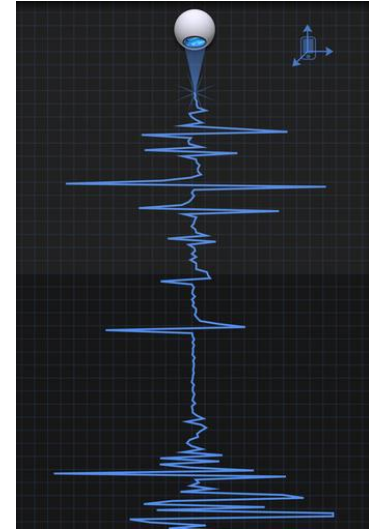
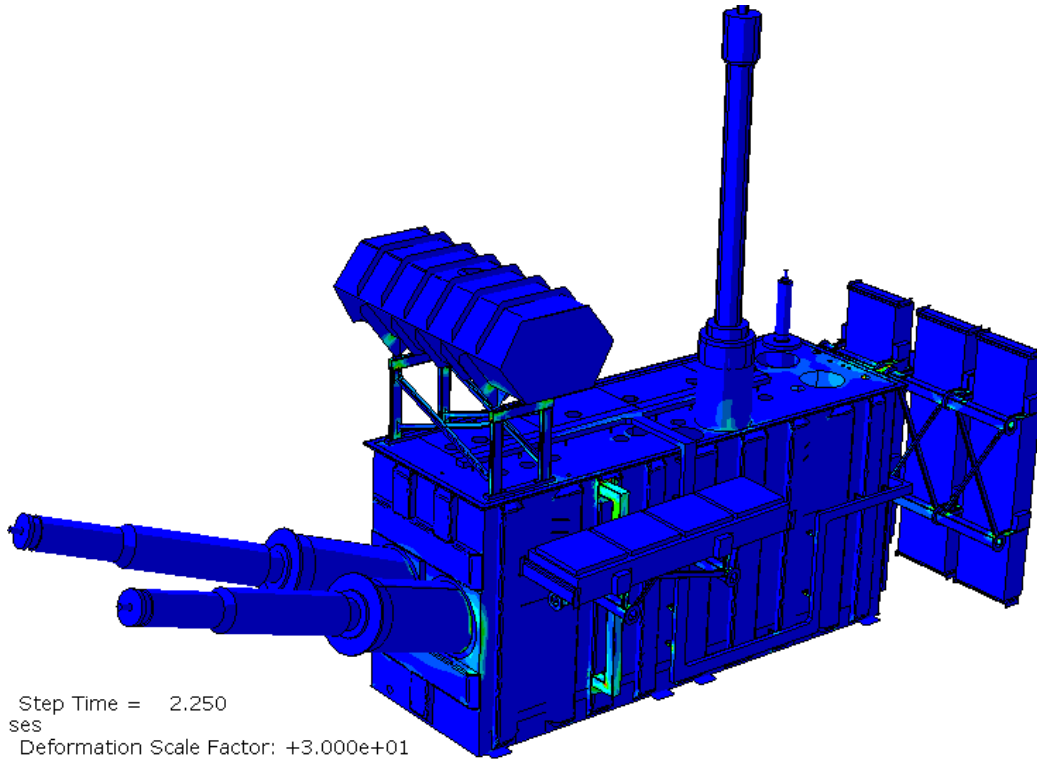




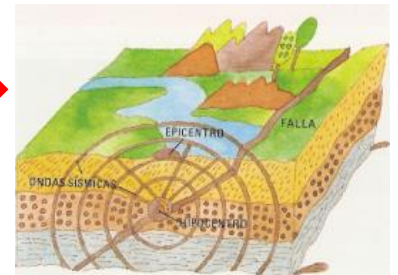
PERU, ABRIL 06 2017

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

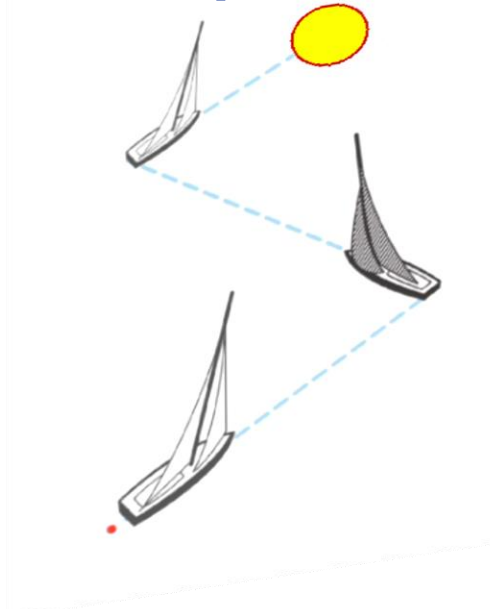


Suministro de energía: limpia, eficiente y confiable

entendiendo la naturaleza y sus fenómenos



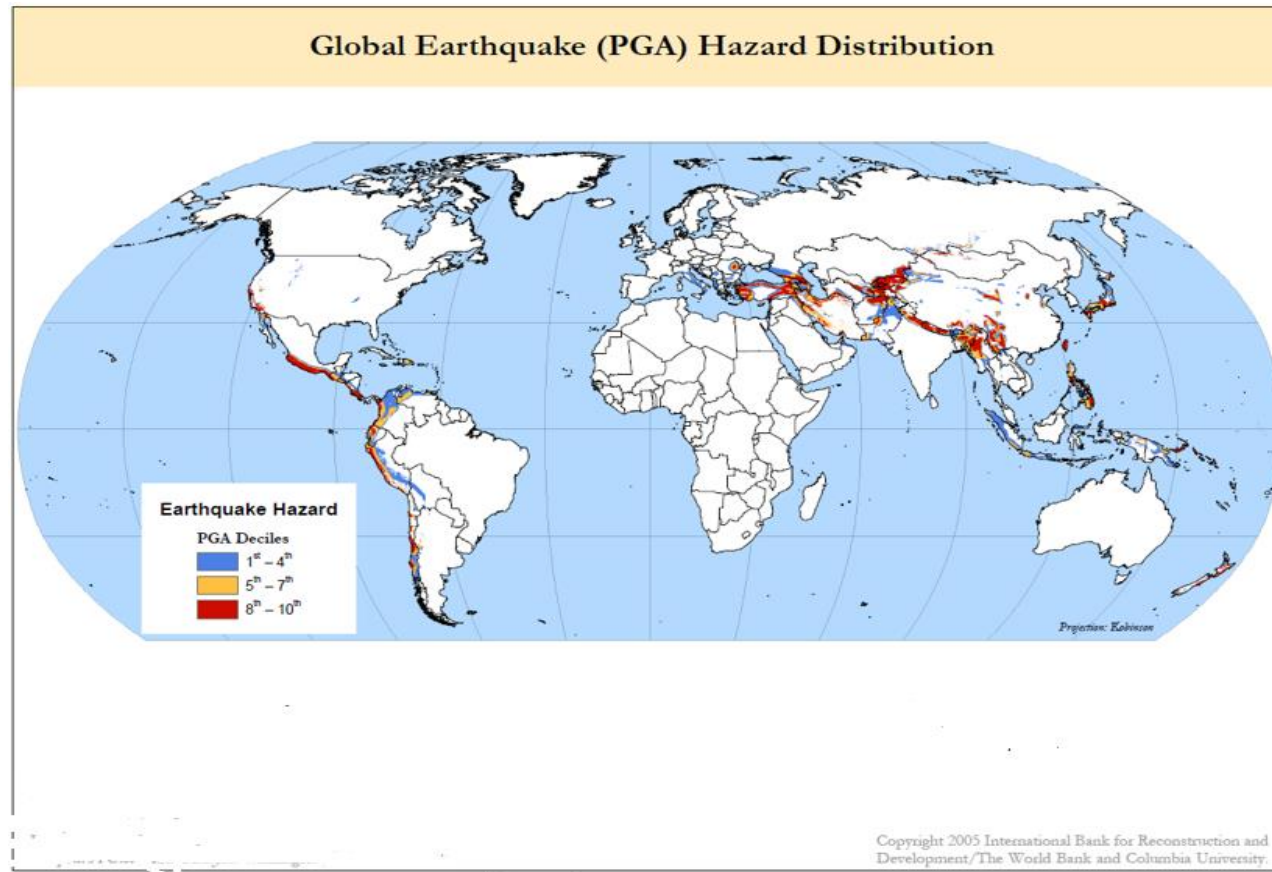
Objetivos principales de la presentación



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.

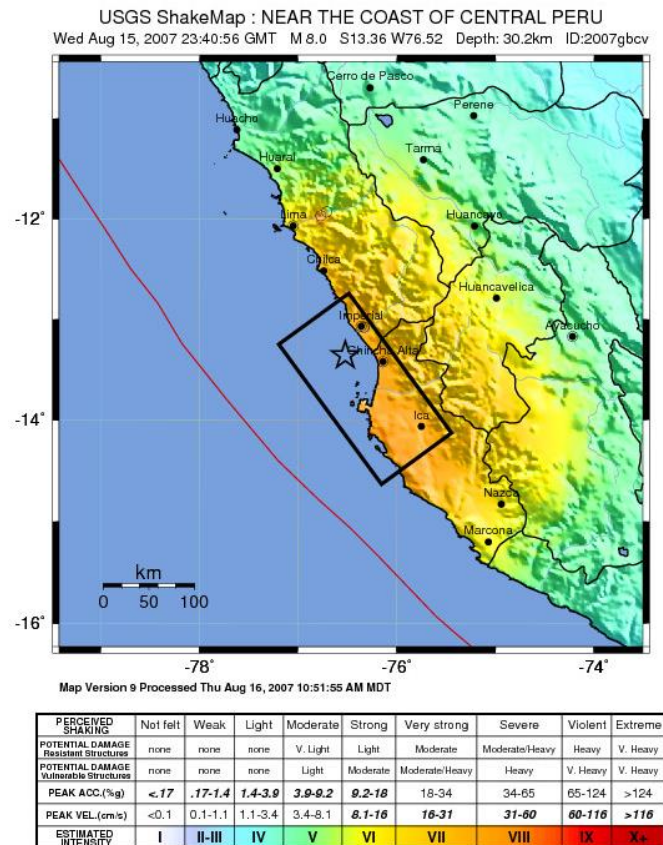
Riesgo sísmico en el mundo:

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.



Escalas de intensidad y magnitud sísmica

As Aceleración que sufre la superficie del terreno en g

Comparación escala Mercalli - Richter

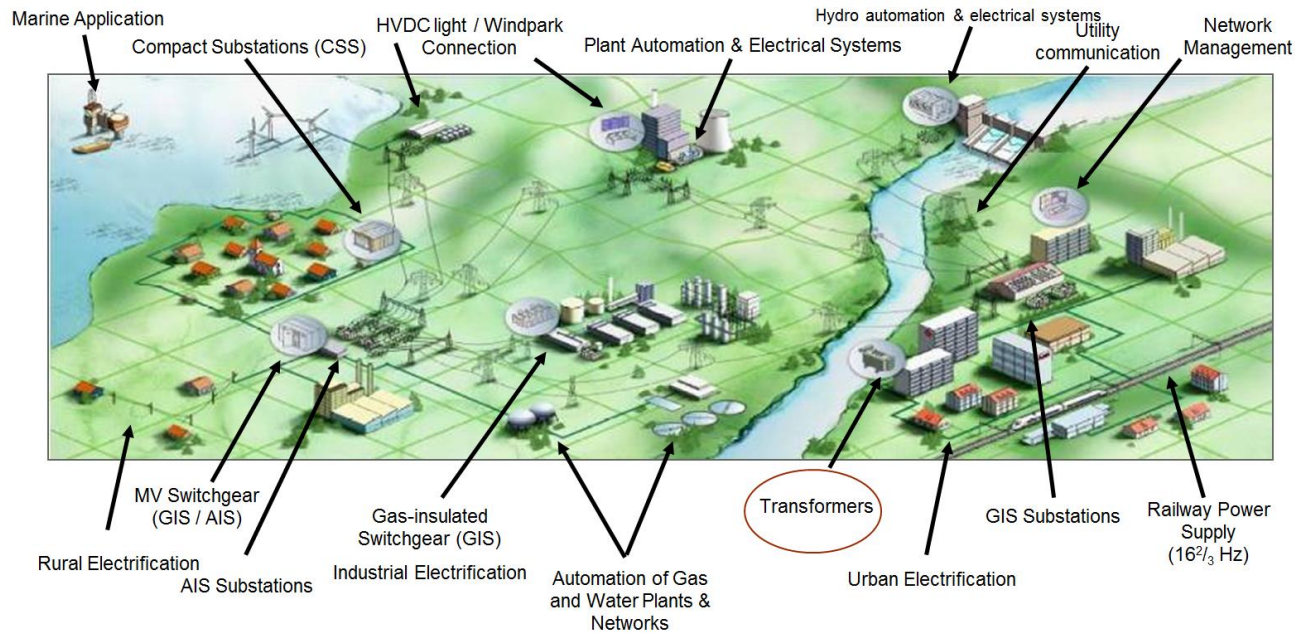
Escala de Mercalli	Escala de Richter
I. Casi nadie lo ha sentido.	2,5 En general no sentido, pero registrado en los sismógrafos.
II. Muy pocas personas lo han sentido.	3,5 Sentido por mucha gente.
III. Temblor notado por mucha gente que, sin embargo, no suele darse cuenta de que es un terremoto.	
IV. Se ha sentido en el interior de los edificios por mucha gente. Parece un camión que ha golpeado el edificio.	
V. Sentido por casi todos; mucha gente se despierta. Pueden verse árboles y postes oscilando.	
VI. Sentido por todos; mucha gente corre fuera de los edificios. Los muebles se mueven, pueden producirse pequeños daños.	4,5 Pueden producirse algunos daños locales pequeños.
VII. Todo el mundo corre fuera de los edificios. Las estructuras mal construidas quedan muy dañadas; pequeños daños en el resto.	
VIII. Las construcciones especialmente diseñadas dañadas ligeramente, las otras se derrumban.	6,0 Terremoto destructivo.
IX. Todos los edificios muy dañados, desplazamientos de muchos cimientos. Grietas apreciables en el suelo.	
X. Muchas construcciones destruidas. Suelo muy agrietado.	7,0 Terremoto importante.
XI. Derrumbe de casi todas las construcciones. Puentes destruidos. Grietas muy amplias en el suelo.	8,0 Grandes terremotos.
XII. Destrucción total. Se ven ondulaciones sobre la superficie del suelo, los objetos se mueven y voltean.	o más

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 Ertai Shan 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-México (7.6 Richter).

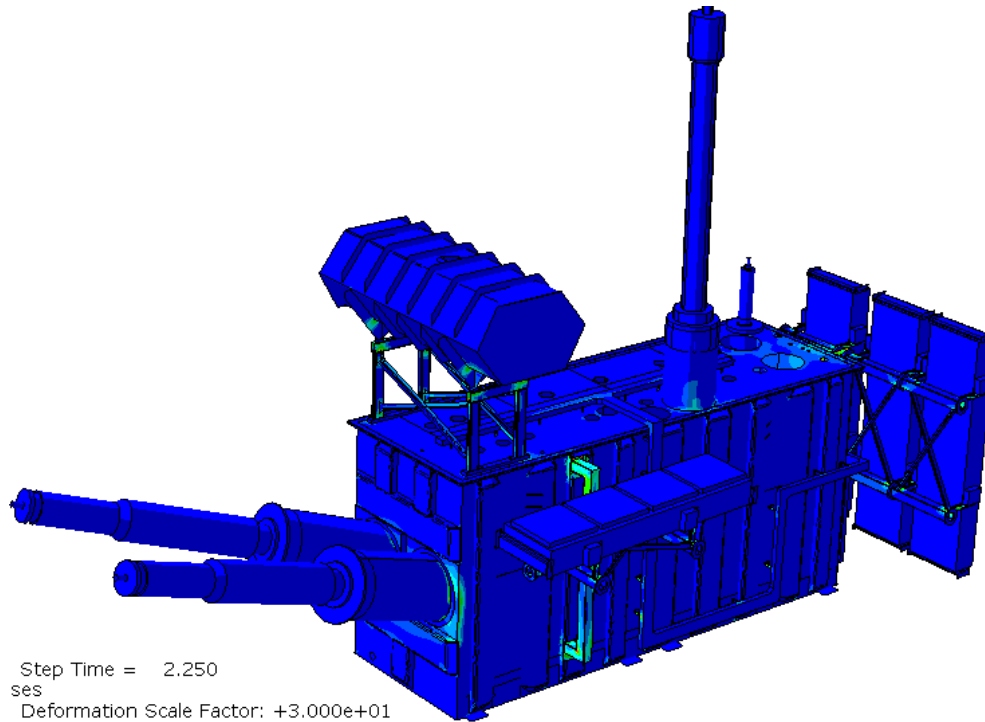


Figura 15 Colapso de Transformadores de Potencia (TP) de 400 kV

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™

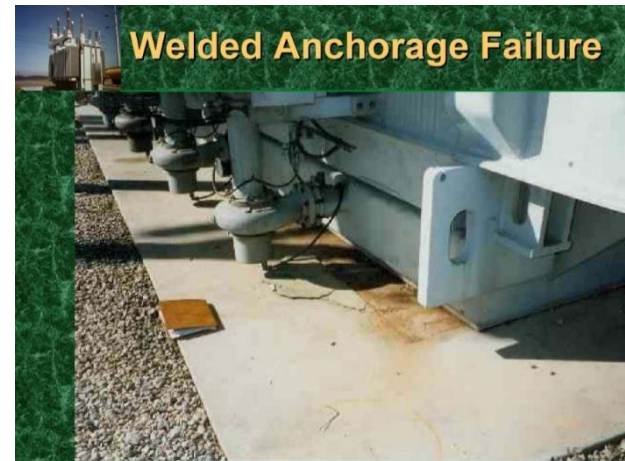
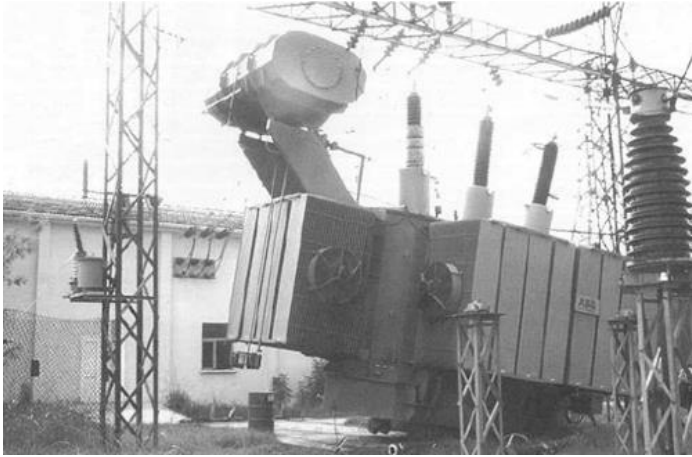


Fallas en transformadores durante evento sísmico

- 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

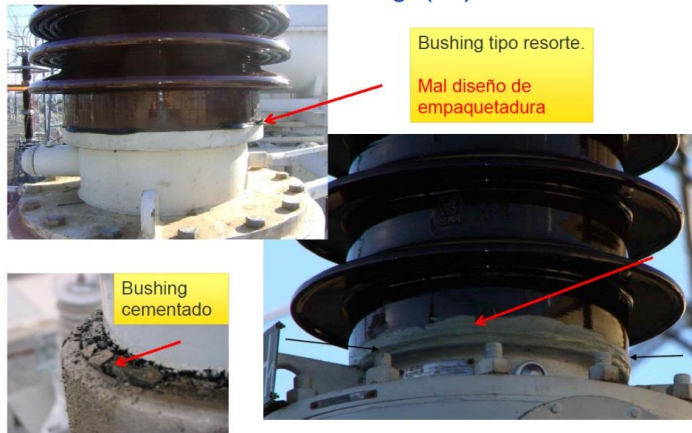
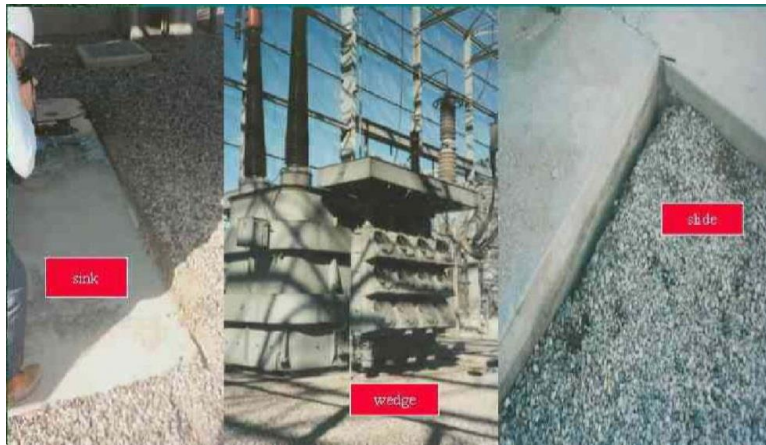
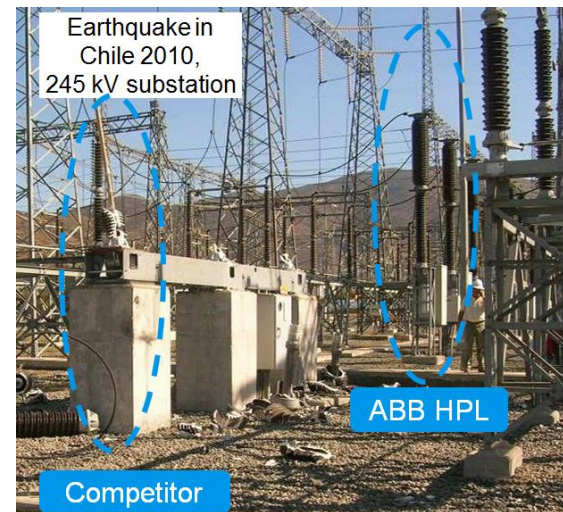
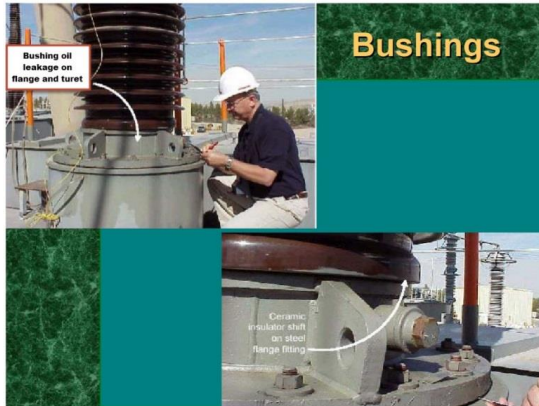


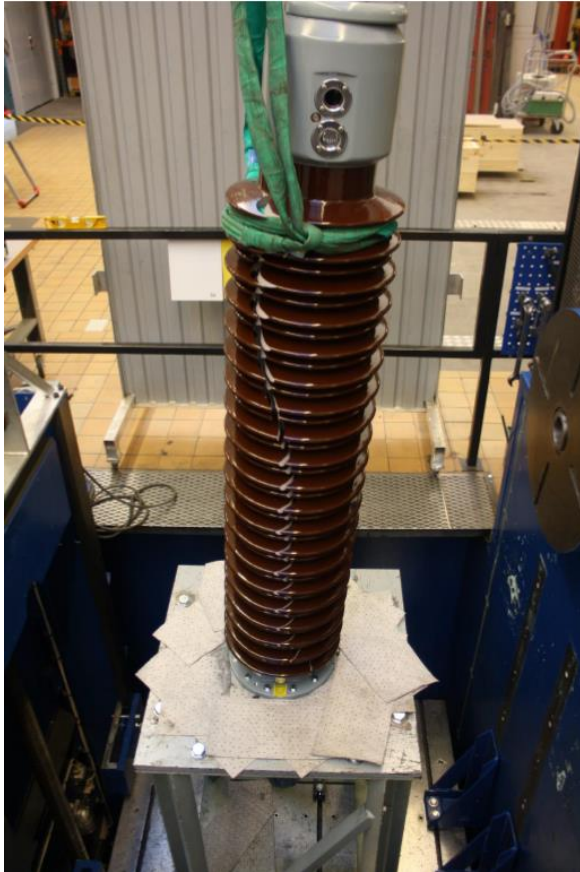
Figure 6. Bushing. 500 kV Transformer

Fallas en transformadores durante evento sísmico aisladores, domos, interruptores



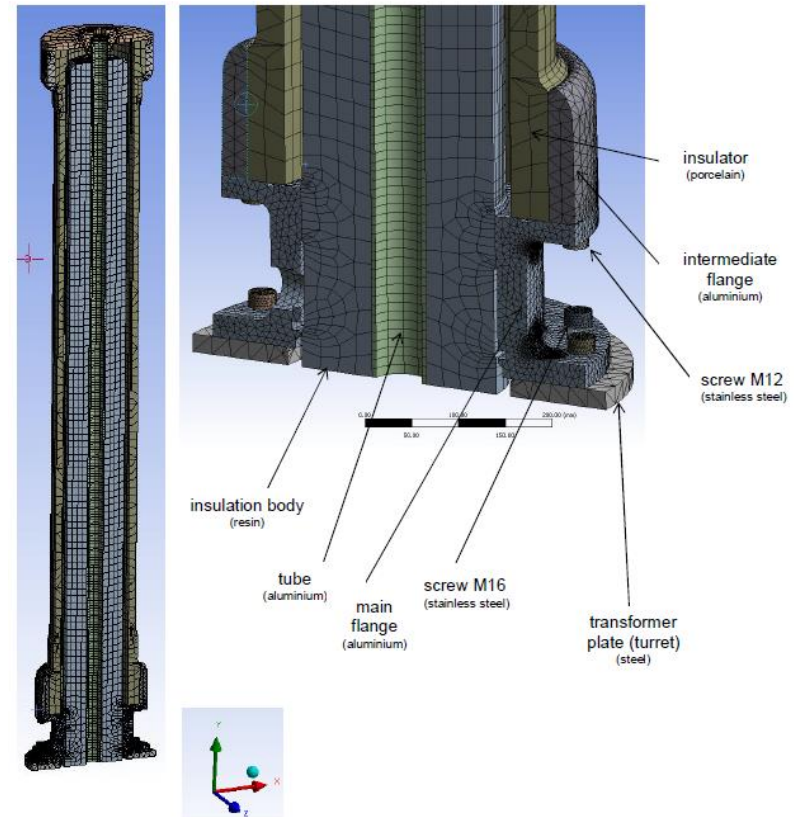
Causas de fallas en evento sísmico

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**

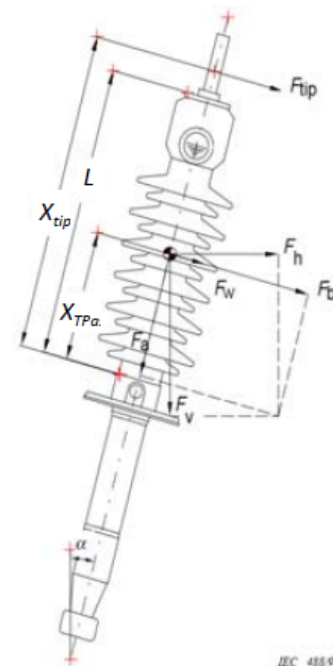
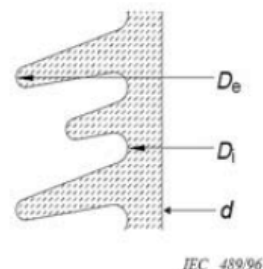
Data

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.
α	10 [°]	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_{TPas}	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)
F_{leak}	15,570 [N]	Cantilever load withstand, guaranteed bending force at bending strength test , Leak
F_{break}	32,739 [N]	Cantilever load withstand, guaranteed bending force at bending strength test , Break
σ_{C130}	40 [Mpa]	Minimum Rated Strength of insulator (Type 1 & 2, Porcelain C130 = 50 MPa) (Type 3, Clamped = 40 MPa)

Seismic Parameters

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

INPUT



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
-------------	--	------------



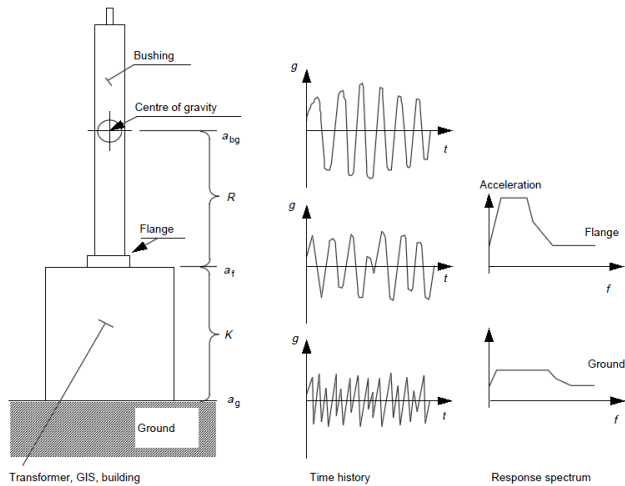
Figure 1. A view of the whole mounting of the specimen.

Causas de fallas en evento sismico

Efecto estructura

TS 61463 © IEC:1996+A1:2000

– 43 –



Causas de fallas en evento sísmico

Cables de conexión

IEEE Std 693-2005
IEEE Recommended Practice for Seismic Design of Substations

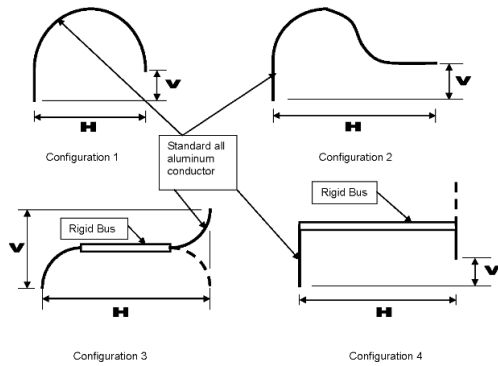
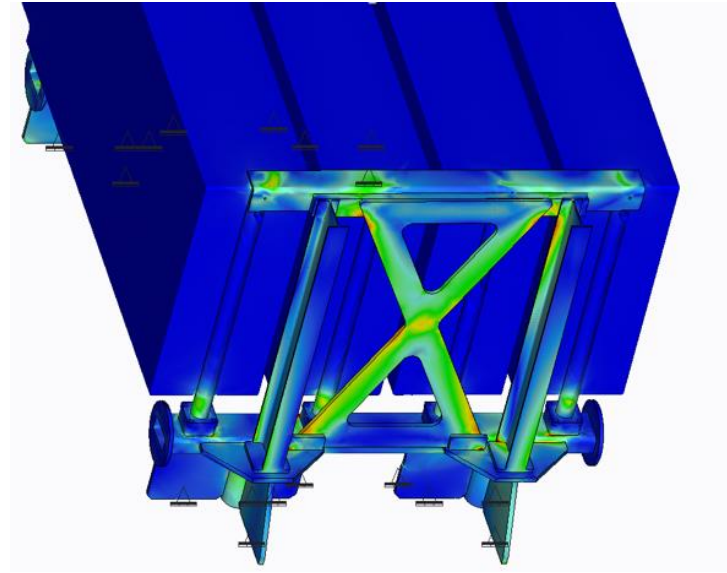
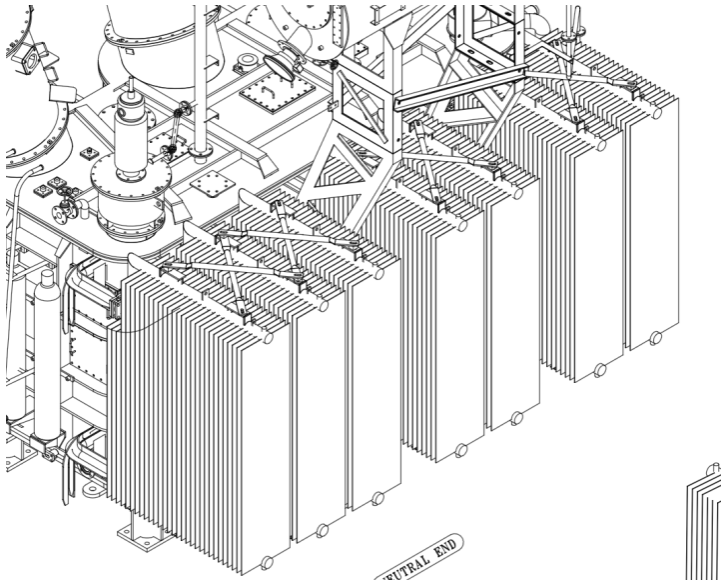


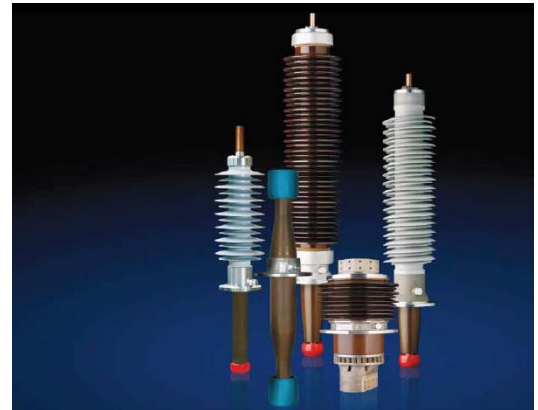
Figure 5—Basic slack configurations



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



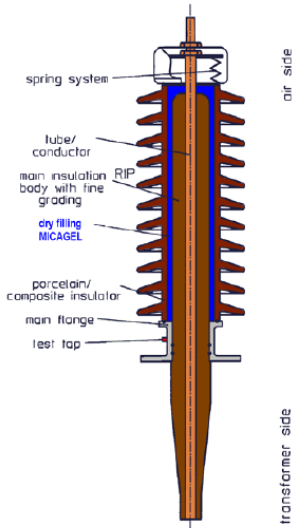
Earthquake proof engineering Avances significativos



Earthquake proof engineering

Tecnología RIP comparada con OIP

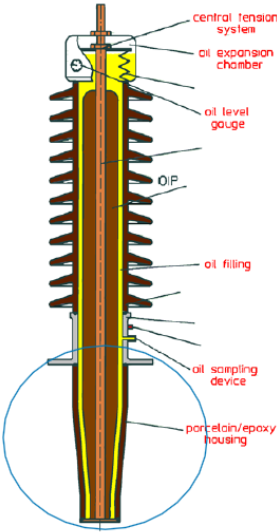
Relleno con Micagel



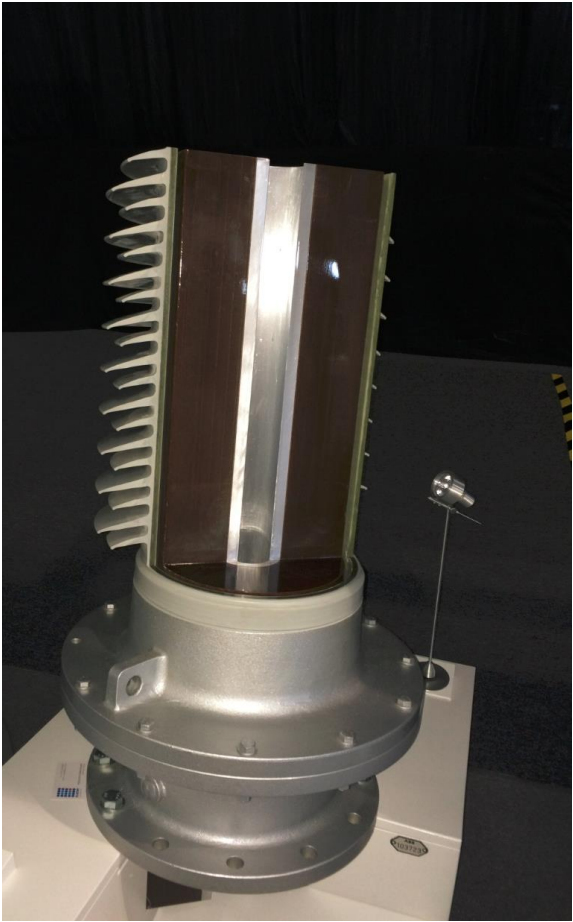
TRANSFORMER
BUSHING

R esin
I mpregnated
P aper

Relleno con Aceite

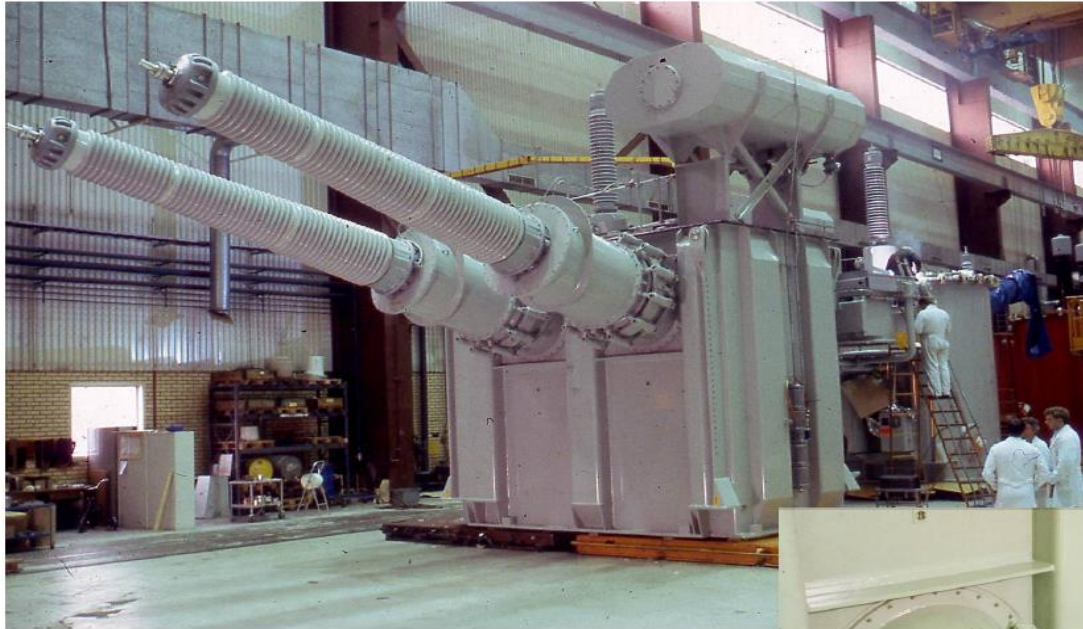


O il
I mpregnated
P aper



Transformadores que operan en zonas sísmicamente activas,

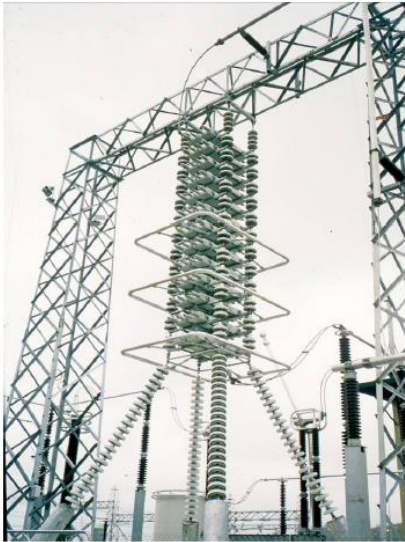
HVDC transformer, flexible bushing attachment



© ABB Group
October 18, 2010 | Slide 5

Equipo de patio que opera en zonas sísmicamente activas,

DC filter suspended structure to minimize seismic stresses

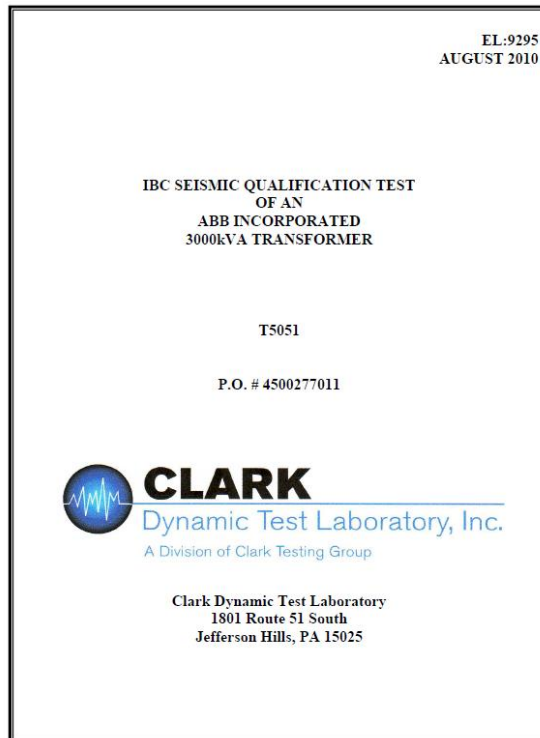


Insulator chains are fixing the capacitor stack.

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.



Ensayo de mesa vibratoria de un transformador 3000 KVA bajo standard IBC



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

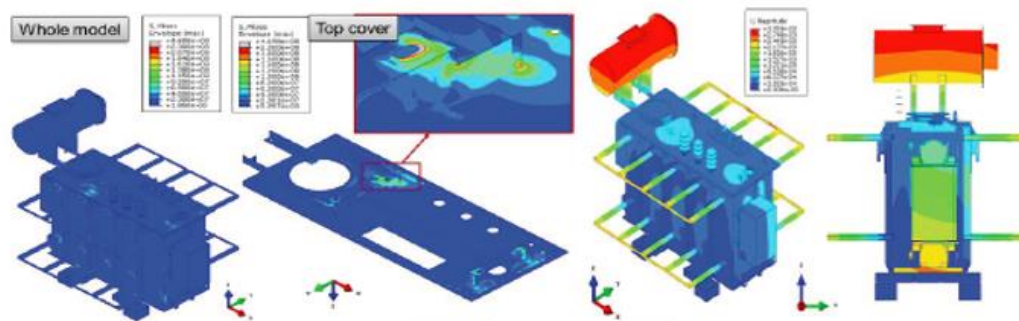
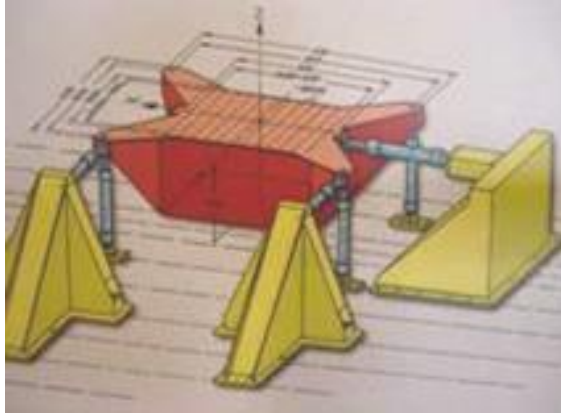


Figure 18: Von mises stress (Pa) (left), displacement (m) (right) distribution, 7 MVA transformer

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

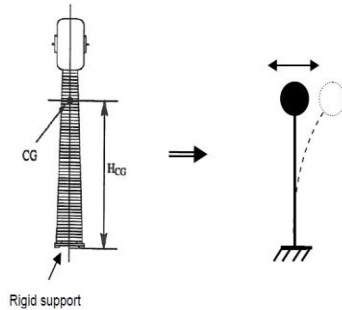


Fig. 4.2 Idealization of equipment by a single-degree-of-freedom system

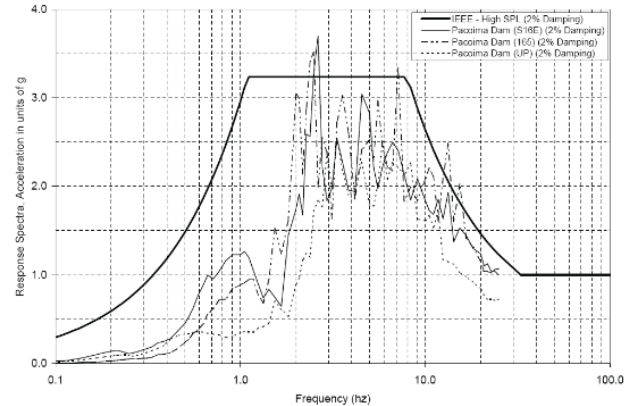


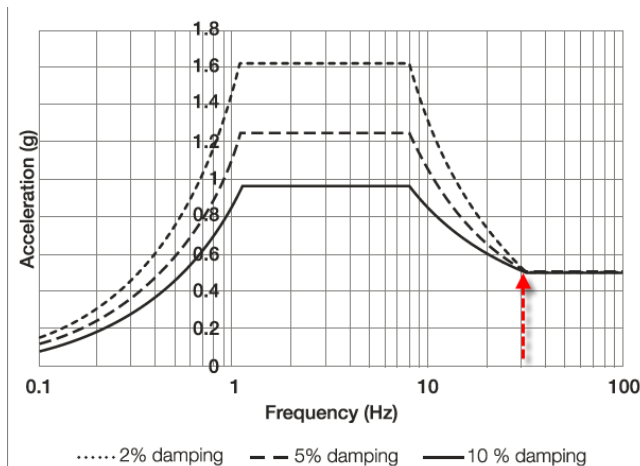
Figure 2-5 Acceleration Response Spectra for Components of Pacoima Dam Record and IEEE High Performance Level

▪ 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

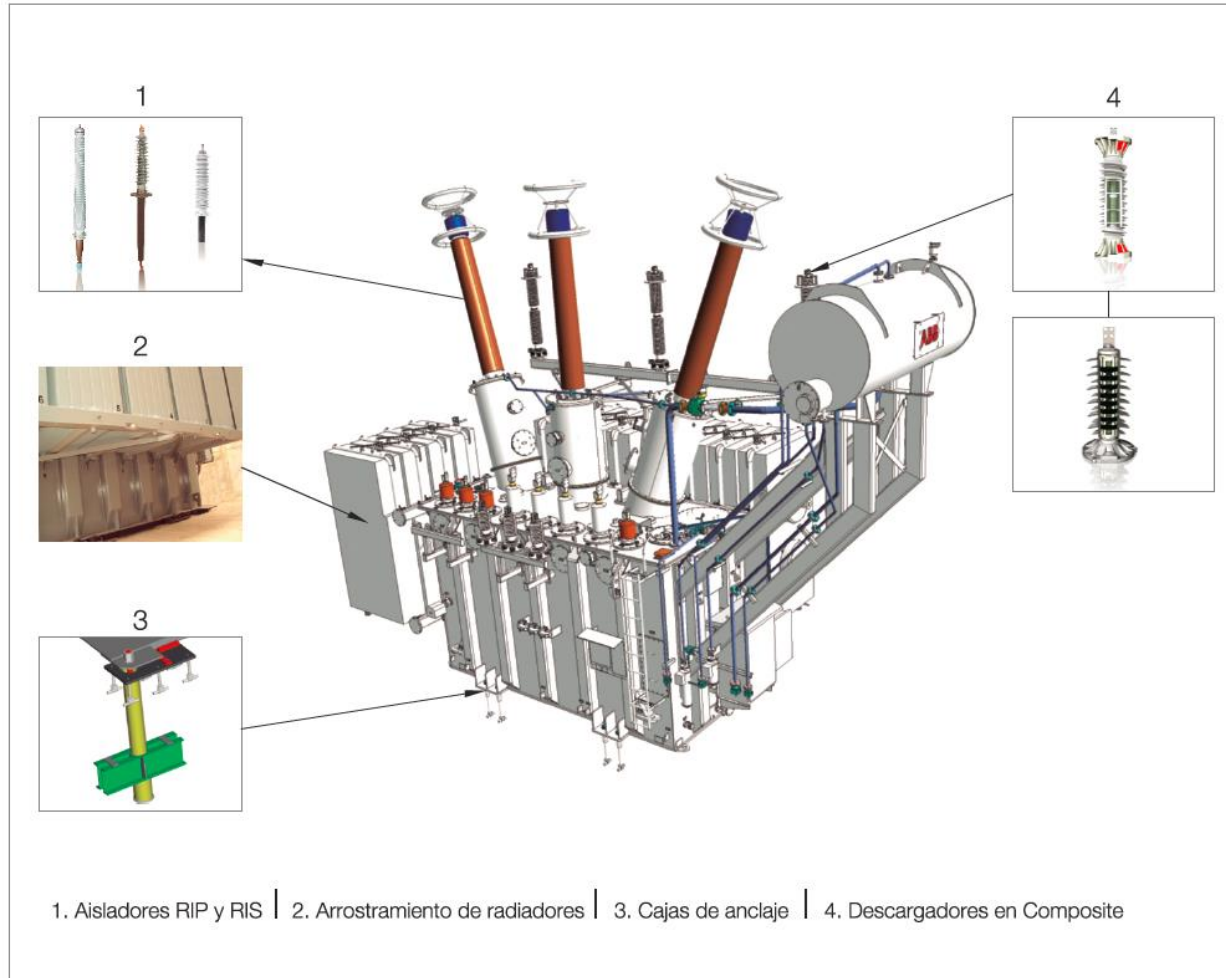
IEC 61463 , 2000 Suiza, Bushings-Seismic qualification

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

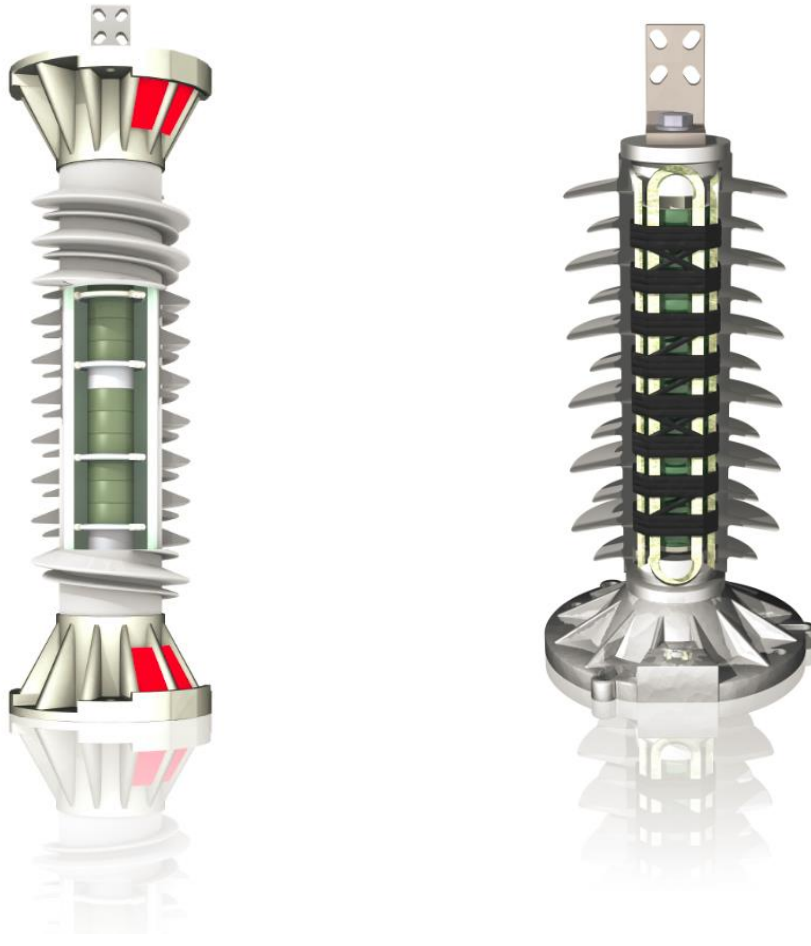
IEC 60721-2-6,1990 Suiza, Enviromental conditions appearing in nature - Earthquake vibration and shock

Componentes innovadores para zonas de alta sismicidad

Componentes para áreas de alta sismicidad

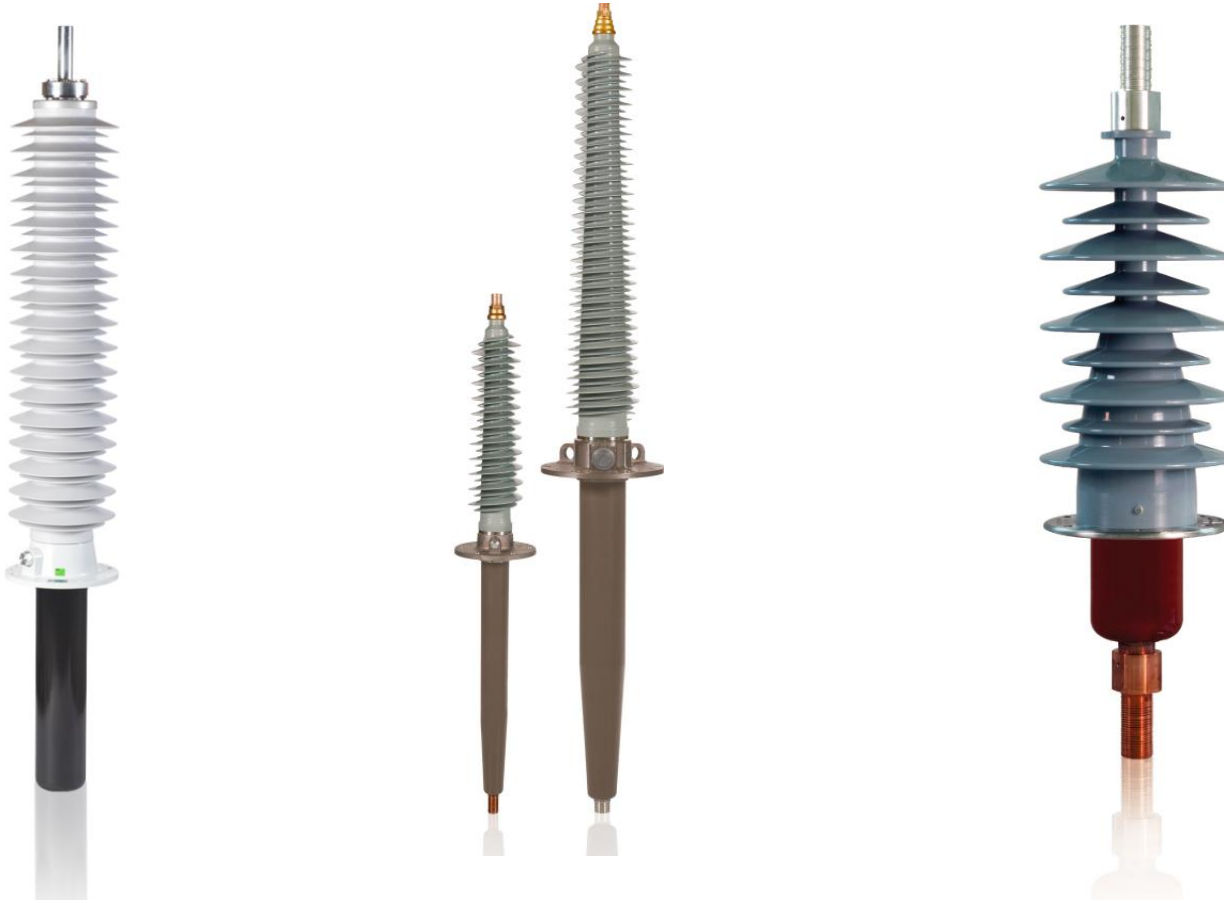


Componentes innovadores descargadores de tension Texlim y Pexlim



Componentes innovadores

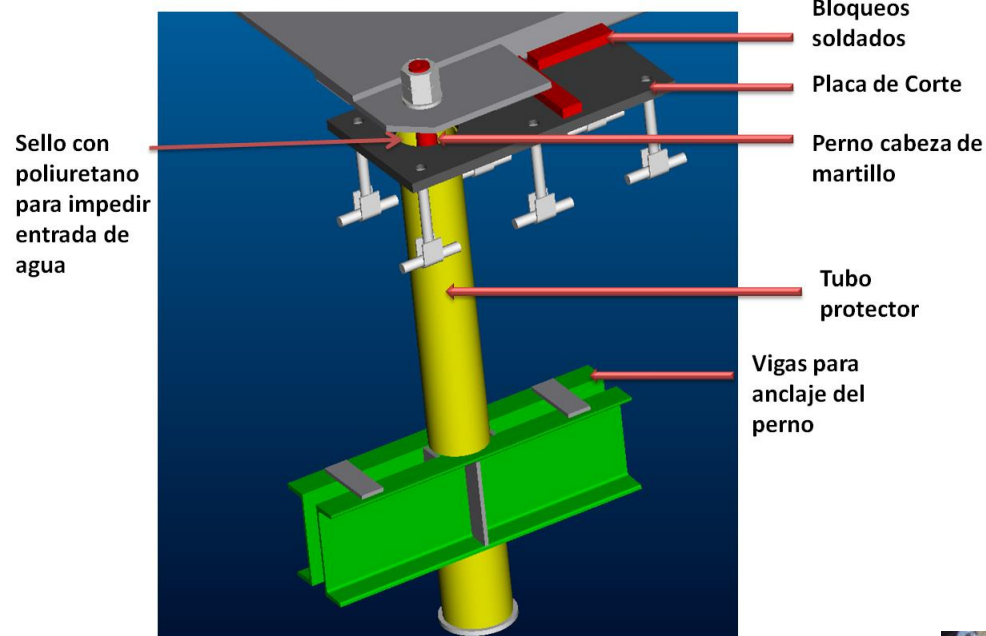
Bujes RIP: GSA, GSB, O Plus Dry, CRS (solid)



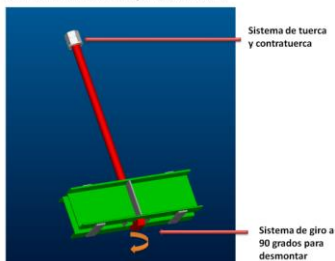
Ingeniería sismo-resistente homologada

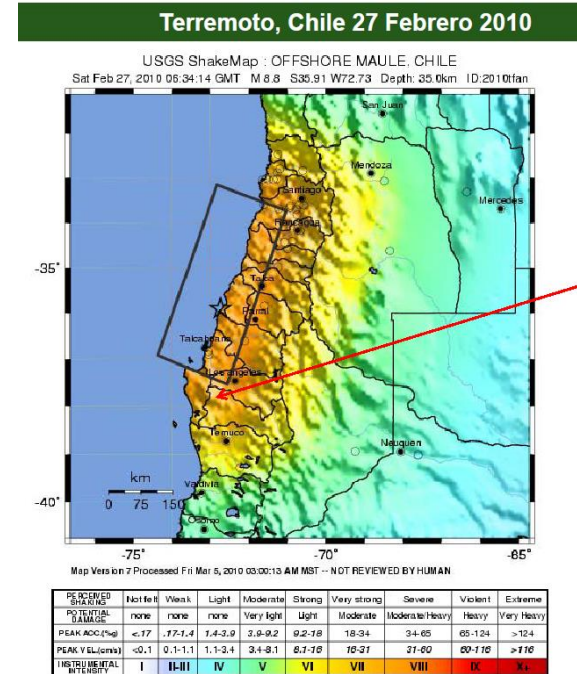
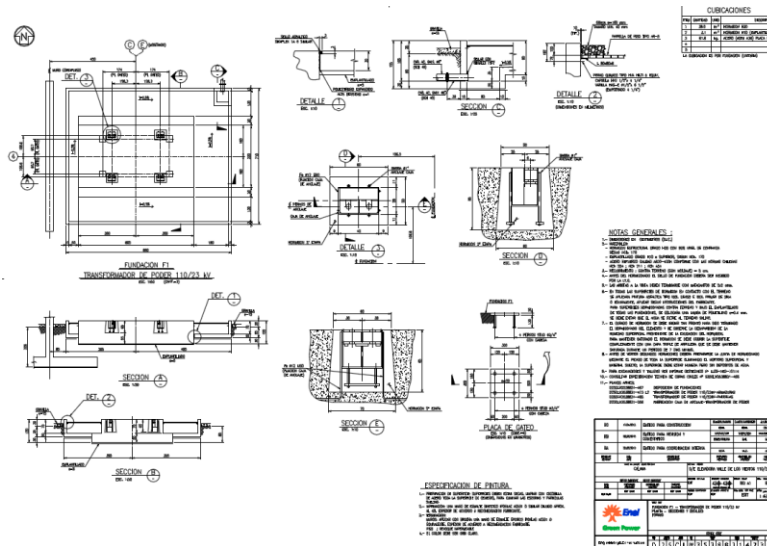
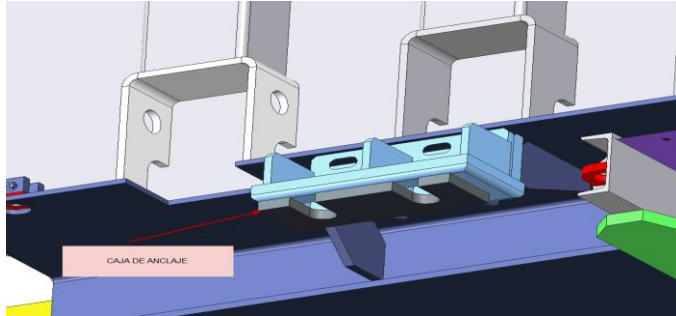
Cajas de anclaje Chile

2. Componentes principales caja de anclaje

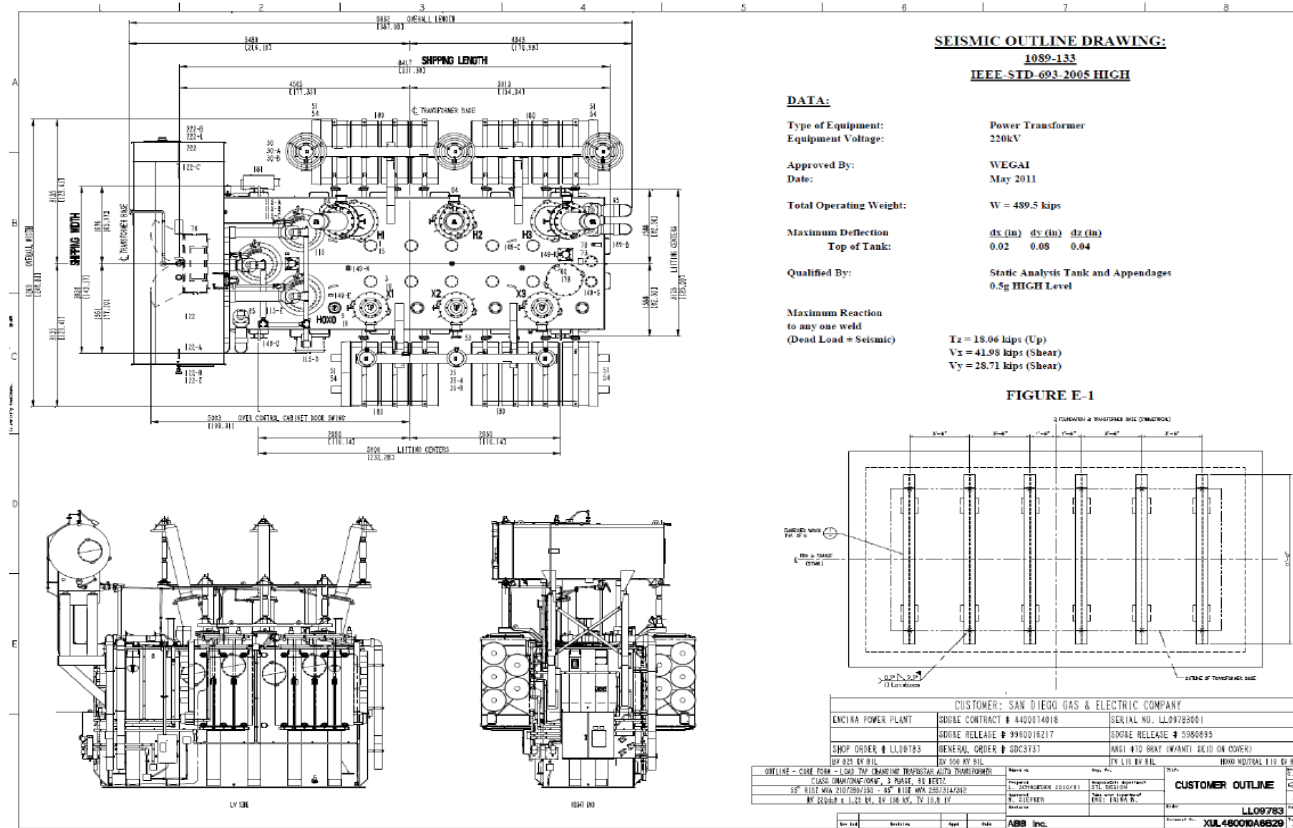


5. Perno desmontable de anclaje cabeza de martillo



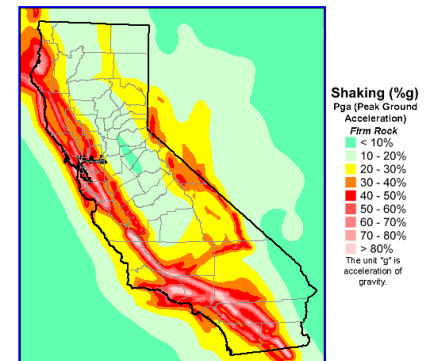


Ingeniería sismo-resistente homologada base soldada – San Diego-USA



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 cantiliever (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 tipicos 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:

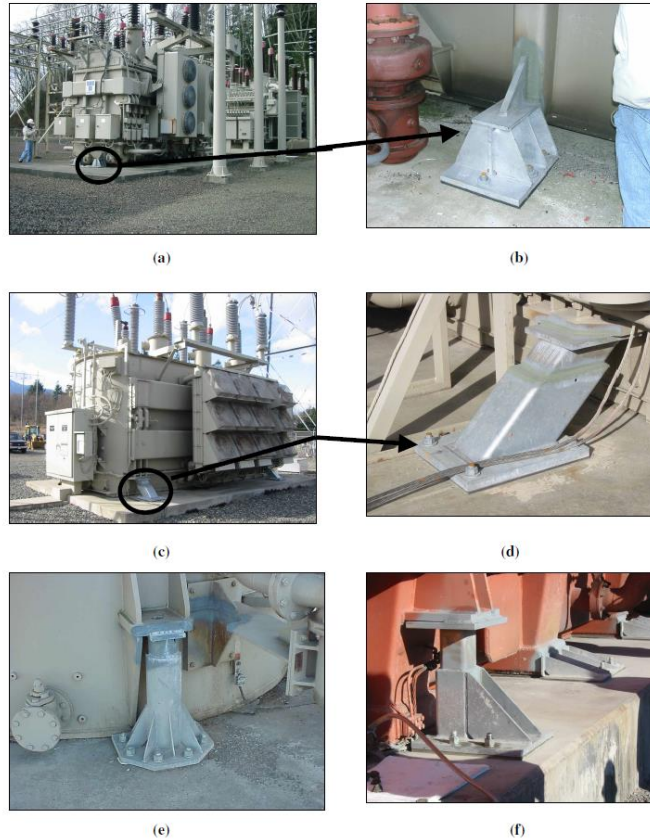
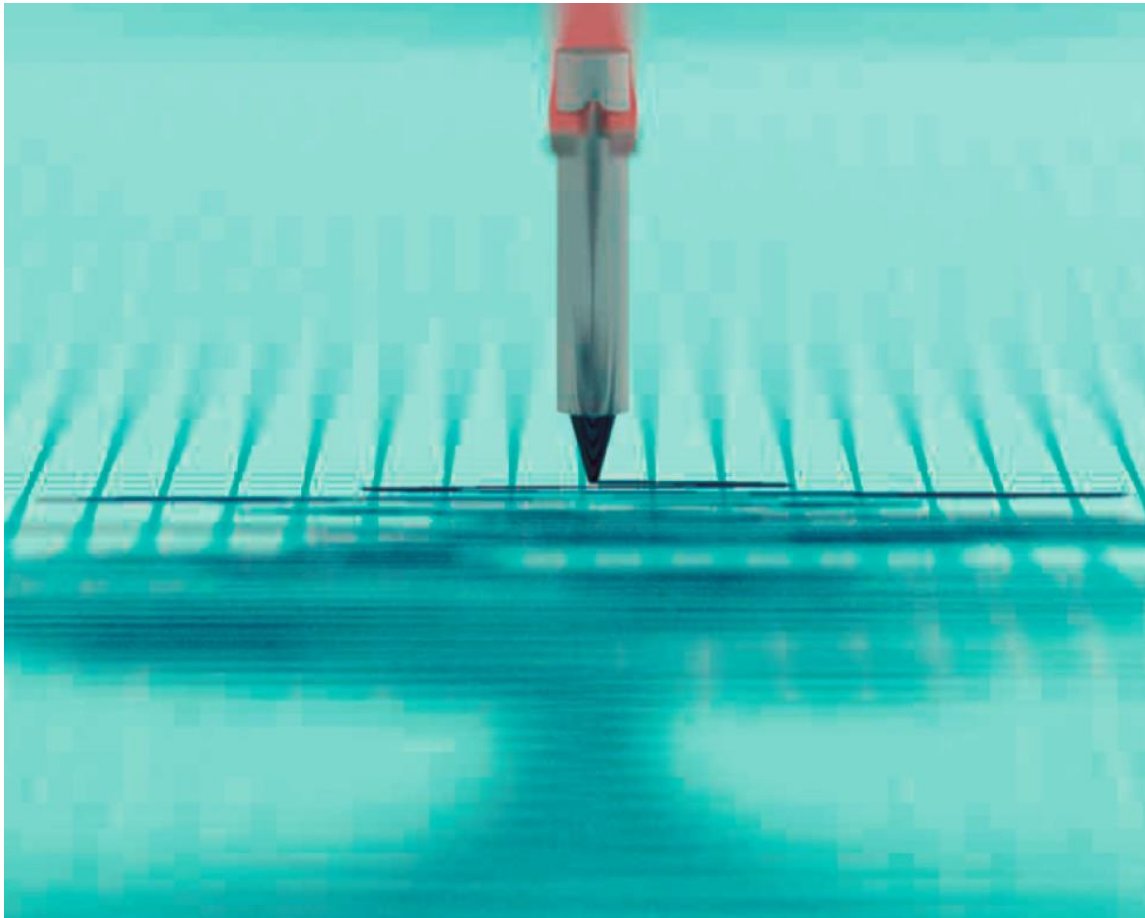


Figure 2. Typical Pad-Mounted Transformer Anchorage Assemblies

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

—

ABB