

Hernan Escarria, PTI, Pereira – UTP, Septiembre de 2016

# Transformadores Esteres – Vegetales y Sintéticos

# Transformadores usando Materiales aislantes de alta temperatura Esteres – Vegetales y Sintéticos

# Nuevas tecnologías Mas verde es mejor



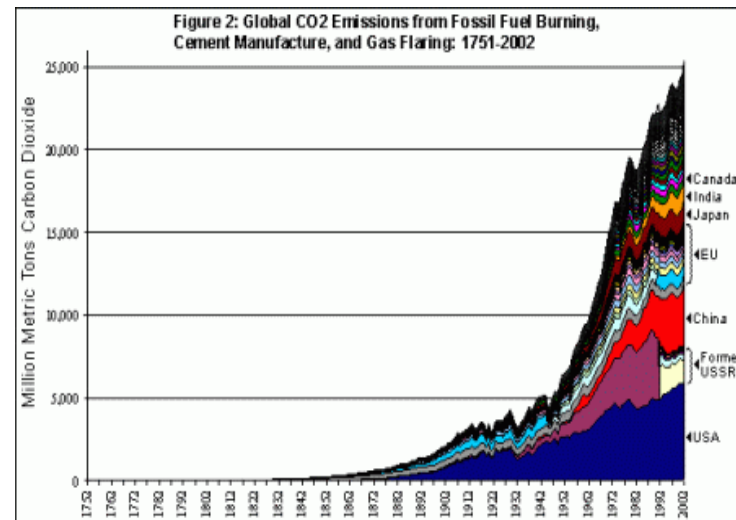
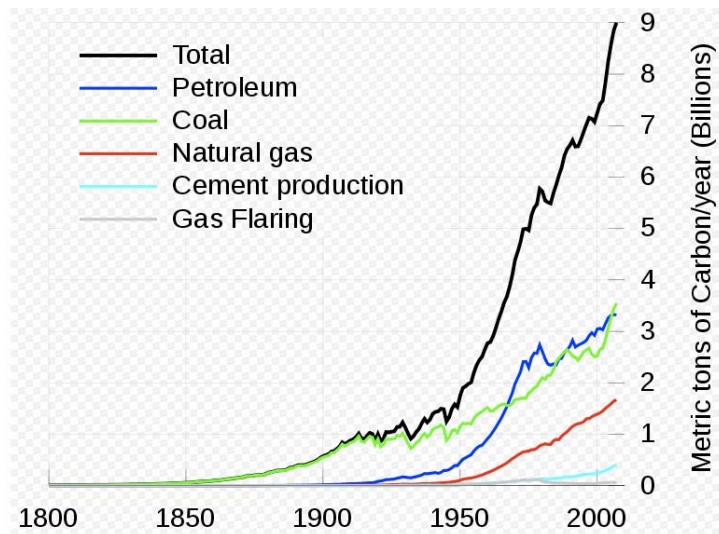


# Introducción

## Responsabilidad Global



- **Sostenibilidad** es la responsabilidad que todos tenemos en el equilibrio de las necesidades económicas de la sociedad con un impacto social y ambiental.
- WWF (**World Wildlife Fund**) la define como la mejora de la calidad de la vida humana, viviendo dentro de la capacidad de carga de los ecosistemas.
- Las emisiones globales de CO<sub>2</sub> son de hasta 30 Giga toneladas por año



# ¿Cómo podemos contribuir a un futuro más verde ?



- Eficiencia Energética
- Reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>
- Seguridad
  - Atóxico
  - Menor riesgo para personal operativo
  - No inflamable ni explosivo
- Reducción de la velocidad de envejecimiento
  - Activos con mayor vida útil
  - Menor generación de desechos
  - Menor utilización de recursos naturales
- Biodegradabilidad

# Limitaciones de los fluidos aislantes convencionales

En 1890, cinco años después de la invención de los transformadores, Brown Boveri & Cie fue el primero en utilizar el aceite de base mineral como medio aislante y refrigerante de transformadores.



- Los fluidos aislantes de base mineral han sido usados en transformadores desde finales de los 1800's (2 billones de litros/año)
- El incremento en la demanda de energía a menudo lleva al límite las envejecidas redes (hasta 2% tasa de fallos en transformadores grandes en los EE.UU.)
- En esa situación, Los fluidos aislantes de base mineral han mostrado costosas limitaciones.
- **Combustibilidad** - El aumento de los problemas de seguridad con explosiones de transformadores e incendios causan graves daños colaterales que requieren una importante infraestructura de seguridad contra incendios
- **Hostilidad al medio ambiente** - Principales problemas ambientales con derrame de aceite del transformador que debe ser tratado como residuos tóxicos, a veces requieren de método de contención complicado y costoso

# Fluidos dieléctricos con base en ésteres naturales

## Tendencias del mercado actual

ABB puso en operación sus primeras unidades usando aceite vegetal en 1999

- A partir de la década de 1980, los ésteres líquidos llegaron como una nueva alternativa que combina excelentes propiedades de protección contra incendios con alta biodegradabilidad
- Los ésteres son una amplia clase de compuestos orgánicos, sintetizados químicamente a partir de precursores orgánicos (ésteres sintéticos) o disponibles a partir de productos agrícolas (**ésteres naturales**)
- Los ésteres naturales han madurado hasta convertirse en un adecuado y asequible fluido dieléctrico aislante.



**IEEE Guide for Acceptance and Maintenance of Natural Ester Fluids in Transformers**

IEEE Power & Energy Society

Sponsored by the Transformers Committee



- Los ésteres naturales son ahora reconocidos por la industria como fluidos dieléctricos aislantes "menos inflamables" y respetuosos con el medio ambiente.
- Reconocidos por FM Global y UL
- Especificados por las normas (ASTM D 6871, ABNT NBR 15422, IEEE C57.147).

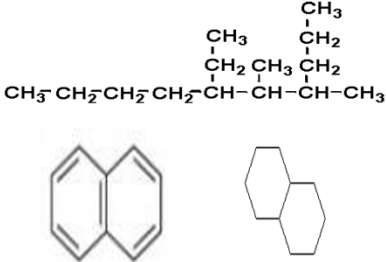
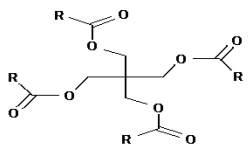
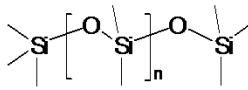
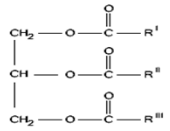


# Fuentes de aceite vegetal: Semillas





# Resumen de las propiedades de los fluidos aislantes.

Type	Mineral oil	Silicone oil	Synthetic ester	Natural ester
	Refined oil based distillate	Synthetic oil	Synthetic	Refined Vegetable oil
Principle components	Complex mixture of hydrocarbons	di-alkyl silicone polymer	Pentaerythritol tetra ester	Plant based natural ester
Chemical structure				
Source	Purified from oil	Made from chemicals	Made from chemicals	Extracted from crops
Biodegradability	Very slow to biodegrade	Very slow to biodegrade	Readily biodegradable	Readily biodegradable
Moisture sensitivity	Performance very sensitive to moisture	Performance sensitive to moisture	Excellent moisture tolerance	Good moisture tolerance
Oxidation stability	Good stability	Excellent stability	Excellent stability	Relatively good stability
Water saturation at ambient (ppm)	55	220	2600	1100
Flesh Point °C	160 - 170	>300	>250	> 300
Fire Point, °C	170 -180	>350	>300	>350
Fire Classification	O	K	K	K

# Ester Vegetal – Solución inteligente

- Aceite vegetal es un éster natural hecho a partir de semillas de plantas combinando...
  1. Alta biodegradabilidad
  2. Alta resistencia al fuego
  3. Gran habilidad para retener la humedad
  4. Alta estabilidad a la oxidación para ser un aceite de base vegetal.
  5. Buen desempeño dieléctrico



Con Aceite Vegetal, ABB tiene como objetivo ofrecer una solución completa y confiable para los transformadores de distribución y potencia asociando el respeto por el medio ambiente, con una mayor seguridad contra incendios y una mas larga vida útil.

# Buen desempeño dieléctrico

Fluid	Dielectric Breakdown (ASTM D 877) kV	Dielectric Breakdown (ASTM D 1816) kV
<b>Vegetable Oil</b>	<b>52</b>	<b>36</b>
Mineral Oil	50	35

- Ester Vegetal mayor constante dieléctrica proporciona una mejor adaptación a la constante dieléctrica de la celulosa impregnada
  - Las tensiones eléctricas se reducen en los ductos de aceite (menor rigidez dieléctrica) y se aumenta en la celulosa impregnada (mayor rigidez dieléctrica – constante dieléctrica)

Fluid	Fluid Only	Impregnated Kraft Paper	Impregnated HD Pressboard
<b>Vegetable Oil</b>	<b>3.2</b>	<b>4.1</b>	<b>4.7</b>
Mineral Oil	2.2	3.5	4.4



# Transformadores de potencia inmersos en líquido Ester Vegetal Calificado para altos voltajes



- Aplicación de Esteres Vegetales en transformadores de potencia pequeña y mediana (hasta 275 kV, 100 MVA) es el objetivo inicial
  - Incluye el rellenado y la modernización de los transformadores de potencia pequeña y mediana (hasta 275 kV, 100 MVA)
  - Objetivo último es extender oferta a voltajes más altos y más altas potencias.
- 
- Las nuevas normas y directrices de diseño dieléctrico y térmico se requieren para construir transformadores llenos de líquido a base de ésteres.
  - ABB ha desarrollado nuevas normas y directrices de diseño que están permanentemente bajo revisión y validación haciendo seguimiento a unidades piloto altamente instrumentadas.

# Miscibilidad de líquidos aislantes a temperatura ambiente

	Mineral oil	Silicone oil	Natural ester	Synthetic ester
Mineral oil	X	Miscible	Miscible in all proportions	Miscible in all proportions
Silicone oil	Miscible	X	Not miscible	Not miscible
Natural ester	Miscible in all proportions	Not miscible	X	Miscible in all proportions
Synthetic ester	Miscible in all proportions	Not miscible	Miscible in all proportions	X

# Clasificación al fuego de fluidos de transformadores

Clasificación de los líquidos aislantes basados en el Punto de flameo y Poder calorífico de acuerdo con la norma IEC 61100.

## Clasificación de los fluidos

Class	Fire Point
O	$\leq 300^{\circ}\text{C}$
K	$> 300^{\circ}\text{C}$
L	No Measurable Fire Point

Class	Net Calorific Value
1	$\geq 42 \text{ MJ/kg}$
2	$\leq 42 \text{ MJ/kg}$ and $\geq 32 \text{ MJ/kg}$
3	$< 32 \text{ MJ/kg}$

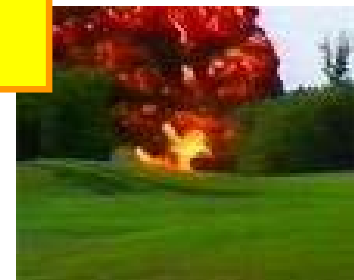
## Propiedades de los fluidos

Fluid type	Flash point $^{\circ}\text{C}$	Fire point $^{\circ}\text{C}$	Class
Mineral oil	160 -170	170 -180	O
Silicone fluid	$>300$	$>350$	K3
Low viscosity silicone fluid	268	312	K3
Natural ester	$>300$	$>350$	K2
Synthetic ester	$>250$	$>300$	K3





# EXPLOSIONS & FIRES



# Aceite Vegetal - Propiedades Preservando la vida y la propiedad

Gap Electrodo (25mm) antes del arco



Gap Electrodo después del arco



## Prueba de arco de alta energía

- Transformador monofásico tipo poste
- Arcos usando varillas con puntas cónicas como electrodos
- Fuente genera una corriente de corto circuito de 8000 amps a través de los electrodos por to 3 ciclos
- Los gases disueltos y presión de gas en el colchón de aire son medidos antes y después de la prueba.



# Prueba de Arco Interno

## Transformador lleno con aceite mineral



- Transformador monofásico lleno con aceite mineral
- En el punto de más alto nivel de energía, las presiones internas generadas por el arco rompen la cubierta seguido con fuego y con aceite caliente se expone a la atmósfera.



# Prueba de Arco Interno

## Transformador lleno con aceite vegetal



- Transformador monofásico lleno con aceite vegetal
- Significante reducción en la presión interna haciendo que la tapa libere una pequeña cantidad de fluido carbonizado, pero no generando fuego.

# Transformadores inmersos en aceite vegetal

## Alta resistencia al fuego

	Flash Point ( °C)	Fire Point ( °C)
<b>Vegetable Oil</b>	<b>330</b>	<b>360</b>
Mineral Oil (Typical)	160	180

- Los aceites vegetales tienen potencial de mitigación de riesgos en los costos resultantes de explosión y fuego del transformador
- Los costos de equipos activos extinción de incendios y las paredes de barrera se pueden reducir o incluso evitar con aceites vegetales
- Los aceites vegetales tienen el potencial de tener primas de seguro más bajas

# Ester Vegetal – ABB sensible solution

## Biodegradability

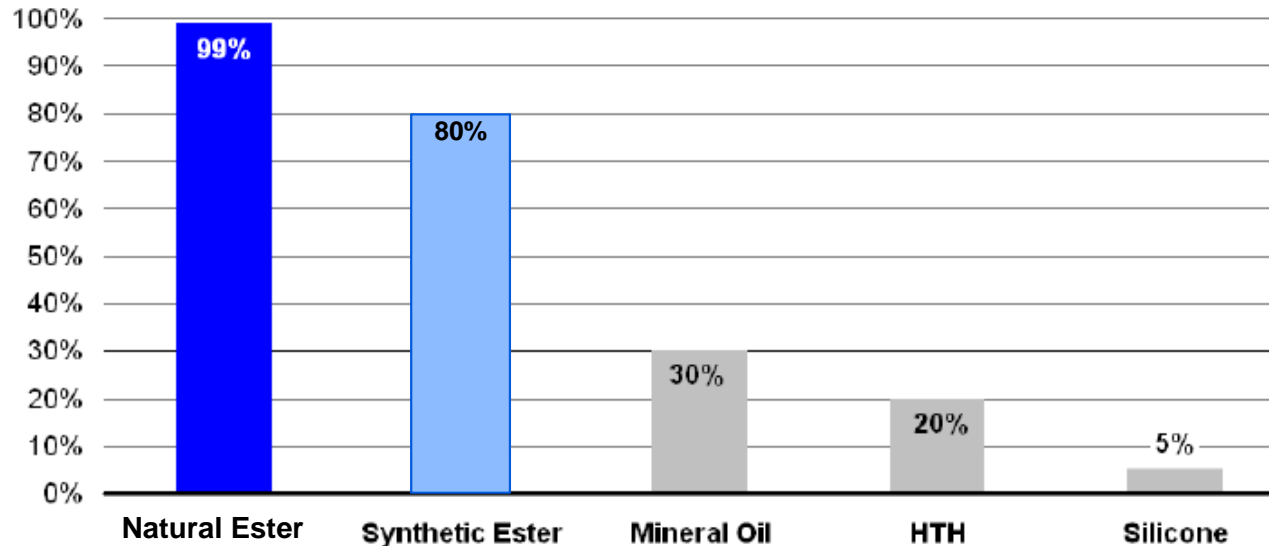


# Transformadores inmersos en aceite vegetal

## Biodegradabilidad

### Biodegradability

(According to the CEC L-33-A-93 21-day test)



- A pesar de ser biodegradable la contención secundaria sigue siendo necesaria, los derrames de aceite vegetal pueden ser eliminados a través de medios normales y no se tratan como residuos tóxicos.
- También ofrecen un alivio potencial de sanciones gubernamentales y costosos procedimientos de limpieza de derrames
- Reducen al mínimo la contaminación del aire durante la combustión

# Transformadores inmersos en aceite vegetal

## Biodegradabilidad

### Classificación UBA

- El Umwelt Bundes Amt (UBA) en Alemania evalúa los productos químicos y les da un índice de peligrosidad al agua, o sea no peligrosos al agua en base a tres niveles de peligro.

Classification	UBA Description
nwg	Non hazardous to water
Hazard Class 1	Low Hazard to Waters
Hazard Class 2	Hazard to Waters
Hazard Class 3	Severe Hazard to Waters

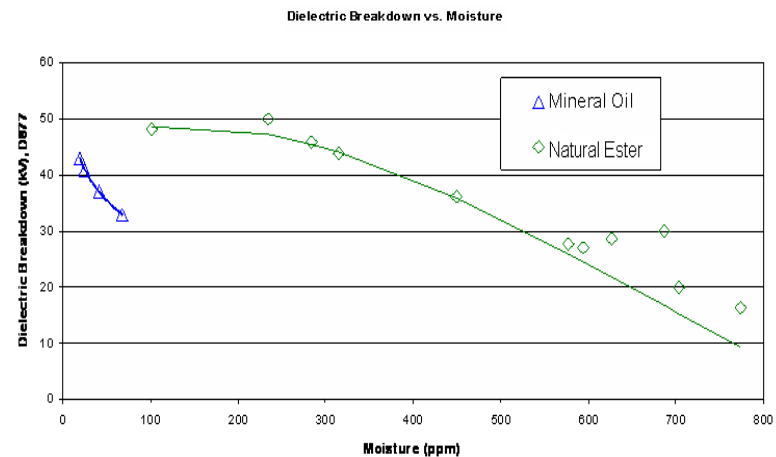
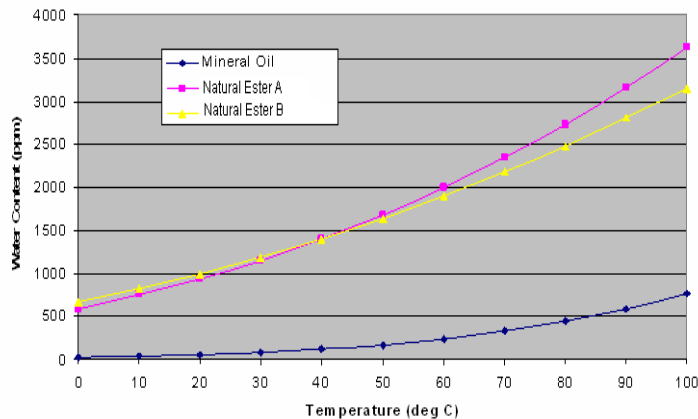
Fluid	CAS Number	UBA Classification
Synthetic Esters	865203-73-2	nwg
Natural Esters	68956-68-3	nwg
Silicone Oils	63148-62-9	1
Low viscosity Silicone Oils	63148-62-9	1
Mineral Oils	Variety	1

# Ester Vegetal – ABB sensible solution Lower Cellulose Aging and Overloadability

# Transformadores inmersos en aceite vegetal

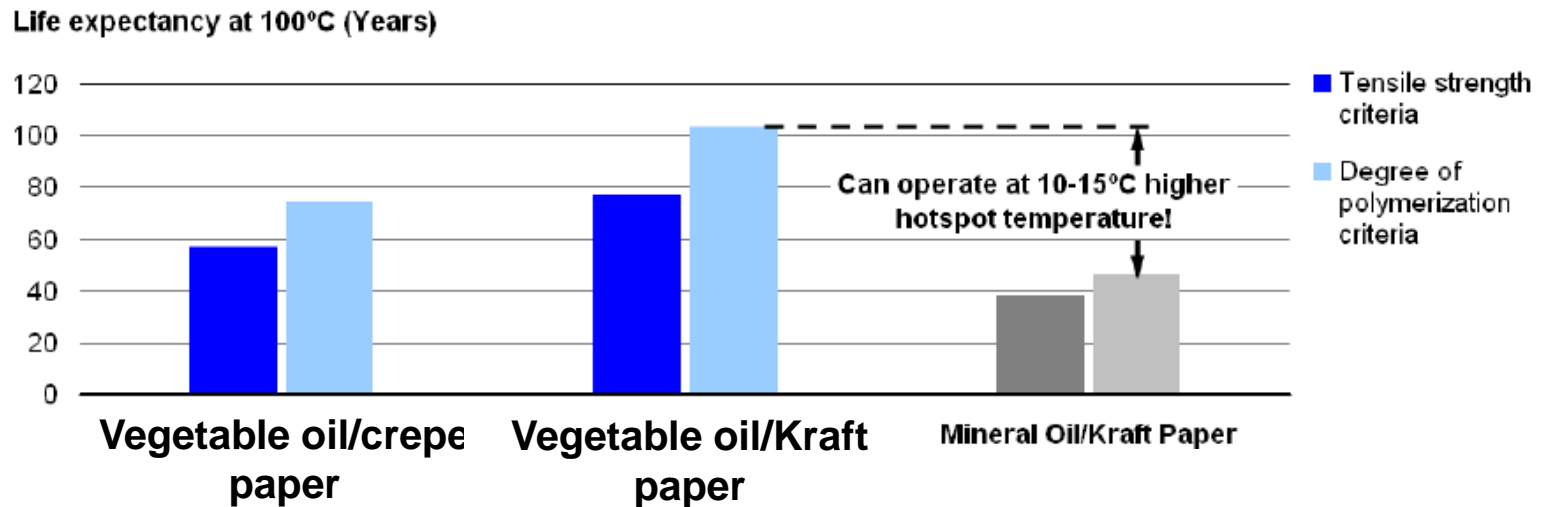
## Humedad de saturación

- **Los Esteres tienen límites mucho más altos de saturación en todas las temperaturas que el aceite mineral**
  - En condiciones normales, la saturación de agua de los aceites éster natural es de 5 a 8 veces la de aceite mineral  
Los esterres tienen una mayor afinidad por el agua que el aceite mineral
  - En los sistemas éster/papel, el papel retiene menos agua que en sistemas aceite mineral / papel.
  - Los transformadores llenos con esterres permitirá la reducción del tiempo de secado en las unidades en campo usando secado por aceite caliente.
  - El límite permisible de humedad en los aceites éster puede ser mucho mayor que el permitido para el aceite mineral



# Beneficios expectativa de vida

## Menor envejecimiento de la celulosa



- Pruebas realizadas a papel impregnado con Aceite Vegetal han mostrado una más baja tasa de envejecimiento en comparación con el papel impregnado de aceite mineral que lleva a un aumento de la vida útil del sistema de aislamiento, por lo tanto en la vida útil del transformador.



# Beneficios expectativa de vida

## Menor envejecimiento de la celulosa

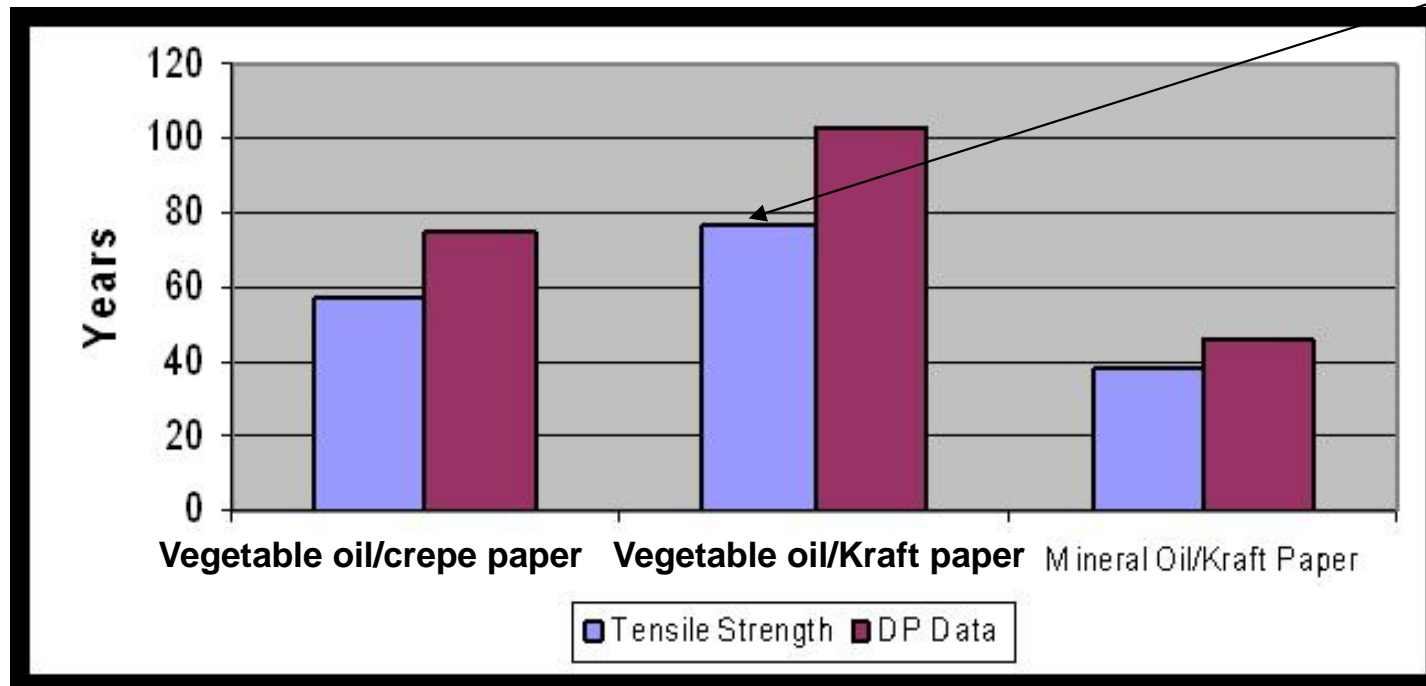
Estudios de envejecimiento – condición del papel despues de envejecido



# Beneficios expectativa de vida Menor envejecimiento de la celulosa

	Tensile Strength	DP Criteria
<b>VO/Crepe Paper:</b>	498,072 hrs. (56.8 yrs.)	656,590 hrs. (74.9 yrs.)
<b>VO/Kraft Paper:</b>	671,881 hrs. (76.6 yrs.)	906,342 hrs. (103.4 yrs.)
<b>MO/ Kraft Paper:</b>	336,738 hrs. (38.4 yrs.)	404,848 hrs. (46.2 yrs.)

Expectativa de vida a 100°C



**Doble  
Vida util!**

# Transformadores inmersos en aceite vegetal

## APLICACIONES

### **Donde la seguridad contra el fuego es esencial**

- Transformadores urbanos
- Áreas subterráneas, subestaciones subterráneas
- Zonas residenciales y fabricas
- Hoteles, tiendas por departamentos, escuelas y hospitales
- Aplicaciones en barcos

### **Donde la prevención de la contaminación del medio ambiente es especialmente demandada**

- Zonas de suministro de agua, estaciones de tratamiento de agua
- Zonas residenciales
- Areas costeras u orilla de los rios

### **Donde se requiere sobrecarga continua o sobrecarga excepcional muy alta**

- Subestación primaria
- Subestación móvil
- Zonas Industriales

### **Donde el peligro de incendio es crítico**

- Plantas químicas
- Plantas de tratamiento de aceite
- Subestaciones cerca de zonas de alto riesgo de incendio

# Ester Vegetal– ABB sensible solution Testing Methods and Applicable Standards

# Normas aplicables a diferentes fluidos

Standard	Transformer fluids			
	Mineral oil	Synthetic ester	Natural ester	Silicone oil
IEC	60296 (Ed. 3) - 2003 "Fluids for Electrotechnical Applications - Unused Mineral Insulating Oils for Transformers and Switchgear"	61099 (Ed. 1) - 1992 "Specifications for unused synthetic organic esters for electrical purposes"	The IEC is currently working towards this standard	IEC 60836 (Ed. 2) - 2005 "Specifications for Unused Silicone Insulating Liquids for Electrotechnical Purposes"
	60422 (Ed. 3) - 2005 "Mineral Insulating Oils in Electrical Equipment - Supervision and Maintenance Guidance"	61203 (Ed. 1) - 1992 "Synthetic organic esters for electrical purposes - Guide for maintenance of transformer esters in equipment"		IEC 60944 (Ed. 1) - 1988 "Guide for Acceptance of Silicone Transformer Fluid and its Maintenance in Transformers"
	60599 (Ed. 2.1) - 2007 "Mineral Oil-Impregnated Electrical Equipment In Service - Guide to the Interpretation of Dissolved and Free Gases Analysis"	60599?	60599?	60599?
IEEE	C57.106-2006 "Guide for Acceptance and Maintenance of Insulating Oil in Equipment"	/	C57.147-2008 "Guide for Acceptance and Maintenance of Natural Ester Fluids in Transformers"	C57.111-1989 "Guide for Acceptance of Silicone Insulating Fluid and its Maintenance in Transformers"
	C57.104-2009 "Guide for the Interpretation of Gases Generated in Oil-Immersed Transformers"	/	/	C57.146-2005 "Guide for the Interpretation of Gases Generated in Silicone-Immersed Transformers"
	C57.140-2006 "Guide for Evaluation and Reconditioning of Liquid Immersed Power Transformers"	C57.140-2006?	C57.140-2006?	C57.140-2006?
ASTM	D 3487 - 08 "Standard Specification for Mineral Insulating Oil Used in Electrical Apparatus"	/	D 6871 - 03 "Standard Specification for Natural (Vegetable Oil) Ester Fluids Used in Electrical Apparatus"	D 4652 - 05 "Standard Specification for Silicone Fluid Used for Electrical Insulation"
	/	/	/	D 2225 - 04 "Standard Test Methods for Silicone Fluids Used for Electrical Insulation"
	D 3455 - 02 "Standard Test Methods for Compatibility of Construction Material with Electrical Insulating Oil of Petroleum Origin"	D 3455? (because petroleum origin....)	/	D5282 - 05 "Standard Test Methods for Compatibility of Construction Material with Silicone Fluid Used for Electrical Insulation"



# Listado de metodos de prueba a diferentes fluidos

Properties	Mineral Oil <sup>103</sup>	Synthetic ester <sup>104</sup>	Natural ester <sup>105</sup>	Silicone fluid <sup>106</sup>
Acidity	IEC 62021-1/ IEC 62021-2 ASTM D974	IEC 62021-1/ IEC 62021-2	ASTM D974	IEC 62021-1
Appearance	ISO 2049	ISO 2049	ASTM D1524	Visual , ISO 2049
Breakdown voltage	IEC 60156 ASTM D1816	IEC 60156	ASTM D877 ASTM D1816	IEC 60156
Colour	ISO2049 ISO 2211 ASTM D1500	ISO 2211	ASTM D1500	ISO 2211
Corrosive sulphur	IEC 62535 ASTM D1275		ASTM D1275	
Dielectric Dissipation Factor (DDF)	IEC 60247 / IEC 61620 ASTM D924	IEC 60247	ASTM D924	IEC 60247
Density	ISO 3675 / ISO 12185 ASTM D1298	ISO 3675	ASTM D1298	ISO 3675
DGA analysis	IEC 60567		ASTM D2945 ASTM D3284 ASTMD3612	
Fire point	ISO 2592 ASTM D92	ISO 2592	ASTM D92	ISO 2592
Flash point	ISO 2719 ISO 2592 ASTM D92	ISO 2719 / ISO 2592	ASTM D92	ISO 2719 / ISO 2592
Furanic compounds	IEC 61198 ASTM D5837			
Gassing tendency	IEC 60628 ASTM D2300	IEC 60628	ASTM D2300	IEC 60628

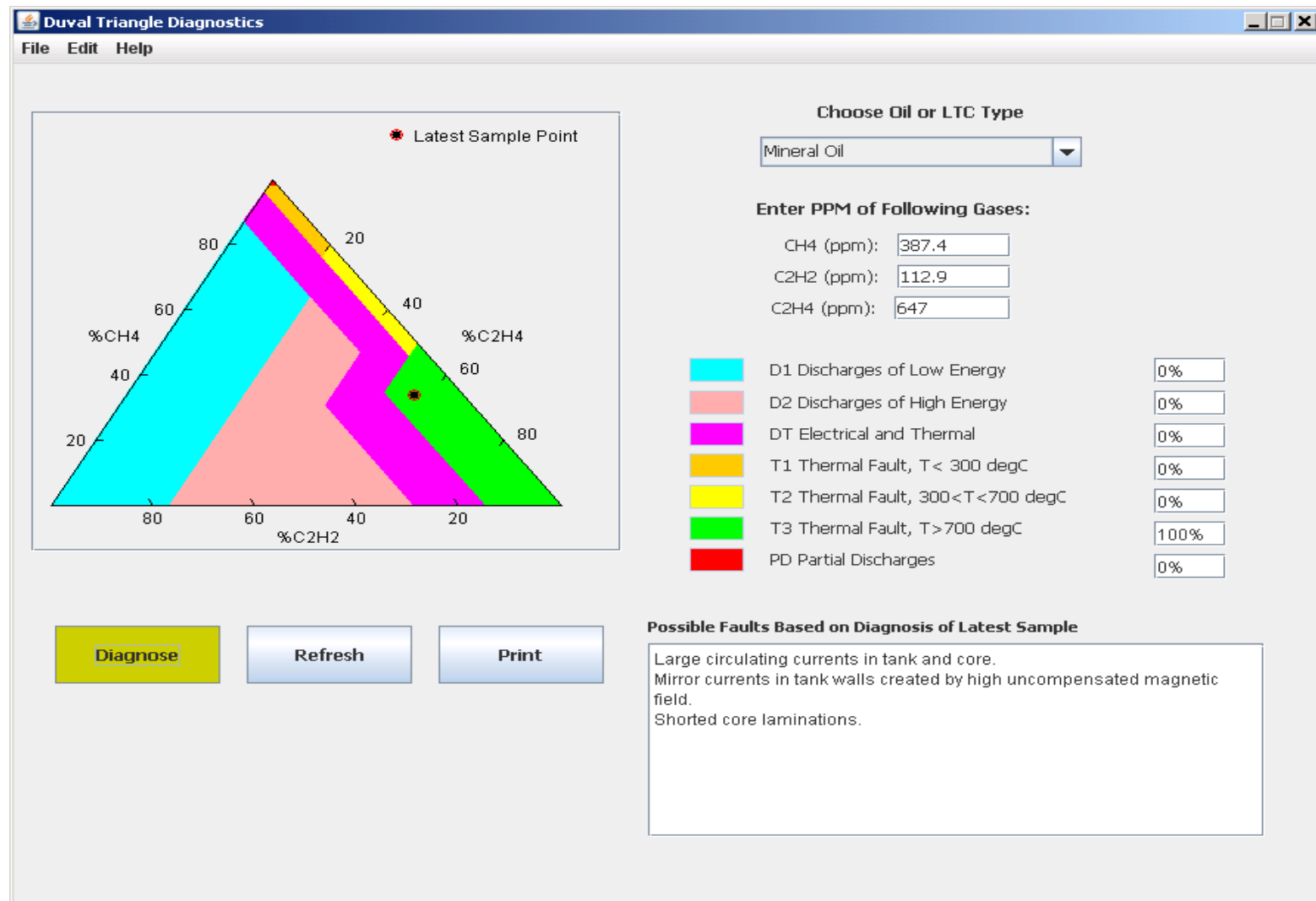
(Key: Most commonly used IEC method, Most commonly used ASTM method, Not quoted but generally used)

# Listado de metodos de prueba a diferentes fluidos

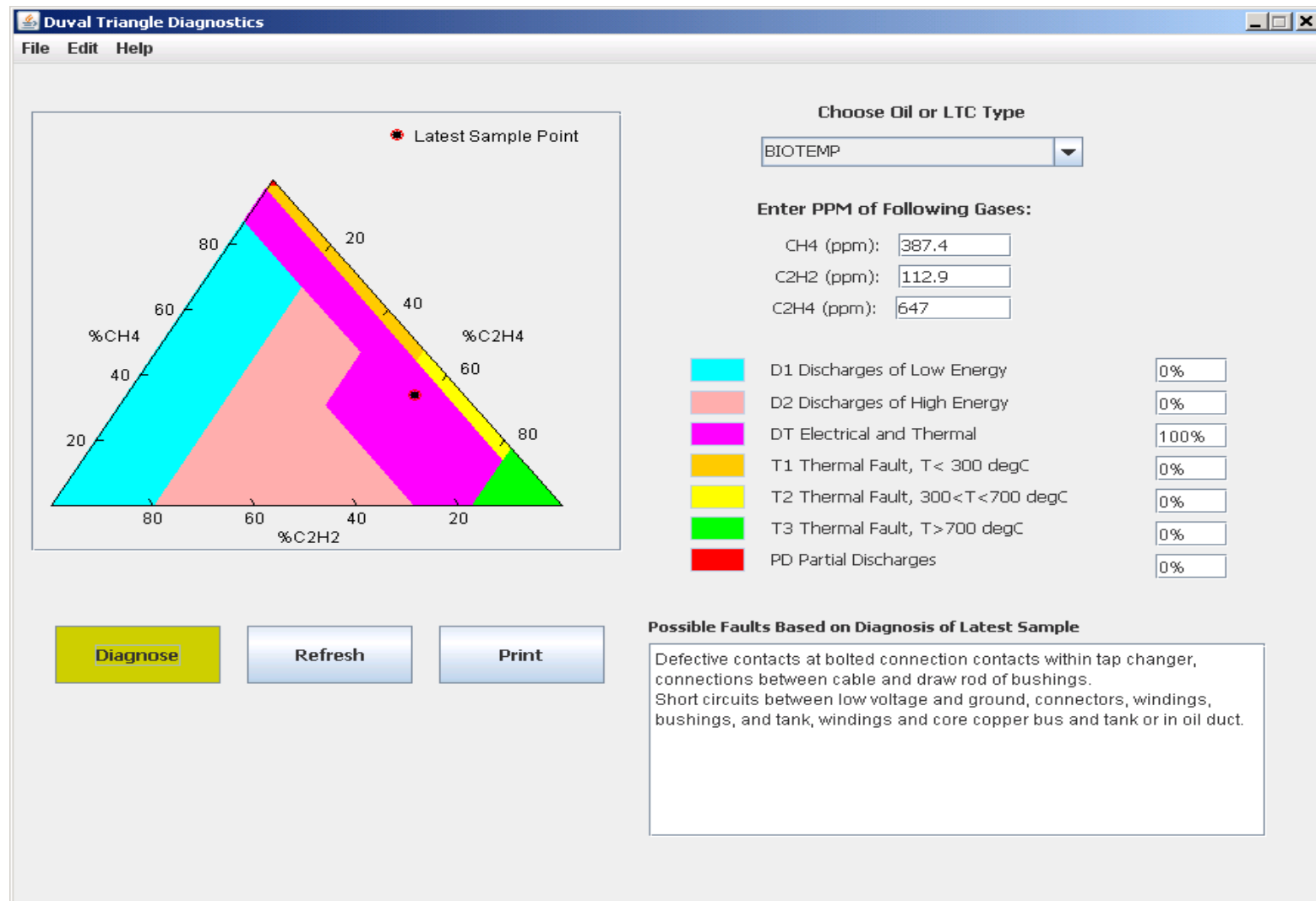
Properties	Mineral oil	Synthetic ester	Natural ester	Silicone Fluid
Interfacial tension	ISO 6295 ASTM D971		ASTM 971	ASTM 971
Kinematic viscosity	ISO 3104 ASTM D445	ISO 3104	ASTM D445	ISO 3104
Kinematic viscosity at low T°	IEC 61868			
Lightning Impulse breakdown	(IEC 60897) ASTM D3300		ASTM D3300	
Oxidation stability	IEC 61125 IEC 62036 ASTM D2112 ASTM D2440	IEC 61125		
PCB content	IEC 61619 ASTM D4059		ASTM D 4059	
Permittivity	IEC 60247 ASTM D924	IEC 60247	ASTM D924	IEC 60247
Pour point	ISO 3016 ASTM D97	ISO 3016	ASTM D97	ISO 3016
Refractive index	ISO 5661	ISO 5661		ISO 5661
Resistivity	IEC 60247	IEC 60247	ASTM D1169	IEC 60247
Specific heat	ASTM D2766		ASTM D2766	
Stray gassing	CIGRE Brochure n°296			
Thermal conductivity	ASTM D2717		ASTM D2717	
Thermal expansion coef.	ASTM D1903		ASTM D1903	
Visual examination	ASTM D1524		ASTM D1524	
Water content	IEC 60814 ASTM D1533	IEC 60814	ASTM D1533	IEC 60814

(Key: Most commonly used IEC method, Most commonly used ASTM method, Not quoted but generally used)

# Diagnóstico de diferentes fluidos



# Diagnóstico de diferentes fluidos





# High Temperature Class Transformers

# Transformadores clase Alta Temperatura

IEEE Std C57.154™-2012

## **IEEE Standard for the Design, Testing, and Application of Liquid-Immersed Distribution, Power, and Regulating Transformers Using High-Temperature Insulation Systems and Operating at Elevated Temperatures**



**IEC/TS 60076-14**

Edition 2.0 2009-05

### **TECHNICAL SPECIFICATION**

**Power transformers –**

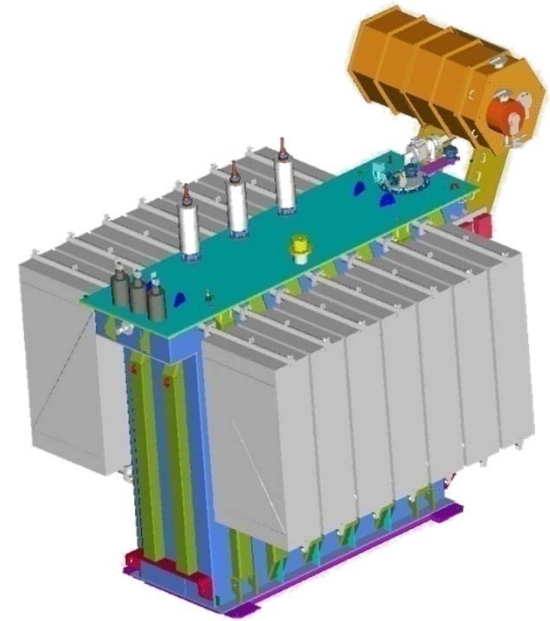
**Part 14: Design and application of liquid-immersed power transformers using  
high-temperature insulation materials**

# Transformadores clase Alta Temperatura

## ■ Ámbito de aplicación

Aumentar las aplicaciones de mercado (solicitud de ferrocarriles, parques eólicos, subestaciones móviles, etc) con la disminución del tamaño y peso. Aumentar la vida útil del transformador aumentando la clase de aislamiento.

Desarrollar transformadores de alta clase de temperatura (aplicación para la instalación en la ciudad) ya que algunos clientes (Endesa, Publicas de Rusia) piden soluciones técnicas para las zonas de alto riesgo de incendio.



## ■ Objetivo

Estudio de las propiedades térmicas, eléctricas y mecánicas de un líquido de alta viscosidad como Midel, silicona, BioTemp.

Encontrar los mejores diseños eléctricos y el mejor desempeño de enfriamiento para los transformadores de hasta 170 kV. Disminuir los riesgos de incendio y explosión en ambientes especiales.

## ■ Tecnología

El papel clase alta temperatura y resina epoxi en lugar del tradicional aislamiento de las bobinas. Midel o BioTemp en lugar de aceite mineral. Tiene mejores propiedades eléctricas y térmicas que la silicona..

# Transformadores clase Alta Temperatura

## Tres opciones

- Transformador hibrido: aislamiento sólido ( Clase alta temperatura mas papel de celulosa) y aceite mineral;
- Sistema de aislamiento homoganeo de alta temperatura (Transformador completo de clase alta temperatura);
- Transformador lleno con liquido clase alta temperatura ( midel , silicona, Biotemp).



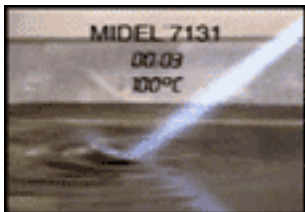
Mineral oil after 1 minute.



Mineral oil after 3 minutes.



Mineral oil fully alight after 4 minutes.  
Note the dense black smoke.



MIDEL 7131 after 3 minutes.



MIDEL 7131 after 70 minutes.  
Still no ignition.



MIDEL 7131 at 324°C finally ignites.  
Note very limited emission of smoke  
compared to mineral oil.



Aislamiento Nomex



# Transformadores clase Alta Temperatura

IEEE Std C57.154-2012

IEEE Standard for the Design, Testing, and Application of Liquid-Immersed Distribution, Power, and Regulating Transformers Using High-Temperature Insulation Systems and Operating at Elevated Temperatures

**Table B.2—Comparison of aging results**

	Constant <i>a</i>	Temperature <i>T</i> (°C)	Thermal index	Thermal class
IEEE mineral oil/thermally upgraded kraft paper	$9.80 \times 10^{-18}$	110.0	110	120
Natural ester liquid/thermally upgraded kraft paper	$7.25 \times 10^{-17}$	130.6	130	140
IEEE mineral oil/cellulose-based paper	$2.00 \times 10^{-18}$	95.1	95	105
Natural ester liquid/cellulose-based paper	$1.06 \times 10^{-17}$	110.8	110	120

**Table B.3—Maximum temperature rise limits for cellulose-based paper and thermally upgraded kraft paper in ester liquid<sup>a,b</sup>**

	Cellulose-based paper	Thermally upgraded paper
Thermal class of cellulose paper in ester liquid	120	140
Top liquid temperature rise (°C)	90	90
Average winding temperature rise (°C)	65	85
Hottest spot temperature rise for solid insulation (°C)	80	100

<sup>a</sup> The temperature rises shown are based on a 30 °C average cooling air temperature as defined in IEEE Std C57.12.00. If specified cooling air temperature is different from 30 °C, the temperature rise limits shall be adjusted accordingly.

<sup>b</sup> Essentially oxygen-free applications where the liquid preservation system effectively prevents the ingress of air into the tank.

# Transformadores clase Alta Temperatura

## Transformador con aislamiento hibrido

### Tres diferentes categorias

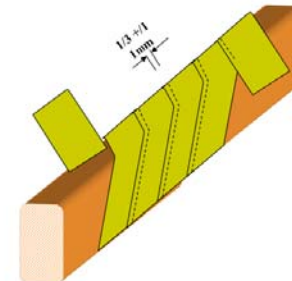
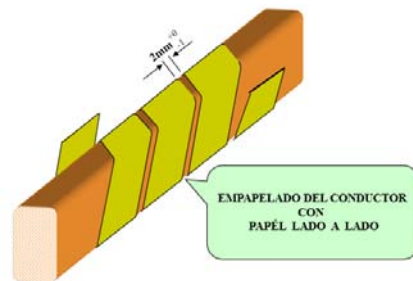
- Sistema de aislamiento Semi-Hibrido
- Sistema de aislamiento Hibrido
- Sistema de aislamiento Mixto



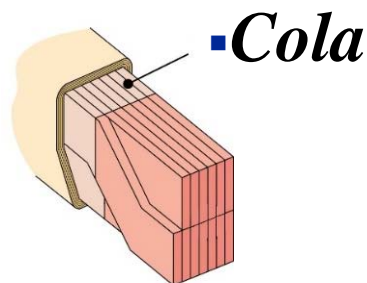
# Transformadores clase alta temperatura

## ■ Antecedentes – Aislamiento sólido

- Uso de papel Kraft (**Clase térmica A**) y del tipo **térmicamente estabilizado (Clase térmica E)** como aislamiento para los conductores.



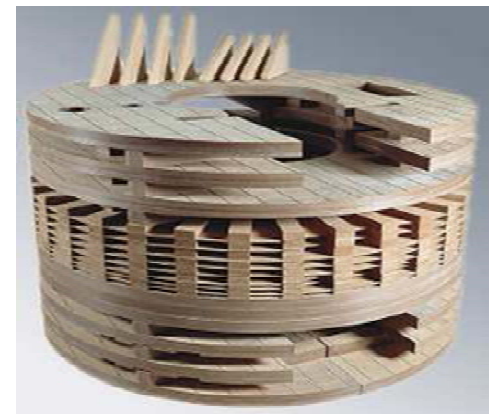
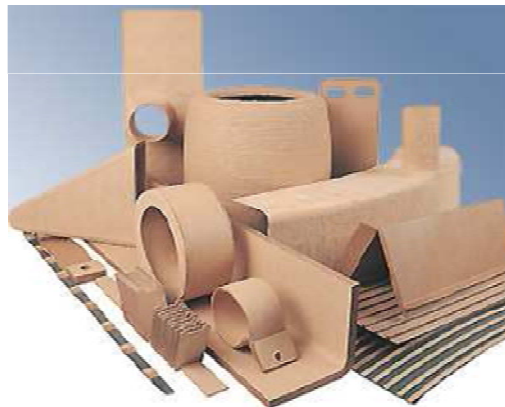
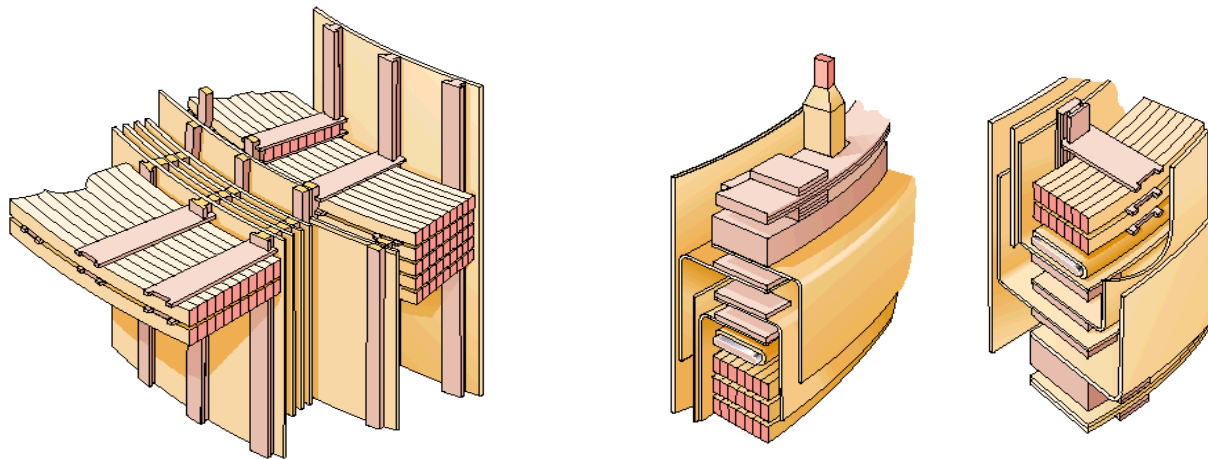
- Cable transpuesto del tipo Netting tape (**con esmalte – Clase térmica E**) y/o empapelado



# Transformadores clase alta temperatura

## Antecedentes - Aislamientos sólidos

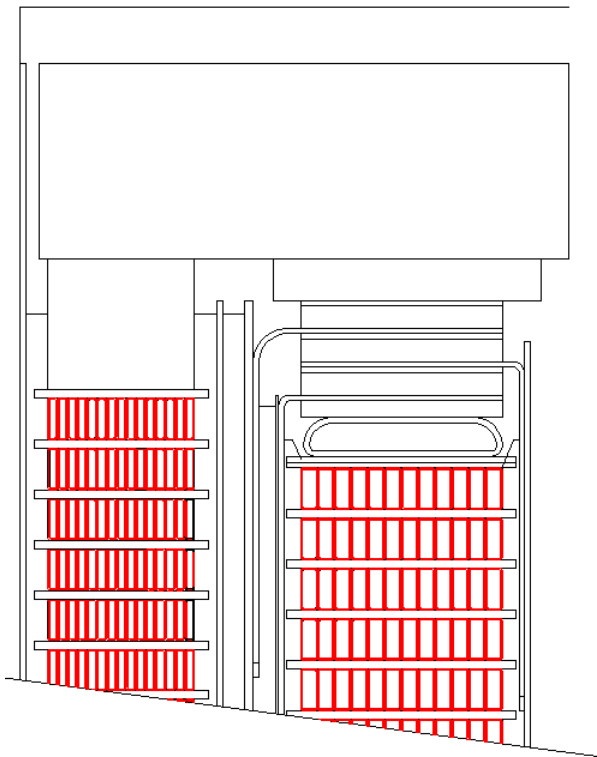
- Cartones precomprimidos y madera contraplacada Clase térmica A.



# Transformadores clase alta temperatura

## ▪Aislamientos sólidos – Clase alta temperatura

### A. Sistema de aislamiento Semi-Hibrido:



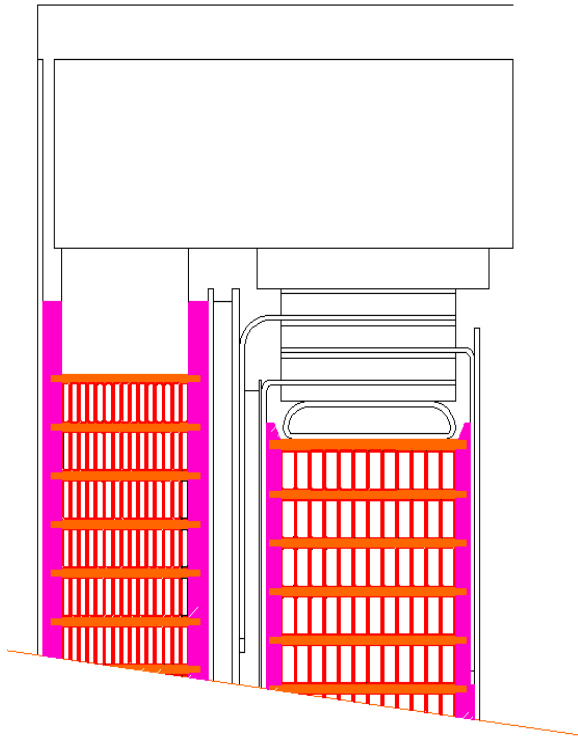
- Utiliza materiales clase **alta temperatura sólo para el aislamiento del conductor** en bobinas que operan por encima de temperaturas convencionales.
- Todos los demás materiales son clase térmica convencional (**105 °C**).
- Líquido: convencional (**aceite mineral**)



# Transformadores clase alta temperatura

- **Aislamientos sólidos – Clase alta temperatura**

## B. Sistema de aislamiento Híbrido:

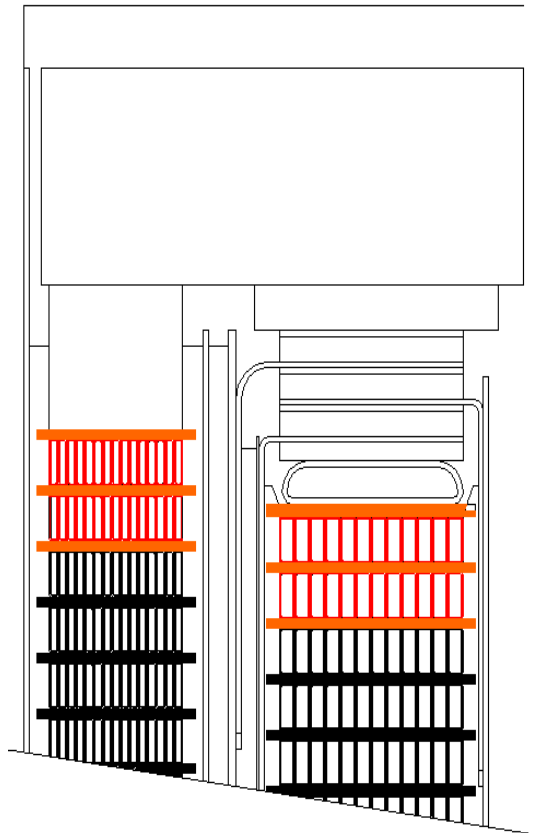


- Utiliza clase **alta temperatura** en toda la **bobina**, pero no necesariamente todos los devanados.
- 
- **Aislamiento sólido: clase alta temperatura** en todo el aislamiento en contacto con los conductores.
- Líquido: convencional (**aceite mineral**).

# Transformadores clase alta temperatura

- **Aislamientos sólidos – Clase alta temperatura**

## C. Sistema de aislamiento Mixto:



- Utiliza aislamiento clase **alta temperatura para ciertos componentes o partes de las bobinas**, como los conductores en las regiones con temperaturas por encima de los límites convencionales.

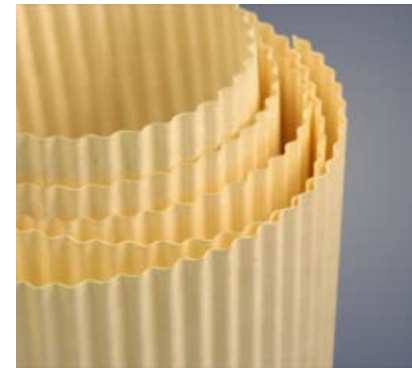
- **Aislamiento sólido alta temperatura para proteger contra el calentamiento localizado en regiones específicas de algunas bobinas.**

- Líquido: convencional (aceite mineral)

# Transformadores clase alta temperatura

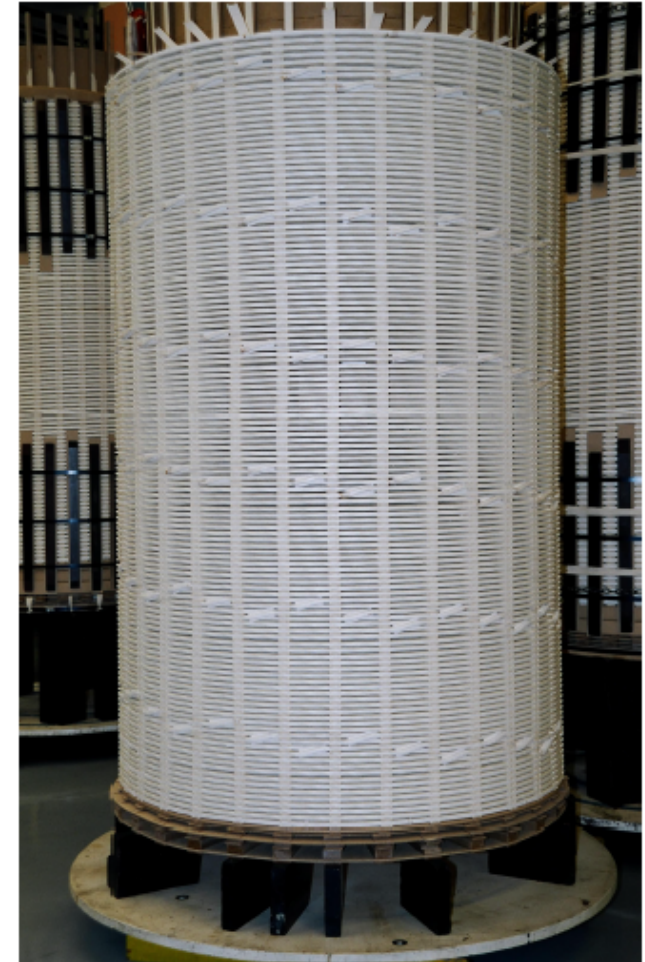
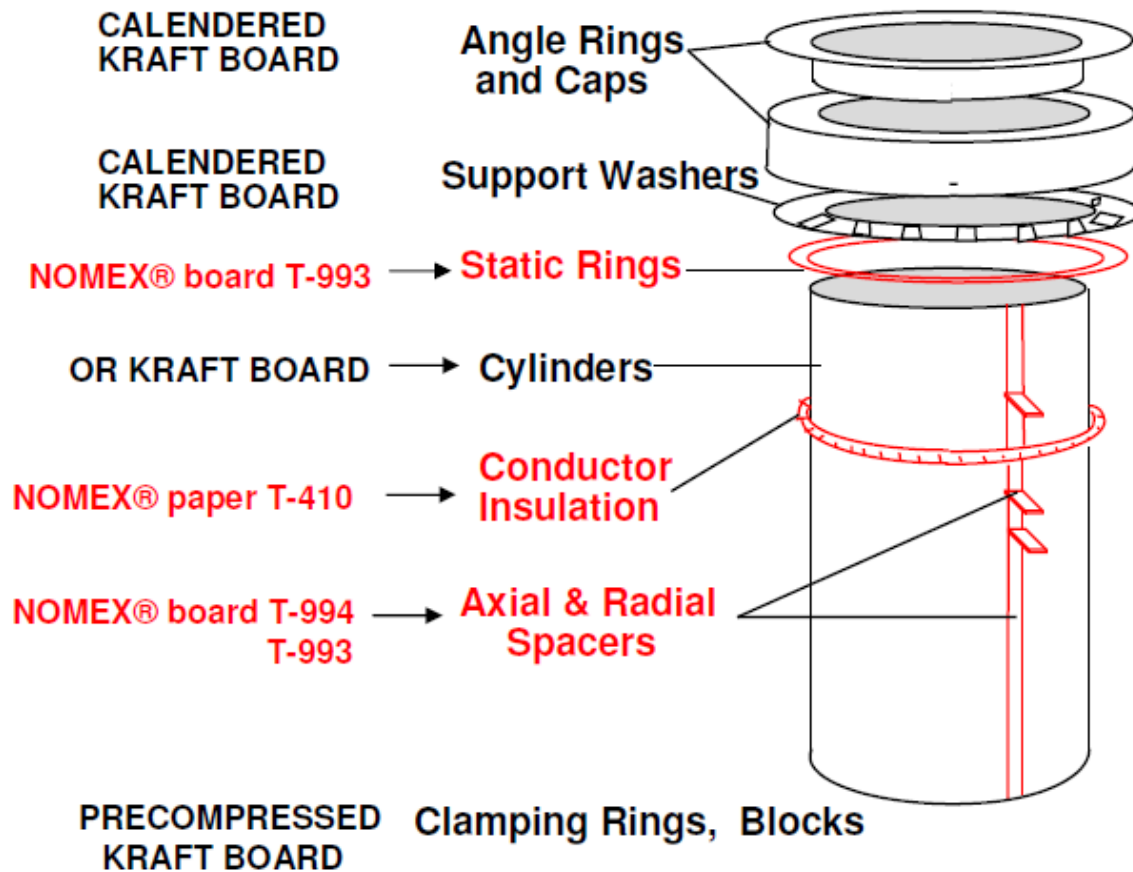
- **Aislamientos sólidos – Clase alta temperatura**

## Material sólido convencional - Nomex



# Transformadores clase alta temperatura

- **Aislamientos sólidos – Clase alta temperatura**



# Transformadores clase alta temperatura

## • Aislamientos sólidos – Clase alta temperatura

TS 60076-14 © IEC:2009(E)

**Table 4 – Temperature limits for transformers with mineral oil or alternative liquid operated at 60 K top liquid temperature rise**

### a) Maximum temperature rise limits

	Conventional insulation system <sup>a</sup>	Mixed insulation system	Semi-hybrid insulation system	Hybrid insulation system <sup>b</sup>
Minimum high-temperature solid insulation thermal class <sup>c</sup>	N/A	130	120	155
Top liquid temperature rise (K)	60	60	60	60
Average winding temperature rise (K)	65 <sup>d</sup>	65	75	95
Hot-spot temperature rise for conventional solid insulation (K)	78	78	78	78
Hot-spot temperature rise for high-temperature solid insulation (K)	N/A	110	90	130
NOTE The temperature rises shown are based on normal ambient temperatures as defined in IEC 60076-1, but includes the statement on non-standard ambient temperature.				
<sup>a</sup> Reference system for comparison purposes.				
<sup>b</sup> Essentially oxygen-free applications where the liquid preservation system effectively prevents the ingress of air into the tank.				
<sup>c</sup> This is a material requirement.				
<sup>d</sup> The temperature rise for OD units may be 70 K.				



# Transformadores clase alta temperatura

## • Aislamientos sólidos – Clase alta temperatura

TS 60076-14 © IEC:2009(E)

**Table 5 – Temperature limits for transformers with homogeneous high-temperature insulation systems**

**a) Maximum temperature rise limits**

	Ester liquid or equivalent			Silicone liquid or equivalent		
Minimum high-temperature solid insulation thermal class <sup>a</sup>	130	155	180	155	180	200
Top liquid temperature rise (K)	80	80	80	100	100	100
Average winding temperature rise (K)	85	100	115	100	115	125
Hot-spot temperature rise (K)	110	135	160	135	160	180
NOTE 1 Essentially oxygen-free application where the liquid preservation system effectively prevents the ingress of air into the tank.						
NOTE 2 The temperature rises shown are based on normal ambient temperatures as defined in IEC 60076-1, but includes the statement on non-standard ambient temperature.						
<sup>a</sup> This is a material requirement.						

# Información de Contacto

Si resultan preguntas o dudas, Favor contactarme

HERNAN ESCARRIA G

ABB Transformadores Pereira

Teléfono + 57 6 3136589

Cel + 57 3115617177

Mail [hernan.escarria@co.abb.com](mailto:hernan.escarria@co.abb.com)

Power and productivity  
for a better world™

