

# NUEVA PRÁCTICA PARA DETERMINAR EL DETERIORO DEL AISLAMIENTO DE LOS TRANSFORMADORES DE CORRIENTE (CTs) EN SUBESTACIONES DE ALTA Y EXTRA ALTA TENSIÓN

Alejandro Santa Calderón  
Analista Dirección Mantenimiento  
INTERCOLOMBIA

# Introducción

- El monitoreo de la condición a los equipos de subestaciones eléctricas de alta y extra alta tensión, se ha convertido en una herramienta fundamental que sustenta la toma de decisiones a través del ciclo de vida del activo.
- El presente trabajo da una introducción a un nuevo método que amplía el potencial de la prueba de factor de potencia o Tangente delta para evaluar la condición del aislamiento Papel – Aceite en transformadores de corriente (CTs), equipos cuyo riesgo de falla posee grandes implicaciones en la afectación al desempeño operativo del sistema eléctrico, como a la integridad de los activos aledaños e incluso lesiones que puedan ser causadas sobre el personal que se encuentre cerca al equipo al momento de la falla, y las consecuencias medioambientales producto del derrame de aceite..
- Esta variante al método clásico de la prueba de pérdidas en el dieléctrico, utiliza la evaluación de la respuesta en frecuencia del aislamiento, a través de un barrido en frecuencia para un rango entre 15 y 400Hz, permitiendo visualizar cambios representativos de la tendencia a la degradación del aislamiento papel – aceite, que no pueden ser visualizados mediante la prueba realizada únicamente a 60Hz.
- Este trabajo presenta la implementación de una metodología de evaluación de la prueba, que no solo se encuentra ligada al método grafico cualitativo, sino a una cuantificación analítica de la degradación del aislamiento.

# ¿Porque evaluar el aislamiento de un transformador de corriente?

RCM2

Modos de Falla en Transformadores de corriente

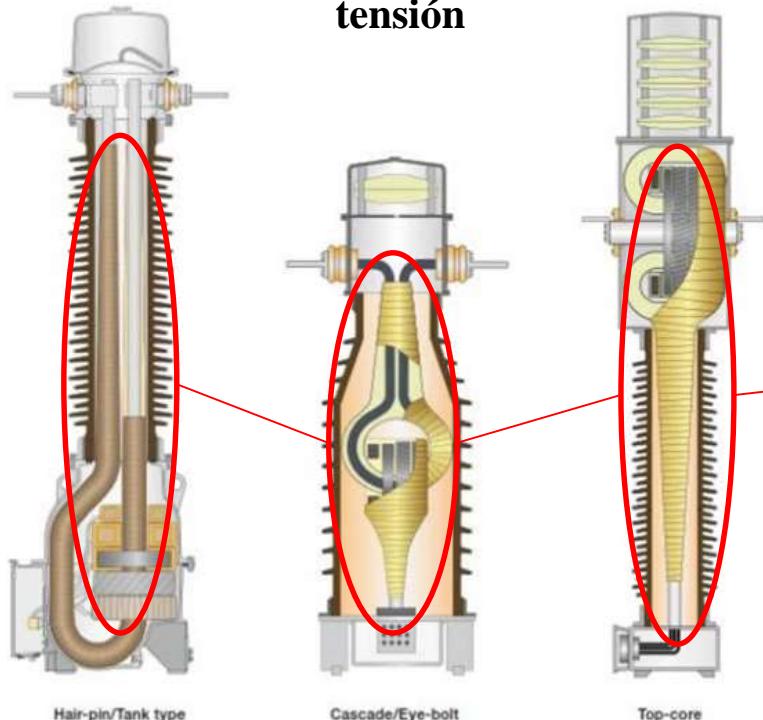
Afectación al sistema aislante Papel - Aceite

Monitorear la evolución del deterioro aislamiento en el tiempo

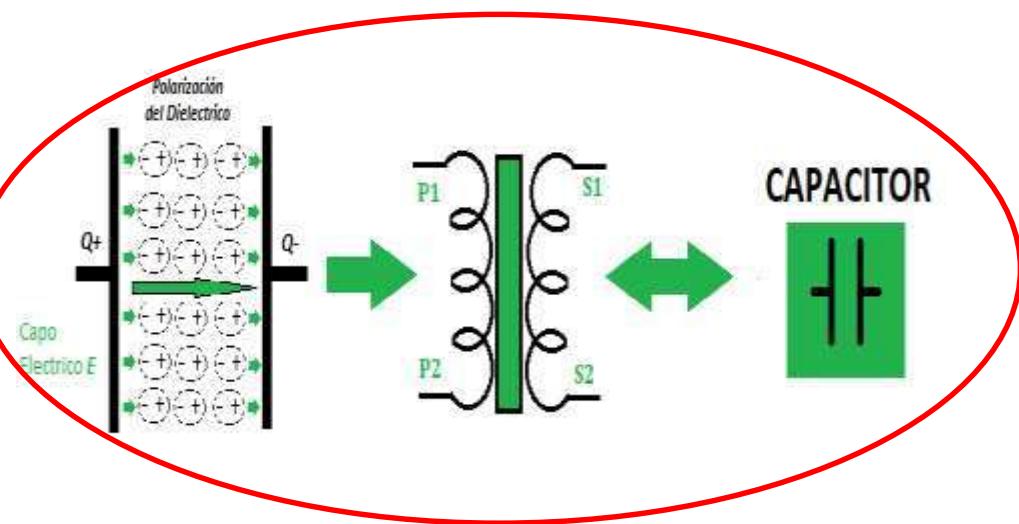
Medir las pérdidas de tipo conductivas y de polarización en el aislamiento, y la variación de la capacitancia.

# Sistema Aislante Papel-Aceite en transformadores de Corriente

\*Transformadores de corriente  
(CTs) para Alta y extra alta tensión

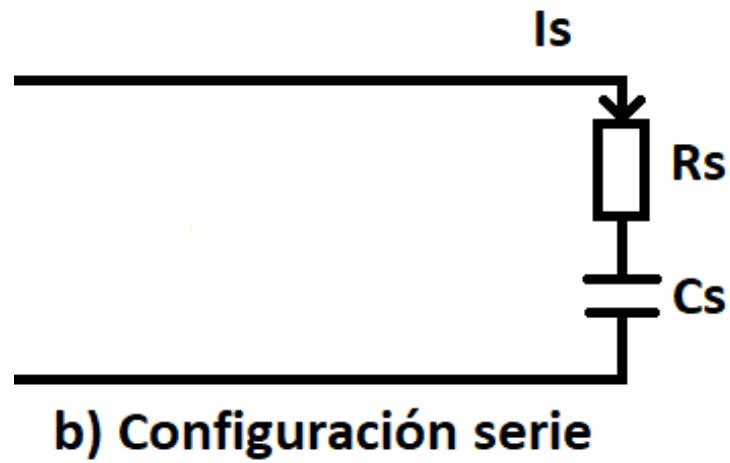
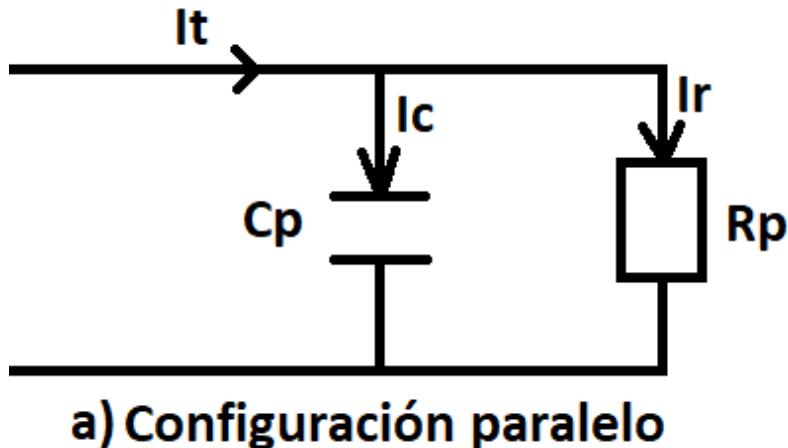


Característica capacitiva que presenta el sistema aislante papel-aceite, ante diferencias de potencial



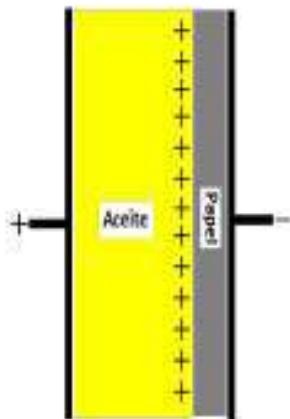
\*Imagen tomada de: Current Transformer Theory & Testing  
Hands On Relay School 2016 - Jay Anderson –Omicron Academy

# Configuraciones paralelo y serie para modelar la respuesta dieléctrica ante fenómenos de conducción y polarización respectivamente

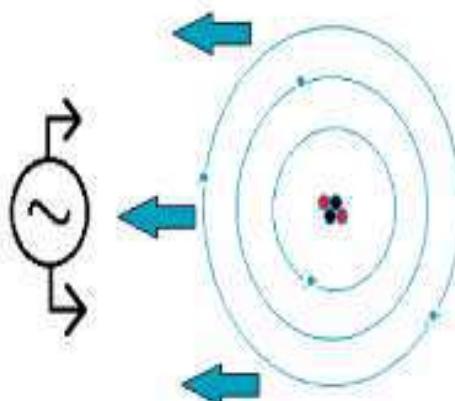


# Representación de los fenómenos de polarización en el sistema aislante Papel-Aceite

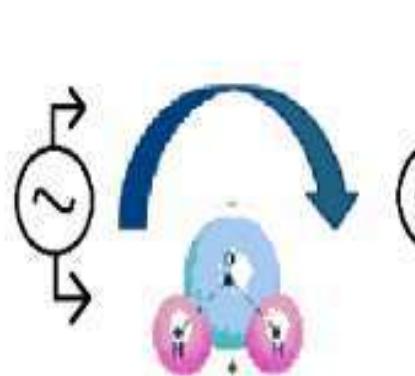
**Perdidas Interfaciales:**  
Acumulación de cargas en  
interfaces de materiales



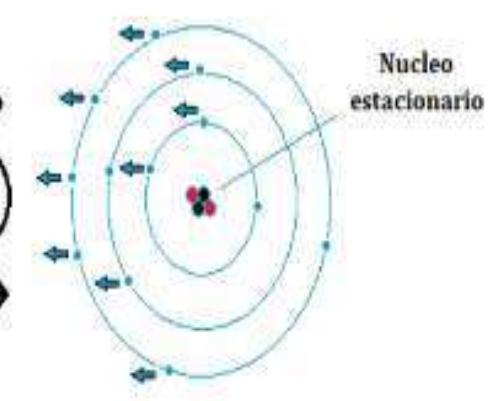
**Perdidas por Ionización:**  
Movimiento de los átomos  
cargados (iones)



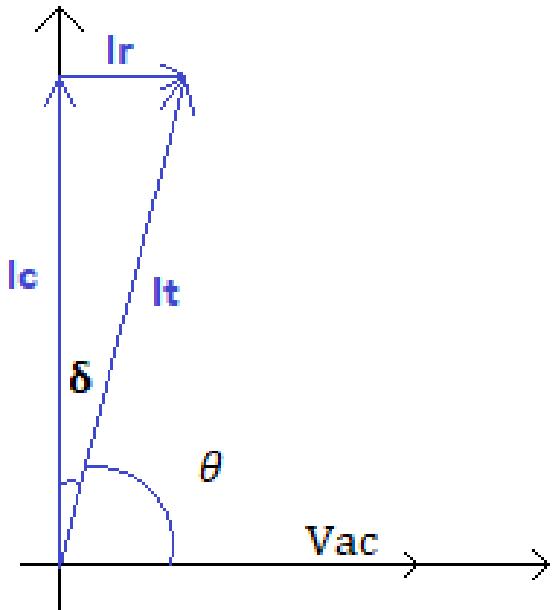
**Perdidas por Orientación:**  
Alineación de los dipolos  
permanentes en unción de la  
dirección del campo eléctrico



**Perdidas Electrónicas:**  
Movimiento de la nube de  
electrones

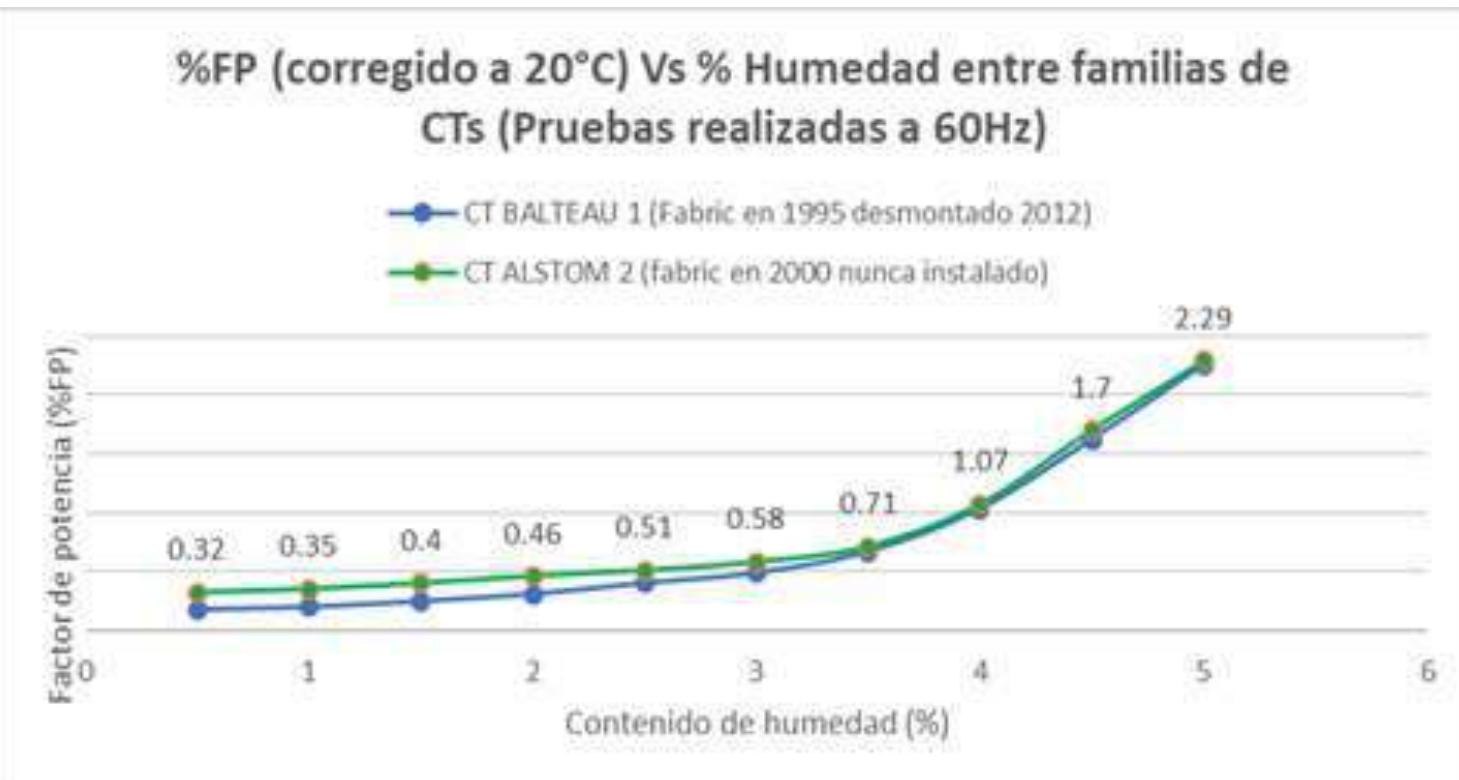


# Representación vectorial de corrientes y tensiones en el Sistema aislante Papel - Aceite



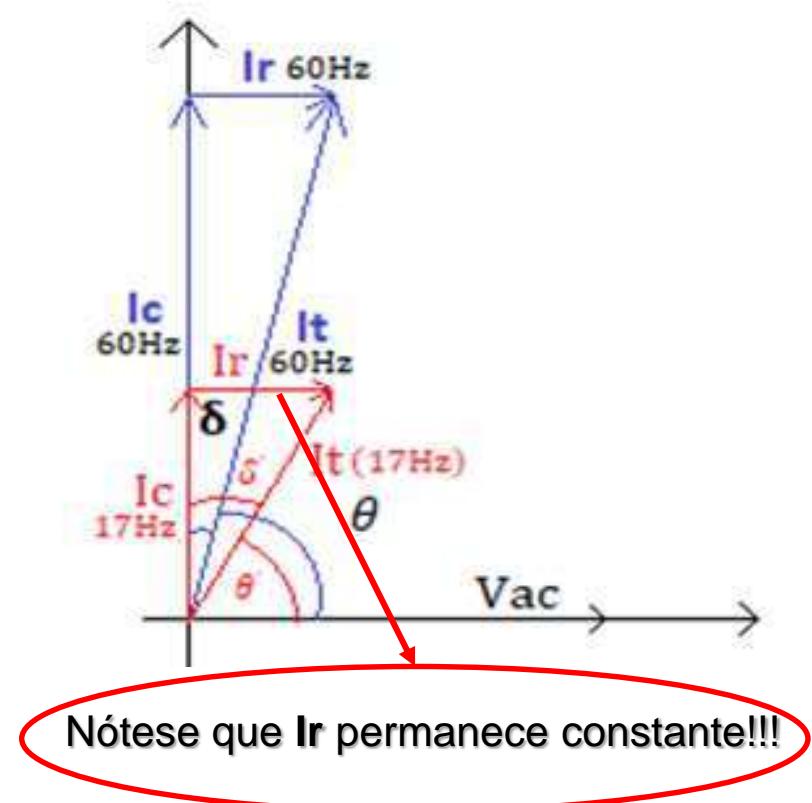
- Pérdidas ( $W$ ) =  $V * I_r$  [1]
- Capacitancia ( $C_p$ ) =  $I_c / V \omega$  de donde  $I_c = C_p * V * \omega$  con  $\omega = 2 * \pi * F$  [2]
- Corriente total ( $I_t$ ) =  $\sqrt{I_r^2 + I_c^2}$  [3]
- $I_t * \cos \theta = I_r$  [4]
- Por (4) en (1)  $W = V * I_t * \cos \theta$  [5]
- Donde de (5)  $\cos \theta = FP$

# Tendencia del FP% ante incremento de humedad en un CT



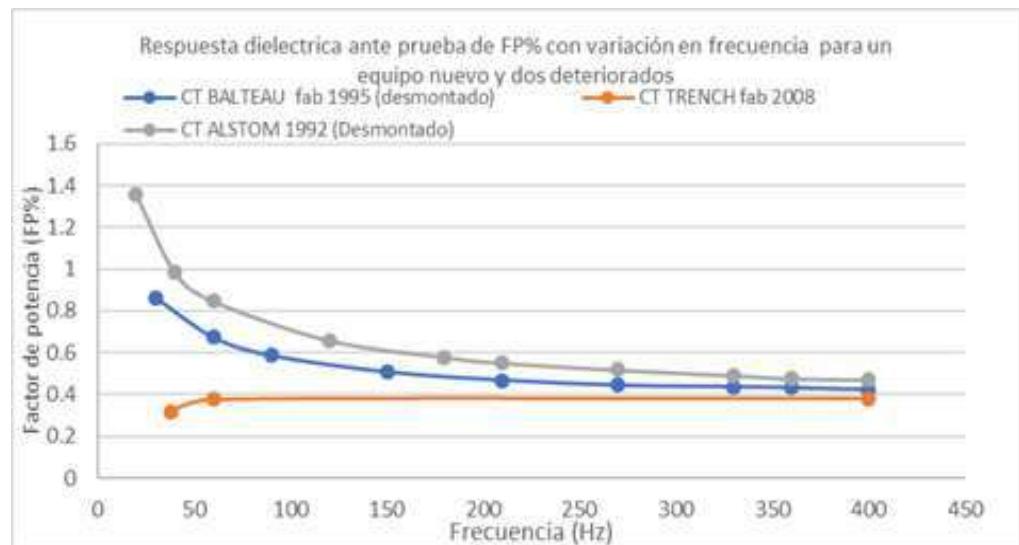
# Factor de potencia con frecuencia variable

- También conocido como VFPF (Variable Frequency Power Factor, por sus siglas).
- Medida del FP% o  $\tan(\delta)$  en un rango de frecuencias para ampliar la ventana de evaluación del incremento de las pérdidas a través del aislamiento.
- Permite caracterizar la razón del deterioro del aislamiento.



# Respuesta dieléctrica ante prueba de factor de potencia VFPF

- Rango de prueba entre 15Hz y 400Hz.
- Se obtiene una tendencia de los valores que puede ser graficada.
- Es posible evaluar mediante el comportamiento de las pendientes entre 15Hz y 60Hz y entre 60Hz y 400Hz el estado de deterioro del sistema de aislamiento papel – aceite.



## Otras bondades del VFPF

- La prueba VFPF se evalúa como un conjunto de datos de manera gráfica, lo que posibilita observar la tendencia al deterioro del aislamiento, sin realizar una compensación de temperatura a 20°C. Es importante resaltar que el factor de corrección por temperatura (genérico), se encuentra estipulado por el estándar [IEEE Std C57.12.90-2006](#) en su sección 10.10.5. sin embargo, fue removido de la norma, en su actualización, de acuerdo a la siguiente nota:

*“Nota 3.b. -La experiencia ha demostrado que la variación en el factor de potencia con la temperatura es sustancial y errática de modo que ninguna curva de corrección única se ajuste a todos los casos”.*

## Otras bondades del VFPF

- Aunque pueden presentarse variaciones en las pérdidas por polarización y conducción por cambios de temperatura, la tendencia del deterioro del aislamiento punto a punto se mantendrá, lo cual convierte al método VFPF en un elemento de evaluación efectivo para determinar el estado del sistema de aislamiento papel – aceite de los equipos.

# Tendencia al deterioro del aislamiento (Papel-Aceite) de acuerdo al signo de las pendientes

Tendencia al deterioro del aislamiento (Papel - Aceite) de acuerdo al signo de las pendientes para la prueba VFFP

Signo de la Pendiente entre 15Hz y 60Hz	Signo de la Pendiente entre 60Hz y 400Hz	Consideración
+	+	Equipo sin presencia de pérdidas por polarización y sin pérdidas de tipo
+	-	Equipo cuyo aislamiento presenta bajas pérdidas por polarización, adecuado para el funcionamiento
-	+	Equipo con una evolución en el deterioro del aislamiento por pérdidas de polarización producto del envejecimiento del aislamiento. Debe hacerse seguimiento
-	-	Aislamiento deteriorado, por presencia de compuestos polares y otros contaminantes, debe revisarse el incremento de factor de potencia respecto a pruebas anteriores para evaluar el deterioro por conducción y revisarse el valor de las pendientes, para determinar si debe o no ser desmontado.

# Valoración de las pendientes negativas (entre 30Hz y 60Hz) para las pérdidas por polarización en transformadores de corriente con aislamiento papel - aceite

Valoración de las pendientes negativas para las pérdidas por polarización en transformadores de corriente con aislamiento papel-aceite

Pendiente (%) entre 30 Hz y 60 Hz	Condición
M = 0%	Equipo en condiciones adecuadas de operación
M entre 0% y -0.01%	Equipo con envejecimiento del aislamiento y presencia de pérdidas polares, debe realizarse seguimiento
M entre -0.01% y -0.02%	Equipo con deterioro apreciable del sistema papel aceite con altas pérdidas por polarización, debe programarse su remplazo
M < -0.02%	Equipo con muy altas pérdidas por polarización, debe ser desmontado con la mayor brevedad posible

# Conclusiones

- El método VFPF amplía la ventana de evaluación de la condición de los sistemas de aislamiento papel-aceite ante la prueba de factor de potencia a 60Hz, permitiendo determinar a través del comportamiento de los signos de las pendientes en la curva, la tendencia al deterioro de un transformador de corriente. Esta ampliación al método de evaluación agiliza y robustece la toma de decisiones del personal del área de mantenimiento de equipos, con el fin de evitar riesgos de falla explosiva de los CTs.
- La prueba de VFPF permite evaluar gráficamente la tendencia al deterioro del aislamiento de los equipos, sin tener que estar ligado a factores de corrección por temperatura, puesto que las pérdidas por polarización y conducción se ven cubiertas en el rango de frecuencias de 15 a 400 Hz, razón por la cual, evaluará las pérdidas presentes en el aislamiento producto del incremento en contenido de humedad, sin verse muy afectada por la adsorción del aceite ante variaciones de temperatura, condición que si es de alta relevancia en el método clásico.

# Conclusiones

- Este método ha sido evaluado para transformadores de corriente cuyo sistema de aislamiento es papel-aceite mineral, sin embargo, podría ser utilizado para transformadores que utilicen esteres en su medio aislante.
- El método VFPF permite caracterizar de manera más efectiva el comportamiento de familias de equipos (mismo fabricante y misma referencia) para observar tendencias al deterioro y retroalimentar en la etapa de creación del activo a las especificaciones técnicas para las futuras adquisiciones de CTs.

# PREGUNTAS???

# GRACIAS!!!!