



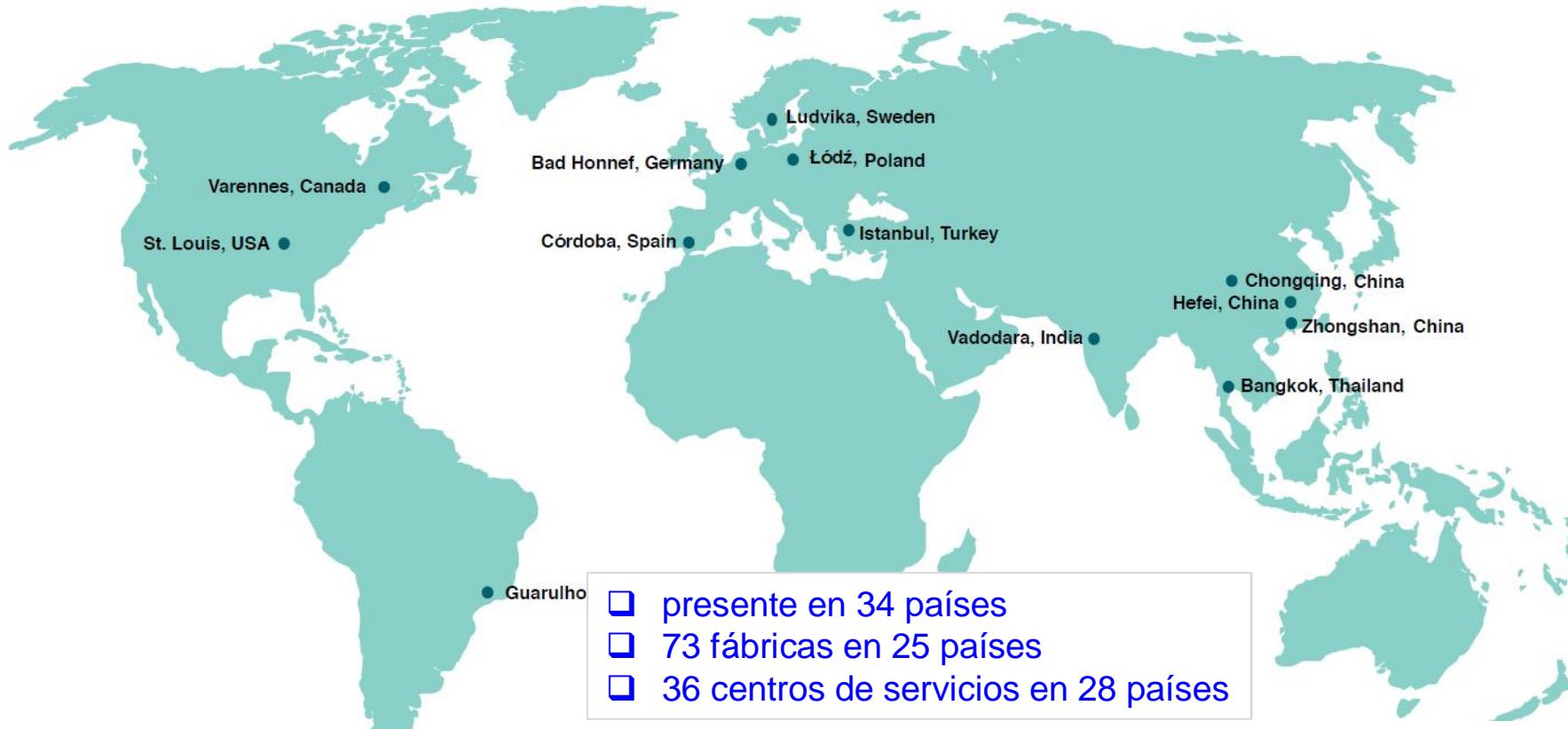
ABB Customer Day, Quito EC, 2017Fev2017

Dr. José Carlos Mendes, ABB Brasil, División de Power Grids, Transformadores de Poder

Transformador de Potencia en Alta Tensión Especificación Técnica y Diseño – Desempeño General y Valor Global

ABB División de Power Grids

Transformadores de Potencia – 13 Fábricas



Guarulhos, São Paulo - BR



Tecnología Sólida y Experiencia

Transformadores de Potencia

- transformador de potencia HVAC hasta 765kV
- transformador de potencia HVDC hasta 600kV
- reactores de derivación hasta 765kV
- transformadores industriales de alta corriente
- servicio (Soluciones de Ingeniería, Reparaciones en la Fábrica y en Sitio, Sistemas de Monitoreo, Servicios en Transformadores)
- componentes de aislamiento
- componentes del transformador (boquillas hasta 245kV, cambiadores de tomas, etc)

Blumenau, SC - BR



ABB Brasil - HVAC hasta 765kV, 1Ø 550MVA, 3Ø 750MVA y HVDC hasta 600kV 315MVA



FURNAS - TIJUCO PRETO, Brasil
Auto-Transformador de Potencia
1Ph, 500 MVA, 765/345/20 kV + OLTC

FURNAS Itaipú HVDC
Transf Convertidor, 1Ø, 314MVA
550kV AC / 600kV DC

RIO MADEIRA BtB DC
Transf Convertidor, 3Ø, 424MVA
550kV AC / 37.8kV DC

56 unidades



RIO MADEIRA Bipolo HVDC
Transf Convertidor, 1Ø, 292MVA
550kV AC / 600kV DC

27 unidades



Especificación Técnica

Desempeño General y Valor Global

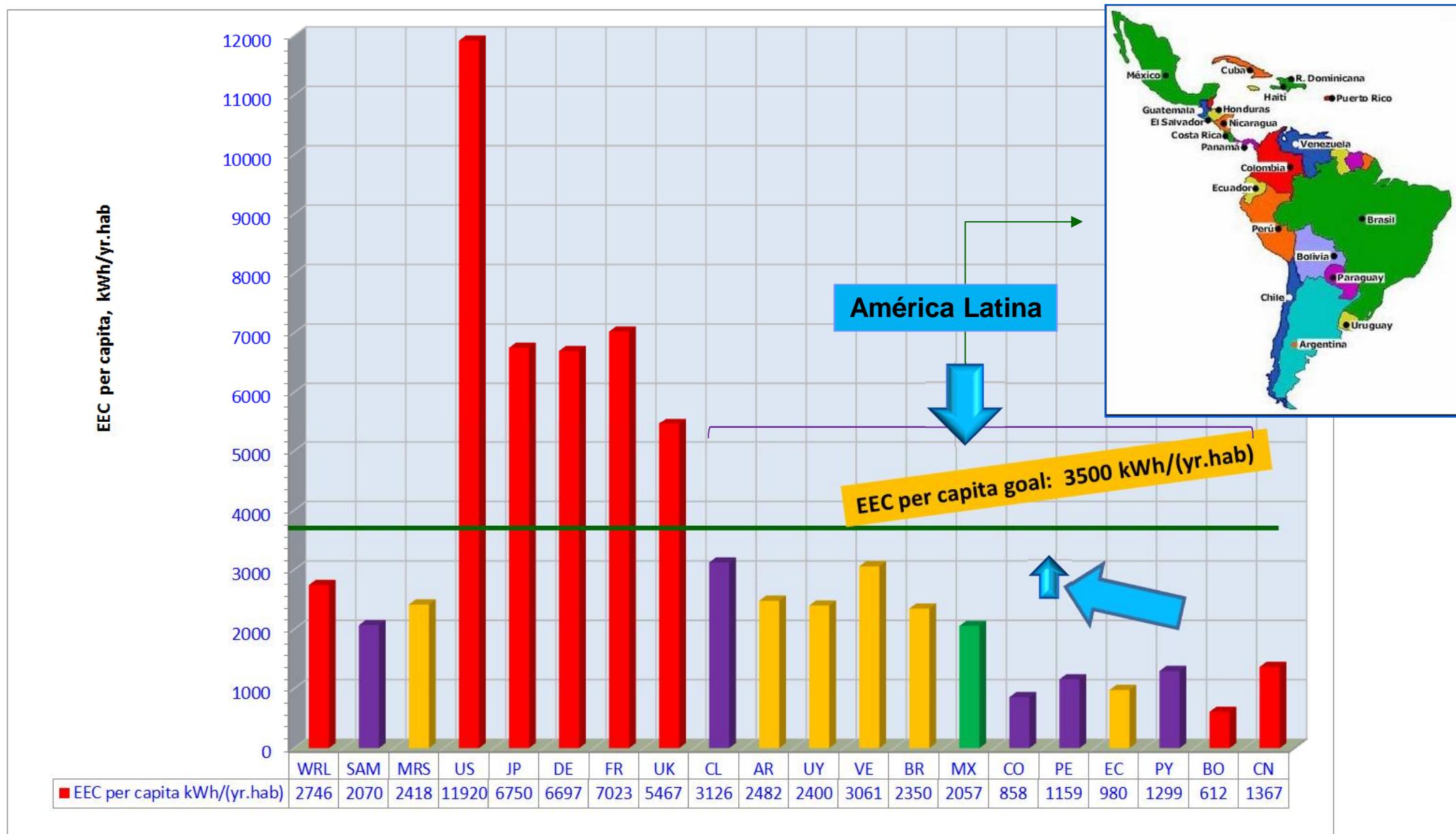


Contenido

- introducción**
- expansión del sistema de transmisión**
 - proyectos de transmisión
 - bases técnicas
 - la vida útil económica
 - la vida útil técnica
 - ausencia do enlace técnico-económico
- transformadores y reactores**
 - estrategia y direcciones
 - desempeño global
 - especificación técnica
 - evaluación del desempeño
 - evaluación de la vida útil
- componentes – boquillas y cambiadores (OLTCs)**
- mantenimiento mínimo avanzado**
 - monitoreo optimizado
 - base en el conocimiento, estado y evento
 - inspección periódica mínima
- gestión avanzada de activos**
- conclusiones**

Sistemas de Transmisión de Energía Eléctrica

Potencial de Crecimiento del Consumo de Energía Eléctrica

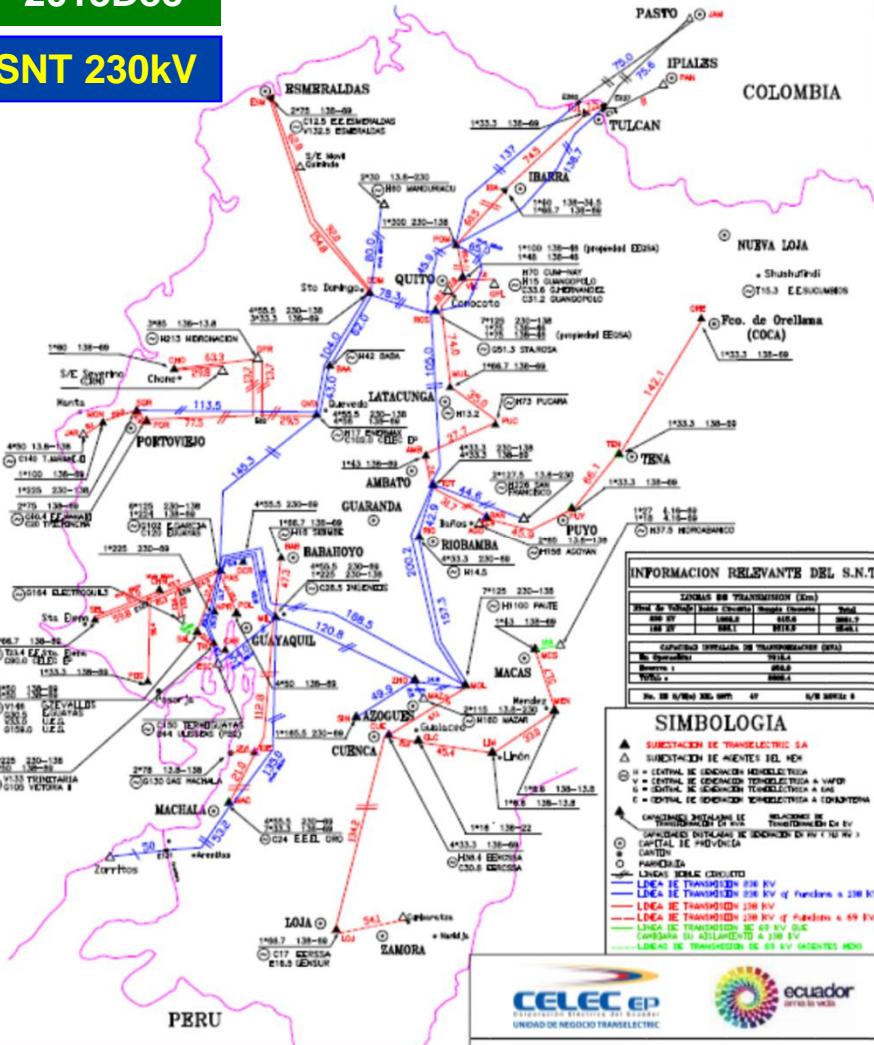


Sistemas de Transmisión de Energía Eléctrica

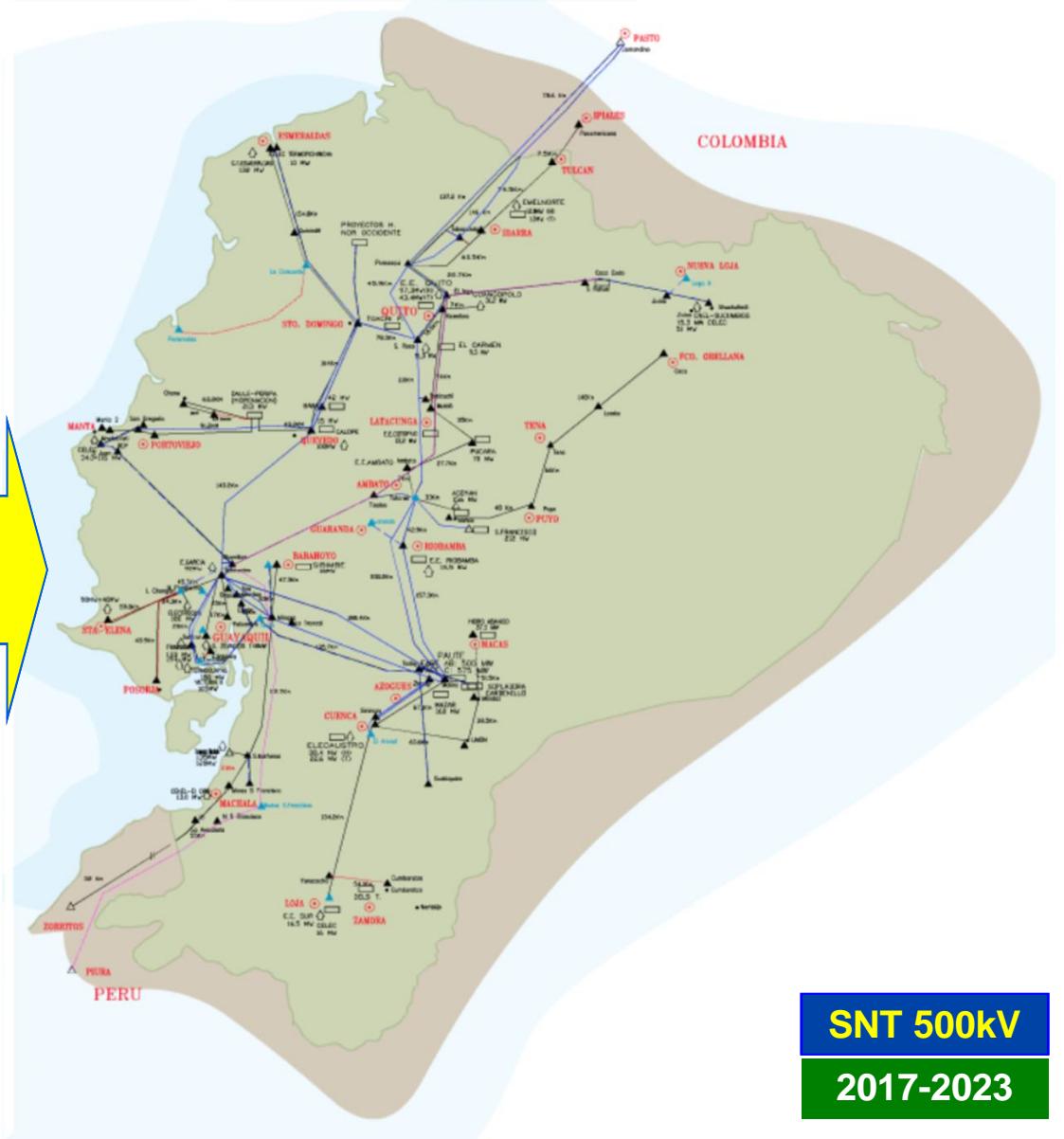
Planos de Expansión en Ecuador

2013Dec

SNT 230kV



DEL FUNCIONAMIENTO DEL SNT ESTA
DEPENDIENDO EL DESARROLLO DEL PAIS
Y EL BIENESTAR DE SUS HABITANTES



Sistemas de Transmisión de Energía Eléctrica

Planos de Expansión en Ecuador

Expansión a uno Mínimo de Costo Total Global



Evaluación Económica Global para Minimizar:

- inversiones
- operación y mantenimiento
- energía no fornecida

Transformador con Vida Útil Reducida y los Costos Adicionales Anuales

Electrical Power Transmission System - Estimated Benefit of Power Equipment Long Useful Life								
Description		unit	Component - Expected Useful Life and AVI Yearly Investment Value					
case	useful life of component	-	reference	-	-	-	-	IEEE Std
t	useful life of component	year	40	35	30	25	20	17,1
r	real return interest	%	10	10	10	10	10	10
VI	component investment value	kUSD	4000	4000	4000	4000	4000	4000
ax1	auxiliar parameter 1	-	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
ax2	auxiliar parameter 2	-	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
ax3	auxiliar parameter 3	-	0,02209	0,03558	0,05731	0,09230	0,14864	0,19597
ax4	auxiliar parameter 4	-	9,77905	9,64416	9,42691	9,07704	8,51356	8,04032
a	yearly return factor	1/year	0,10226	0,10369	0,10608	0,11017	0,11746	0,12437
AVI	yearly investment value	kUSD/year	409,04	414,76	424,32	440,67	469,84	497,49
AVI x t	total returned value	kUSD	16362	14517	12730	11017	9397	8507
dAVI	excess total cost	kUSD	0	1845	3632	5345	6965	7854
-	excess total cost ratio	%	0	11,3	22,2	32,7	42,6	48,0
dAVI	excess yearly cost	kUSD/year	0,00	5,72	15,28	31,63	60,80	88,45
-	excess yearly cost ratio	%	0,000	1,40	3,74	7,73	14,86	21,63

La compra, aprobación y recibir uno Transformador de Poder de Alta Tensión con una Vida Útil Normalizada de **17.1 años** en vez de una vida útil especificada de **40 años**:

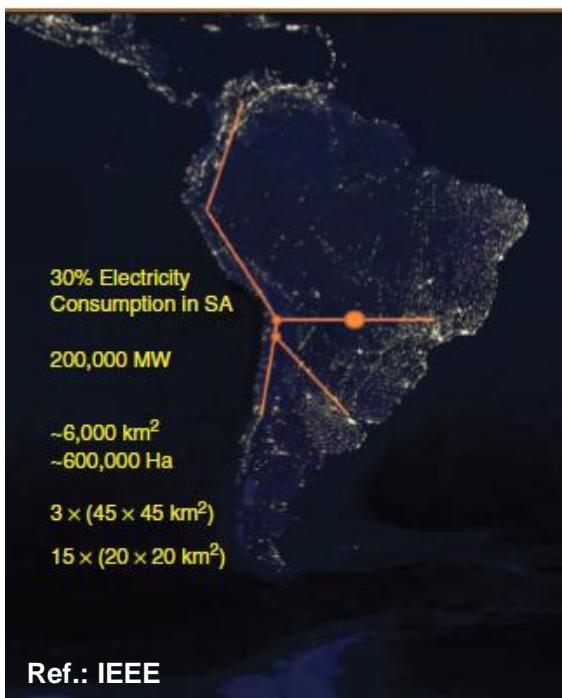
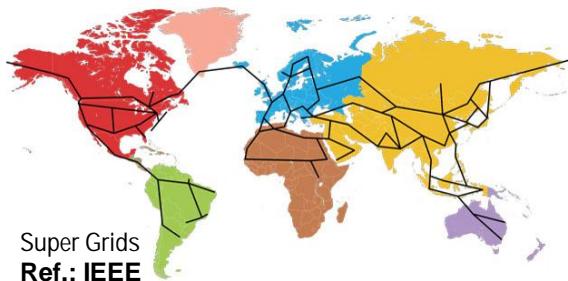
- uno acrísimo de lo costo anual de **21.63%** o **88455 US\$/año**; y
- resulta un precio total de comparación de **7854 kUSD** (o cerca de 2 veces lo precio inicial de **4000 kUSD** de lo transformador nuevo)

Consecuencias:

- necesidad de especificar la vida útil de lo equipo
- proceso de compra ay que incluir la evaluación económica de las alternativas y proponentes
- Vida útil de lo equipo debe ser certificada en las pruebas FAT Pruebas de Aceptación Final en la Fábrica

Sistemas de Transmisión de Energía Eléctrica

Planos de Expansión en Latín América



CHILE

- ❑ Interconexión Troncal SIC-SING
- ❑ reducción de los precios de energía por expansión de la transmisión
- ❑ 4 subestaciones de 500kV, 4 bancos de autotransformadores, 16 unidades de 250MVA

ECUADOR

- ❑ SNT Sistema Nacional de Transmisión
- ❑ Interconexión con PERÚ y con Colombia
- ❑ 8 subestaciones, 4850MVA transformadores de 500kV y 230kV, 440MVAr reactores

BRASIL

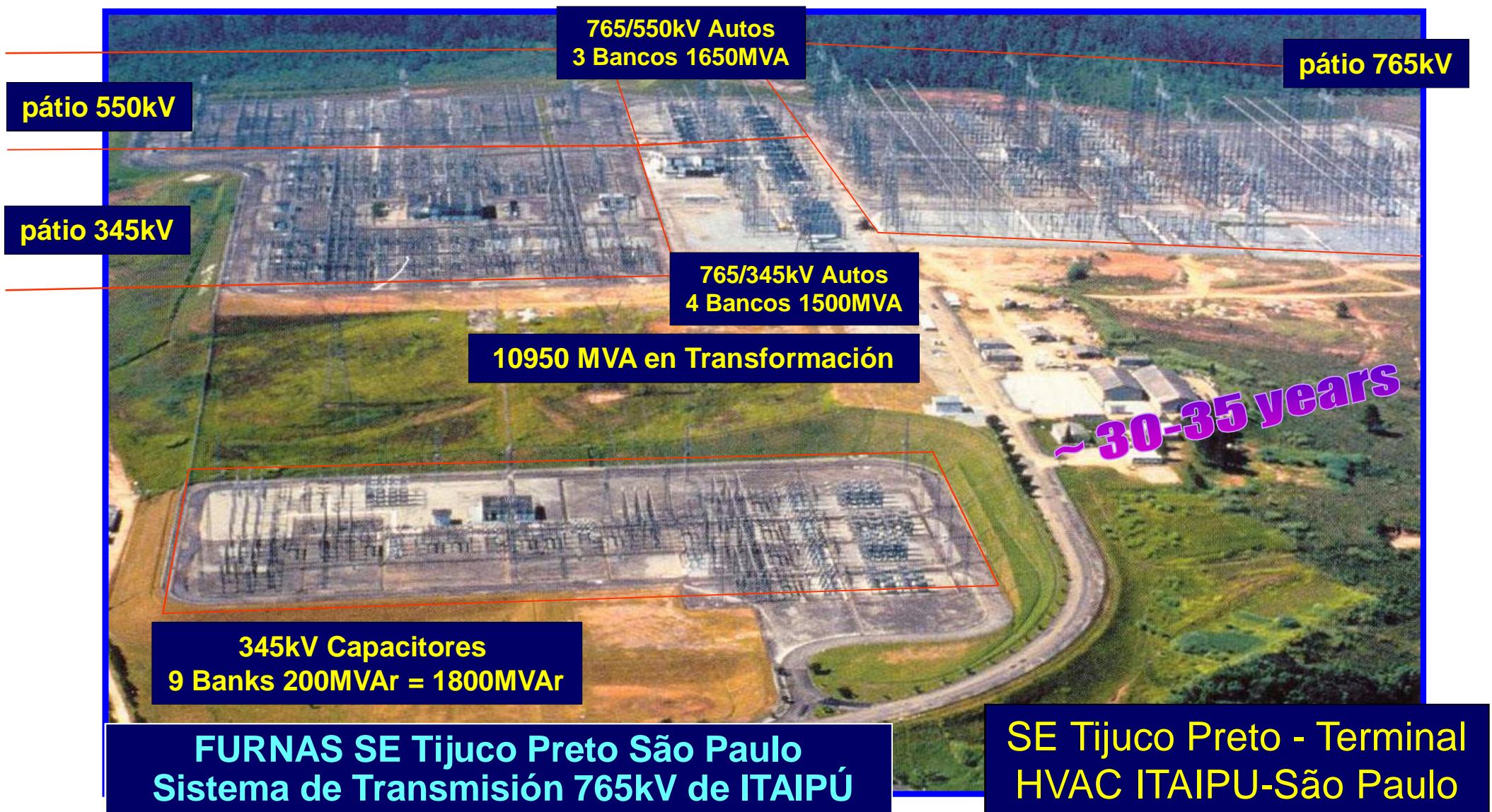
- ❑ SIN Sistema Nacional Interconectado
- ❑ 50BiUSD, 3600km/año, in expansión de la transmisión (18000MW en HVDC hasta 800kV)
- ❑ 220BiUSD in expansión de la generación (hidráulica, eólica, nuclear)
- ❑ renovación y reposición de equipos em final de vida útil

OUTROS

- ❑ **Colombia** (UHE Ituango, refuerzo de la transmisión, etc)
- ❑ **Perú** – expansión de la generación y de la transmisión hasta 500kV
- ❑ **Paraguay** - expansión de la transmisión de Itaipú hasta 500kV
- ❑ **América Central** – interconexión SADEVEN-SIEPAC y expansión (solar, eólica, etc)

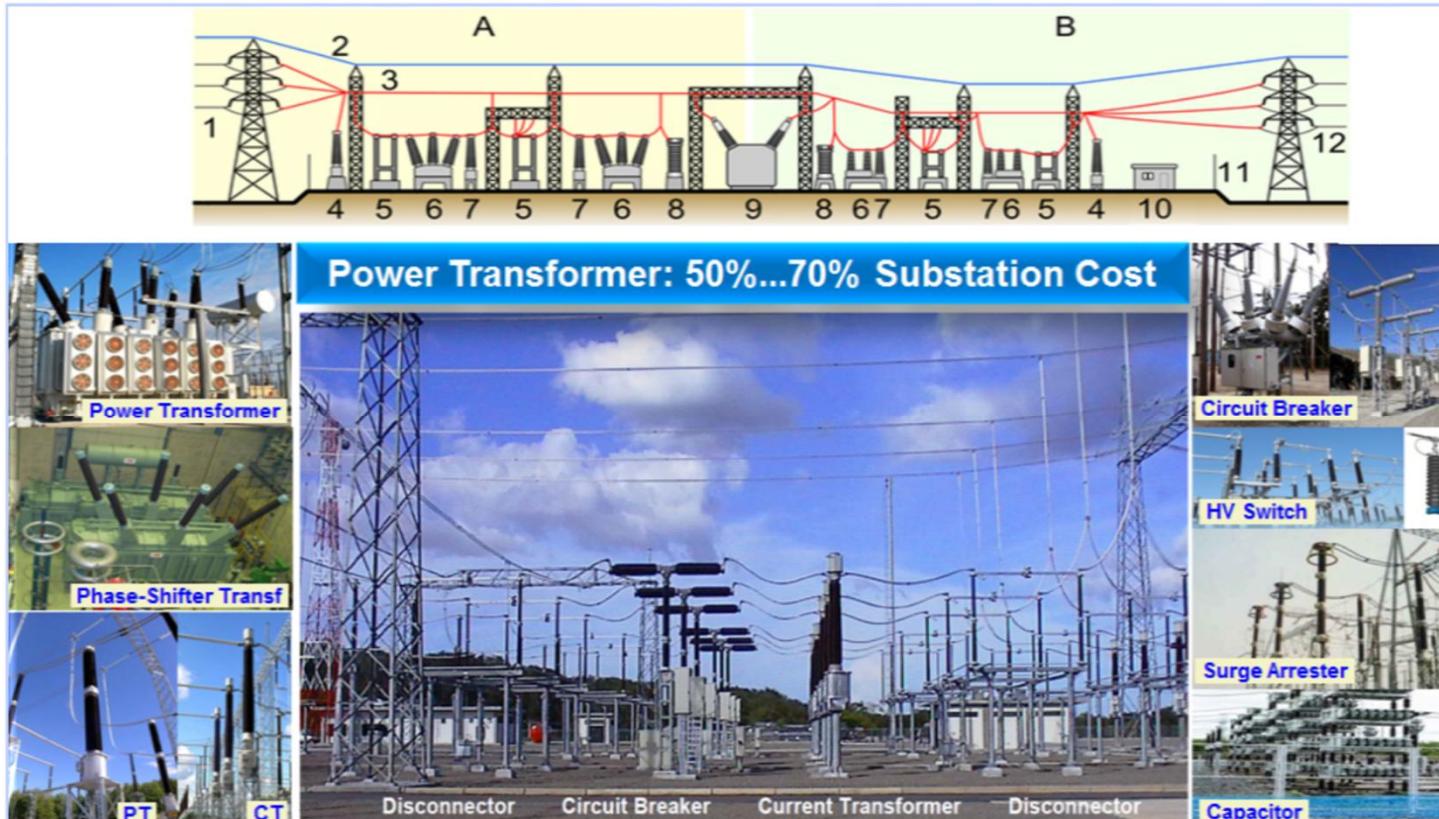
Sistemas de Transmisión de Energía Eléctrica

Planos de Expansión en Latín América – Impacto en la Infra-Estructura Envejecida



Sistemas de Transmisión de Energía Eléctrica

Estrategias y Direcciones – Aplicación, Diseño, Gestión y Redes Inteligentes



Digitalización y IoT Internet de las Cosas

Strategy and Directions
Power System and Substations
CIGRÉ SC B3 2015Apr

Especificación Técnica

Transformador de Potencia y Aplicaciones

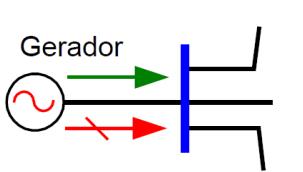
Generación

Transmisión $\geq 230 \text{ kV}$

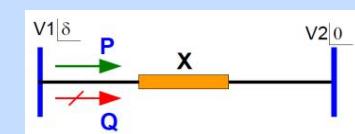
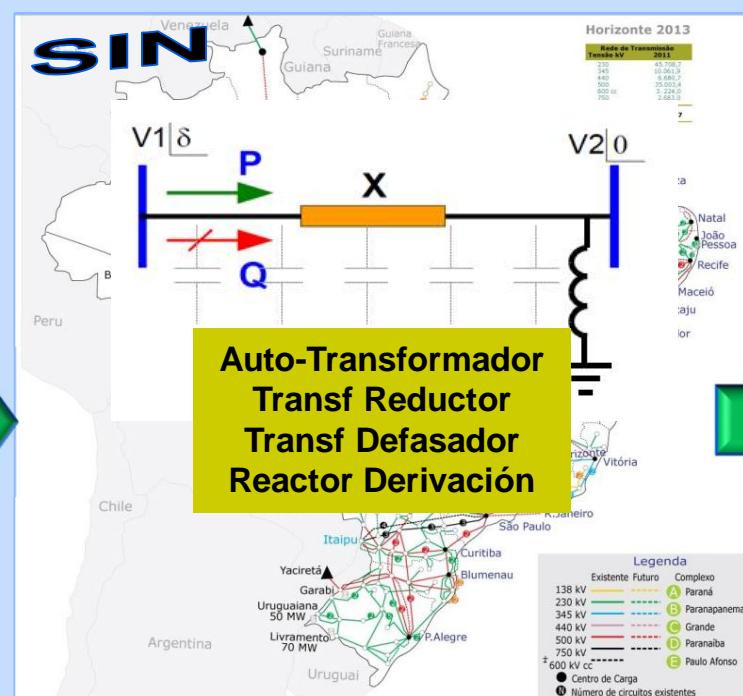
Distribución

Sub Transmisión $\leq 145 \text{ kV}$

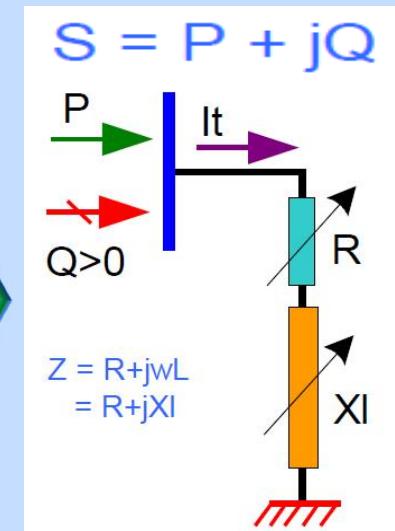
Distribución y Carga



GSU
Auxiliar

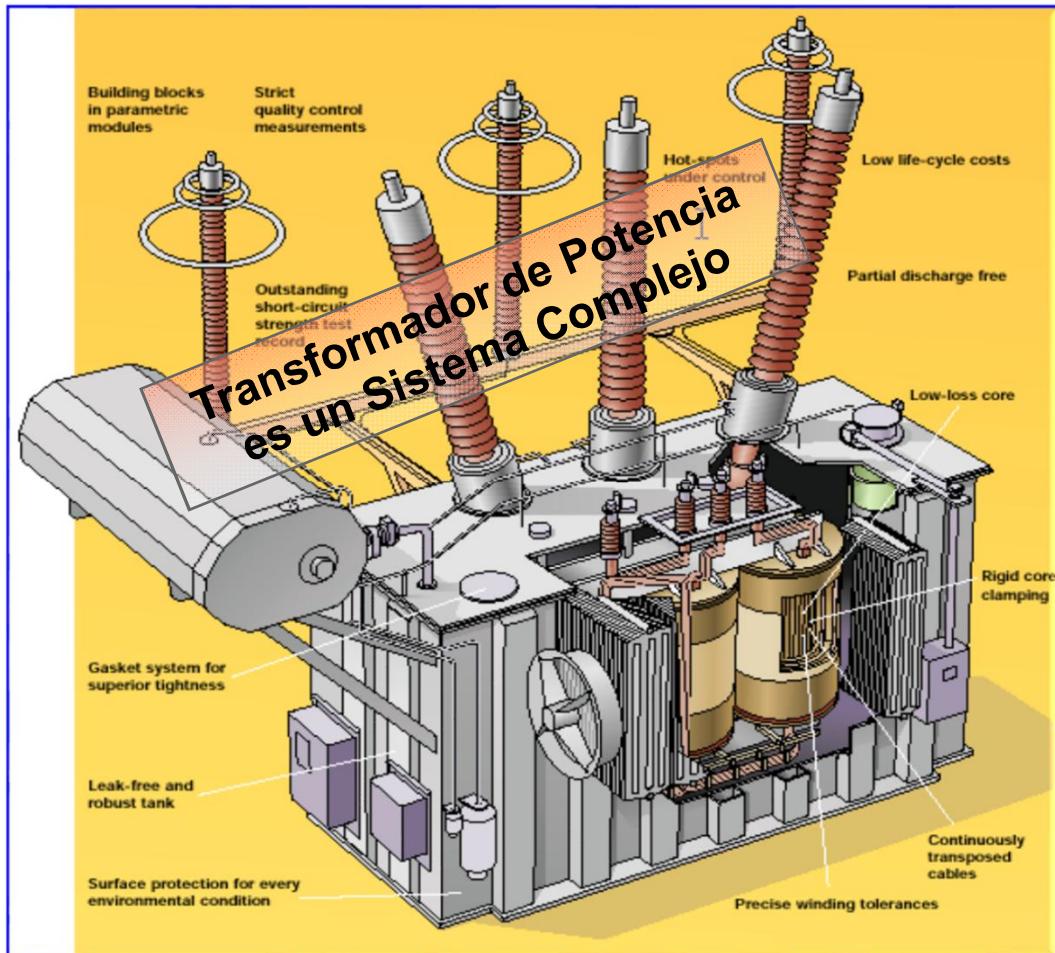


Auto-Transformador
Transf Reactor
Transf de Tierra



Especificación Técnica

Transformador de Potencia - Desempeño General y Valor Global



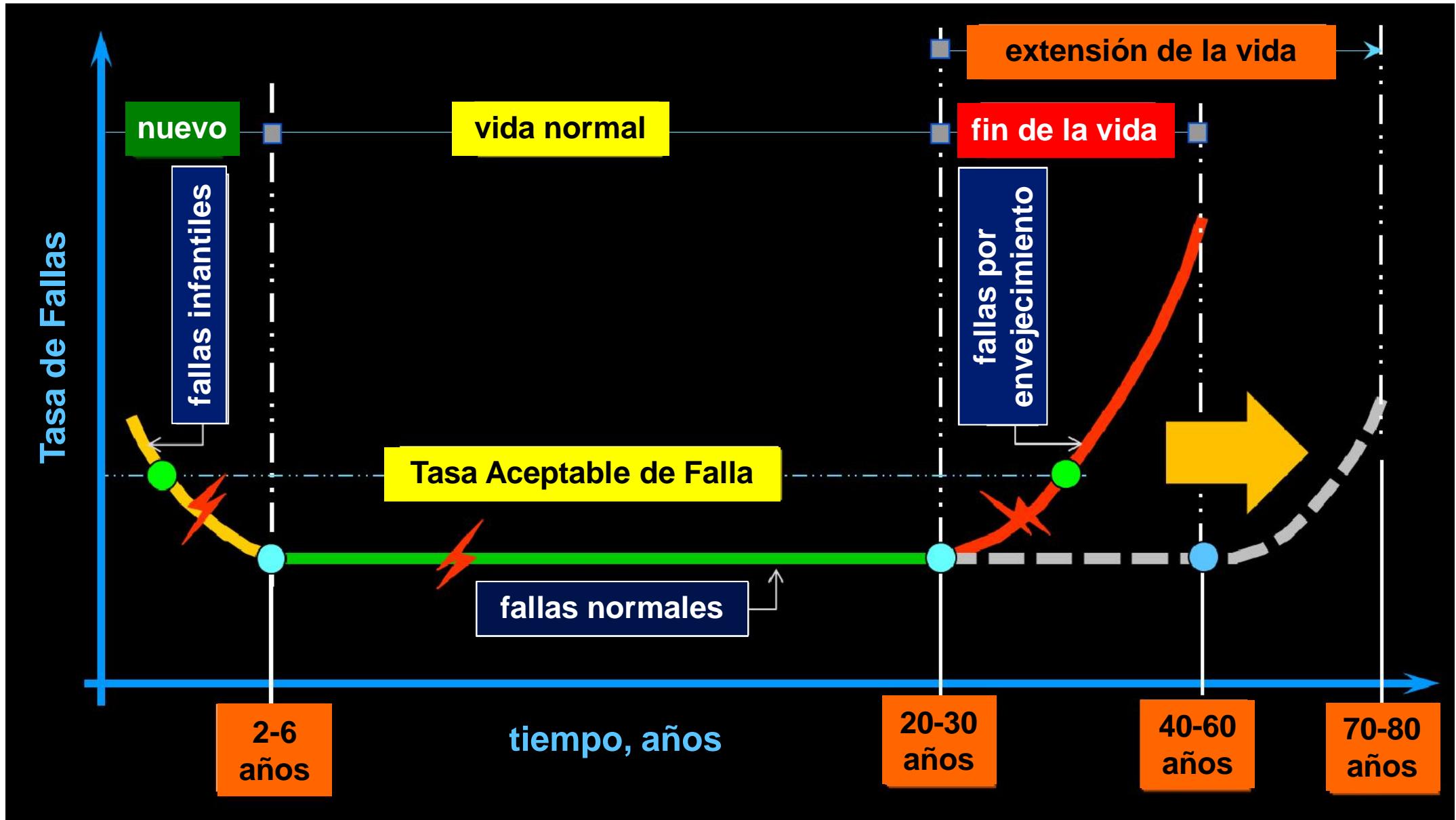
Transformador de Potencia:

- núcleo
- devanados
- aislamiento
- conexión
- cuba
- conservador de aceite
- accesorios
 - boquillas
 - cambiador de tomas
 - radiadores
 - moto ventiladores
 - termómetros, indicadores de nivel, relé Buchholz, válvula de alivio de presión, relé de presión súbita, respiradores de aire, etc.
 - transformador de corriente de boquilla
 - descargadores de sobretensión
 - painel de mando, control y protecciones
 - sensores y sistema de monitoreo

**Tecnología Sólida
y Experiencia**

Especificación Técnica

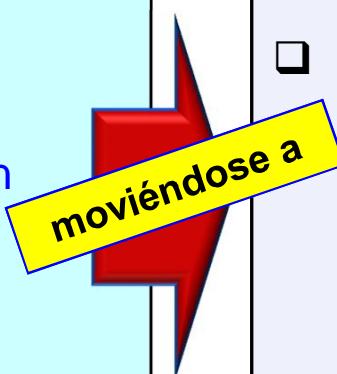
Transformador de Potencia – Operación, Vida Útil y Fiabilidad



Datos Técnicos Garantizados

La declaración de datos técnicos garantizados no es una garantía:

- para un desempeño mínimo especificado
- para una vida útil especificada
- para suportar corto-circuitos con fiabilidad
- para una solución económica optimizada
- para um custo total mínimo de lo ciclo de vida
- para una vida en operación fiable y sin falla



Evaluación del Desempeño Técnico

- método de evaluación cuantitativa
- poderoso método de comparación y ecualización de desempeño técnico de diferentes proveedores
- ecualización técnica y económica de varios presupuestos
- principales datos de desempeño:
 - desempeño térmico (núcleo, devanados, conexiones internas)
 - vida útil del aislamiento (según IEEE)
 - pérdidas totales
 - cortocircuito (IEC60076-5)
 - desempeño sísmico cualificado
 - tensiones transitorias y suportabilidade del aislamiento interno (maniobra de los reactores, VFTOs, GPR, etc.)
 - análisis de fiabilidad
 - evaluación económica global

USD\$
kVA x Vida Útil x FatorDeLaSobreCarga

Elevación de la Cualidad del Activo:
Mantenimiento Mínimo

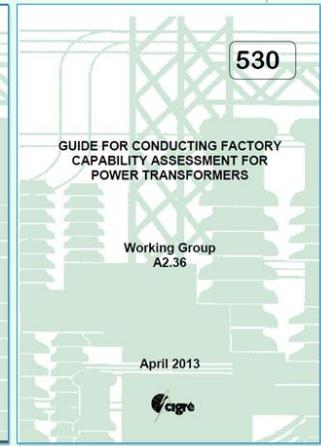
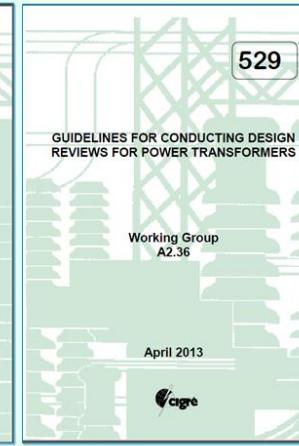
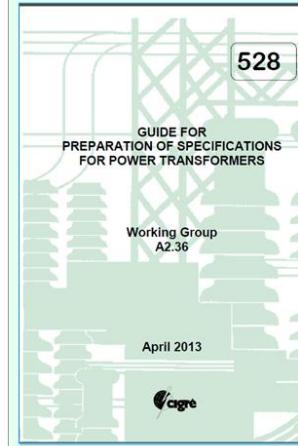
Especificación Técnica

Transformador de Poder – Proceso de Compra y Ecualización de Desempeño

Pasos:

- 1. Especificación Técnica**
- 2. Proceso de Adquisición**
- 3. Fabricante y Calificación de Fábrica**
- 4. Presupuestos, Análisis Técnicas y Económicas, Compra, Contratos**
- 5. Proyecto Eléctrico**
- 6. Revisión del Proyecto**
- 7. Proyecto Mecánico**
- 8. Fabricación**
- 9. Pruebas Finales de Aceptación en Fábrica**
- 10. Análisis del Resultados de las Pruebas Finales**
- 11. FRA en la Fábrica antes de su Transporte**
- 12. Transporte Monitoreado**
- 13. FRA en el Sitio después del Transporte**
- 14. Erección en el Sitio**
- 15. Puesta en Marcha en el Sitio**
- 16. Energización**
- 17. Operación**
- 18. Monitoreo**
- 19. Mantenimiento**

CIGRE - Folletos Técnicos de Soporte:



Evaluación del Desempeño Magnético:

□ inducción máxima en el núcleo (densidad del flujo)

➤ frecuencia nominal:

fn

➤ permitida em cualquier ciclo de carga:

Bmax = 1.95 T, material del núcleo: **R**, **RGO**

Bmax = 1.98 T, material del núcleo: **H**, **HiB**

Bmax = 1.98 T, material del núcleo: **D**, **HiB** trazado por láser

□ inducción nominal en el núcleo (densidad del flujo)

➤ frecuencia nominal:

fn

➤ tensión nominal del régimen permanente:

Un

➤ tensión nominal del régimen permanente:

Umax (en cualquier caso de ciclo de carga)

➤ inducción máxima en el núcleo:

Bnmax = Bmax / (Umax/Un)

➤ para cualquier otra relación de (U/f):

Bcore = Bnmax * (U/f)/(Un/fn) < Bmax

➤ para cualquier factor de harmónico de tensión (hu): **Bcore = Bnmax * (U/f)/(Un/fn) * (1/hu) < Bmax**

Especificación Técnica

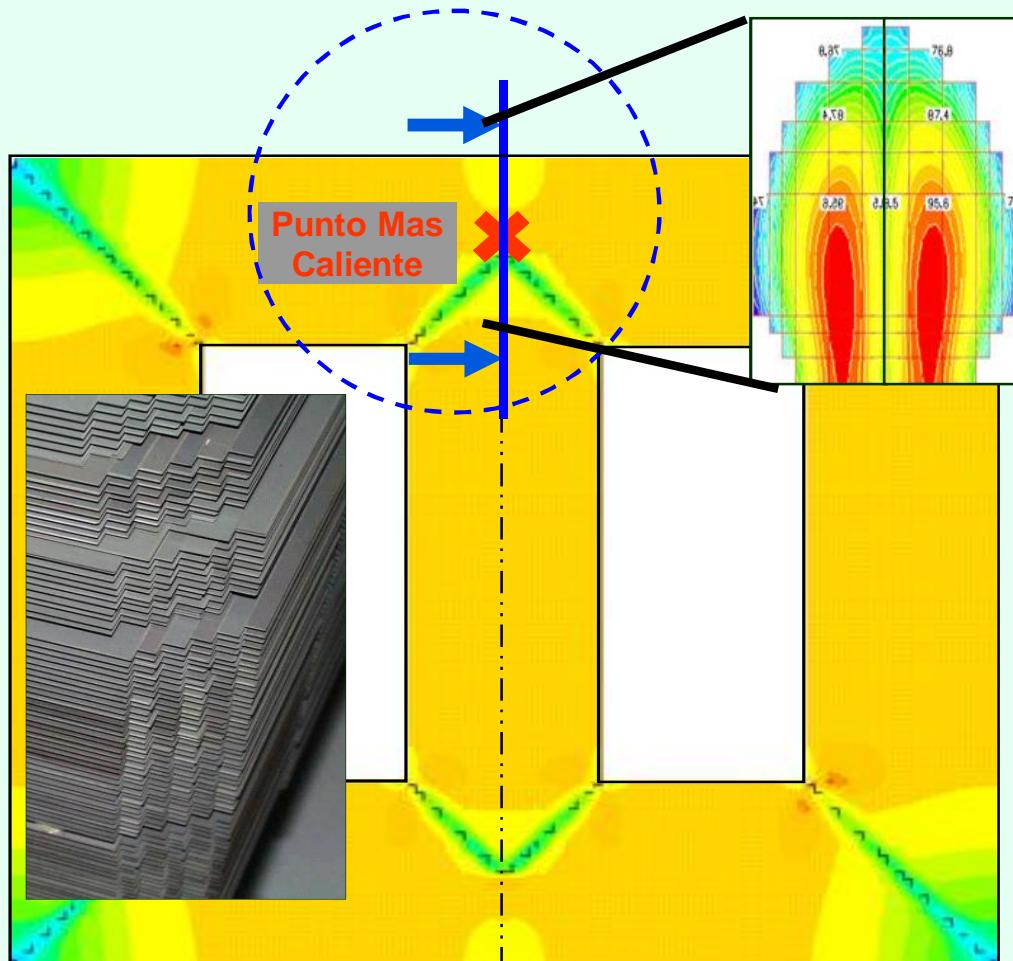
Núcleo Magnético – Temperaturas y Materiales Aislantes

Evaluación del Desempeño Térmico

- temperatura ambiente: **T_a**, temperatura máxima diaria, grC
- temperatura do aceite: **DTo**, elevación de la temperatura do topo do aceite de la cuba (calculado o medido)
- evaluación no mínimo para los siguientes casos de carga:
 - 1) caso 1: **100%Un y 100%In** – carga plena
 - 2) caso 2: **105%Un y 95%In** – sobreexcitación con carga plena
 - 3) caso 3: **110%Un y 0%In** – sobreexcitación en vacío
- temperatura del **punto mas caliente** del núcleo
 - elevación punto-caliente del núcleo: **DTco**, sobre la elevación de temperatura do aceite do topo da cuba
 - temperatura punto-caliente del núcleo: $T_c = T_a + DTo + DTco$, grC
 - límite de la temperatura do punto-caliente del núcleo: **130 grC** (cualquier caso de carga)
- temperatura de la **superficie** del núcleo
 - elevación da superficie del núcleo: **DTcs**, sobre la elevación de temperatura do aceite do topo da cuba
 - temperatura de la superficie del núcleo: $T_s = T_a + DTo + DTcs$, grC
 - límite de la temperatura de la superficie del núcleo : **95 grC** (cualquier caso de carga)
- materiales aislantes para el núcleo
 - componentes aislantes **internos** (canales de enfriamiento, barreras, etc) y **adyacentes** (bloques; etc)
 - **Classe Térmica F (155grC) o superior (NOMEX)**

Especificación Técnica

Núcleo Magnético – Puntos Calientes, Límites y Desempeño



Núcleo: 3-Fases, 3 Columnas

Punto Caliente:

- IEEE & IEC límite 140grC
(punto caliente partes metálicas)
- Límite recomendado: 130grC

Punto Mas Caliente Núcleo Magnético:

- películas de aceite entre las láminas (acero-silicio) del núcleo
- gas en lo aceite:
 - H₂ – Hidrógeno (>2.5 ppm/día)
 - CH₄ – Metano
 - H₂/CH₄: 6 ... 8
(sobrecalentamiento moderado)
- deterioro aislamiento sólido
- saturación local del aceite por gas
- producción de burbuja de gas

Material del Conductor de Cobre

- clasificación del cobre:
 - densidad: **Cu-ETP** Cobre Electrolítico Tough-Pitch de acuerdo ISO1337-1980 o **Cu-OF** Cobre libre de oxígeno (OF) de acuerdo ISO1337-1980
 - módulo de elasticidad: 8900 kg/m³
 - resistividad eléctrica en 20grC: máxima 0.017241 Ω.m
 - conductividad eléctrica equivalente: mínima 100% IACS
 - contenido de oxígeno: **Cu-ETP** (típico: 0.02%-0.04%) y **Cu-OF** (0.001%)
- conductores de cobre trabajado en frío endurecido para bobinados
 - límite de elasticidad: 110 N/mm² (valores típicos: 150, 180, 230, 280 N/mm²)
 - límite de elasticidad - tolerancias: - 0 N/mm² to +30 N/mm²
 - resistencia a la rotura: 240/330 N/mm²



Papel Aislante para Conductores

- calidad mínima: Papel Térmicamente Mejorado (Thermally Upgraded Paper)
- cualificación del papel:
 - método de ensayo: N2 contenido de Nitrógeno
 - Standard Test Method for Organic Nitrogen in Paper and Paperboard
 - contenido mínimo de N2: 1.8%
- Grado de Polimerización (GP) mínimo del papel aislante
 - valor mínimo GP: 1000
 - muestras a ensayar: mínimo 6 muestras
 - muestras: después del secado FINAL de la Parte Activa justo antes de pruebas finales FAT
 - método de ensayo: IEC 60450:2004+AMD1:2007
 - Consolidated version Measurement of the average viscometric degree of polymerization of new and aged cellulosic electrically insulating material



Especificación Técnica

Devanados – Papel Aislante y Expectativa de Vida Útil

Vida Útil Esperada del Aislamiento

- condiciones en lo lugar de la instalación/operación:
 - temperatura ambiente: promedio diario
 - carga: la potencia nominal máxima del transformador

- vida útil esperada de lo papel aislante
 - papel aislante: papel térmicamente mejorado (thermally upgraded paper)
 - criterio de fin de vida: 150 000 horas at 110grC (DP: 200)
 - parámetros **A** and **B** (expresión de Arrhenius): **A = -11.833** y **B = 6514.42**
 - mínimo factor de punto caliente do devanado: **1.30**
 - máxima temperatura do punto caliente: **Te , grK**
 - mínima vida útil esperada para o aislamiento: **40 años** ($40 \times 365 \times 24 = 350\,400$ horas)



■ Arrhenius expresión

- **A e B** – parámetros de la vida útil esperada do papel aislante
- **Te = Θe+ 273** – temperatura absoluta del papel aislante (grK)

$$\text{Vida (horas)} = 10^{(A + \frac{B}{Te})}$$

Especificación Técnica

Devanados – Papel Aislante, Temperaturas y Expectativa de Vida Útil



ID	Reator Monof 60MVar 500/raiz(3) kV 72.60MVar 550/raiz(3) kV								
Carga	72.50MVA a 550/raiz(3)kV x 24h								
Classe Térmica da Isolação	65grC TermoEstabilizado, IEEE								
A		-11,833	-11,833	-11,833	-11,833	-11,833	-11,833	-11,833	-11,833
B		6514,42	6514,42	6514,42	6514,42	6514,42	6514,42	6514,42	6514,42
Classe Térmica da Isolação	65grC TermoEstabilizado, IEEE Std C57.91-1995								
Temp Ambiente	grC	30,0	31,0	32,0	33,0	34,0	35,0	30,0	30,0
Fator Pto+Quente	pu	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
Elev Oleo-Amb Media	grC	38,3	38,3	38,3	38,3	38,3	38,3	39,0	35,0
Elev Oleo-Amb Topo (Garantia)	grC	53,1	53,1	53,1	53,1	53,1	53,1	56,0	49,9
Elev Enrol-Amb Media (Garantia)	grC	56,5	56,5	56,5	56,5	56,5	56,5	57,5	51,8
Elev Enrol-Óleo	grC	18,2	18,2	18,2	18,2	18,2	18,2	18,5	16,8
Elev Pto+Q Enrol-Ambiente	grC	76,8	76,8	76,8	76,8	76,8	76,8	80,0	71,7
Temp Media Enrol	grC	86,5	87,5	88,5	89,5	90,5	91,5	87,5	81,8
Temp Pto+Quente Enrol (Garantia)	grC	106,8	107,8	108,8	109,8	110,8	111,8	110,0	101,7
Temp. Pto+Quente Enrolamento	65grC TermoEstabilizado, IEEE								
Expectativa Vida	Horas	209433	188796	170285	153672	138754	125350	150174	355500
	anos	23,9	21,6	19,4	17,5	15,8	14,3	17,1	40,6
Perda Vida Diaria	%/24h	0,01146	0,01271	0,01409	0,01562	0,01730	0,01915	0,01598	0,00675

IEEE Std C57.91 1995

Expectativa de Vida Útil Normal:
 ✓ 17.1 años (150000horas) con punto mas caliente Te=110grC

BR ONS
Requisitos Mínimos

7.1.4.3 As unidades transformadoras submetidas ao regime de carregamento dos itens (a) e (b) devem ser especificadas para a expectativa de vida útil de 40 anos.

Especificación Técnica

Devanados – Papel Aislante y Especificación de la Expectativa de Vida Útil



Operador Nacional
do Sistema Elétrico

Submódulo 2.3

Requisitos mínimos para transformadores e para subestações e seus equipamentos

Rev. Nº.	Motivo da revisão	Data de aprovação pelo ONS	Data e instrumento de aprovação pela ANEEL
0.0	Este documento foi motivado pela criação do Operador Nacional do Sistema Elétrico.	09/10/2000	_____
0.1	Adequação à Resolução nº 140/02 - ANEEL de 25/03/2002	09/05/2002	24/12/2002 Resolução nº 791/02
0.2	Atendimento à Resolução Normativa ANEEL nº 115, de 29 de novembro de 2004.	10/10/2005	07/07/2008 Resolução Autorizativa nº 1436/08
1.0	Versão decorrente da Audiência Pública nº 049/2008, submetida para aprovação em caráter definitivo pela ANEEL.	17/06/2009	05/08/2009 Resolução Normativa nº 372/09
1.1	Atendimento às Resoluções Normativas ANEEL nº 312/08, de 06 de maio de 2008, e nº 395/09, de 15 de dezembro de 2009.	18/06/2010	15/09/2010 Despacho SRT/ANEEL nº 2744/10
2.0	Versão decorrente da Audiência Pública nº 002/2011.	01/12/2010	09/11/2011 Resolução Normativa nº 461/11

Endereço na Internet: <http://www.ons.org.br>

BR ONS
Requisitos Mínimos



7.1.4.3 As unidades transformadoras submetidas ao regime de carregamento dos itens (a) e (b) devem ser especificadas para a expectativa de vida útil de 40 anos.



Operador Nacional
do Sistema Elétrico

Procedimentos de Rede

Assunto	Submódulo	Revisão	Data de Vigência
REQUISITOS MÍNIMOS PARA TRANSFORMADORES E PARA SUBESTAÇÕES E SEUS EQUIPAMENTOS	2.3	2.0	11/11/2011

7.1.4 Condições operativas

7.1.4.1 Os transformadores devem ser capazes de operar com as suas potências nominais, em regime permanente, para toda a faixa operativa de tensão definida na Tabela 1 do Submódulo 23.3, tanto no primário quanto no secundário. Caso os transformadores possuam comutadores de derivações, sejam eles em carga ou não, a referida faixa operativa deverá também ser atendida para todas as posições desses comutadores.

7.1.4.2 As unidades transformadoras devem ser especificadas para operar desde sua entrada em operação com:

- (a) Carregamento não inferior a 120% da potência nominal por período de 4 horas do seu ciclo diário de carga para a expectativa de perda de vida útil normal estabelecida nas normas técnicas de carregamento de transformadores. A sobrecarga de até 20% deve ser alcançada para qualquer condição de carregamento do transformador no seu ciclo diário de carga;
- (b) Carregamento não inferior a 140% da potência nominal por período de 30 minutos do seu ciclo diário de carga para a expectativa de perda de vida útil normal estabelecida nas normas técnicas de carregamento de transformadores. A sobrecarga de até 40% deve ser alcançada para qualquer condição de carregamento do transformador no seu ciclo diário de carga.

7.1.4.3 As unidades transformadoras submetidas ao regime de carregamento dos itens (a) e (b) devem ser especificadas para a expectativa de vida útil de 40 anos.

7.1.4.4 As unidades transformadoras de potência devem ser adequadas para operação em paralelo nos terminais a serem conectadas.

7.1.4.5 Para novas unidades transformadoras de potência os procedimentos para aplicação de cargas devem atender à Norma Técnica NBR 5416 da ABNT, além de serem especificadas para atender o item 7.1.4.2.

7.1.4.6 Cada unidade transformadora de potência deve ser capaz de suportar o perfil de sobreexcitação em vazio a 60 Hz apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 – Sobreexcitação em vazio a 60 Hz, em qualquer derivação de operação

Período	Tensão (pu da tensão da derivação)
10 (dez) segundos	1,35
20 (vinte) segundos	1,25
1 (um) minuto	1,20
8 (oitro) minutos	1,15

7.1.5.2 Na definição do valor mínimo da impedância, devem-se considerar os máximos valores admissíveis de corrente de curto-círcuito explicitados no item 6.4.1 deste submódulo.

7.1.5.3 Para as novas unidades transformadoras, em subestações existentes, os valores máximos e mínimos de impedância devem atender às condições de paralelismo.

Endereço na Internet: <http://www.ons.org.br>

Página 10/18

Carga y
Vida Útil



Especificación Técnica

Pérdidas – Vacío en Carga y Totales

Las Pérdidas Totales

- pérdidas: en vacío y en carga
- auto-transformador (monofásico o trifásico):
 - condición de la operación: primario - secundario
 - condición nominal: potencia, frecuencia, tensión y toma (tap)
 - pérdidas totales máximas: **0.30%** de la potencia nominal del auto-transformador
- transformador (monofásico o trifásico):
 - condición de la operación: primario - secundario
 - condición nominal: potencia, frecuencia, tensión y toma (tap)
 - pérdidas totales máximas: de acuerdo con la siguiente tabla



Sn – Potencia Nominal Máxima Potencia Trifásica, MVA	Pérdidas Totales Máxima %
5 < Sn < 30	0.70%
30 ≤ Sn < 50	0.60%
50 ≤ Sn < 100	0.50%
100 ≤ Sn < 200	0.40%
Sn ≥ 200	0.30%

Especificación Técnica

Desempeño Térmico – Núcleo, Devanados y Partes Metálicas

Desempeño Térmico y Límites

□ Núcleo Magnético y límites de temperaturas – valores máximos

- temperatura del punto caliente del núcleo magnético: de acuerdo con la sección Núcleo Magnético
- temperatura de la superficie del núcleo magnético: de acuerdo con la sección Núcleo Magnético

□ Devanados y elevación de temperatura para a temperatura ambiente – valores máximos

- elevación del topo del aceite (bajo la tapa de la cuba): 60 grK
- elevación de la temperatura media do devanado: 65 grK
- elevación de la temperatura do punto-caliente do devanado: 80 grK

□ Otras Partes Metálicas (fuera del Devanados) y elevación de temperatura sobre la temperatura ambiente – valores máximos

- partes metálicas de la Parte Activa (presa yugos; pernos de yugo; placas de suspensión, etc: 80 grK
- partes metálicas de la cuba y tapa: 70 gtrK

Impedancia de Cortocircuito

impedancia de cortocircuito

- impedancia entre los devanados del primario y secundario
- valor máximo de la impedancia de cortocircuito: **14 %** 
- condiciones especiales:
 1. impedancia con valor superior al **14%** pueden ser aceptados en situaciones especiales como para limitar las corrientes de cortocircuito
 2. o valor mínimo de impedancias debe tener en cuenta os valores permisible de la corriente de cortocircuito (valor de operación y de planificación de largo plazo) de lo equipo
 3. para un transformador adicionado a una subestación existente, os valores mínimos e máximos de la impedancia de cortocircuito deberán cumplir con los requisitos de operación en paralelo



Desempeño y Limites de Sobreexcitación

el perfil permisible de Sobreexcitación in Vacío

- condición de la operación: sin carga (in vacío) a frecuencia industrial
- condición de toma (tap): en cualquier condición de toma (tap)
- sobreexcitación permisible: de acuerdo con la siguiente tabla



Tempo de Duración	Tensión (pu de la tensión de la toma - tap)
10 segundos	1.35
20 segundos	1.25
60 segundos	1.20
480 segundos (8 minutos)	1.15
régimen permanente	1.10

Especificación Técnica

Capacidad de Resistir a Corto Circuitos

Corto Circuitos y Evaluación de Desempeño

□ IEC60076-5 3rd Ed 2006-02 Power Transformers Ability to Withstand Short-Circuit



Características:

- revisión general
- incluye la alternativa para probar la capacidad do transformador de potencia de resistir a cortocircuitos mediante lo cálculo basado en pruebas de cortocircuitos de transformadores similares
- establece orientaciones y criterios de cálculo

Two tables from the standard are shown. Table A.1 (continued) compares forces and stresses in shell-type transformers across four winding types (LV, MV, HV, Tap) and three stress levels (act., ref., crit.). Table A.2 compares forces and stresses in core-type transformers across the same categories. A large blue diagonal watermark "IEC60076-5 Annex A" is overlaid across both tables. A red border highlights the top row of Table A.1 and the first few rows of Table A.2.

Type of force / stress	LV winding	MV winding	HV winding	Tap winding	act.	ref.	crit.	act.	ref.	crit.	act.	ref.	crit.
Type of force/stress	LV winding	MV winding	HV winding	Tap winding	act.	ref.	crit.	act.	ref.	crit.	act.	ref.	crit.

Type of force/stress	LV winding	MV winding	HV winding	Tap winding	act.	ref.	crit.	act.	ref.	crit.	act.	ref.	crit.	
60076-5 © IEC:2006	– 61 –													
Mean hoop tensile stress on disc-, helical- and layer-type windings (MPa)														
Mean hoop compressive stress on disc, helical, single layer type windings (MPa)														
Equivalent mean hoop compressive stress on multi-layer-type windings (MPa)														
Stress due to radial bending of conductors between axial sticks and spacers (MPa)														
Stress due to axial bending of conductors between radial spacers (MPa)														
Thrust force acting on the low-voltage winding lead exits (kN)														
Maximum axial compression force on each physical winding (kN)														

Type of force/stress	LV winding	MV winding	HV winding	Tap winding	act.	ref.	crit.	act.	ref.	crit.	act.	ref.	crit.	
Mean hoop tensile stress on disc-, helical- and layer-type windings (MPa)														
Mean hoop compressive stress on disc, helical, single layer type windings (MPa)														
Equivalent mean hoop compressive stress on multi-layer-type windings (MPa)														
Stress due to radial bending of conductors between axial sticks and spacers (MPa)														
Stress due to axial bending of conductors between radial spacers (MPa)														
Thrust force acting on the low-voltage winding lead exits (kN)														
Maximum axial compression force on each physical winding (kN)														

Especificación Técnica

Capacidad de Resistir a Corto Circuitos

Paso de la OFERTA:

- incluir la nueva Norma **IEC60076-5 3rd Ed 2006-2** en la documentación de la OFERTA como la NORMA para la verificación de la capacidad do transformador de poder en resistir a cortocircuitos
- de lo fabricante, siempre requerer las tensiones mecánicas del Diseño de lo transformador comparado con sus valores permitidos o críticos. Las desviaciones a la Norma **IEC60076-5 3rd Ed 2006-2** deben ser comentadas
- Revisión de Diseño** debe ser requerido y especificado
- mencionar en la **Especificación Técnica** del transformador que lo Cliente considera los derechos de solicitar la Prueba de Cortocircuito hasta un mes después de la firma de la orden de compra.



Especificación Técnica

Capacidad de Resistir a Corto Circuitos

Paso de lo DISEÑO:

- ❑ evaluación de la capacidad de resistir cortocircuito según la Norma IEC60076-5 3rd Ed 2006-2
- ❑ **evaluación teórica** de la capacidad del transformador de resistir el efecto dinámico da corriente de cortocircuito, ya sea por:
 - **Revisión del Diseño**, donde las fuerzas y tensiones mecánicas se comparan con las fuerzas y tensiones mecánicas de lo Transformador de Referencia del fabricante y que hay sido sometido a prueba de cortocircuito
 - **Revisión del Diseño**, donde las tensiones mecánicas del diseño actual si compara con las reglas y criterios de diseño de lo fabricante para las tensiones de cortocircuitos
 - **Límites de las Tensiones Mecánicas** – guía general:
 - a) las tensiones **no superará** las **tensiones admisibles** pelo fabricante; o
 - b) las tensiones **no superará 80%** del valor de la **tensión criticas de lo material**; o
 - c) las tensiones deben ser comparadas con lo **guía de tensiones** de la nueva Norma IEC60076-5 3rd Ed 2006-2.

The image shows the front cover and two tables from the IEC 60076-5 standard. The cover indicates it is the third edition from 2006, applicable to power transformers up to 1000 MVA. Tables A.1 and A.2 provide a comparison of forces and stresses in shell-type and core-type transformers, respectively, across different winding types (LV, MV, HV, Tap) and stress categories (act., ref., all., crit., act.). A large blue diagonal watermark 'IEC60076-5 Annex A' is overlaid on the tables.

Type of force/stress	LV winding	MV winding	HV winding	Tap winding	
Type of force/stress	act.	ref.	all.	crit.	act.
Stress on coil between turns					
Coil conductors and spacers					
Total N wadges (KN)					
Total N laminas					
Total N neutrons					
Copper phase blocks					
Total N radial					
Tension due to radial					
Tension due to axial					
Pressurization (MPa)					
Transf. plate					
Clamp					
act. ref. all. crit.					

Type of force/stress	LV winding	MV winding	HV winding	Tap winding								
Type of force/stress	act.	ref.	all.	crit.	act.	ref.	all.	crit.	act.	ref.	all.	crit.
Mean hoop tensile stress on disc-, helical- and layer-type windings (MPa)												
Mean hoop compressive stress on disc, helical, single layer type windings (MPa)												
Equivalent mean hoop compressive stress on n-layer-type windings (MPa)												
Stress due to radial bending of conductors between axial sticks and spacers (MPa)												
Stress due to axial bending of conductors between radial spacers (MPa)												
Thrust force acting on the low-voltage winding lead exits (KN)												
Maximum axial compression force on each physical winding (KN)												

Corto Circuitos y Evaluación de Desempeño

- ❑ **fallas de cortocircuito** representan sólo una pequeña porcentaje de fallas totales de transformador de potencia, pero pueden en general **resultar en fallas catastróficas**
- ❑ capacidad de transformador de potencia de resistir los efectos dinámicos de un cortocircuito se puede verificar por:
 - ❖ **una prueba de corto circuito real** en un laboratorio de poder certificado;
 - ❖ **una Revisión del Diseño** y la evaluación teórica detallada suportado en una Norma como la **IEC60076-5 3rd Ed 2006-02**
 - ❖ **ABB** utiliza altos valores de factor de asimetría para calcular el máximo pico de la corriente de cortocircuito asimétrica (Factor de Asimetría $k \cdot \sqrt{2} = 1.9 \cdot \sqrt{2} = 2.69$ resultando lo peor de los casos de Pico Dinámico máximo de la corriente de Corto Circuito)
 - ❖ **ABB** utiliza herramientas avanzadas de simulación en 2D y 3D para calcular la distribución del flujo magnético de dispersión, las fuerzas de corto-circuito y las tensiones mecánicas nos conductores dos devanados
 - ❖ **ABB** utiliza materiales avanzados con límites de elasticidad e ruptura controladas
 - ❖ **ABB** tener un elevado y exigente control de fabricación y de control dimensional de los devanados, tolerancias estrictas y procesos de estabilización dimensional de los devanados

Corto Circuitos y Evaluación de Desempeño

prueba real y completa de **corto circuito**:

- es el **único método** para garantizar la capacidad del transformador de potencia para soportar el curto circuito
- hay **grandes diferencias** en el número de fallas en la prueba de cortocircuito de transformadores entre los diversos fabricantes
- no **todos os fabricantes** han probado transformadores pequeño-mediano-grande a una prueba real y completa de curto circuito
- una **prueba real y completa de corto circuito es muy cara** y una evaluación técnica, económica y del riesgo debe ser realizada antes de especificar una prueba
- se necesitan **métodos de diagnóstico adecuados**, inspección de la Parte Activa, pruebas de rutina y de tipo en el 100% do nivel especificado de ensayo para asegurar que la prueba de cortocircuito no daño el transformador
- **ABB** ha probado **199** unidades entre **1968-2013** (**94** unidades entre **1997-2013**) con pequeña tasa de falla comparada a la tasa de falla de transformadores de otros fabricantes
- **ABB** utiliza una **retroalimentación continuada de resultados e experiencia** de las pruebas de cortocircuitos para mejorar el Diseño, Fabricación e la Fiabilidad de sus transformadores de potencia

Especificación Técnica

Capacidad de Resistir a Corto Circuitos

Pruebas de Corto Circuitos en Transformadores de ABB

- reducción de fallas de transformadores debido a cortocircuitos
- 199 unidades probadas e aprobadas en el periodo de 45 años 1968-2013
- 94 unidades probadas e aprobadas en el periodo de 16 años 1997-2013
- 10....1070MVA, 69...420kV, 1-fase & 3-fase, NLTC & OLTC
- un transformador regulador de 40MVA fabricado por ABB Brasil
- pruebas en los laboratorios de potencia KEMA, CESI y IREQ

YEAR	SERIAL No.	RATED POWER (MVA)	VOLTAGE RATIO (KV)	SHORT-CIRCUIT IMPEDANCE AT RATED POWER (%)	TYPE OF REGULATION	CUSTOMER	NOTE
1968	EP	16	130±15%/16.2	13	ON-LOAD	OTE - Italy	
1977	7321	25	127±15%/16.2		OFF-LOAD	ENEL - Italy	I
1981	110-73054	20	132±13.35%/16.2	12	ON-LOAD	NVE - Norway	II
1989	32580	40		15.1	ON-LOAD	ENEL - Italy	III
1998	11977-01				OFF-LOAD	HYDRO QUEBEC - Canada	IV
2006						PSEB - India	V
Manufacturing Location	Test Year					Customer Country	VII
Monselice, IT	2004					ADWEA UAE	XVII
Monselice, IT	2006					HITACHI Malaysia	XVIII
Monselice, IT	2006					ETNA Italy	XIX
Monselice, IT	2007					ENEL Italy	XI
Monselice, IT	2008					ACON AC Germany	XII
Monselice, IT	2009	1LT77441				Alstom France	XIII
Monselice, IT	2010	1LT77441				Alstom France	XIV
Monselice, IT	2011	1LT77441				Alstom France	XV
Monselice, IT	2011	1LT77441				Alstom France	XVI
Monselice, IT	2012	1LT77441				Alstom France	XVII
Monselice, IT	2012	1LT77441				Alstom France	XVIII
Monselice, IT	2013	1LT77441				Alstom France	XIX
Monselice, IT	2012	1LT77441 01				Alstom France	XII
Monselice, IT	2012	1LT77441 07				Alstom France	XIII
Vaasa, FI	2006					Alstom France	XIV
Vaasa, FI	2008					Alstom France	XV
Vaasa, FI	2008					Alstom France	XVI
Vaasa, FI	2008					Alstom France	XVII
Vaasa, FI	2009					Alstom France	XVIII
Vaasa, FI	2009					Alstom France	XIX
Vaasa, FI	2010					Alstom France	XII
Vaasa, FI	2010					Alstom France	XIII
Vaasa, FI	2011					Alstom France	XIV
Vaasa, FI	2011					Alstom France	XV
Vaasa, FI	2013					Alstom France	XVI
Vadodara, IN	2008	AAL-001	50			Alstom France	XVII
Vadodara, IN	2009	AAP-001	30			Alstom France	XVIII
Vadodara, IN	2009	AAB-001	20			Alstom France	XIX
Vadodara, IN	2010	ABM-001	45			Alstom France	XII
Vadodara, IN	2010	ABO-001	7.5			Alstom France	XIII
Vadodara, IN	2011	ABH-001	16			Alstom France	XIV
Vadodara, IN	2011	AC1-001	42			Alstom France	XV
Vadodara, IN	2011	ACZ-001	70			Alstom France	XVI
Vadodara, IN	2011	ACX-001	35			Alstom France	XVII
Vadodara, IN	2012	AE5-001	20	12.5		Alstom France	XVIII
Colombia CO	2011	20129	30	15.04	67/12.47	ROMAGNOLE Venezuela	XIX

ABB Short-Circuit Tested Transformers

1968-2013:
■ 199 units tested
■ up to 420kV
■ step-up transf up to 775MVA
■ auto transf up to 360MVA

1997-2013 TrafoStar:
■ 94 units tested
■ 59 TrafoStar & 35 SPT
■ 18 units at 400kV or above

1998 South America:
■ to CADAFE VE
■ 1 unit from ABB Brazil
■ 36MVA 3Ph 115/13.8kV
■ tested at CESI IT



Boquillas de Borna de Alta Tensión para Alto Desempeño y Mínimo Mantenimiento

□ tecnologías avanzadas de boquillas

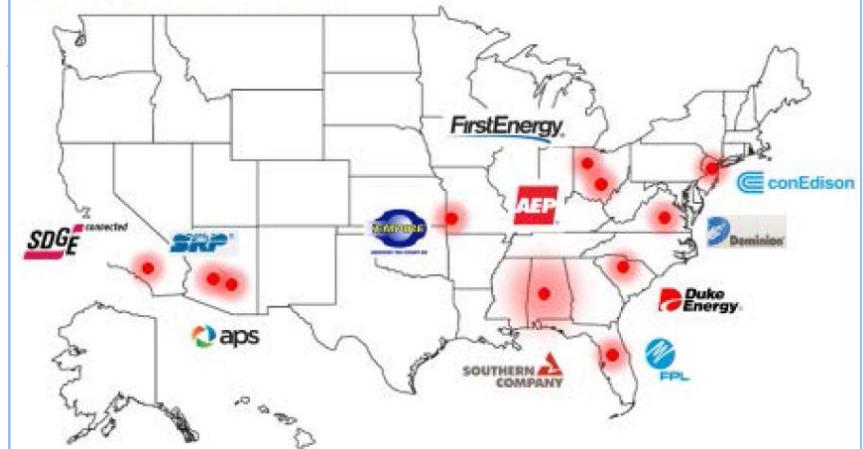
- OIP – boquillas de papel impregnado con aceite
- RIP – boquillas de papel impregnado con resina
- RIS – boquillas de sintético impregnado con resina
- aisladores poliméricos de compuestos de silicona
- calificación sísmica de alto desempeño
- seguridad, limpia y fiabilidad

□ beneficios de las tecnologías RIP y RIS

- sólidas libres de Aceite – no hay fugas de aceites
- reducción del riesgo de incendio – reducción de la fuga de aceite de la cuba del transformador
- aislador compuesto de silicona – material no quebradizo material protegiendo las personas y equipos
- transporte seguro – incluso cuando de la montaje de la boquilla en lo transformador
- compacta e de bajo peso – fácil manejo, requisitos de espacios reducidos del interior del transformador
- ciclo de vida de bajo impacto ambiental

Clients moving to Dry Bushings

Dry Bushings
Customer heat map



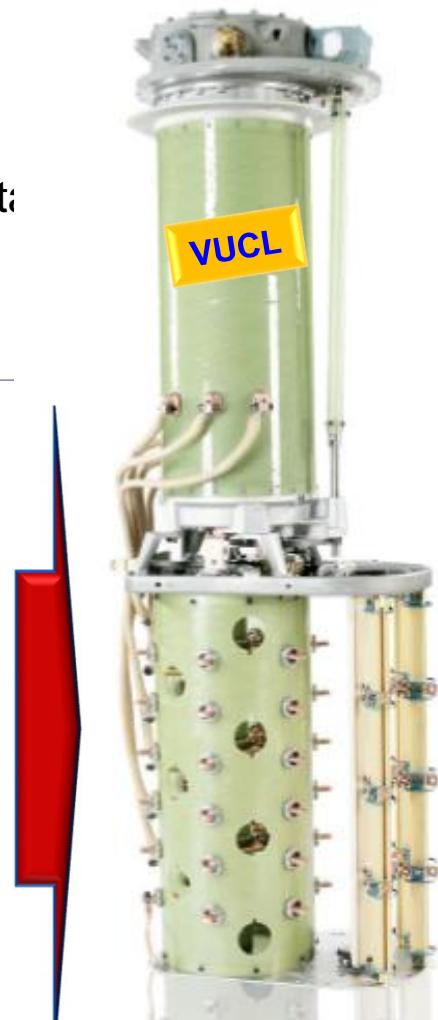
OLTC – Limites de la Tecnología a Vacío

□ La Tecnología de Comutación a Vacío

- vida útil de 40 años o más
- mantenimiento mínimo (aceite limpio, etc)
- contactos de la clave conmutadora con una vida hasta 1200000 operaciones
- óptima selección para transformadores con fluidos de seguridad (aceite vegetal)
- no existencia de arcos eléctricos en el aceite del cambiador
- no necesita de filtro de aceite

ABB OLTCs

	Type VUCG	Type VUCL
Application	Single unit: single-phase and three-phase star point Multiple units: three-phase fully insulated	
Maximum rated through-current		
Three-phase star point	800 A	1300 A
Three-phase fully insulated	800 A	1300 A
Highest rated lightning impulse/ power frequency withstand to earth	1050 kV / 460 kV	1175 kV / 510 kV
Highest system voltage	300 kV	362 kV
Maximum rated phase step voltage	3500 V	4500 V
Maximum number of operating positions		
Linear	22	22
With change-over selector	35	35
Technology:	Vacuum resistive	Vacuum resistive



Especificación Técnica

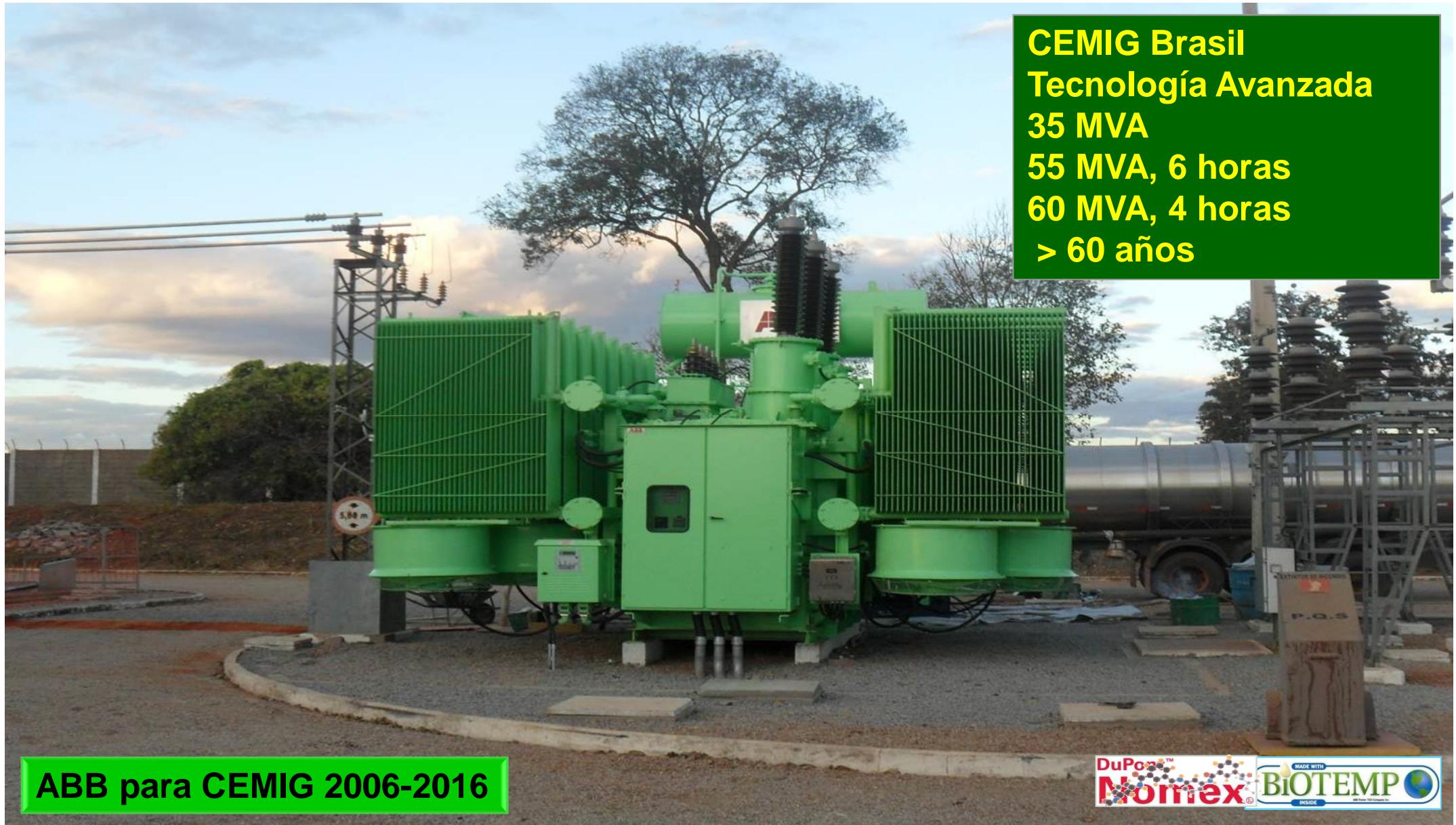
Materiales Nuevos y Extensión de la Vida Útil

Temperatura Punto Mas Caliente del Devanado, grC	Vida Útil Esperada – Horas (Años)			
	aceite MINERAL			Aceite VEGETAL
85	220 000 (25.1)	1 214 000 (138.6)		440838 (50.3)
95	65 000 (7.5)	359 000 (41.0)		130335 (14.9)
100	36232 (4.1)	200 028 (22.8)		72626 (8.3)
105	20 500 (2.4)	113 200 (12.9)		41100 (4.7)
110	11 800 (1.4)	65 000 (7.5)		23607 (2.7)
120	4 050	22 500 (2.6)		8125
130	-	8 150		vida útil extendida
140	-	-	2 850 000 (325)	
160			533 000 (61)	
180			115 500 (13)	

Vida (horas) = 10^(A+ B) / T

Especificación Técnica

Tecnología Avanzada – Beneficios para la Remodelación y Repotenciación



Especificación Técnica

Tecnología Avanzada – Instalación Compacta con Seguridad

Compactación
Fiabilidad
N-1 Condición

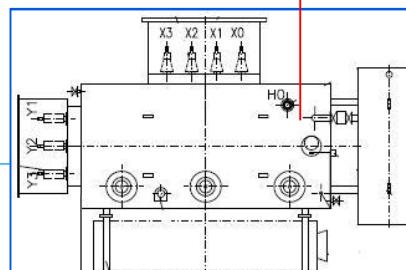
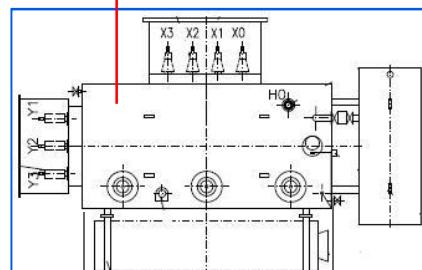
Edificio Contiguo
(resistente al fuego durante 2 horas)

Transformador con Fluido Aislante Resistente a Fuego
- Aceite Vegetal BIOTEMP®

Vol > 38000 Its



Lateral de la Cuba



≥ 4.6m

≥ 7.6m

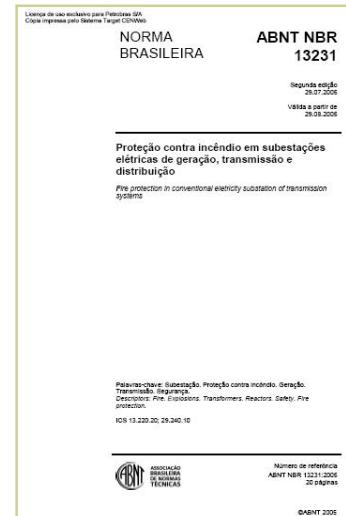


Muro Cortafuego
no se Requiere



Muro Cortafuego
no se Requiere

Reducción del número de Transformadores
Optimizar el número de unidades de repuesto
Aumentar la capacidad de las subestaciones móviles



Especificación Técnica

Sistema de Monitoreo – Mantenimiento Mínimo Bajo Condición

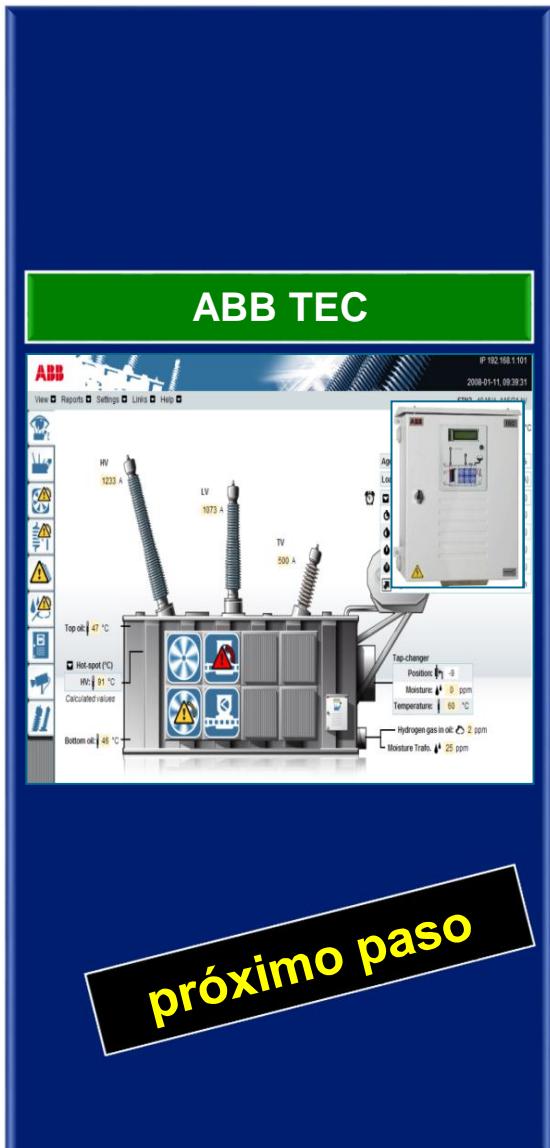


Monitoreo en Linha y Sensores:

Equipo Poder
Alta Tensión

- carga – corriente & tensión ✓ incluido
- temperatura ambiente ✓ incluido
- temperatura aceite (superior) ✓ incluido
- temp punto caliente devanado ✓ incluido
- unidad en aislamiento aceite/solida !! add
- gas en aceite H₂ ABB CoreSense; o !! add
gas en aceite H₂, CO, C₂H₄, C₂H₂ (Hydran)
- boquillas OIP (oil-paper) C1 & tanδ !! add
- boquillas RIP o RIS ! no necesita
- OLTC tipo Vacío ! no necesita

presente



Especificación Técnica

Gestión Avanzada de Activos – Análisis de la Condición

Asset Details [Transformer: Miller (IM) | TRANSFORMER | XFM.23444]

Asset ID : GLD1629568	Utility : EEC	Manufacture Date : Jan 01, 1983	Status : In Service
Nominal Voltage : 765 kV	Station : Miller (IM)	Age : 31 Years	Replacement Score : 22.28
Equipment Type : Gsu	Equipment Class : Transmission	Application Type : Non-Autotransformer	Oil Preservation System : Sealed
Base Power : 50 MVA	LTC : No	Manufacturer : American Elin	

General Dissolved Gases Duval Triangles Standard Oil Test GIC ROF Trend Compare to Family Message Log

ROF (Risk of Failure)

ROF (Risk of Failure) : 4.26

Random
Short Circuit
Accessory
High Temp.
Dielectric

Message Summary (counts)

Last Updated	Alerts	Warnings	Informational	Predictive	Actions	Errors
Sep 30, 2014	12	5	12	1	1	10

Message

Message	AI	W	I	P	Ac	E	Details
Further testing of the transformer is recommended.	0	0	0	0	0	0	
High/increasing gas level(s) was detected.	3	3	1	0	0	0	
Unusual reading(s) was detected.	0	0	1	0	0	0	
Within a year	0	0	0	0	0	0	
Further inspection of the transformer is recommended.	0	0	1	0	1	0	
Significant gas trend(s) was detected.	2	0	4	1	0	0	
An issue with the oil quality has been detected.	0	1	2	0	0	0	

Importance over ROF

Unit Importance

ROF (Risk of Failure)

ROF Source : MTMP

Sensor(s)

GIC

Page: 1 of 2

Especificación Técnica

Desempeño General y Valor Global - Comparación

Parámetro – Ejemplo GSU 3-Fa, 200MVA, 18/500kV		Unid	Fabric. XXX	Fabric. YYY
Masas	Núcleo Acero Silicio M4 0.27mm RGO	kg	68100	67 500
	Cobre Devanados, 3 fases	kg	20 586	18 335
	Parte Activa	kg	104 600	99 800
Pérdidas	Pérdidas en Vacío, 100%Un	kW	133	123
	Pérdidas en Carga, 200MVA 18/500kV, 85grC	kW	495	507
	Pérdidas Totales, 100%Un 200MVA 18/500kV 85grC	kW	628	620
Vida	Expectativa de Vida Útil del Transformador	años	7.0	16.9
IAG	Precio Inicial (estimado)	USD	2 500 000	3 000 000
	Índice de Evaluación Económica Global (USD/kVA.Año)		1.78	0.85
	Valor Relativo	pu	1.00	0.48

$$3\,000\,000 \times 0.48 = \text{USD } 1\,440\,000$$

Let's write the future

by enabling a stronger, smarter,
and greener power grid.



ABB