



Tolerancia a la humedad

OCTUBRE 2025 Página 1 de 2

Tolerancia a la humedad

IsoTec SE 300 posee una tolerancia a la humedad muy alta y, por lo tanto, puede absorber significativamente más agua sin que sus propiedades dieléctricas se vean afectadas, mucho más que el aceite mineral o el líquido de silicona. Además, IsoTec SE 300 puede retener el agua y, de este modo, ralentizar el proceso de envejecimiento de la celulosa. En cambio, en el aceite mineral existe el riesgo de que el agua contenida se libere como condensado.

Importancia de la tolerancia a la humedad en transformadores:

Resistencia a la ruptura dieléctrica: disminuye al aumentar el contenido de humedad

Velocidad de envejecimiento del papel: aumenta con el incremento de la humedad

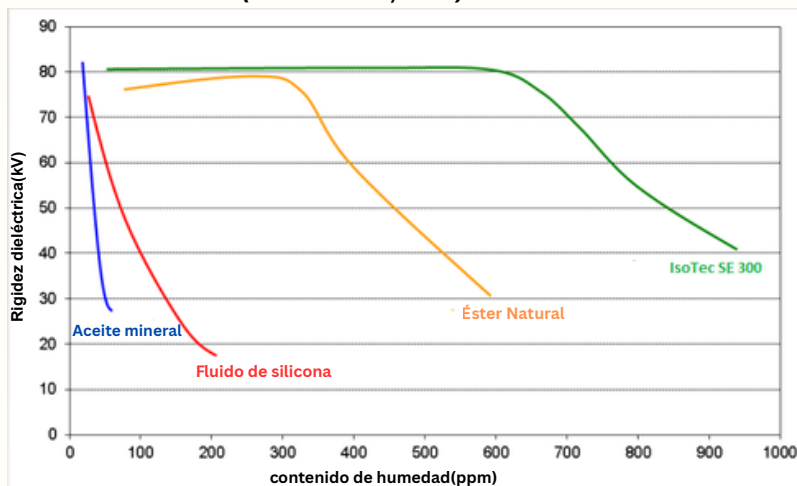
Formación de burbujas durante sobrecargas: las burbujas se forman a temperaturas más bajas y cuando aumenta la humedad del papel

Condensación al enfriarse: riesgo de liberación de agua libre del aceite mineral

Resistencia a la ruptura dieléctrica

La Fig. 1 muestra la rigidez dieléctrica a temperatura ambiente de IsoTec SE 300, éster natural, aceite mineral y líquido de silicona en función del contenido de humedad. La figura evidencia que incluso pequeñas cantidades de agua en el aceite mineral y en el líquido de silicona reducen rápidamente la rigidez dieléctrica. En cambio, IsoTec SE 300 presenta una alta tolerancia a la humedad: incluso con más de 600 ppm de humedad, la rigidez dieléctrica se mantiene estable por encima de 75 kV.

**Fig. 1 - Rigidez dieléctrica y contenido de humedad a 20 °C
(IEC 60156 - 2,5 mm)**



Envejecimiento del papel

El envejecimiento del papel está directamente relacionado con el contenido de agua. Varios estudios muestran que la vida útil de la celulosa puede reducirse hasta diez veces por cada porcentaje adicional de agua. A medida que avanza el envejecimiento, la celulosa libera agua, lo que acelera aún más el proceso. Por ello, es fundamental mantener la celulosa lo más seca posible.

IsoTec SE 300 puede absorber más humedad que el aceite mineral. Esto reduce la cantidad de agua en el papel, lo que a su vez disminuye la velocidad de envejecimiento.

Mediante curvas de equilibrio de humedad se puede demostrar que, a 60 °C, un contenido de agua en IsoTec SE 300 corresponde a un contenido de agua en la celulosa del 1,1 %. En las mismas condiciones, el aceite mineral con un contenido de agua de 20 ppm daría lugar a un contenido de agua en la celulosa del 2,6 %.

El 1,5 % adicional de humedad reduce la vida útil de la celulosa a al menos una décima parte de la vida útil normalmente esperada.

Formación de burbujas durante sobrecargas

Las burbujas en líquidos dieléctricos son eléctricamente débiles y, por lo tanto, indeseables. Según la norma IEC 60076-14, la temperatura a la que se forman las burbujas depende directamente del contenido de humedad de la celulosa.

Durante fases de sobrecarga, la temperatura de los conductores envueltos en papel aumenta, lo que incrementa el riesgo de alcanzar temperaturas críticas para la formación de burbujas.

Con un contenido de agua en el papel del 2,6 %, las burbujas se forman a 130 °C, mientras que con un contenido de agua del 1,1 %, las burbujas no aparecen hasta 165 °C.

Dado que IsoTec SE 300 mantiene el papel más seco, el margen de seguridad durante sobrecargas es mayor.

Tolerancia a la humedad

OCTUBRE 2025 Página 2 de 2

Condensación durante el enfriamiento

En el aceite mineral, al enfriarse el transformador de la temperatura de operación a la temperatura ambiente, se puede liberar agua. Esto se debe a que el aceite mineral tiene un límite de saturación de humedad bajo, que disminuye aún más al bajar la temperatura. IsoTec SE 300 presenta un límite de saturación significativamente más alto y, por lo tanto, alcanza el punto de saturación solo bajo condiciones mucho más exigentes.

Ejemplo: Un transformador lleno de aceite mineral, con un contenido de agua en el papel del 1,5 % y una temperatura de operación de 90 °C, tendría un contenido de agua en el aceite mineral de 65 ppm. Después de apagar el transformador, el agua tiende a permanecer en el aceite mineral. Sin embargo, a 20 °C, el límite de saturación del aceite mineral es de 55 ppm. Por lo tanto, el aceite mineral estaría saturado al 118 % y liberaría agua libre en el transformador. Al mismo tiempo, la rigidez dieléctrica del aceite mineral sería muy baja, aumentando significativamente el riesgo de fallo al reiniciar.

Bajo las mismas condiciones, IsoTec SE 300 tendría un contenido de agua de aproximadamente 700 ppm a 90 °C. El límite de saturación de IsoTec SE 300 a 20 °C es de 2700 ppm. Incluso si toda el agua permaneciera en IsoTec SE 300, el líquido estaría saturado solo al 26 %. Por lo tanto, no se formaría agua libre y la rigidez dieléctrica se mantendría muy alta.

Tabla 1 - Normas para el contenido de humedad

Norm	Contenido de humedad
IEC 61099 – ésteres nuevos	max. 200ppm
IEC 61203 – ésteres en uso	max. 400ppm
IEC 60296 – aceites minerales nuevos	max. 30ppm
IEC 60422 – aceites minerales en uso*	max. 30ppm

Nota: El valor típico para el nuevo IsoTec SE 300 es de 50 ppm

* Para instalaciones >72,5 kV o <170 kV

Prueba de contenido de humedad

Las normas para el contenido de humedad de líquidos nuevos y en uso se muestran en la Tabla 1. IsoTec SE 300 se fabrica según estándares muy altos y presenta un contenido de humedad típico de 50 ppm.

IsoTec SE 300 se mantiene dentro del rango de especificación hasta 400 ppm. En cambio, el aceite mineral, con algo más de 300 ppm, ya se encuentra fuera del rango de especificación. Esto afecta directamente a la evaluación del contenido de humedad. En los transformadores equipados con un sistema de monitoreo de humedad, los ajustes de tolerancia deben adaptarse en consecuencia.

Eliminación de la humedad

Si el contenido de humedad supera el valor máximo recomendado para la operación, los mismos procedimientos y equipos utilizados para deshumidificar el aceite mineral también se pueden emplear para IsoTec SE 300. Ejemplos de ello son los tamices moleculares y los filtros de vacío.

Para obtener más información sobre las ventajas de IsoTec SE 300 en cuanto a tolerancia a la humedad y prolongación de la vida útil de los equipos, puede contactar al equipo técnico en info@isotec.bio