



ABB Customer Day, Quito EC, 2017Fev2017

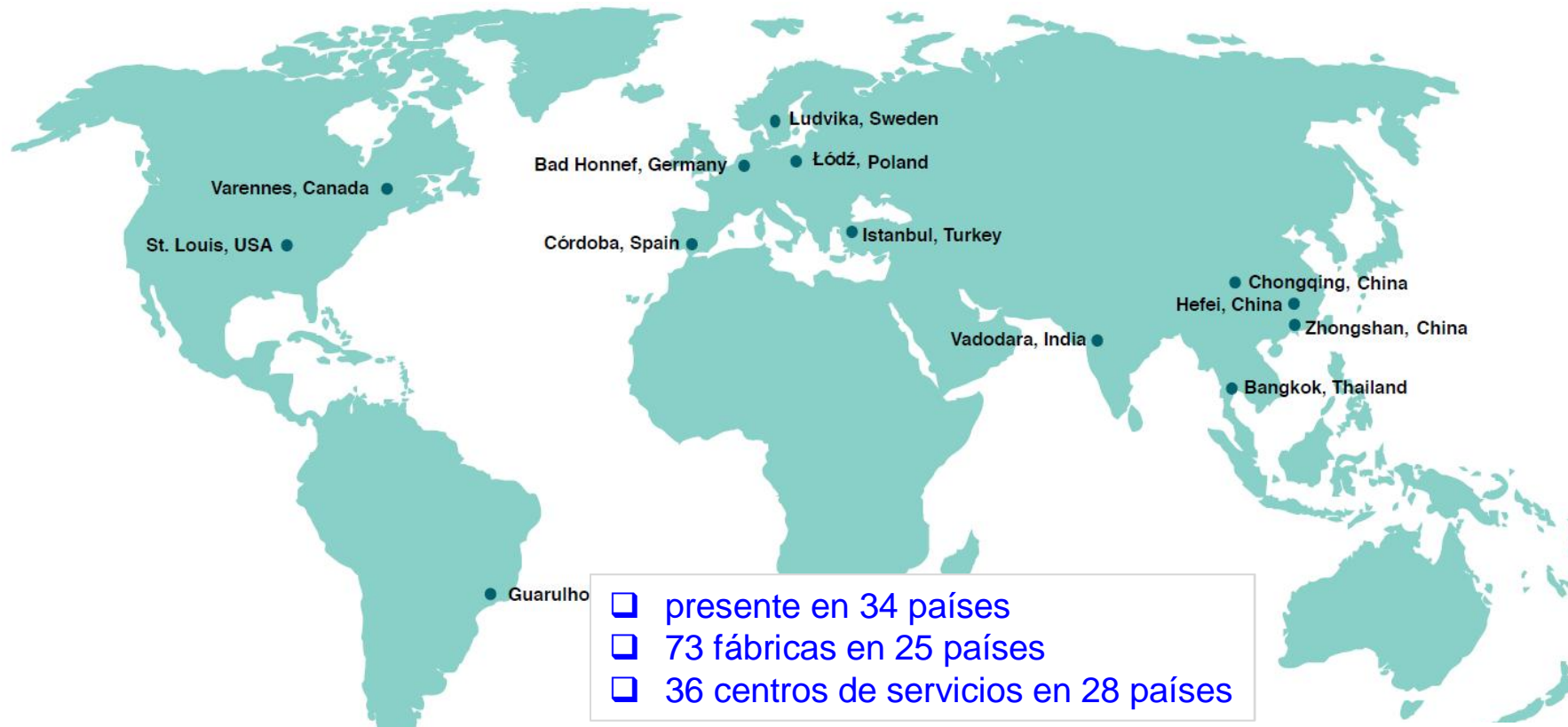
Dr. José Carlos Mendes, ABB Brasil, División de Power Grids, Transformadores de Poder

# 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



- presente en 34 países
- 73 fábricas en 25 países
- 36 centros de servicios en 28 países



### Guarulhos, São Paulo - BR



desde 1954

### 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



distribución y secos







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

**56 unidades**

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

**27 unidades**

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



# Especificación Técnica

## Desempeño General y Valor Global

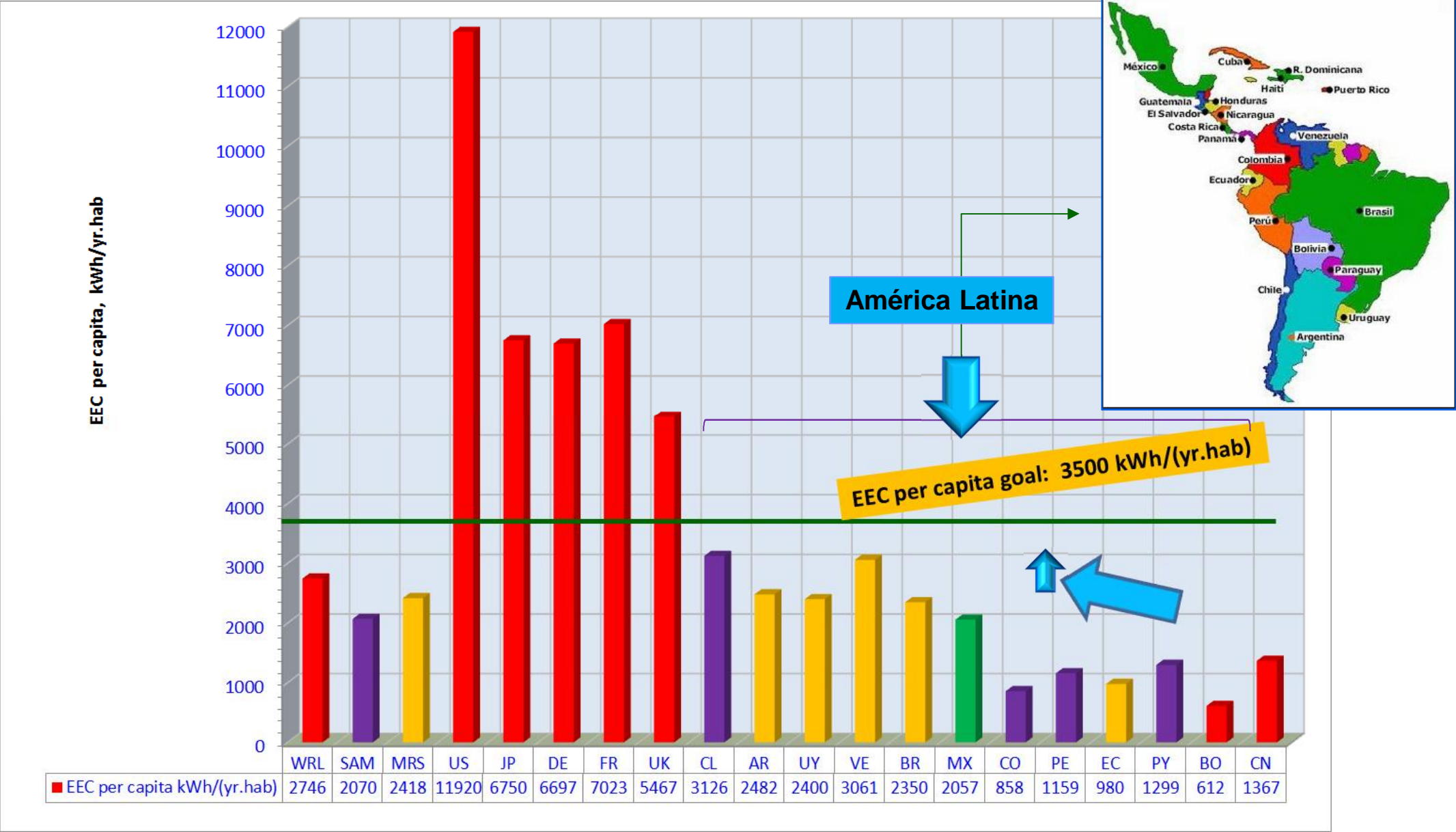


### Contenido

- ❑ **introducción**
- ❑ **expansión del sistema de transmisión**
  - proyectos de transmisión
  - bases técnicas
  - la vida útil económica
  - la vida útil técnica
  - ausencia de 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

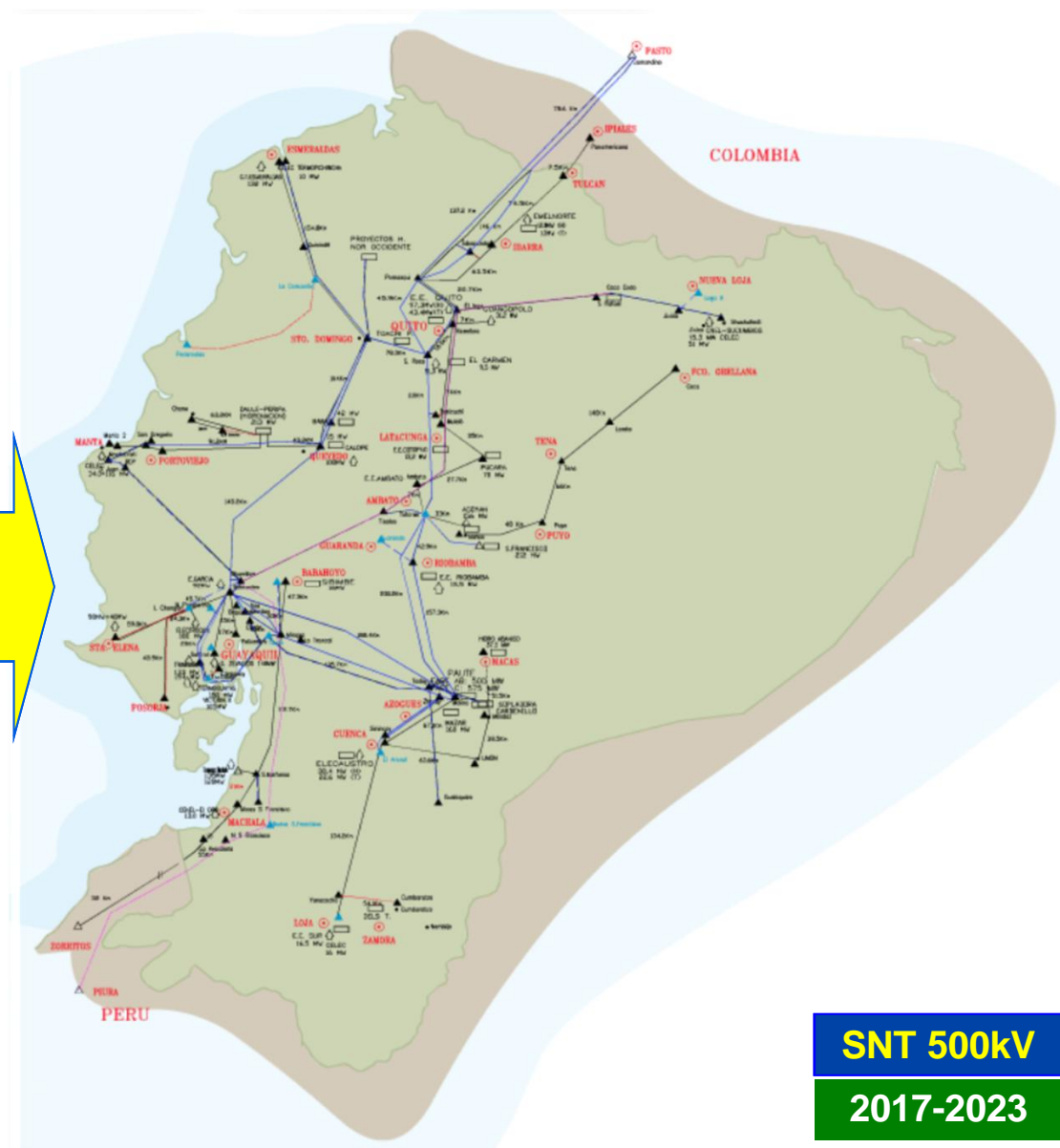
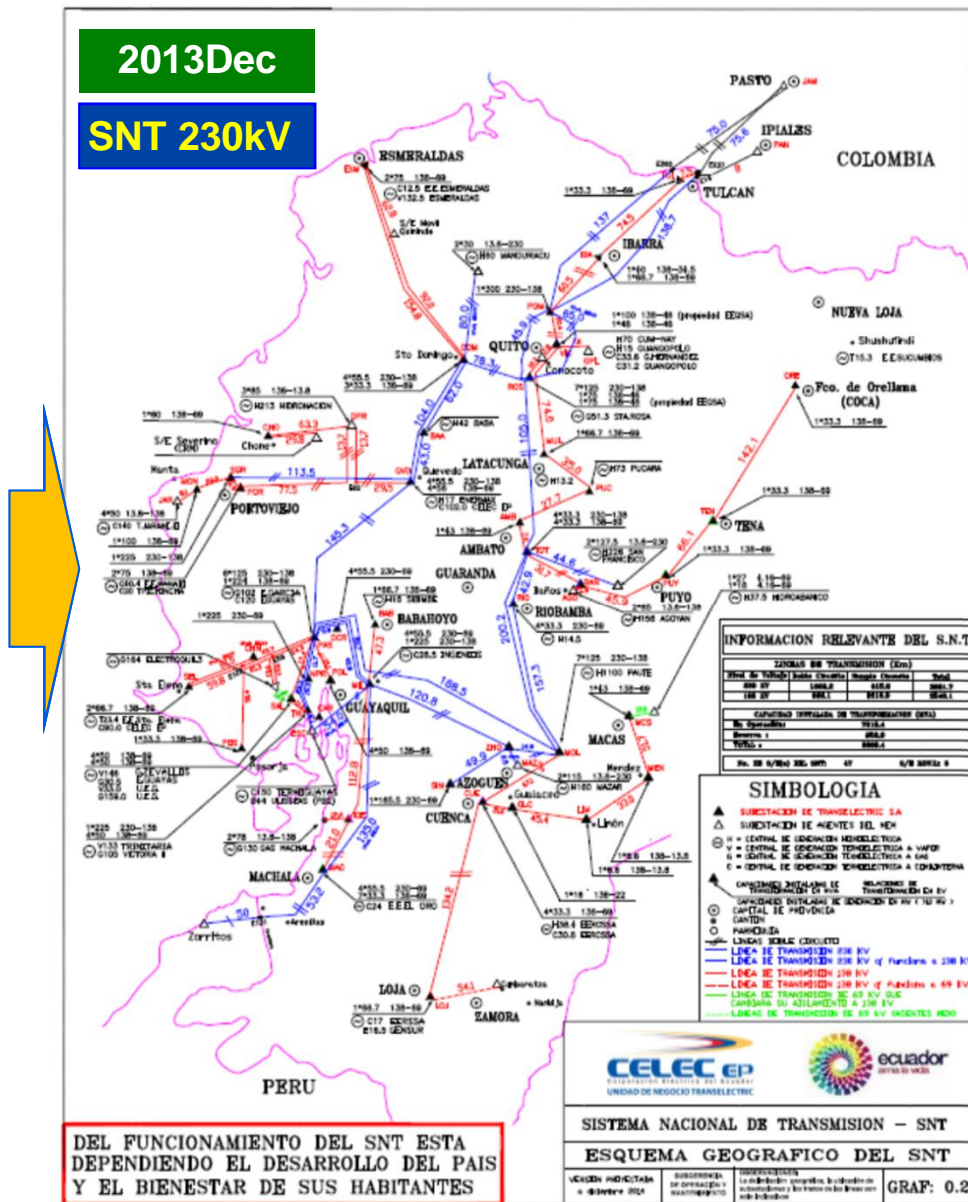
## Potencial de Crecimiento del Consumo de Energía Eléctrica





# Sistemas de Transmisión de Energía Eléctrica

## Planos de Expansión en Ecuador



ref: CELEC EP TRANSELECTRICO  
EC SNT Sistema Nacional de Transmisión de Energía Eléctrica

# Sistemas de Transmisión de Energía Eléctrica

## Planos de Expansión en Ecuador

### Expansión a un 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	15
r	real return interest	%	10	10	10	10	10	10	10
VI	component investment value	kUSD	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000
ax1	auxiliar parameter 1	-	0,10	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	10,00
ax3	auxiliar parameter 3	-	0,02209	0,03558	0,05731	0,09230	0,14864	0,19597	0,23939
ax4	auxiliar parameter 4	-	9,77905	9,64416	9,42691	9,07704	8,51356	8,04032	7,60608
a	yearly return factor	1/year	0,10226	0,10369	0,10608	0,11017	0,11746	0,12437	0,13147
AVI	yearly investment value	kUSD/year	409,04	414,76	424,32	440,67	469,84	497,49	525,90
AVI x t	total returned value	kUSD	16362	14517	12730	11017	9397	8507	7888
dAVI	excess total cost	kUSD	0	1845	3632	5345	6965	7854	8473
-	excess total cost ratio	%	0	11,3	22,2	32,7	42,6	48,0	51,8
dAVI	excess yearly cost	kUSD/year	0,00	5,72	15,28	31,63	60,80	88,45	116,86
-	excess yearly cost ratio	%	0,000	1,40	3,74	7,73	14,86	21,63	28,57

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**:

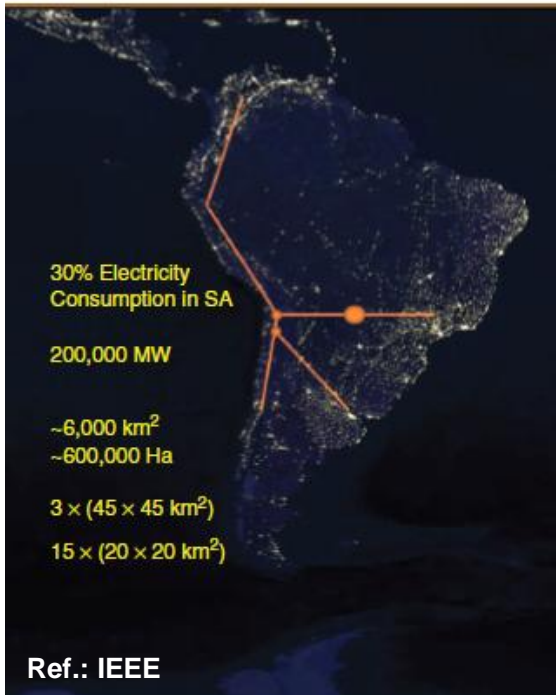
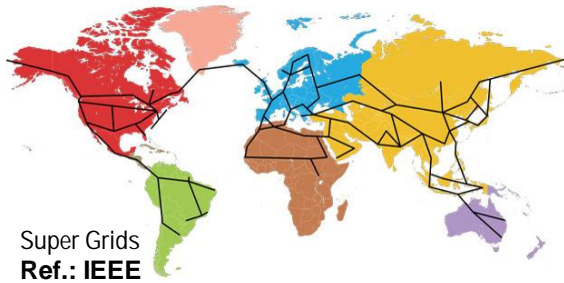
- ☐ uno acrisimo de lo costo anual de **21.63%** o **88455 US\$/año**; y
- ☐ resulta un precio total de comparación de **7854 kUSD** (o cerca de 2 veces lo precio inicial de **4000 kUSD** de lo transformador nuevo)

#### 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, 440MVA 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

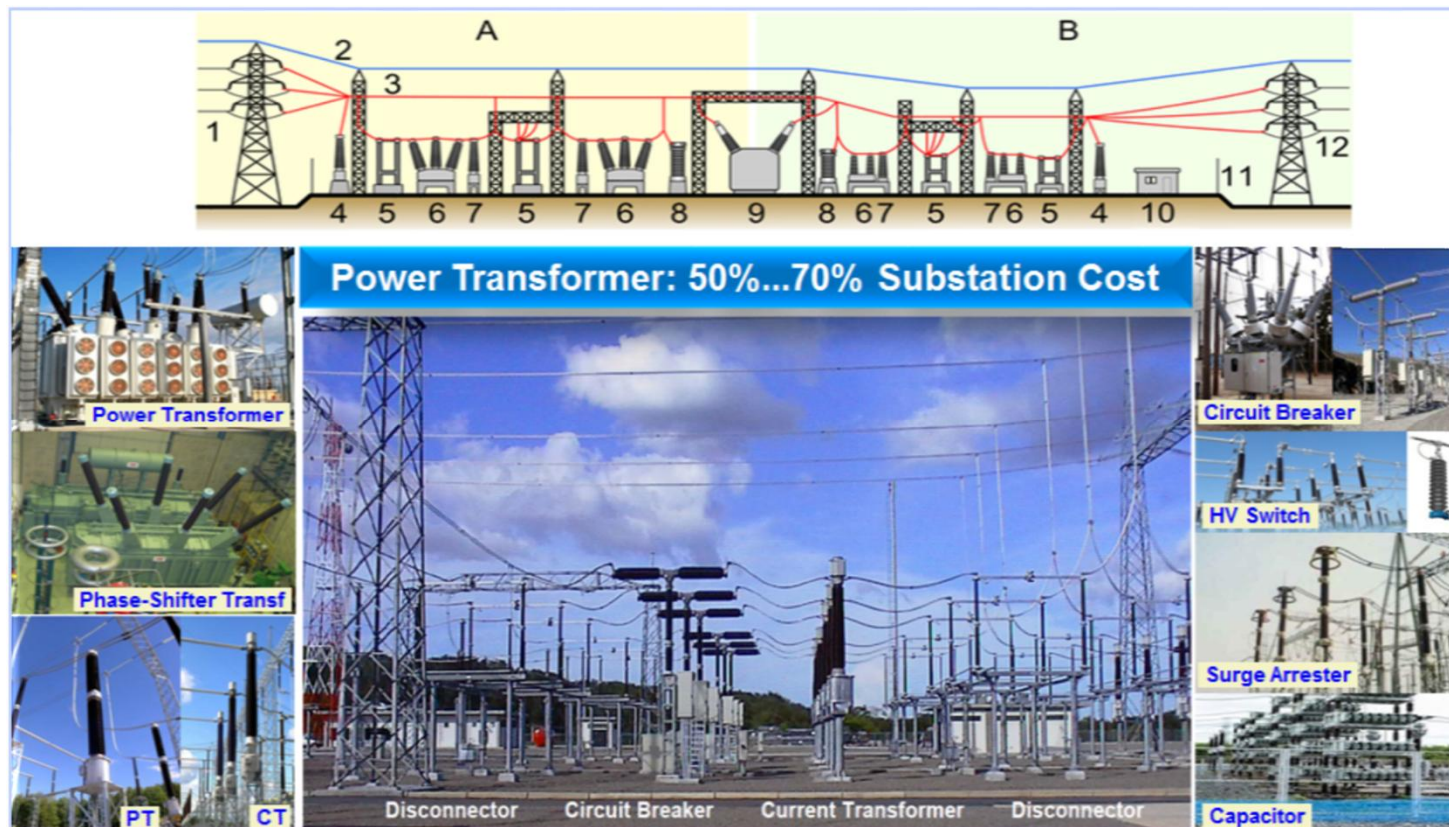
## Planos de Expansión en Latín América – Impacto en la Infra-Estructura Envejecida





# 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

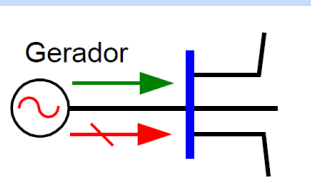
### Generación

### Transmisión ≥ 230 kV

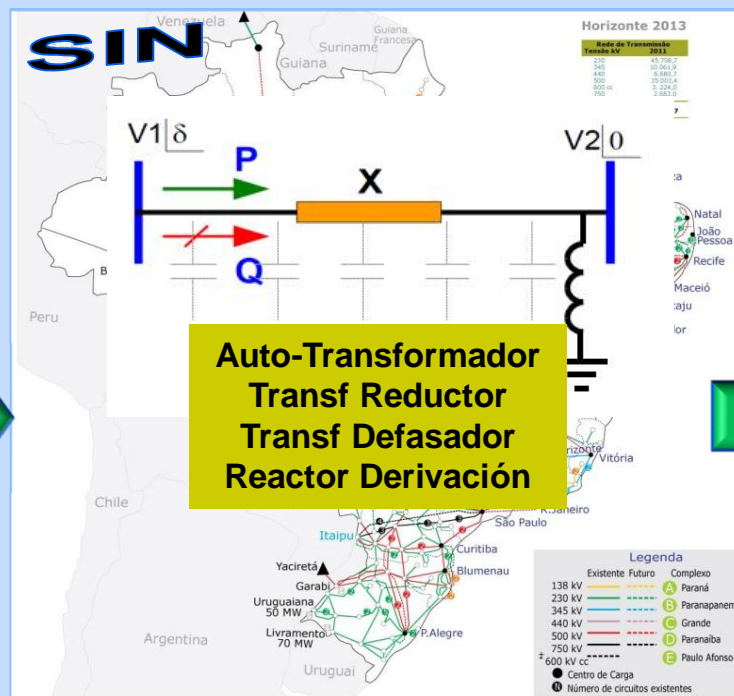
### Distribución

#### Sub Transmisión ≤ 145kV

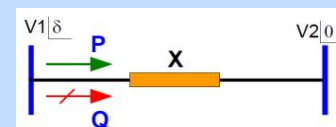
#### Distribución y Carga



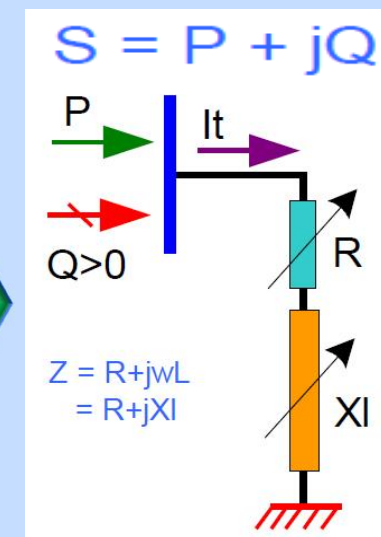
**GSU  
Auxiliar**



**Auto-Transformador  
Transf Reductor  
Transf Defasador  
Reactor Derivación**



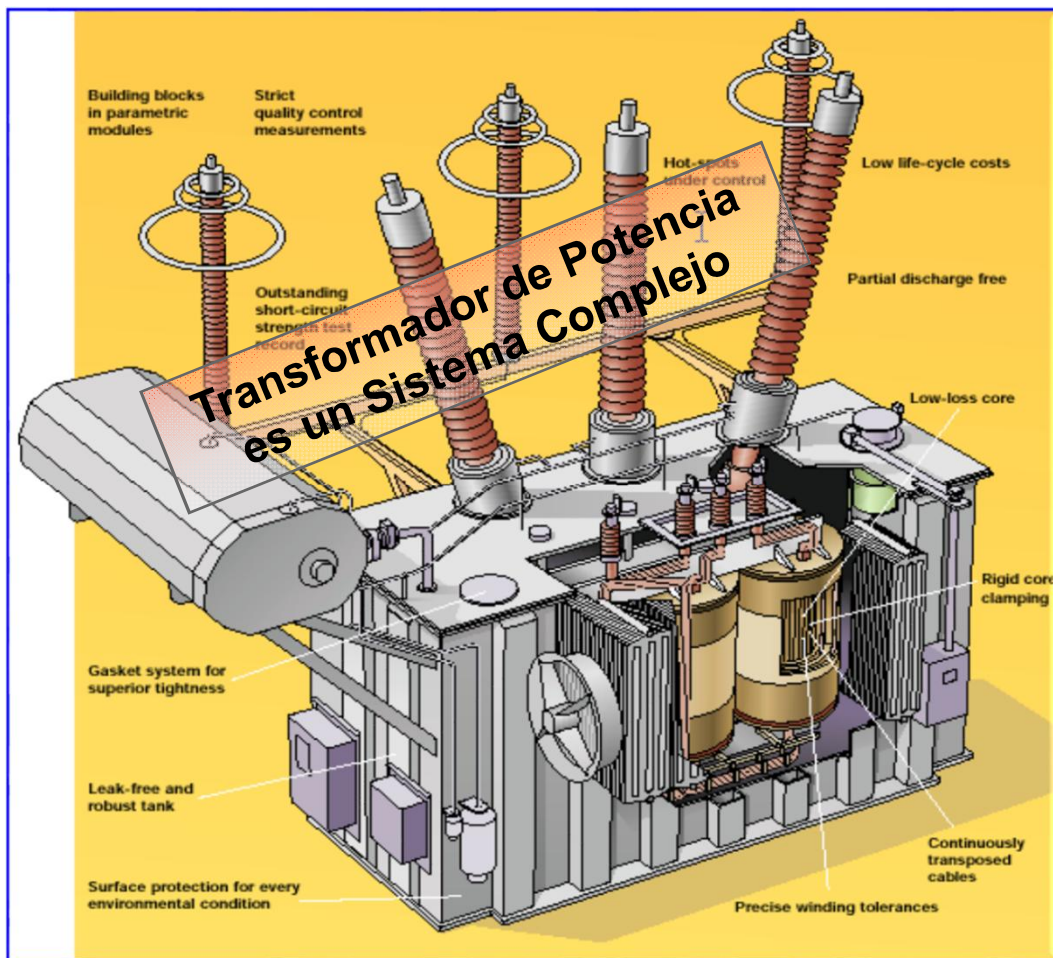
**Auto-Transformador  
Transf Reactor  
Transf de Tierra**





# Especificación Técnica

## Transformador de Potencia - Desempeño General y Valor Global



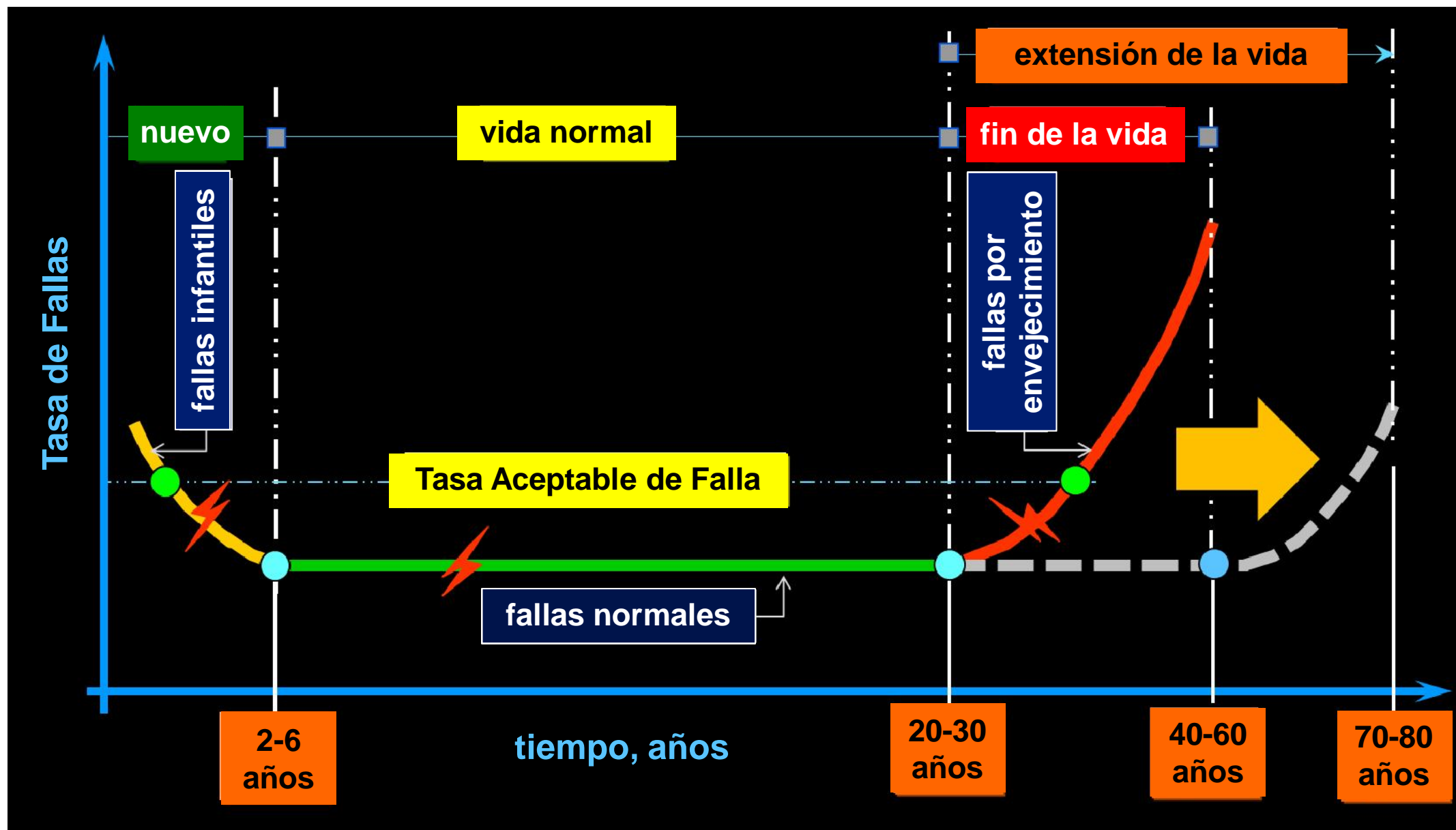
### Transformador de Potencia:

- 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



# Especificación Técnica

## Transformador de Poder – Proceso de Compra y Ecuación de Desempeño

### Datos Técnicos Garantizados

#### La declaración de datos técnicos garantizados no es una garantía:

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

moviéndose a

### Evaluación del Desempeño Técnico

- ☐ método de evaluación cuantitativa
- ☐ poderoso método de comparación y ecuación de desempeño técnico de diferentes proveedores
- ☐ ecuación 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 soportabilidad del aislamiento interno (maniobra de los reactores, VFTOs, GPR, etc.)
  - análisis de fiabilidad
  - evaluación económica global

USD\$

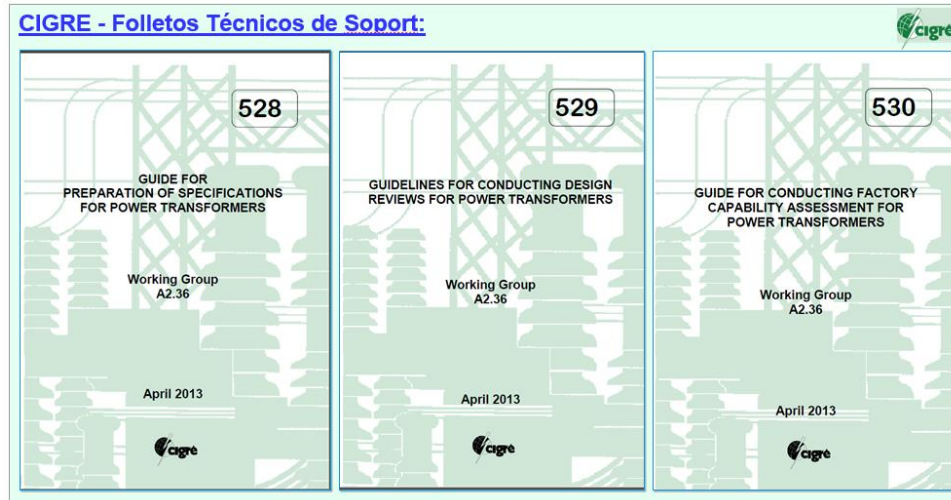
kVA x Vida Útil x FatorDeLaSobreCarga

Elevación de la Calidad del Activo:  
Mantenimiento Mínimo



### 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



### Evaluación del Desempeño Magnético:



#### □ inducción máxima en el núcleo (densidad del flujo)

- frecuencia nominal:  $f_n$
- permitida en cualquier ciclo de carga:
  - $B_{max} = 1.95 \text{ T}$ , material del núcleo: **R**, **RGO**
  - $B_{max} = 1.98 \text{ T}$ , material del núcleo: **H**, **HiB**
  - $B_{max} = 1.98 \text{ T}$ , material del núcleo: **D**, **HiB** trazado por láser

#### □ inducción nominal en el núcleo (densidad del flujo)

- frecuencia nominal:  $f_n$
- tensión nominal del régimen permanente:  $U_n$
- tensión nominal del régimen permanente:  $U_{max}$  (en cualquier caso de ciclo de carga)
- inducción máxima en el núcleo:  $B_{nmax} = B_{max} / (U_{max}/U_n)$
- para cualquier otra relación de (U/f):  $B_{core} = B_{nmax} * (U/f)/(U_n/f_n) < B_{max}$
- para cualquier factor de armónico de tensión ( $h_u$ ):  $B_{core} = B_{nmax} * (U/f)/(U_n/f_n) * (1/h_u) < B_{max}$

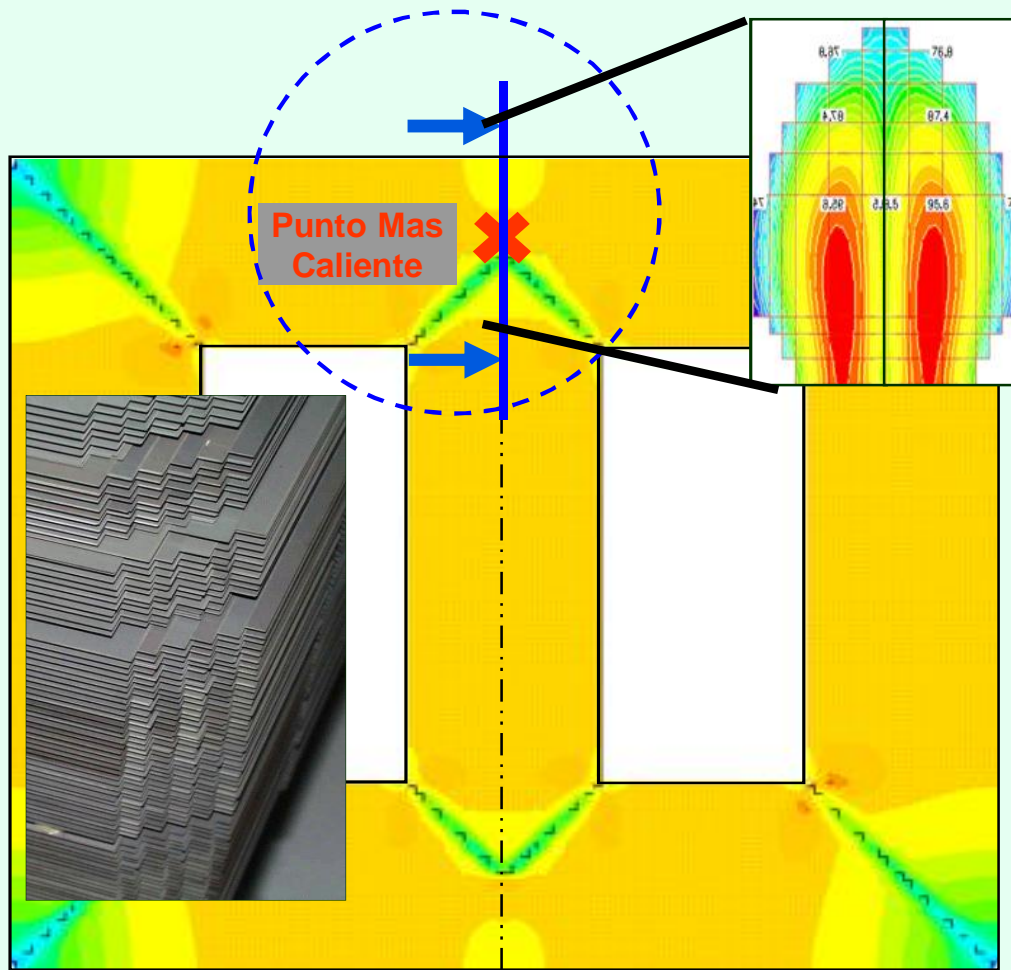
### Evaluación del Desempeño Térmico

- ☐ temperatura ambiente: **Ta**, 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: **Tc = Ta + DTo + DTco**, grC
  - limite 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: **Ts = Ta + DTo + DTcs**, grC
  - limite 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, Limites y Desempeño



**Núcleo: 3-Fases, 3 Columnas**

### Punto Caliente:

- IEEE & IEC limite 140grC  
(punto caliente partes metálicas)
- Limite recomendado: 130grC

### Punto Mas Caliente Núcleo Magnético:

- películas de aceite entre las láminas (acero-silicio) del núcleo
- gas en lo aceite:
  - H<sub>2</sub> – Hidrógeno (>2.5 ppm/día)
  - CH<sub>4</sub> – Metano
  - H<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub>: 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: 8900 kg/m<sup>3</sup>
- módulo de elasticidad: 1.10E+05 N/mm<sup>2</sup>
- resistividad eléctrica en 20grC: máxima 0.017241  $\Omega \cdot m$
- 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

- limite de elasticidad: 110 N/mm<sup>2</sup> (valores típicos: 150, 180, 230, 280 N/mm<sup>2</sup>)
- limite de elasticidad - tolerancias: - 0 N/mm<sup>2</sup> to +30 N/mm<sup>2</sup>
- resistencia a la rotura: 240/330 N/mm<sup>2</sup>

#### Papel Aislante para Conductores

- ❑ calidad mínima: **Papel Térmicamente Mejorado (Thermally Upgraded Paper)**
- ❑ cualificación del papel: **N2** contenido de Nitrógeno
  - método de ensayo: **ASTM D982-5 (2009)**  
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





### 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 x 365x24= 350 400 horas)

### ■ Arrhenius expresión

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

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

# Especificación Técnica

## Devanados – Papel Aislante, Temperaturas y Expectativa de Vida Útil

ID	Reator Monof 60MVA 500/raiz(3) kV 72.60MVA 550/raiz(3) kV								
Carga	72.50MVA a 550/raiz(3)kV x24h								
Classe Térmica da Isolação	65grC TermoEstabilizado, IEEE								
A	-11,833	-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	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 Diária	%/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.



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**



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 2.3, 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 (oito) minutos	1,15

**Transformador de  
Potencia de Alta  
Tensión**

**Carga y  
Vida Útil**

**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.**

7.1.5.2 Na definição do valor mínimo da impedância, devem-se considerar os máximos valores admissíveis de corrente de curto-circuito explicitados no item 7.1.1 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



# 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%

### Desempeño Térmico y Limites

#### ❑ **Núcleo Magnético** y limites 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 (prensa 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 los valores permisibles 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, los 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

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

INTERNATIONAL STANDARD

IEC 60076-5

Third edition 2006-02

Power transformers –

Part 5:

Ability to withstand short circuit

This English-language version is derived from the original bilingual publication by leaving out all French-language pages. Missing page numbers correspond to the French-language pages.

IEC

Reference number IEC 60076-5:2006(E)

Table A.2 – Comparison of forces and stresses in shell-type transformers

Type of force / stress

LV winding

MV winding

HV winding

Tap winding

Table A.1 (continued)

Type of force/stress

LV winding

MV winding

HV winding

Tap winding

60076-5 © IEC:2006

– 61 –

Table A.1 – Comparison of forces and stresses in core-type transformers

Type of force/stress	LV winding				MV winding				HV winding				Tap winding			
	act.	ref.	all.	crit.	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 multi-layer-type windings (MPa)																
Stress due to radial bending of conductors between axial slots 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)																

IEC60076-5 Annex A

all. crit. act. ref. all. crit.

crit.

crit.

crit.

crit.

crit.

crit.

crit.

# Especificación Técnica

## Capacidad de Resistir a Corto Circuitos

### Paso de la OFERTA:

- ❑ incluir la nueva Norma **IEC60076-5 3<sup>rd</sup> 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 3<sup>rd</sup> 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 3<sup>rd</sup> 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
  - **Limites 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 críticas de lo material**; o
    - c) las tensiones deben ser comparadas con lo **guía de tensiones** de la nueva Norma **IEC60076-5 3<sup>rd</sup> Ed 2006-2**.

INTERNATIONAL STANDARD IEC 60076-5  
Third edition 2006-02

Power transformers –  
Part 5:  
Ability to withstand short circuit

This English-language version is derived from the original bilingual publication by leaving out all French-language pages. Missing page numbers correspond to the French-language pages.

IEC Reference number: IEC 60076-5:2006(E)

Table A.2 – Comparison of forces and stresses in shell-type transformers

Table A.1 – Comparison of forces and stresses in core-type transformers

60076-5 © IEC:2006 – 61 –

**IEC60076-5 Annex A**

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

## **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; o
  - ❖ **una Revisión del Diseño** y la evaluación teórica detallada suportado en una Norma como la **IEC60076-5 3<sup>rd</sup> 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 limites 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 corto circuito
- hay **grandes diferencias** en el número de fallas en la prueba de cortocircuito de transformadores entre los diversos fabricantes
- **no todos los fabricantes** han probado transformadores pequeño-mediano-grande a una prueba real y completa de corto 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% del nivel especificado de ensayo para asegurar que la prueba de cortocircuito no dañe 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

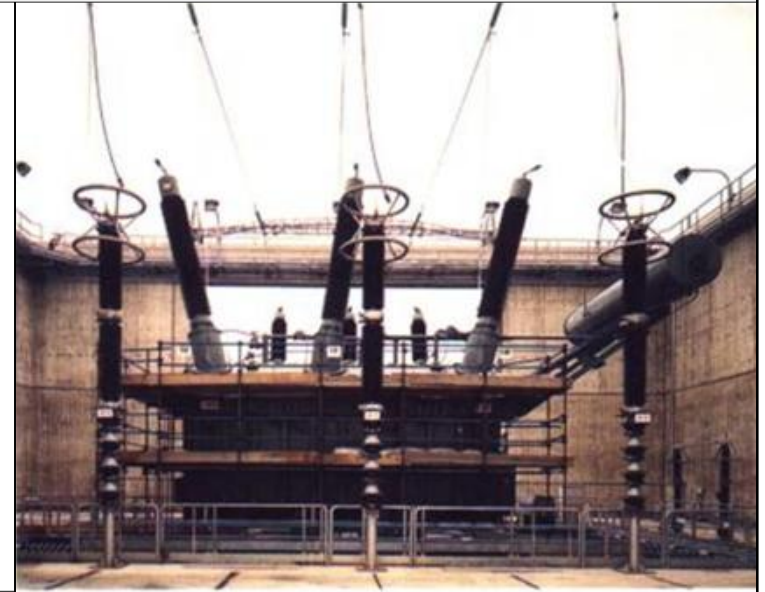


## Capacidad de Resistir a Corto Circuitos

# 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	130215/16.2	13	ON-LOAD	OTE - Italy	
YEAR	SERIAL No.	RATED POWER (MVA)	VOLTAGE RATIO (KV)	SHORT CIRCUIT IMPEDANCE AT RATED POWER (%)	TYPE OF REGULATION	CUSTOMER	NOTE
1977	7521	25	127215/16.2		ON-LOAD	ENEL - Italy	
YEAR	SERIAL No.	RATED POWER (MVA)	VOLTAGE RATIO (KV)	SHORT CIRCUIT IMPEDANCE AT RATED POWER (%)	TYPE OF REGULATION	CUSTOMER	NOTE
1981	110-73054	20	132213.35/16.2	12	ON-LOAD	NVE - Norway	
YEAR	SERIAL No.	RATED POWER (MVA)	VOLTAGE RATIO (KV)	SHORT CIRCUIT IMPEDANCE AT RATED POWER (%)	TYPE OF REGULATION	CUSTOMER	NOTE
1989	32580	40	15.1		ON-LOAD	ENEL - Italy	
YEAR	SERIAL No.	RATED POWER (MVA)	VOLTAGE RATIO (KV)	TYPE OF REGULATION	CUSTOMER	NOTE	
1998	11977-01			OFF-LOAD	HYDRO QUEBEC - Canada	XXXVI	
YEAR	SERIAL No.	RATED POWER (MVA)	VOLTAGE RATIO (KV)	TYPE OF REGULATION	CUSTOMER	NOTE	
2006							
Manufacturing Location	Year	Customer	Customer Country	Customer	NOTE		
Monastir, IT	2004	ADNESA	UAE	XLVII	XXXIX	XXV	
Monastir, IT	2006	ADNESA	Malaysia	XLVI	XXXIX	XXVI	
Monastir, IT	2005	ENEL	Italy	XLVI	XXX	XXVII	
Monastir, IT	2006	ENEL	Italy	XLVI	XXX	XXVIII	
Monastir, IT	2007	ENEL	Italy	XLVI	XXX	XXIX	
Monastir, IT	2008	ENEL	Italy	XLVI	XXX	XXX	
Monastir, IT	2008	ENEL	Italy	XLVI	XXX	XXXI	
Monastir, IT	2008	ENEL	Italy	XLVI	XXX	XXXII	
Monastir, IT	2008	ENEL	Italy	XLVI	XXX	XXXIII	
Monastir, IT	2008	ENEL	Italy	XLVI	XXX	XXXIV	
Monastir, IT	2008	ENEL	Italy	XLVI	XXX	XXXV	
Monastir, IT	2008	ENEL	Italy	XLVI	XXX	XXXVI	
Monastir, IT	2008	ENEL	Italy	XLVI	XXX	XXXVII	
Monastir, IT	2008	ENEL	Italy	XLVI	XXX	XXXVIII	
Monastir, IT	2008	ENEL	Italy	XLVI	XXX	XXXIX	
Monastir, IT	2008	ENEL	Italy	XLVI	XXX	XL	
Monastir, IT	2008	ENEL	Italy	XLVI	XXX	XLI	
Monastir, IT	2008	ENEL	Italy	XLVI	XXX	XLII	
Monastir, IT	2008	ENEL	Italy	XLVI	XXX	XLIII	
Monastir, IT	2008	ENEL	Italy	XLVI	XXX	XLIV	
Monastir, IT	2008	ENEL	Italy	XLVI	XXX	XLV	
Monastir, IT	2008	ENEL	Italy	XLVI	XXX	XLVI	
Monastir, IT	2008	ENEL	Italy	XLVI	XXX	XLVII	
Monastir, IT	2008	ENEL	Italy	XLVI	XXX	XLVIII	
Monastir, IT	2008	ENEL	Italy	XLVI	XXX	XLIX	
Monastir, IT	2008	ENEL	Italy	XLVI	XXX	XLX	
Monastir, IT	2008	ENEL	Italy	XLVI	XXX	XLI	
Monastir, IT	2008	ENEL	Italy	XLVI	XXX	XLII	
Monastir, IT	2008	ENEL	Italy	XLVI	XXX	XLIII	
Monastir, IT	2008	ENEL	Italy	XLVI	XXX	XLIV	
Monastir, IT	2008	ENEL	Italy	XLVI	XXX	XLV	
Monastir, IT	2008	ENEL	Italy	XLVI	XXX	XLVI	
Monastir, IT	2008	ENEL	Italy	XLVI	XXX	XLVII	
Monastir, IT	2008	ENEL	Italy	XLVI	XXX	XLVIII	
Monastir, IT	2008	ENEL	Italy	XLVI	XXX	XLIX	
Monastir, IT	2008	ENEL	Italy	XLVI	XXX	XLX	
Monastir, IT	2008	ENEL	Italy	XLVI	XXX	XLI	
Monastir, IT	2008	ENEL	Italy	XLVI	XXX	XLII	
Monastir, IT	2008	ENEL	Italy	XLVI	XXX	XLIII	
Monastir, IT	2008	ENEL	Italy	XLVI	XXX	XLIV	
Monastir, IT	2008	ENEL	Italy	XLVI	XXX	XLV	
Monastir, IT	2008	ENEL	Italy	XLVI	XXX	XLVI	
Monastir, IT	2008	ENEL	Italy	XLVI	XXX	XLVII	
Monastir, IT	2008	ENEL	Italy	XLVI	XXX	XLVIII	
Monastir, IT	2008	ENEL	Italy	XLVI	XXX	XLIX	
Monastir, IT	2008	ENEL	Italy	XLVI	XXX	XLX	
Monastir, IT	2008	ENEL	Italy	XLVI	XXX	XLI	
Monastir, IT	2008	ENEL	Italy	XLVI	XXX	XLII	
Monastir, IT	2008	ENEL	Italy	XLVI	XXX	XLIII	
Monastir, IT	2008	ENEL	Italy	XLVI	XXX	XLIV	
Monastir, IT	2008	ENEL	Italy	XLVI	XXX	XLV	</



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

### ❑ tecnologías avanzadas de boquillas

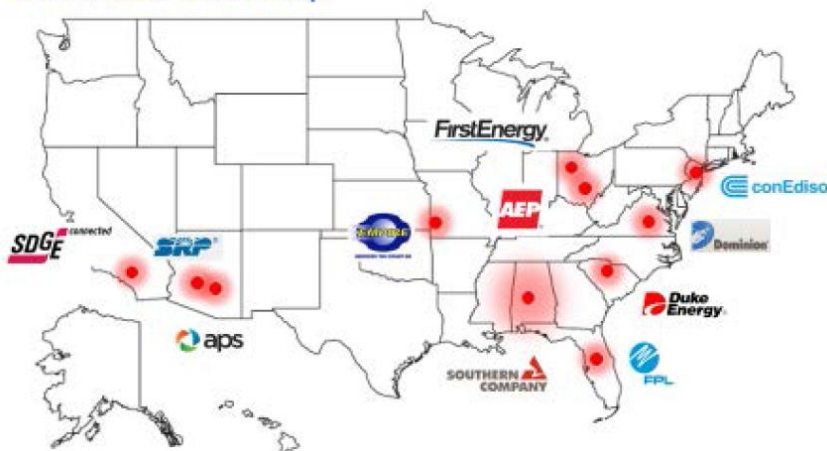
- **OIP** – boquillas de papel impregnado con aceite
- **RIP** – boquillas de papel impregnado con resina
- **RIS** – boquillas de sintético impregnado con resina
- aisladores poliméricos de compuestos de silicona
- calificación sísmica de alto desempeño
- seguridad, limpia y fiabilidad

### ❑ 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

### Cientes moviéndose para Boquillas Secas

Dry Bushings  
Customer heat map



### OLTC – Limites de la Tecnologia a Vacío

#### ❑ la Tecnologia de Conmutación 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

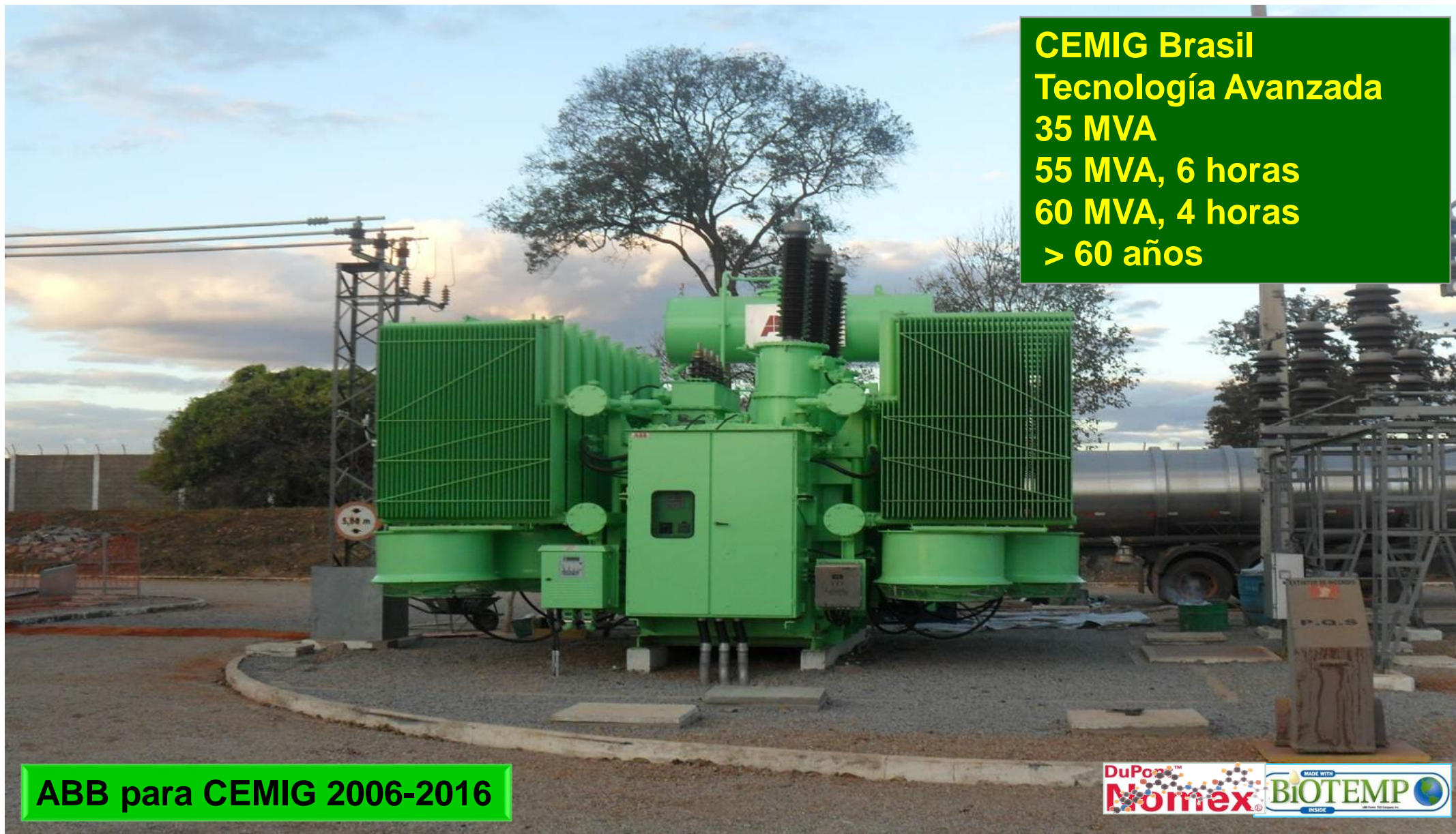
## Materiales Nuevos y Extensión de la Vida Útil

Temperatura Punto Mas Caliente del Devanado, grC	Vida Útil Esperada – Horas (Años)			
	aceite MINERAL			Aceite VEGETAL
	55°C Kraft	65°C TUP Thermally Upgraded	95°C NOMEX	55°C Kraft
85	220 000 (25.1)	1 214 000 (138.6)	no significante	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	2 850 000 (325)	-
140	-	-		
160	<div>Vida (horas) = <math>10^{(A + \frac{B}{T})}</math></div>		533 000 (61)	
180			115 500 (13)	-



# Especificación Técnica

## Tecnología Avanzada – Beneficios para la Remodelación y Repotenciación



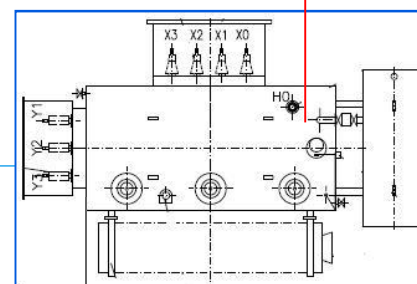
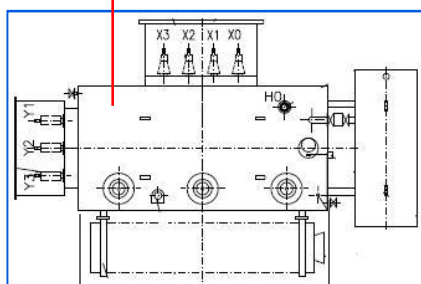
# Especificación Técnica

## Tecnología Avanzada – Instalación Compacta con Seguridad

**Compactación  
Fiabilidad  
N-1 Condición**

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

**Vol > 38000 Its**



**≥ 4.6m**

**≥ 7.6m**

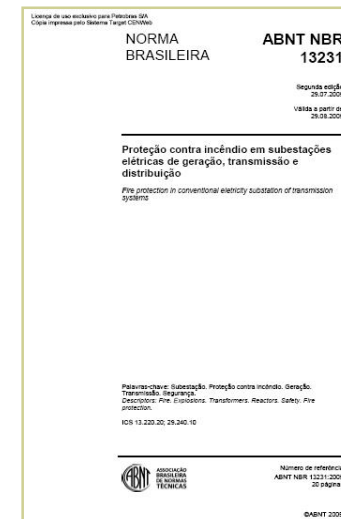


**Muro Cortafuego  
no se Requiere**



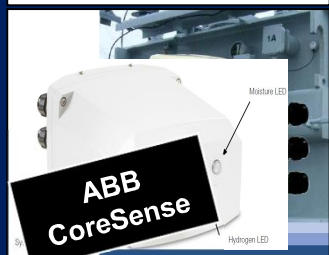
**Muro Cortafuego  
no se Requiere**

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:

- carga – corriente & tensión
- temperatura ambiente
- temperatura aceite (superior)
- temp punto caliente devanado
- **unidad en aislamiento aceite/solida**
- **gas en aceite H2 ABB CoreSense; o**  
**gas en aceite H2, CO, C2H4, C2H2 (Hydran)**
- boquillas OIP (oil-paper) C1 & tan $\delta$
- boquillas RIP o RIS
- OLTC tipo Vacio

**presente**

### Equipo Poder Alta Tensión

✓ incluido

✓ incluido

✓ incluido

✓ incluido

!! add

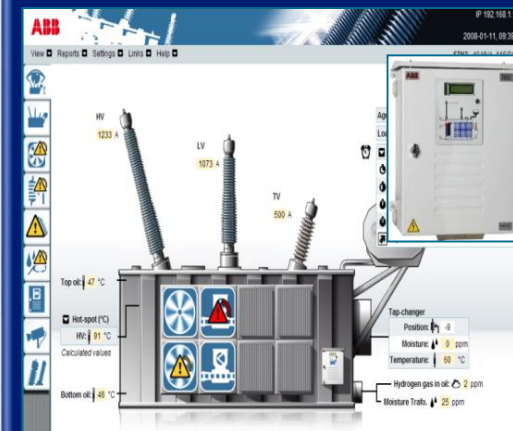
!! add

!! add

! no necesita

! no necesita

### ABB TEC

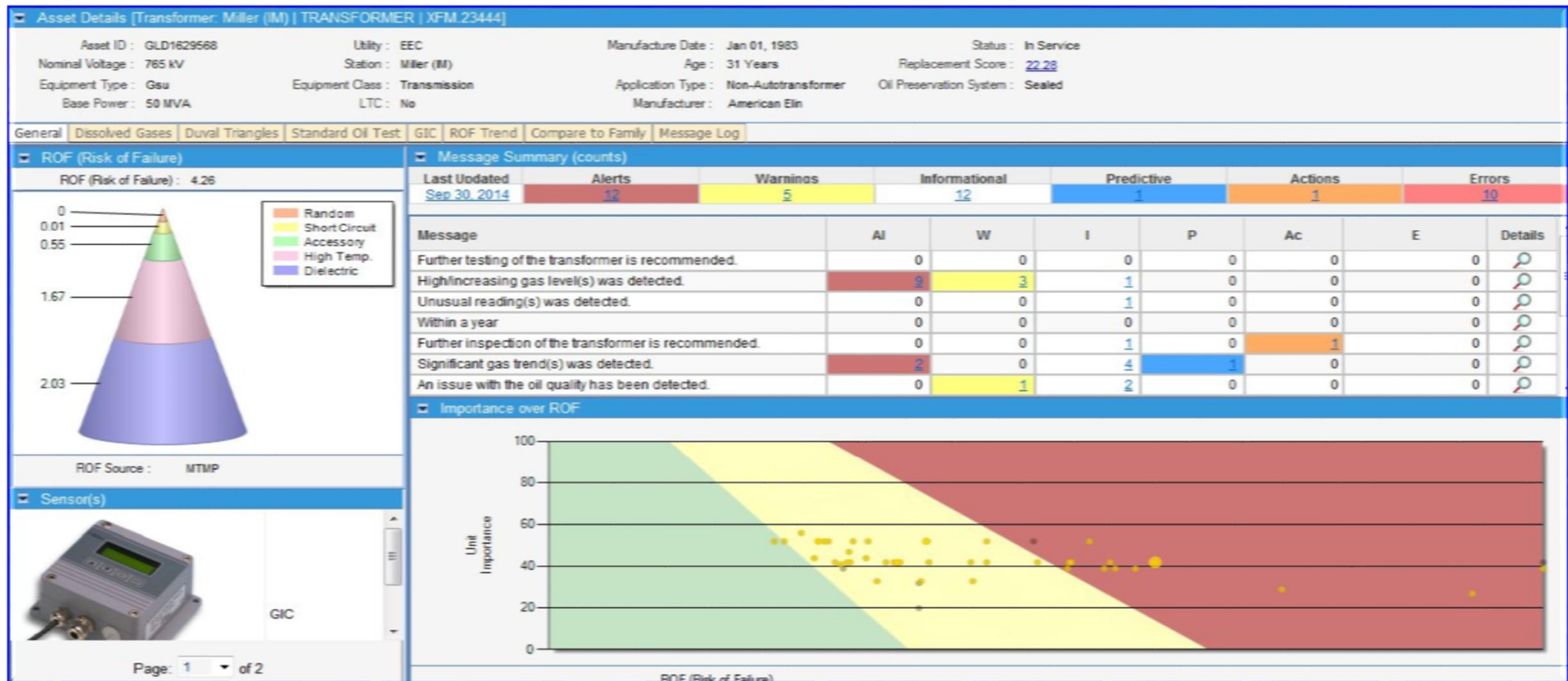


**próximo paso**



# Especificación Técnica

## Gestión Avanzada de Activos – Análisis de la Condición





## 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.

