Dam Record and IEEE High Performance Level

- **Espectro de respuesta normalizado y Local**

- 1) Espectro de respuesta normalizado
- 2) Espectro de respuesta local (también llamado site-specific)

# Técnicas de cálculo, Cálculos estáticos, coeficientes estáticos, dinámicos, mesa vibratoria

1. Cálculos estáticos , Componentes rígidos > 30 HZ (resonancia)
2. Cálculos coeficientes estáticos , Componentes flexibles < 30 HZ frecuencia natural de resonancia
3. Cálculos dinámicos, interacción dinámica de todo el conjunto de componentes.
4. Mesa vibratoria, recreación experimental de la onda sísmica. Aisladores > 161 KV, descargadores > 90 KV



# Importancia de estandarización y normas

## Normas sísmicas equipos eléctricos, LAM

IEEE 693-1997,2005 USA, Recommended Practice for Seismic Design of Substations

ETG 1020 , 1997,2013 Chile, Requisitos de diseño sísmico para equipo eléctrico

UBC –IBC , 1997,2006 USA, Uniform Building Code

IEC 60068-3-3,1991 Suiza, Seismic test for equipments

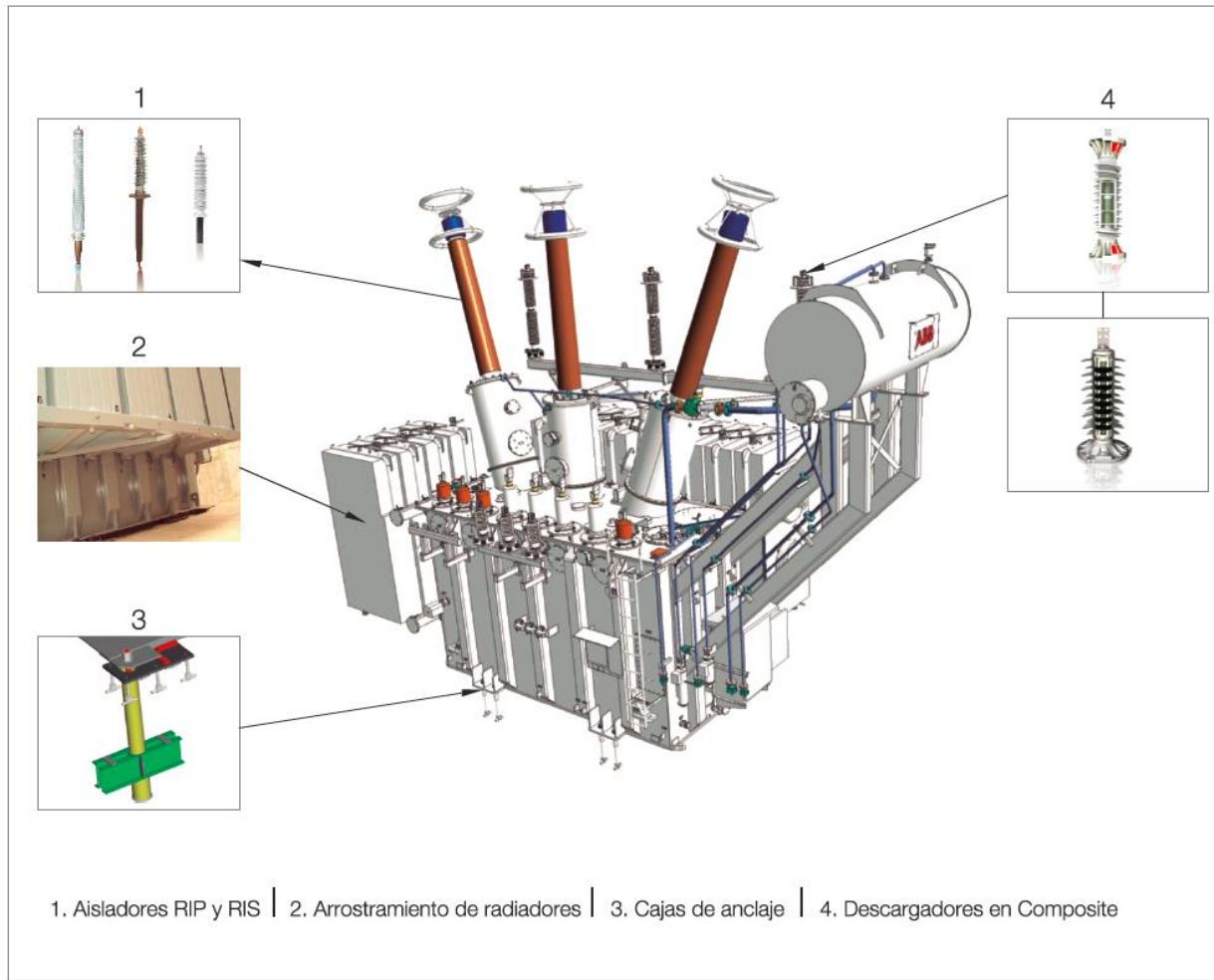
IEC 61463 , 2000 Suiza, Bushings-Seismic qualification

IEC 62155, 2003 Suiza, Hollow pressurized and unpressurized ceramic and glass insulators for use in electrical equipment with rated voltages greater than 1000 V

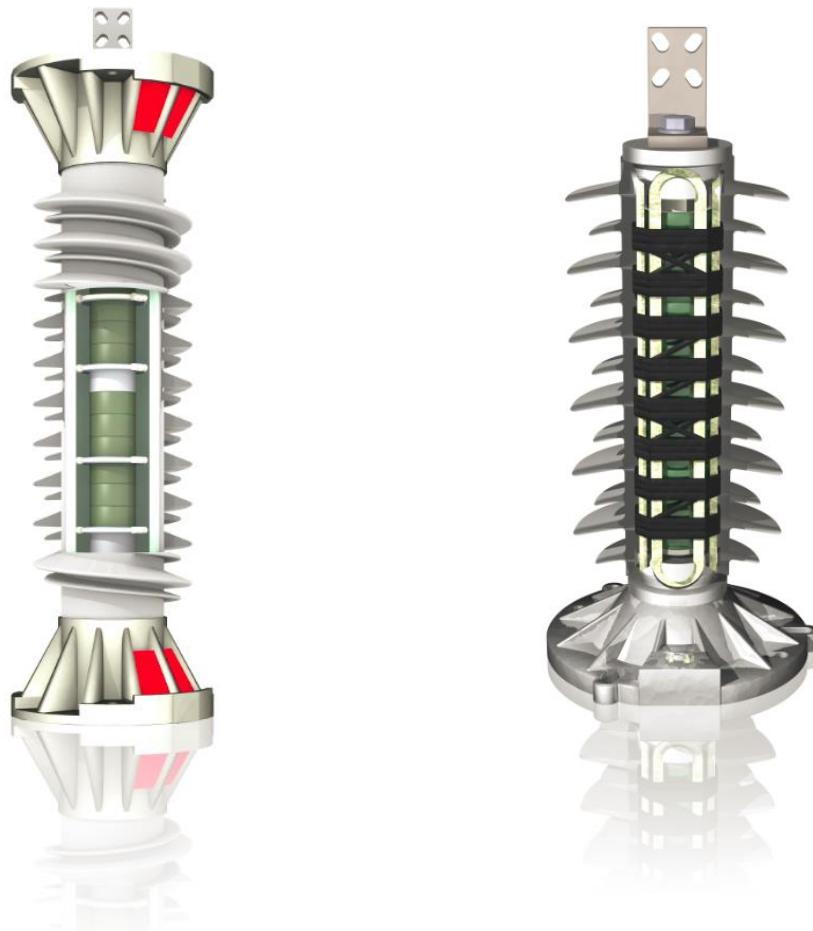
IEC 60721-2-6,1990 Suiza, Environmental conditions appearing in nature - Earthquake vibration and shock

# Componentes innovadores para zonas de alta sismicidad

Componentes para áreas de alta sismicidad

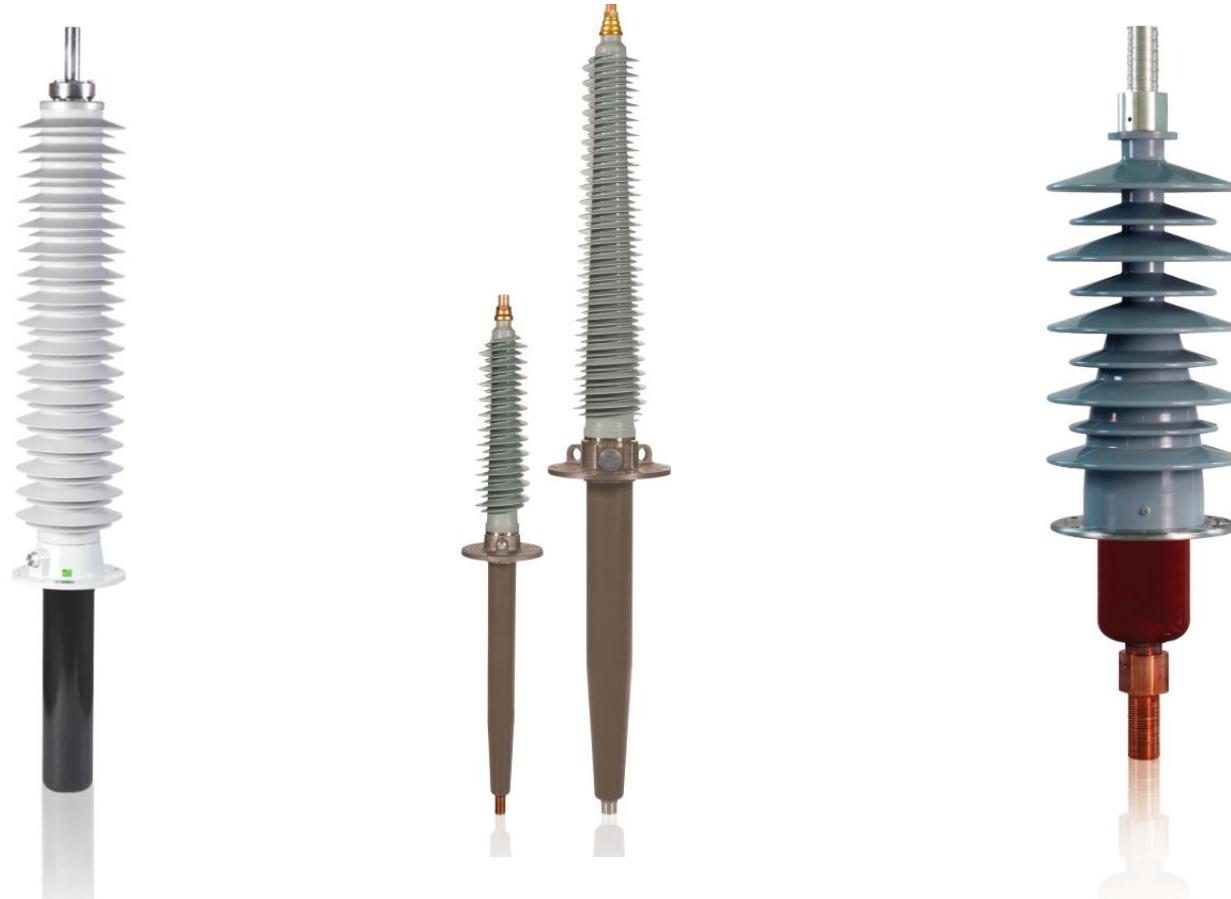


# Componentes innovadores descargadores de tension Texlim y Pexlim



# Componentes innovadores

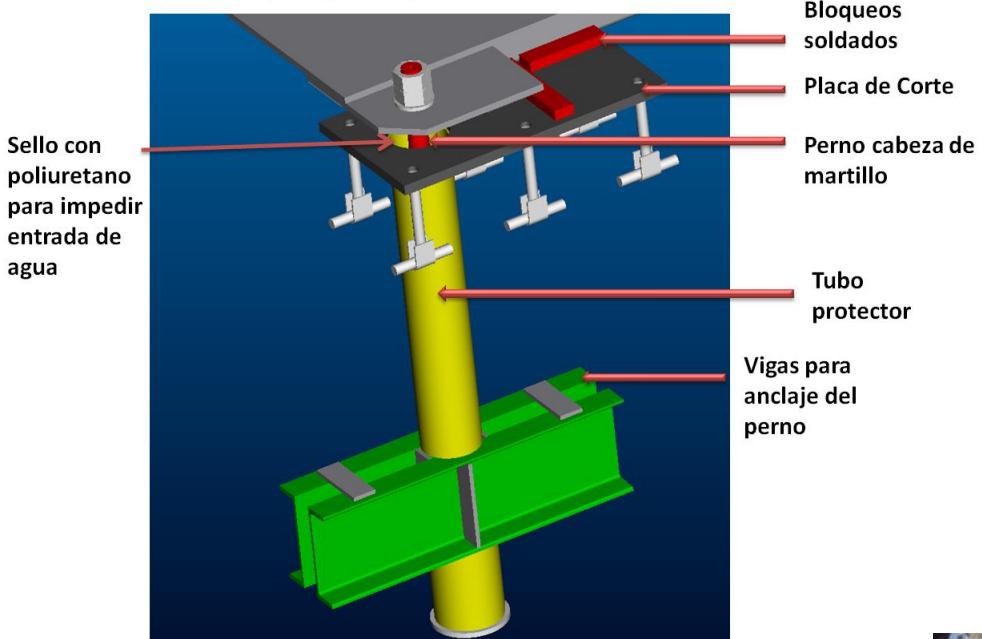
## Bujes RIP: GSA, GSB, O Plus Dry, CRS (solid)



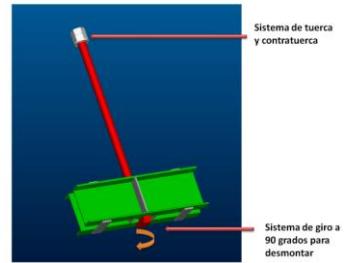
# Ingeniería sismo-resistente homologada

## Cajas de anclaje Chile

2. Componentes principales caja de anclaje

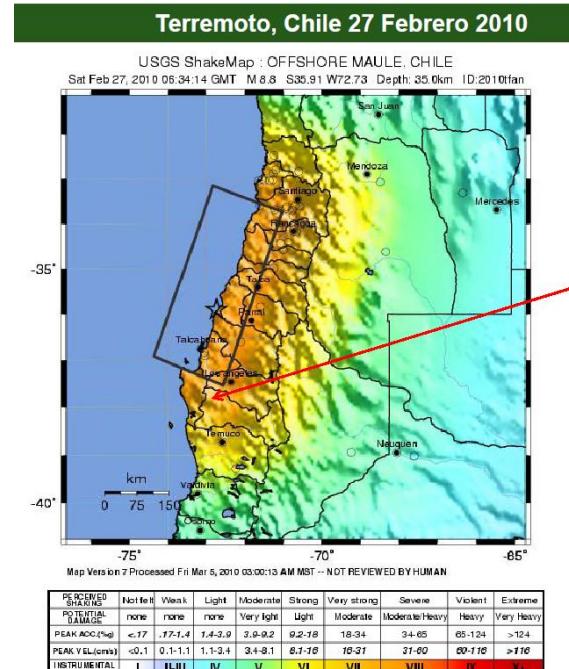
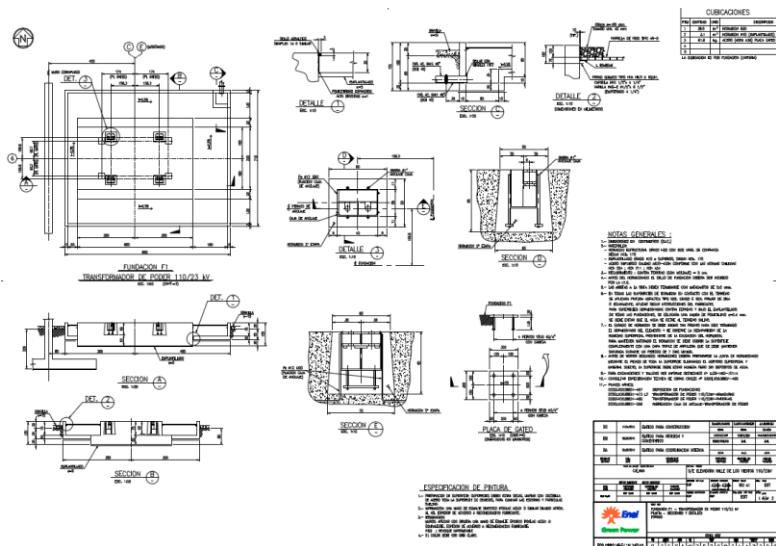
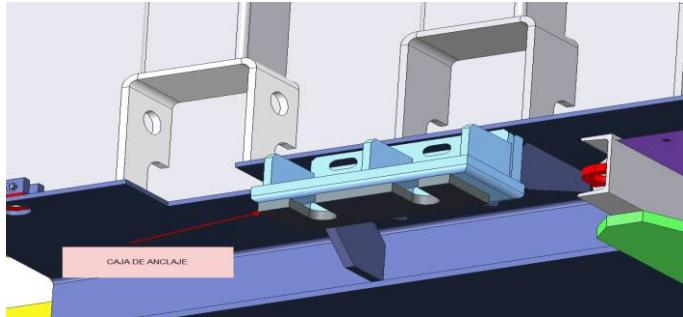


5. Perno desmontable de anclaje cabeza de martillo

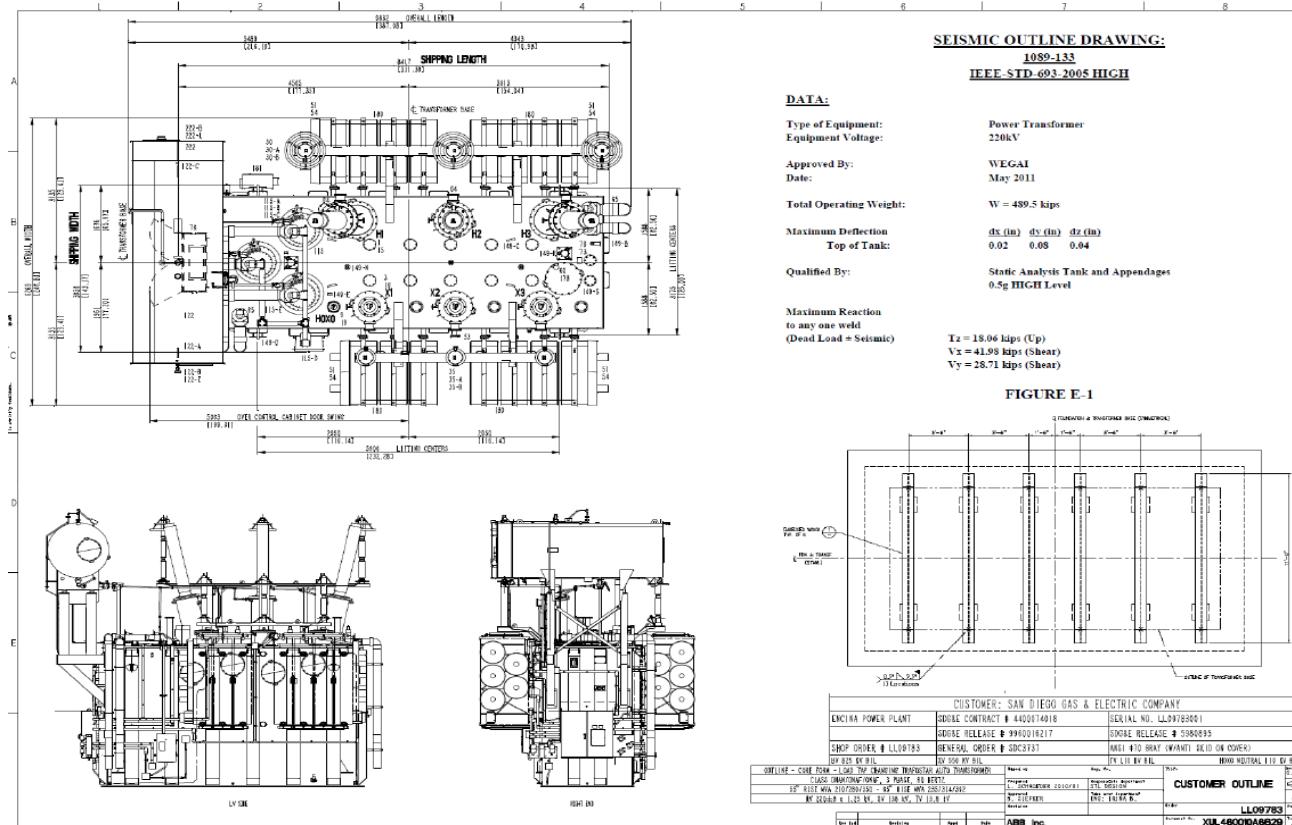


# Ingeniería sismo-resistente homologada

## Cajas de anclaje Chile

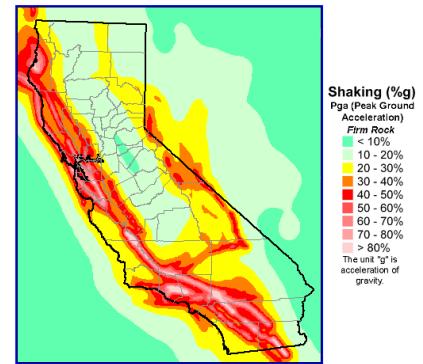


# Ingeniería sismo-resistente homologada base soldada – San Diego-USA



## **Seismic Shaking Hazards in California**

Based on the USGS/CGS Probabilistic Seismic Hazards Assessment (PSHA) Model, 2002 (revised April 2003).  
10% probability of being exceeded in 50 years.



# Ingeniería para zonas de alta sismicidad

## Bujes RIP: AT, BT, Neutro



# Recomendaciones y comentarios para tener en cuenta en un buen diseño sísmo-resistente

- **Especificación:**

- I. Utilizar para la cualificación la norma internacional IEEE 693-2005; toda vez que esta norma ha adoptado un enfoque que ha sido desarrollado, aprobado y aceptado por las compañías eléctricas alrededor del mundo.
- II. Seguir la metodología de la misma Norma IEEE 693-2005 para determinar el nivel de cualificación sísmica: alto , moderado o bajo, teniendo en cuenta la magnitud esperada de la excitación sísmica del sitio
- III. En caso de no acogerse a los espectros de respuesta normalizados de IEEE 693, entonces presentar el espectro sísmico local.
- IV. Evitar la mezcla de normatividades, IEEE, IEC, UBS, Normas Civiles etc.; hace complejo el proceso de cualificación y cálculo
- V. Cualificación de equipos por grupo: Equipo estructuralmente muy similar, puede ser combinado en grupos con fines de cualificación sísmica, donde la pieza o equipo más vulnerable dentro de cada grupo se analice o se pruebe (seismic test). luego la cualificación aplica para todo el grupo IEEE 693-2005 4.7

- **Anclaje:**

- I. Siempre se recomienda el uso de un sistema de anclaje
- II. La losa de cimentación debe ser lo suficientemente profunda para soportar las fuerzas de arranque (pull-out) en los anclajes.
- III. Las dimensiones de la losa de cimentación deben diseñarse para soportar momentos de vuelco.
- IV. Anclar el transformador sin ruedas debe ser el método preferido de anclaje, particularmente cuando se citan niveles altos de IEEE 693

# Recomendaciones y comentarios para tener en cuenta en un buen diseño sismo-resistente

## Aisladores:

- I. Las conexiones aéreas al buje deben proporcionar flexibilidad, seguir las recomendaciones de IEEE 693-2005
- II. Aisladores para tensiones mayores o iguales a 161 KV deban ser cualificados por mesa vibratoria
- III. Aisladores para tensiones menores a 161 KV deban ser cualificados por medio de prueba estática de cantilever (static pull test)
- IV. Aisladores para tensiones menores a 35 KV tienen aceptación inherente (Inherently acceptable) y no requieren ninguna cualificación.
- V. Uso de descargadores o bujes poliméricos para altas zonas sísmicas, bujes RIP

## Radiadores:

- I. Para niveles de tensión superior a 115 KV, el uso de arriostramiento en los radiadores es obligatorio de acuerdo a IEEE 693-2005

## Conservador:

- I. Soportes de conservadores deben arriostrarse para aumentar rigidez del conjunto
- II. Las conexiones al conservador deben tener suficiente flexibilidad para compensar movimientos relativos del conservador (Uso de juntas de expansión es mandatorio en equipos de potencia)

## Parte activa:

- I. La parte activa se debe verificar contra las aceleraciones de transporte (las sísmicas quedan cubiertas) valores típicos en ABB para transporte de bajo low impact on : long= 1.8 g ; trans=0.8 g; vert=1.2 g; para high impact long= 5.8 g ; trans=1.2 g; vert=3 g
- Ver: [Brochure Sísmico](#)

# Retrofit de anclajes

## 1. Ejemplos:

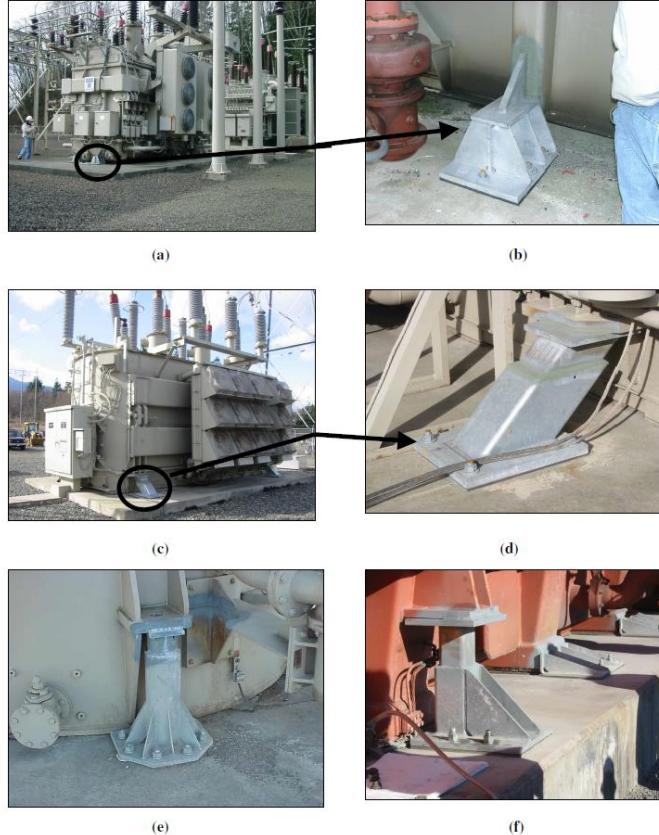
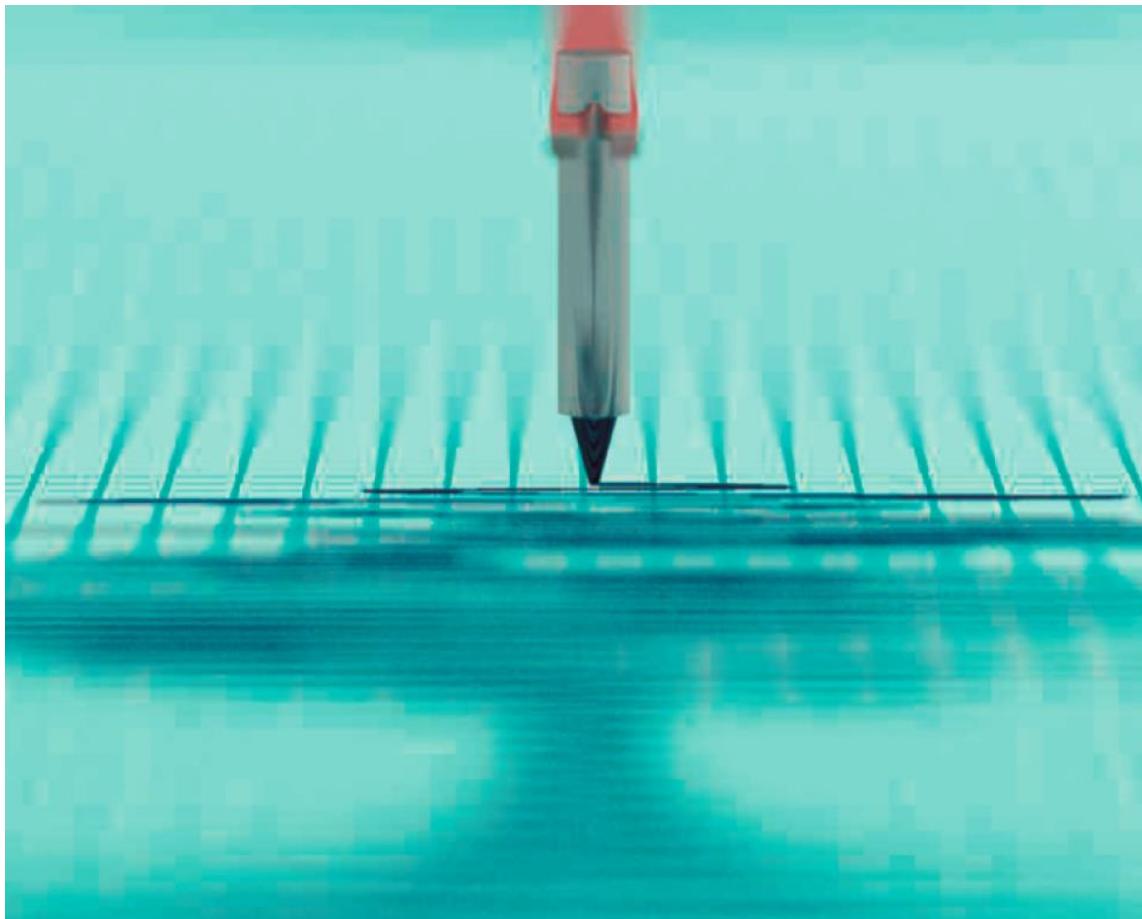


Figure 2, Typical Pad-Mounted Transformer Anchorage Assemblies

**Sabe usted si su transformador está preparado para enfrentar el próximo sismo ?**



# Información de Contacto

Si usted tiene más preguntas, por favor póngase en contacto conmigo en:

PONENTE Andrés Garzón Soler

Empresa ABB Colombia

Teléfono de contacto (057) 6-3136563

Correo electrónico [andres.garzon@co.abb.com](mailto:andres.garzon@co.abb.com)

**AIBB**