

Transformadores para Aplicaciones Industriales y Fluidos Biodegradables



Dr. José Eulalio Contreras de León

Ingeniero de Investigación en Materiales Aislantes

Prolec GE – Centro de Investigación Aplicada

contreras.jose@ge.com



*Empresa líder en brindar
soluciones confiables desde la
generación hasta el consumo
sustentable de energía eléctrica*

Unimos fuerzas y recursos

Desde 1995 Prolec GE es una co-inversión entre 2 líderes mundiales



- Líder en México y Latinoamérica sirviendo al sector eléctrico
- Sólida trayectoria empresarial
- Cultura de calidad y competitividad



- Cobertura mundial en fuerza de ventas, canales de distribución y servicio
- Amplio conocimiento en los requerimientos del cliente
- Mejores prácticas de negocio



Descripción de Prolec GE



- Modernas instalaciones en un terreno de 26 hectáreas...con equipo de vanguardia en todo el proceso de fabricación de los transformadores
- 5 líneas de producto... cubriendo desde la fabricación del tanque, pruebas de laboratorio embarque, hasta la transportación e instalación del equipo en sitio
- 40 años en la industria
- La más alta calidad para asegurar la satisfacción de nuestros clientes
- Transformadores instalados y operando en más de 35 países en el mundo

Presencia en todo el mundo



► *Productos instalados en más de 35 países alrededor del mundo*



Impulsando soluciones confiables

Distribución



Residencial

- 5 kVA - 167 kVA...Poste y pedestal
- Líder en el mercado Mexicano
- Más de 1,000,000 unidades Instaladas en Norteamérica



Comercial

- 45 kVA – 5000 kVA, hasta 34.5kV, 200kV NBAI
- Atendiendo mercado comercial, eólico y solar.



Industrial

- 225 kVA – 12 MVA hasta 69 kV, 200 kV NBAI
- Amplia participación en el sector industrial en diferentes países



Al menos 1 de cada 4 transformadores para energías renovables instalados en Norteamérica es fabricado por Prolec

Potencia



- Base instalada ... más de 4,500 unidades alrededor del mundo

GENERACIÓN



Transformador elevador

- 1000 MVA 3 ϕ ó 500 MVA 1 ϕ
- 550 kV (1675 kV BIL) 50 ó 60 Hz
- CBC en AT ó BT, o CSC en AT

TRANSMISIÓN



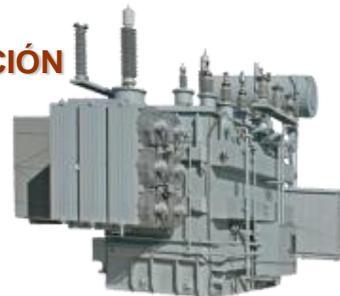
Autotransformadores

- 1000 MVA 3 ϕ ó 500 MVA 1 ϕ
- 550 kV (1675 kV BIL) 50 ó 60 Hz
- CBC en AT ó BT, o CSC en AT
- Bajo nivel de ruido NEMA – 25 dBA

Reactores de potencia

- 50 MVA r 1 ϕ
- 550 kV (1450 kV BIL)
- 50 o 60 Hz

DISTRIBUCIÓN



Transformadores tipo subestación y auxiliares

- 1000 MVA 3 ϕ ó 500 MVA 1 ϕ
- 230 kV (1050 kV BIL) 50 ó 60 Hz
- CBC en AT ó BT, o CSC en AT

Modelo de Negocio Prolec GE



Innovación, Tecnología y Desarrollo de Producto



- Centro de Tecnología Avanzada (CTA) y Centro de Investigación Aplicada de Prolec (CIAP)
- Más de 80 profesionales, con grado de Maestría y Doctorado en su mayoría, dedicados a la investigación y generación de propiedad intelectual
- Software y herramientas especializados para diseño, análisis, modelación y simulación de productos o procesos críticos
- Metodologías probadas bajo estricta disciplina
- Completa red de colaboración con universidades, centros de investigación nacionales e internacionales, expertos de la industria, clientes y proveedores



Impulsando soluciones confiables

Enfocados en solucionar las necesidades del cliente

La Innovación es el vehículo que nos lleva a diferenciarnos de nuestros competidores, ofreciendo mayor valor a nuestros clientes, accionistas y a la comunidad en general

Fuentes de Innovación



Clientes



- Necesidades expresadas por ellos
- Objetivos de negocio...tendencias
- Insatisfacciones
- Proyectos en conjunto



I+D



- Nuevas soluciones técnicas
- Nuevos materiales y componentes
- Nuevos productos



Colaboradores



- Inteligencia de negocio
- Interacción con clientes
- Sesiones de trabajo
- Talleres de innovación
- Buzón de ideas



Proveedores



- Productos nuevos o mejorados
- Nuevos modelos de cadena de valor
- Proyectos en conjunto

Con soluciones confiables para sus necesidades

Transformadores Distribución

• Tipo Poste

- 5 kVA - 167 kVA (Monofásico)
- 15 kVA – 150 kVA (Trifásico)
- ✓ Para redes de distribución aéreas e híbridas

• Tipo Sumergible

- 25 kVA - 100 kVA (Monofásico)
- 75 kVA – 500 kVA (Trifásico)
- ✓ Sistemas de distribución libre de equipos a la vista

• Tipo Pedestal

- 15 kVA – 167 kVA (Monofásico)
- 45 kVA – 5000 kVA (Trifásico)
- ✓ Equipos de alta seguridad para redes distribución subterráneas
- ✓ Opciones para industria generación eólica y solar

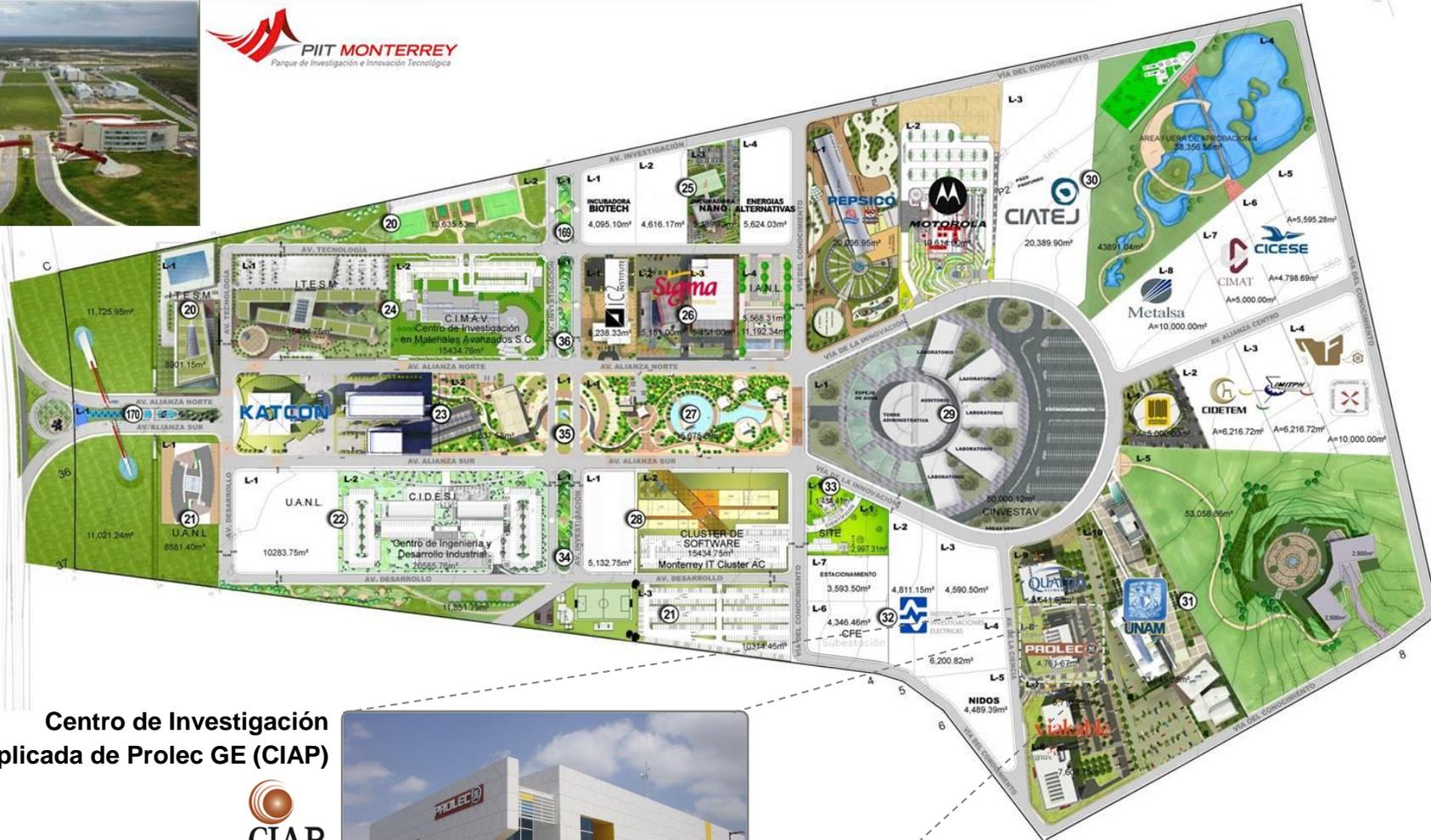
• Tipo Subestación

- 225 kVA – 15 MVA
- ✓ Amplia variedad normas y certificaciones para las diversas industrias



Reconocidos por la alta confiabilidad en sus equipos y cumplimiento en entregas. Más de 40 años de experiencia y con más de 3.5 millones de unidades instaladas en América

Centro de Investigación



Centro de Investigación Aplicada de Prolec GE (CIAP)



Centro de Investigación Aplicada de Prolec GE – CIAP

- Desarrollo de nuevas tecnologías para transformadores eléctricos
- 10 investigadores especialistas:
 - *Eléctrica, Mecánica, Térmica, Química, Materiales, Electronica de Potencia, Simulaciones, etc*
- Inauguración: Julio 2011
- 1800 m² de construcción
- 4 laboratorios: Materiales, Eléctrica, Electronica y Simulación
- Área de prototipaje
- Vinculación tecnológica con centros I+D y universidades



Introducción

- Transformadores industriales
- Fluidos aislantes
- Propiedades

Fluidos biodegradables – Aceite vegetal **VG-100**[®]

- Antecedentes
- Generalidades
- Principales características
- Resumen

Aplicaciones – Oferta de producto

Comentarios finales

Transformadores industriales

Los transformadores industriales son equipos dentro de la red de distribución de energía eléctrica y se localizan en sitios industriales y comerciales para adaptar el voltaje a las necesidades del usuario.

- ✓ Aplicación en interior y exterior
- ✓ Requerimiento de fluidos especiales – alta confiabilidad y resistencia al fuego
- ✓ Prolec GE → Hasta 15MVA (ONAN) y hasta clase 69kV



Transformador para exterior



Transformador para interior



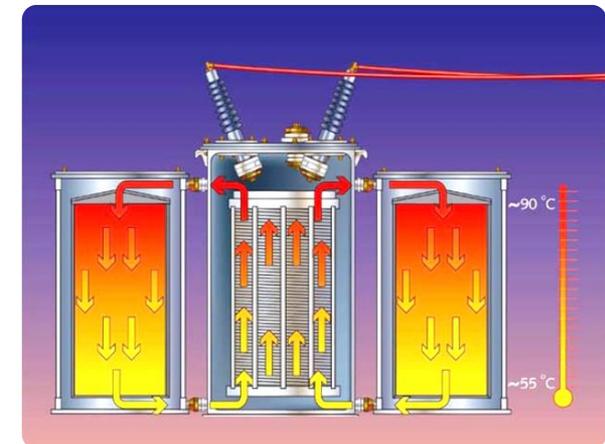
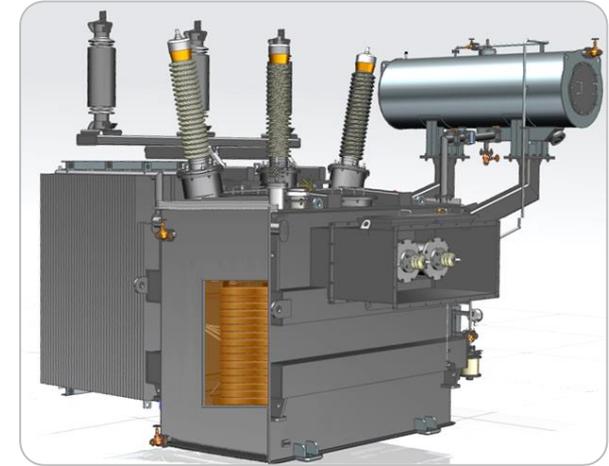
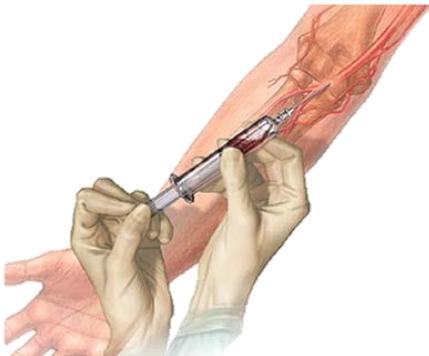
Subestacion abierta (Open Substation)

Fluidos aislantes

El fluido aislante es uno de los principales componentes de los transformadores eléctricos.

Cumple básicamente 3 funciones esenciales:

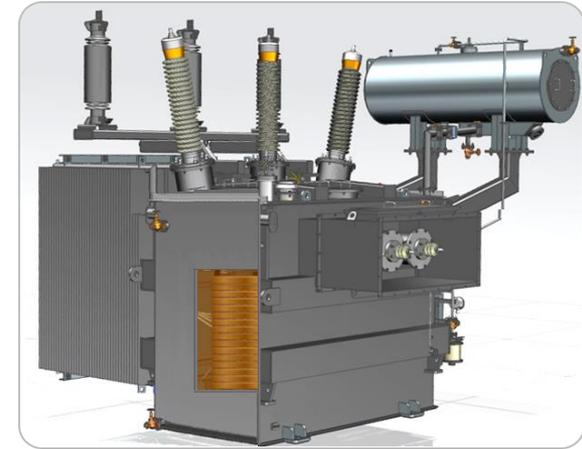
- ✓ Aislante dieléctrico
- ✓ Medio de enfriamiento
- ✓ Actuar como portador de información



Fluidos aislantes

Los fluidos dieléctricos están en contacto con los materiales de construcción y otros componentes del transformador:

- ✓ Bobinas: conductores, aislamientos (papel, pressboard, etc.)
- ✓ Núcleo: acero al silicio, metal-amorfo
- ✓ Otros: resinas, pinturas, empaques, otros metales, etc.

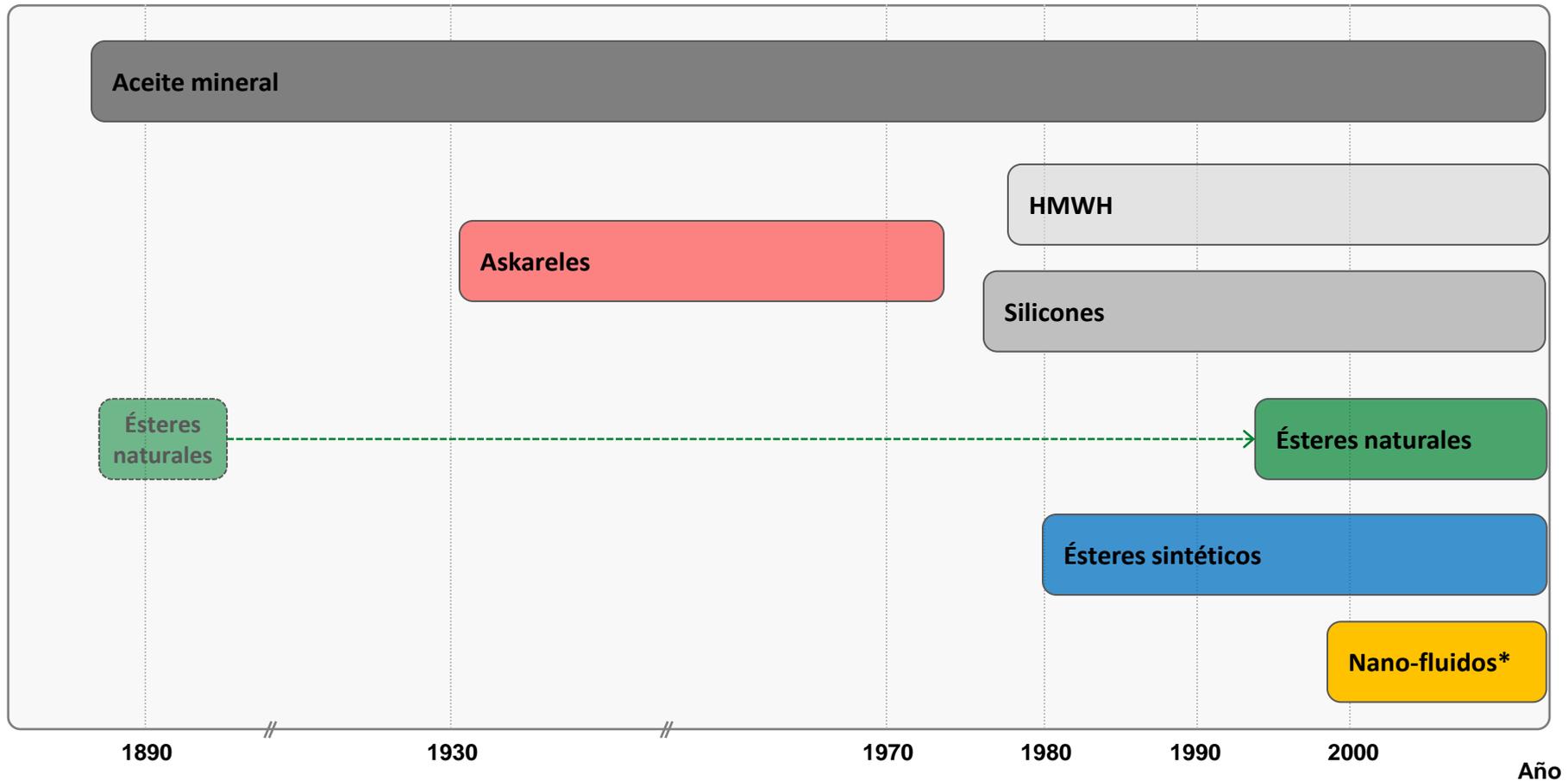


Es importante verificar que estos materiales sean compatibles químicamente con el fluido con para garantizar el buen funcionamiento del transformador.

Además, los fluidos dieléctricos tienen que cumplir con otros requerimientos/propiedades (físicos y químicos) de normas o especificaciones.

Fluidos aislantes

Evolución de los fluidos para transformadores eléctricos



Fluidos aislantes - propiedades

Humedad

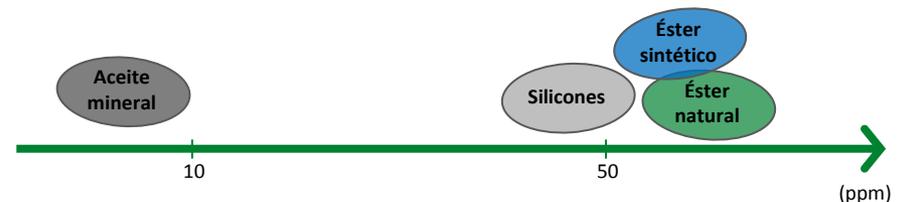
La humedad es crítica en la operación del transformador ya que afecta al desempeño del aceite y de los aislamientos de celulosa. Existe como agua disuelta o agua libre.

- Reduce el aguante dieléctrico
- Aumenta envejecimiento del papel
- Los fluidos polares tienden a formar enlaces hidrógeno con las moléculas de agua de manera que el agua puede disolverse fácilmente

La solubilidad del agua en el aceite depende del tipo de fluido y de la temperatura. Los fluidos base éster tienen una capacidad superior para absorber humedad...



Equipo para determinación de humedad en aceites mediante la técnica de Karl Fisher



Fluidos aislantes - propiedades

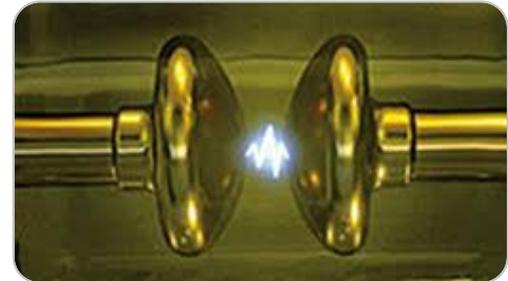
Tensión de ruptura dieléctrica

También llamada rigidez dieléctrica (RD) es la medida de la capacidad de un fluido a soportar esfuerzos eléctricos. Indica la capacidad del aceite para resistir dichos esfuerzos en el transformador.

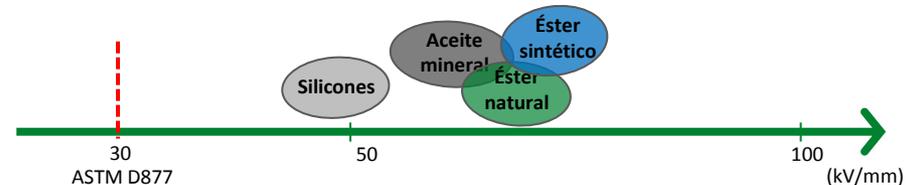
- Electrodo plano (ASTM D877)
 - Electrodo cóncavo (ASTM D1816 / IEC 60156)
- La humedad afecta significativamente la RD (dependiendo del tipo de aceite)
 - Influyen también: cantidad, tamaño y tipo de partículas
 - La oxidación del aceite y sus productos, disminuyen el voltaje de aguante dieléctrico del aceite



Celda de prueba de rigidez dieléctrica



Electrodos tipo cóncavos



Fluidos aislantes - propiedades

Viscosidad

La viscosidad es la resistencia de un líquido al fluir bajo gravedad. Esta propiedad es muy importante para el enfriamiento del transformador, cuanto más baja es la viscosidad, mejor su capacidad de enfriamiento.

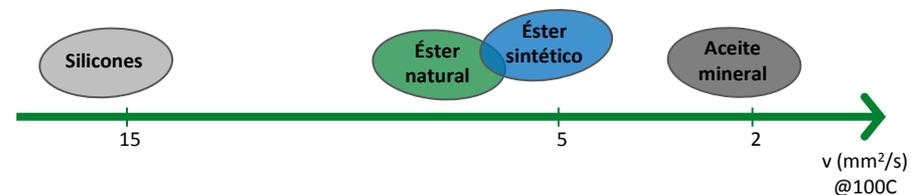
- Entre menor sea la viscosidad del aceite, mayor será su efectividad para disipar el calor en el transformador
- Al incrementarse la temperatura, la viscosidad del aceite disminuye
- El envejecimiento y la oxidación del aceite tienden a incrementar su viscosidad



Equipo para medir la viscosidad de fluidos



Diferencia de viscosidad en fluidos



Fluidos aislantes - propiedades

Punto de inflamación/ignición

El punto de inflamabilidad (flash point) → temperatura a la cual la mezcla de aire y vapor de aceite combustiona pero se extingue al momento de retirar la flama.

El punto de ignición (fire point) → temperatura a la cuál esta combustión se mantiene después de retirar la flama.

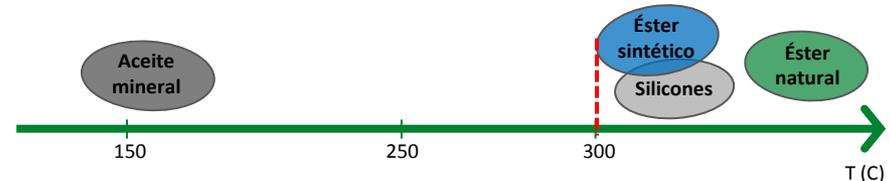
- Extremadamente sensible a la presencia de contaminantes → indica posible contaminación con combustibles
- Operación segura del transformador
- Los fluidos base éster presentan una resistencia a la flama muy superior a los aceite minerales convencionales



Equipo para flash/fire point (copa abierta)



Equipo para flash/fire point (copa abierta)



Fluidos aislantes - propiedades

Temperatura de punto de fluidez

También llamado punto de congelación o escurrimiento (pour point) es la temperatura a la cual el aceite se solidifica y deja de fluir.

Los aceites dieléctricos vegetales presentan temperaturas más altas a los valores típicos de los aceites minerales

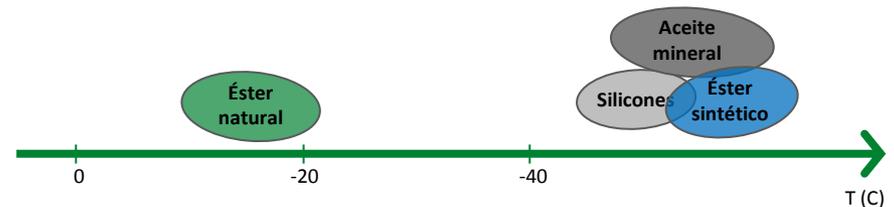
- De acuerdo con el tipo de fluido, se requiere de una guía para la aplicación en climas fríos.



Procedimiento típico para el pour point.



Diferencia de viscosidad en fluidos



Fluidos aislantes - propiedades

Estabilidad a la oxidación

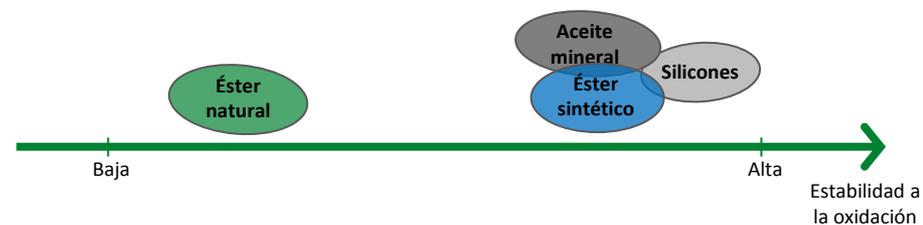
La vida de un transformador, es en realidad, la vida del sistema de aislamiento (aceite - aislamiento sólido; papel, cartón); y la vida del aceite está asociada con la oxidación.

Reacción química influenciada por el O_2 y temperatura. Los metales actúan como catalizadores en la oxidación.

- Aumenta el factor de potencia
- Disminuye la rigidez dieléctrica y tensión interfacial
- Incrementa el número de neutralización
- Aumenta su viscosidad
- Cambia su apariencia visual



Equipo para medir la estabilidad a la oxidación



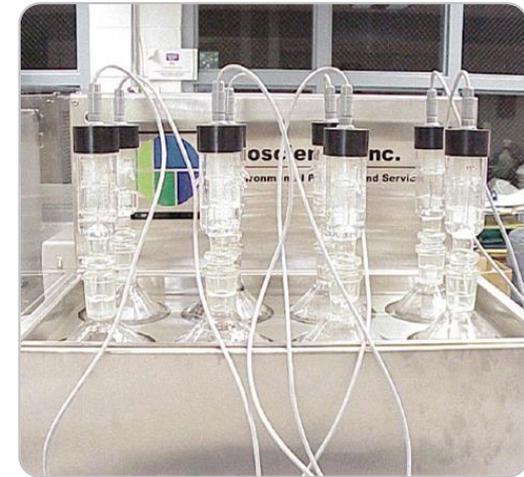
Fluidos aislantes - propiedades

Biodegradabilidad

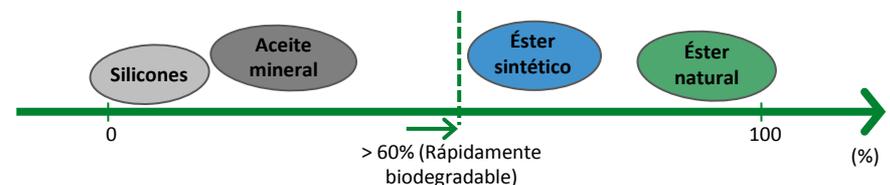
La biodegradabilidad es una propiedad de las sustancias químicas que determina su persistencia ambiental. Es la capacidad intrínseca de una sustancia a ser transformada en una estructura química más simple por vía microbiana (Ottenbrite y Albertsson, 1992).

Puede ser primaria → simples alteraciones estructurales del compuesto, o última → conversión a productos inorgánicos de bajo peso molecular y constituyentes celulares.

En la actualidad, es una propiedad altamente deseable en fluidos dieléctricos, ya que existen preocupaciones ambientales sobre efectos tóxicos y daños colaterales durante derrames de aceite en los transformadores (Cigre 2012).



Equipo utilizado en análisis de biodegradabilidad



Contenido

Introducción

- Transformadores industriales
- Fluidos aislantes
- Propiedades

Fluidos biodegradables – Aceite vegetal **VG-100®**

- Antecedentes
- Generalidades
- Principales características
- Resumen

Aplicaciones – Oferta de producto

Comentarios finales

Antecedentes

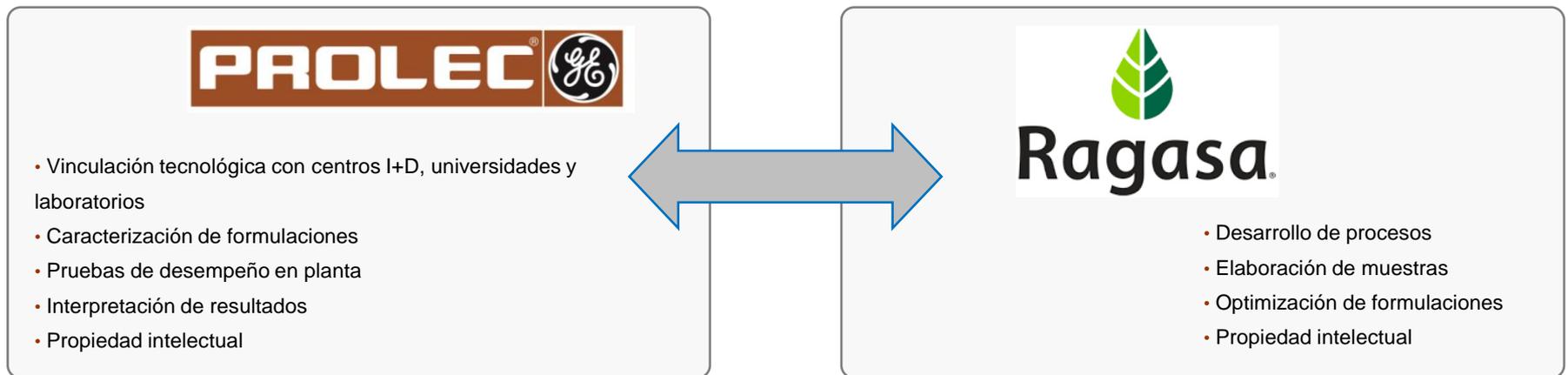
- Productos derivados del petróleo
 - No-renovable
 - Crecimiento en la demanda
 - Contaminación
- Aceites dieléctricos
 - Hidrocarburos...askareles, minerales, etc
 - Problemas ambientales...toxicidad
- Desarrollo de nuevas tecnologías
 - Ambientalmente amigables
 - Renovables



Estrategia

Desarrollo de un proyecto I+D para la obtención de un aceite vegetal, aplicable en transformadores eléctricos

Alianza estratégica con fabricante de aceite comestible local y vinculación tecnológica con centro de investigación nacional y laboratorios



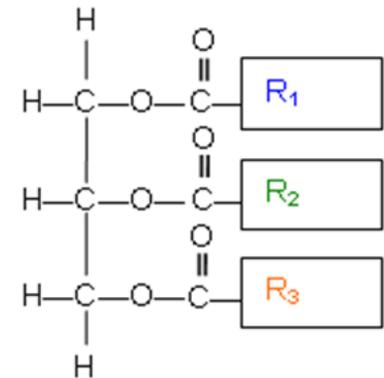
El desarrollo del aceite **VG-100**[®] fue del 2007 al 2009 → primera venta de transformador con **VG-100**[®] a inicios del 2010...

Origen y química del aceite

- ✓ El aceite **VG-100[®]** es un fluido dieléctrico derivado esteres naturales obtenidos de semillas comestibles
- ✓ Es 100% de origen natural, basado en semillas de soya, y libre de compuestos o aditivos externos
- ✓ El aceite **VG-100[®]** es obtenido a través de un innovador proceso de manufactura



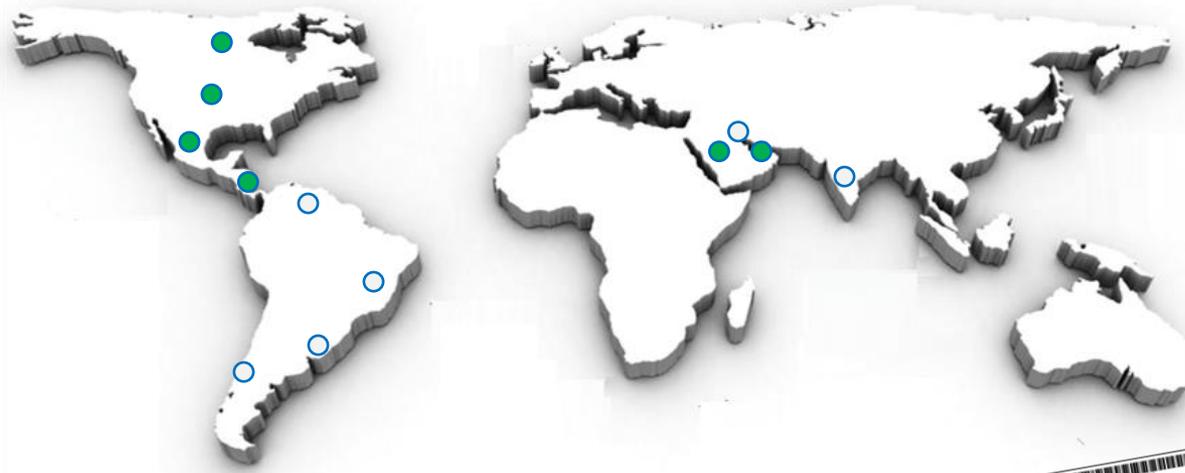
Éster natural



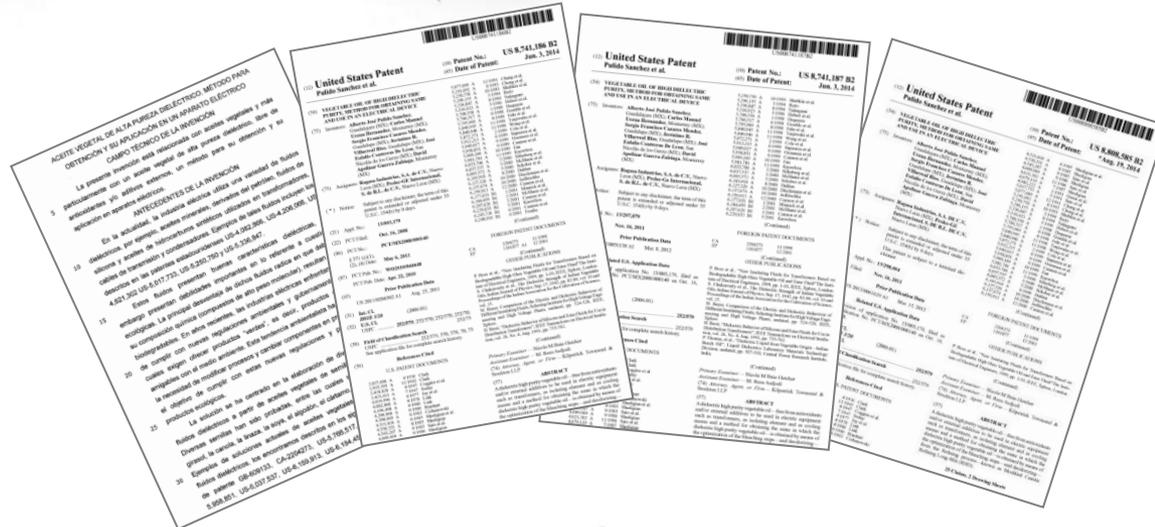
VG-100[®] – Información general



Prolec GE cuenta con patentes del aceite **VG-100[®]** (formulación, proceso y aplicación) registradas a nivel nacional e internacional.



- Patente otorgada
- Patente en proceso



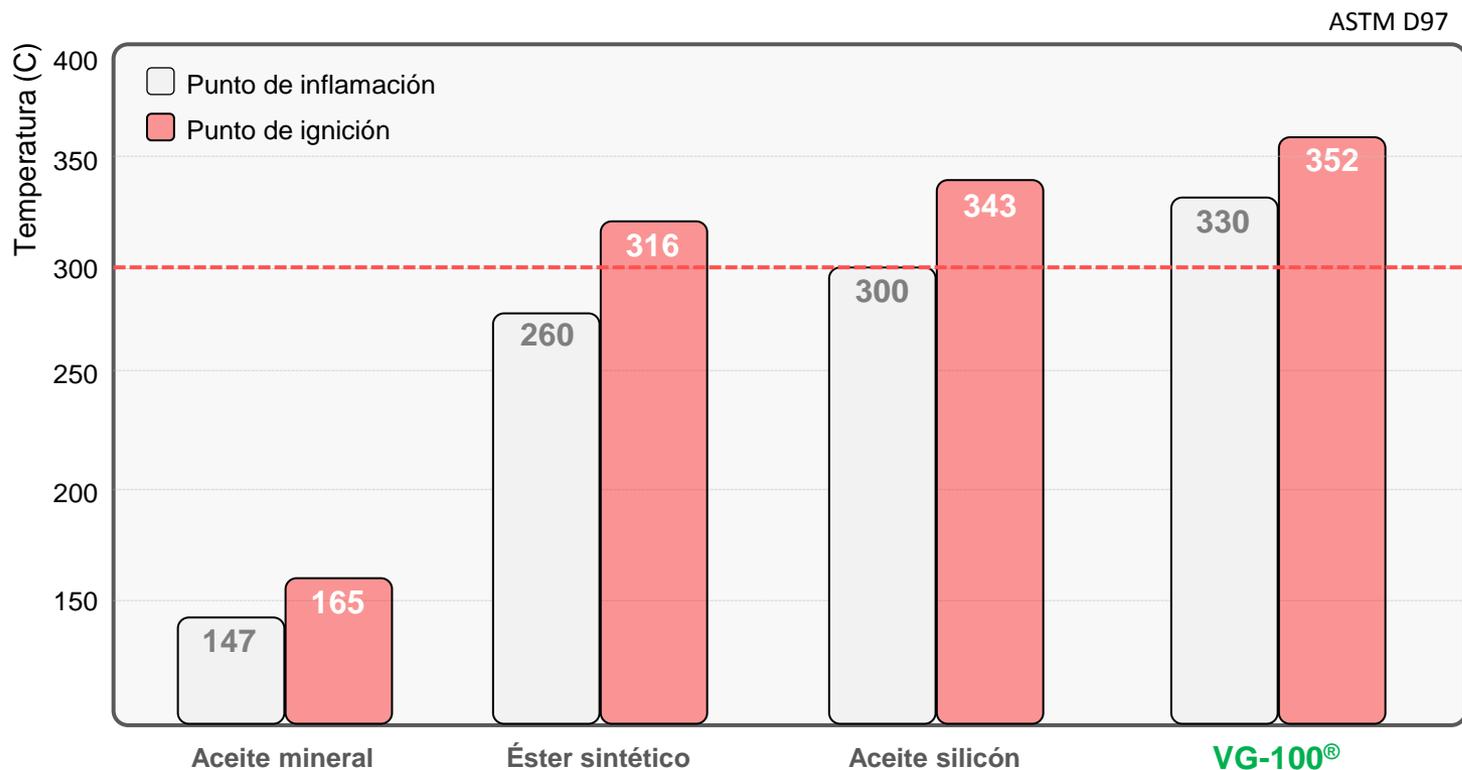
VG-100[®] – Información general



El aceite **VG-100[®]** cumple con los estándares actuales para aceites vegetales para uso en transformadores eléctrico, además de contar con certificaciones de seguridad

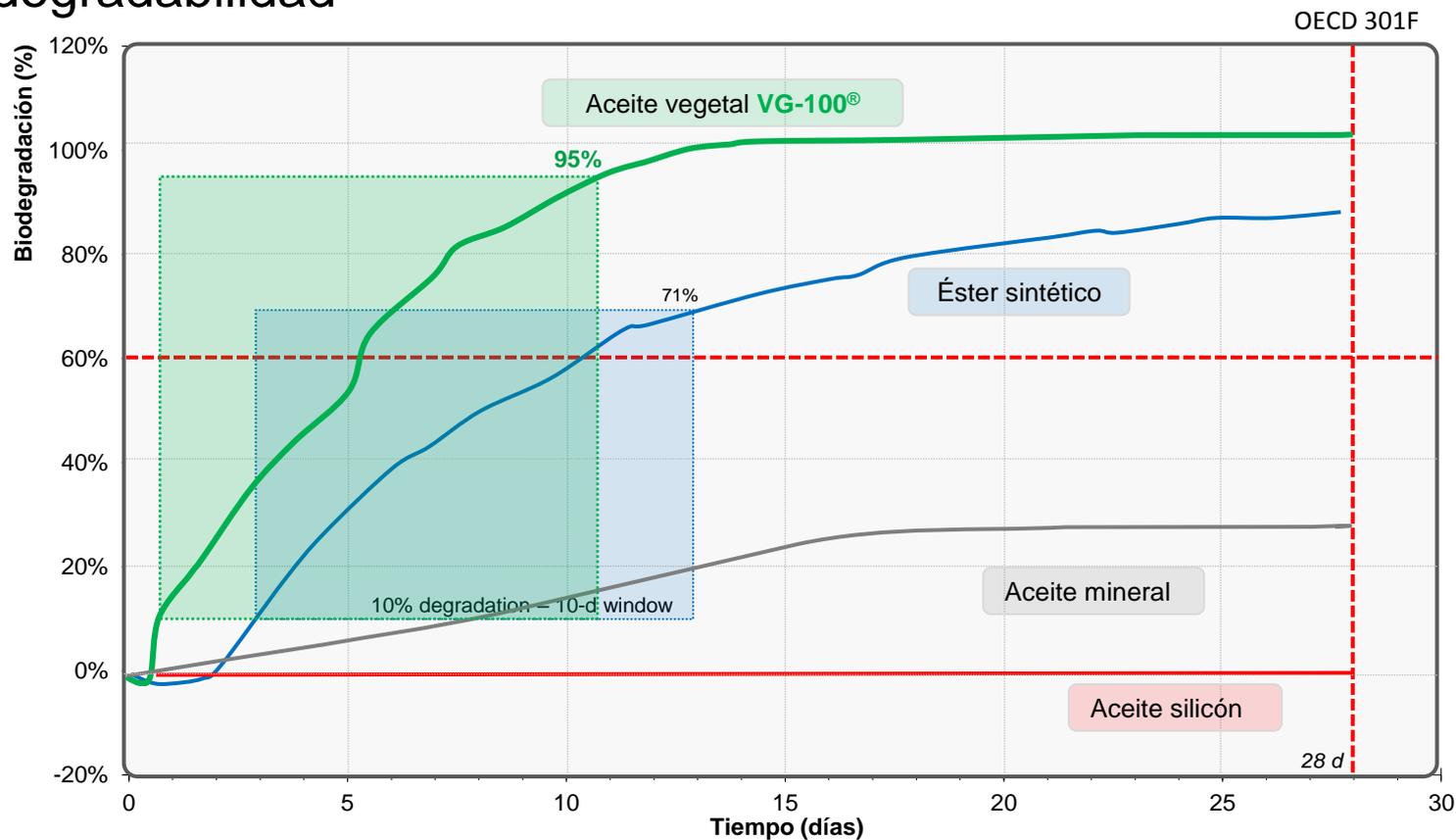


Resistencia al fuego



El aceite vegetal **VG-100[®]** presenta un alto punto de ignición...superior **>2x** al del aceite mineral → es adecuado para instalaciones en interiores...

Biodegradabilidad



El aceite vegetal **VG-100[®]** es altamente y rápidamente biodegradable...**95%** en 11 días → amigable con el medio ambiente

Toxicidad

Tiempo de exposición en truchas tipo arcoiris (Rainbow trout)	% Mortalidad
24 hrs	0
48 hrs	0
72 hrs	0
96 hrs	0

Mortalidad cero en peces, sin afectación en el comportamiento → **aceite no-tóxico**

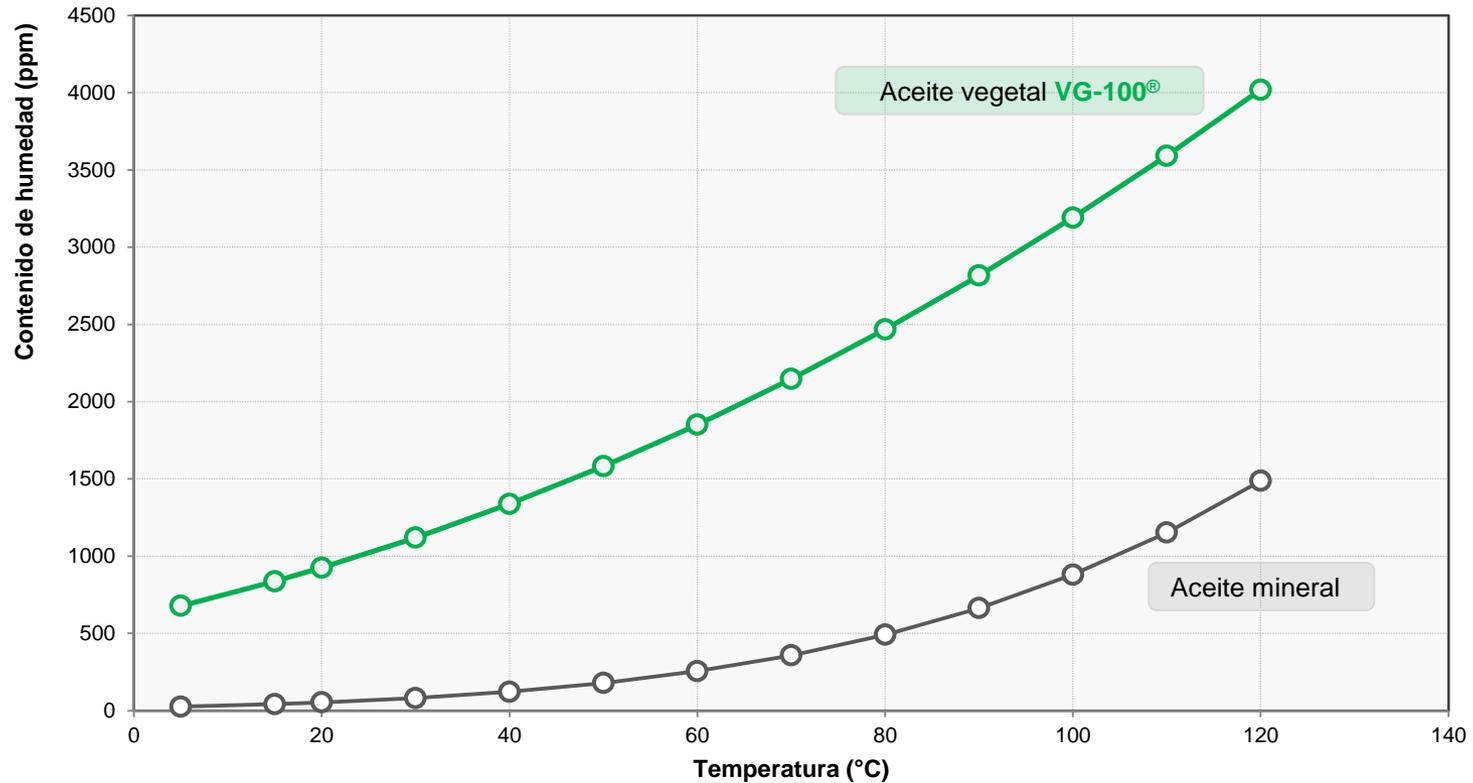
OECD 203



L. Honary, Bioproducts & Applications for Vegetable Oils - Aquatic Toxicity Tests
Freshwater Fish, Acute Toxicity Test (OECD 203) Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*)

El aceite vegetal **VG-100[®]** es clasificado como **no-tóxico**, ya que es 100% de origen natural, libre de aditivos sintéticos → amigable con el medio ambiente

Saturación de humedad

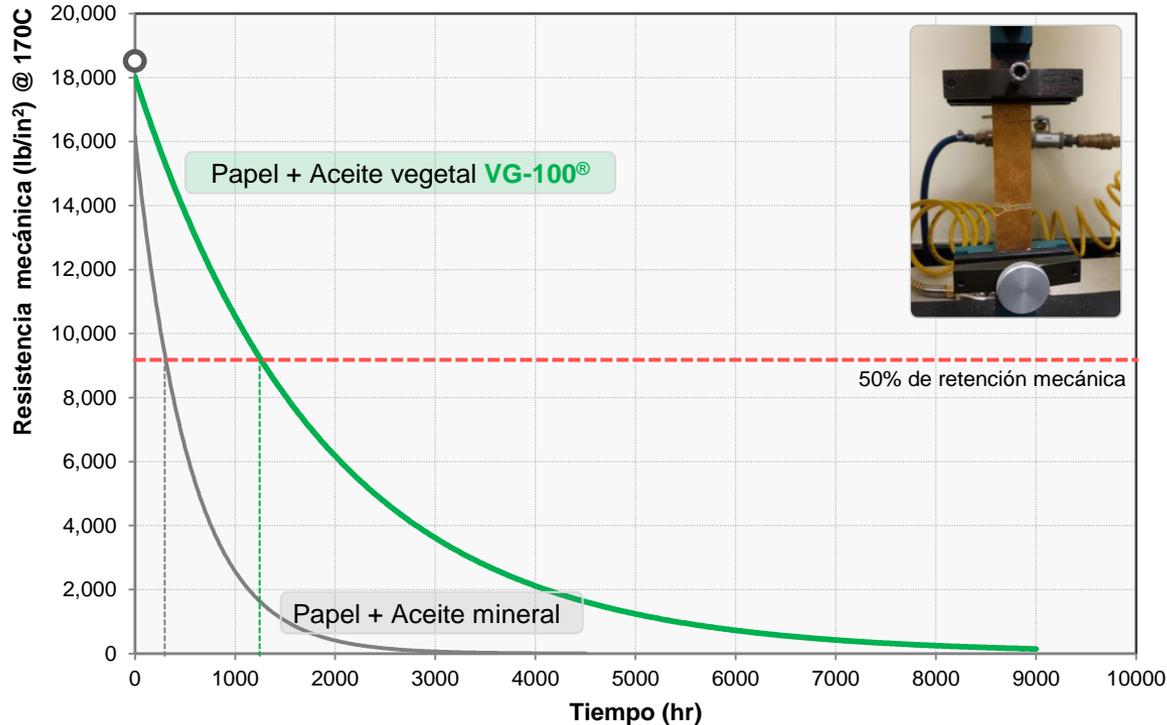


El aceite vegetal **VG-100[®]** presenta una capacidad superior para absorber humedad en comparación del aceite mineral → absorbe la humedad de los aislamientos

VG-100[®] – Principales características



Envejecimiento acelerado (papel – aceite)



IEEE C57.100



Recipientes utilizados en las pruebas de tubo sellado



Apariencia del aceite posterior al tratamiento de envejecido

El aceite vegetal VG-100[®] disminuye el envejecimiento del papel ~5x en comparación con el aceite mineral @ 170° C → incremento del tiempo de vida del sistema aislante

Compatibilidad con materiales

Material	Cumple ●	No cumple X
Conductor - cobre	●	
Conductor – aluminio	●	
Acero al silicio	●	
Empaques (varios)	●	
Resinas poliméricas	●	
Nylon	●	
Papel aislante celulosa (varios)	●	
Aislamiento no-celulosa (varios)	●	
Pressboard	●	
Bloques de aislamiento / maderas	●	
Pintura	●	

ASTM D3455



Recipientes dentro del horno



Muestras posterior al análisis de compatibilidad

El aceite vegetal **VG-100[®]** es compatible con los materiales convencionales utilizados en transformadores eléctricos → confiabilidad para uso en transformadores

VG-100[®] – Principales características



Estabilidad a la oxidación (método C, IEC 61125)

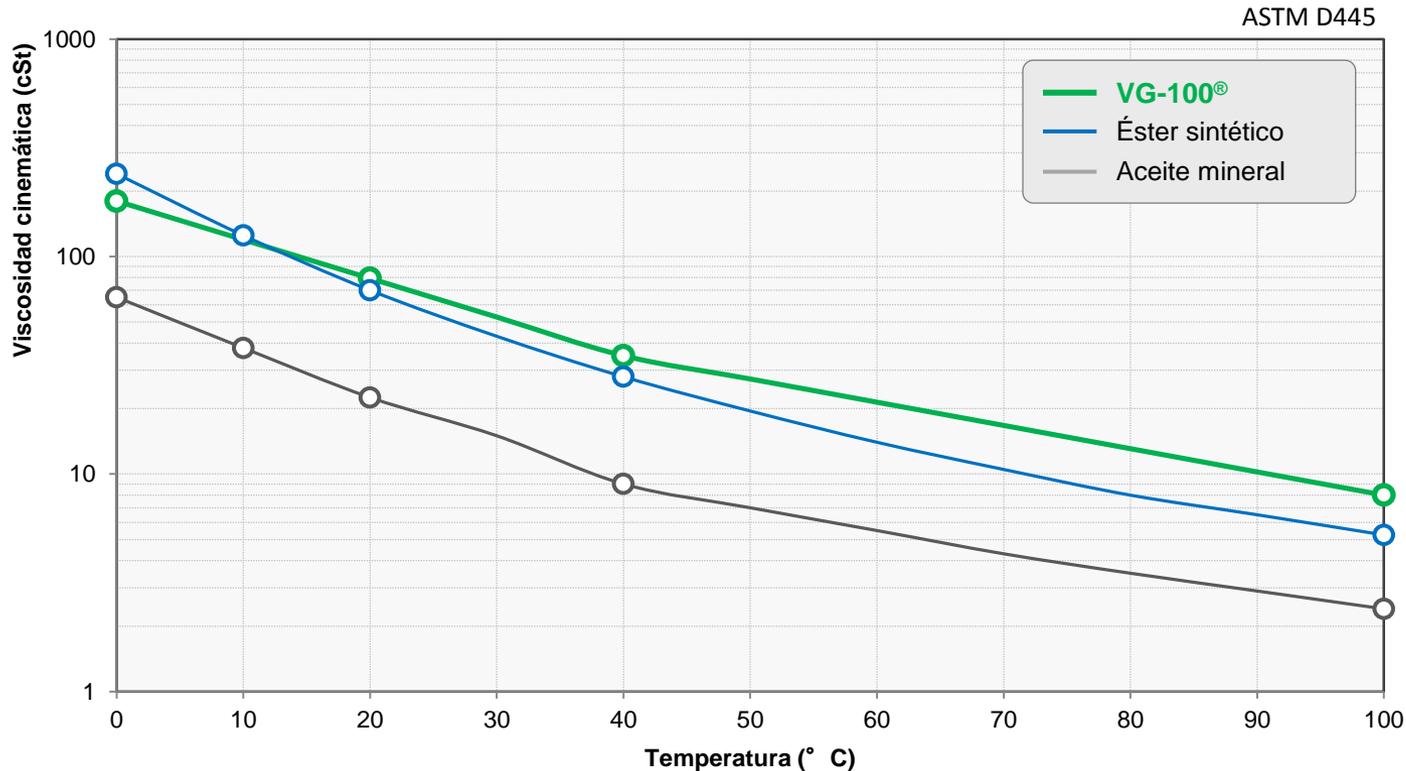
Propiedad	Unidad	Estandar	Criterio de aceptación	VG-100 [®]
Acidez	mg KOH/g	IEC 62021-3	≤ 0.6	● 0.4
Factor de potencia (90° C)	tan δ	IEC 60247	≤ 0.5	● 0.2



Equipo para la prueba de estabilidad a la oxidación de aceites

El aceite vegetal **VG-100[®]** cumple satisfactoriamente con los requerimientos de estabilidad a la oxidación → confiabilidad para uso en transformadores

Viscosidad

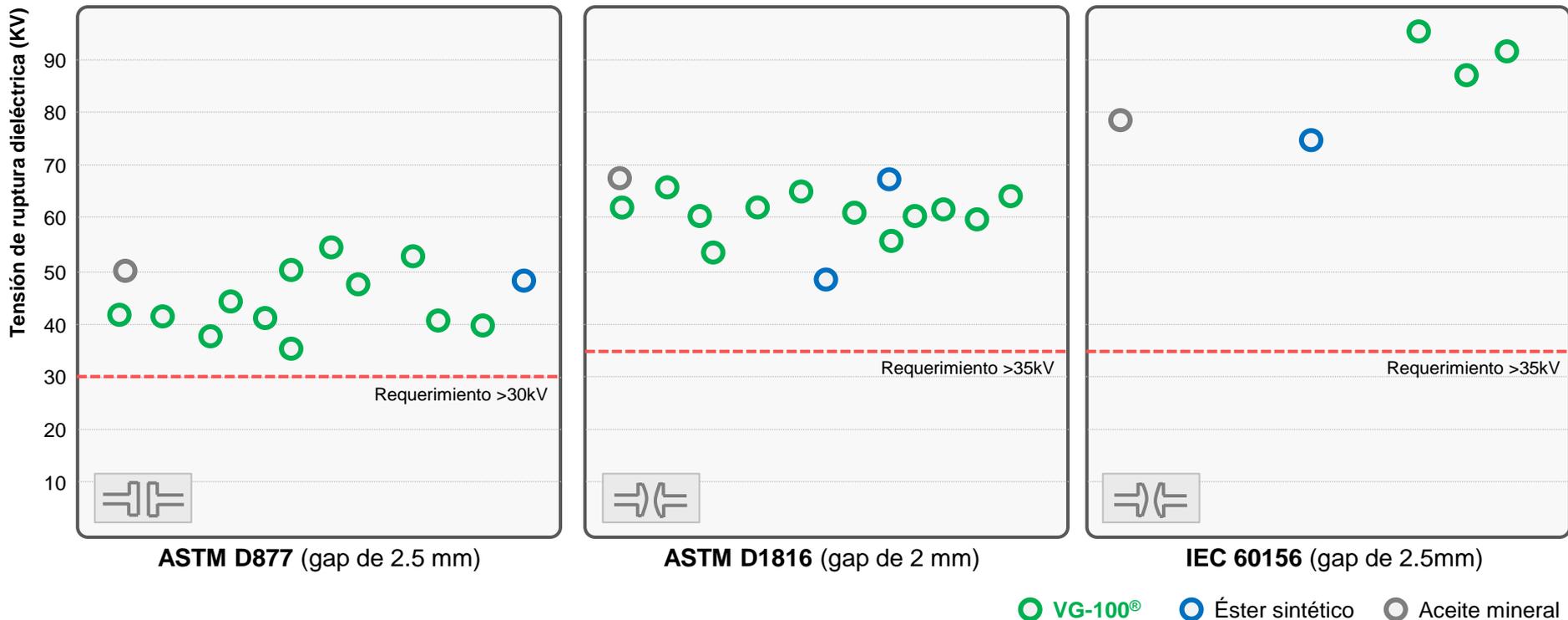


El aceite vegetal **VG-100[®]** cumple con los requerimientos de viscosidad → mayor viscosidad que el aceite mineral...implicaciones en diseño de enfriamiento

VG-100[®] – Principales características



Capacidad aislante



El aceite vegetal **VG-100[®]** presenta un desempeño dieléctrico similar al aceite mineral → cumple satisfactoriamente con los requerimientos actuales

VG-100[®] – Resumen

El aceite **VG-100[®]** es un fluido biodegradable, **100% natural** y **NO-tóxico** para aplicaciones eléctricas.

Cumple con los estándares nacionales e internacionales y certificaciones para su aplicación en transformadores.

Presenta excelentes características de **resistencia al fuego** y **biodegradabilidad** con respecto al aceite mineral convencional.

Uso exitoso en aplicaciones de **distribución** → aplicaciones de energía renovable - solar, eólico → características térmicas del **VG-100[®]**.

Aplicación en transformadores de **potencia** hasta 115kV ...en proceso aplicación >230kV.

Contenido

Introducción

- Transformadores industriales
- Fluidos aislantes
- Propiedades

Fluidos biodegradables – Aceite vegetal VG-100®

- Antecedentes
- Generalidades
- Principales características
- Resumen

Aplicaciones – Oferta de producto

Comentarios finales

Oferta de producto Prolec GE



Transformador diseñado y construido para operar con aceite de alto punto de inflamación marca **VG-100®**, lo cual permite mínimo impacto al medio ambiente

Alcance de Producto (DT/PT)

- Aplicación tradicional
- Parques eólicos
- Plantas solares
- Transformadores de potencia y subestaciones urbanas (hasta 115kV)



Ventajas

- Incrementa la seguridad en operación...se puede instalar adentro de plantas, escuelas, hospitales
- Mayor confiabilidad...mayor vida útil del sistema aislante (aceite-papel)
- **Ecológico**



Contenido

Introducción

- Transformadores industriales
- Fluidos aislantes
- Propiedades

Fluidos biodegradables – Aceite vegetal VG-100®

- Antecedentes
- Generalidades
- Principales características
- Resumen

Aplicaciones – Oferta de producto

Comentarios finales

Prolec GE está comprometido con sus clientes y sociedad, ofreciendo productos de alto valor agregado, de elevada confiabilidad, excelente desempeño y de bajo impacto ambiental.

La tendencia en el uso de fluidos biodegradables en transformadores ha incrementado...aplicaciones especiales: eólico, solar, subestaciones urbanas, etc.

Prolec GE ofrece como alternativa el uso del aceite vegetal **VG-100[®]**, el cual presenta una excelente resistencia a la flama, alta biodegradabilidad y excelente desempeño.

En los últimos años, la aplicación del aceite **VG-100[®]** ha incrementado de manera importante en México y Estados Unidos.



Gracias por su atención.

Dr. José Eulalio Contreras de León

Ingeniero de Investigación en Materiales Aislantes

Prolec GE – Centro de Investigación Aplicada

contreras.jose@ge.com

80302000 x.2816