

# INVESTIGACIÓN DE CASOS PRÁCTICOS DE MONITORIZACIÓN DE BUJES

Cómo las decisiones basadas en datos confiables impidieron que los activos críticos  
sufrieran una falla de alto impacto

Presentado por:  
MgSc. Marco Bongiorno  
Gerente sénior de productos  
Camlin Energy



camlin energy



## Presentador

### MgSc. Marco Bongiorno

Marco, gerente de Producto Sénior de CAMLIN ENERGY, es responsable del desarrollo de productos para Monitoreo de Transformadores.

Tiene mas de 11 años de experiencia en métodos de detección de descargas parciales, con trabajos de investigación sobre Modelos de vida para el material de aislamiento sometido a estrés eléctrico sobrepuesto.

Actualmente es parte del equipo de transformación digital en CAMLIN a través de la transformación de datos en acciones procesables y prescriptivas gracias a su experiencia profesional Internacional con pruebas en campo de DP y activos de alto voltaje de los expertos de CAMLIN.



# ¿QUÉ VAMOS A APRENDER HOY?



- Los resultados online y offline pueden diferir, lo que no significa que las lecturas online sean erróneas. Los resultados online pueden representar el **comportamiento REAL**
- La correlación y causalidad entre la corriente del buje, las descargas parciales, la temperatura y el evento de alta energía pueden identificar el modo de falla
  - **proporcionar mejores acciones prescriptivas**
- Las descargas parciales (DP) online son sumamente valiosas para el diagnóstico de los bujes, especialmente para los bujes de papel impregnado con resina (RIP)

**Tandelta del buje = Factor de potencia del buje**

# SOMOS CAMLIN



- INGENIERÍA PARA UN FUTURO MEJOR

Estamos comprometidos en hacer que las infraestructuras energéticas y de transporte del mundo sean más inteligentes y eficientes, trabajamos para mantener las luces encendidas y a los pasajeros en movimiento.

Lo hacemos posible combinando nuestros profundos conocimientos técnicos con una visión basada en el análisis de datos y creando soluciones sostenibles que impulsarán el éxito de las redes de transporte e infraestructuras energéticas inteligentes del futuro.

# Optimizamos las infraestructuras críticas en todo el mundo...SOCIOS DE MONITOREO





# EL CENTRO DE ATENCIÓN MUNDIAL

Instalaciones en 21 ciudades distribuidas en 17 países

## VENTAS Y ASISTENCIA TÉCNICA

Stuttgart  
Moscú  
Abu Dhabi  
Shanghái



Sydney - Ventas y asistencia técnica



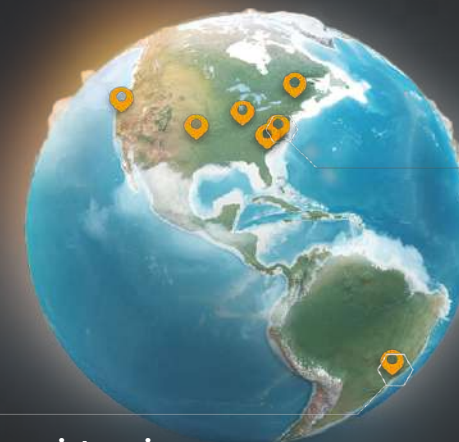
Reino Unido: SEDE DE CAMLIN  
Diseño y fabricación

Birkerød - Centro de Excelencia, PAS

Cracovia - Centro de Excelencia, Ingeniería

Boloña - Centro de Excelencia, PD

Parma - Centro de Excelencia, AI/ML



Chicago - Ventas y asistencia técnica

Sao Paulo - Ventas y asistencia técnica

# INVESTIGACIÓN DE CASO PRÁCTICO DE MONITOREO DE BUJES

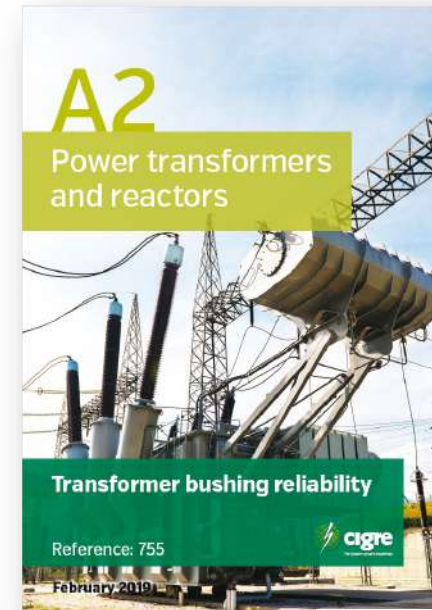
Porque se deben de Monitorear los bujes?

**Cómo las decisiones basadas en datos confiables impidieron que los activos críticos sufrieran una falla de alto impacto**

# Antecedentes

Según los datos de diversas investigaciones internacionales y de las empresas de energía eléctrica

- los bujes causan entre el 5 y el 50 % de las fallas de los transformadores
- las fallas en los bujes son la causa más común de los incendios de transformadores y pueden causar enormes daños colaterales en las subestaciones eléctricas.
- el 30 % de las fallas de los transformadores elevadores del generador se deben a un mal funcionamiento de los bujes.
- de acuerdo con los análisis que clasifican los componentes individuales según la cantidad de fallas que causan en los transformadores, **los bujes ocupan uno de los tres primeros puestos.**



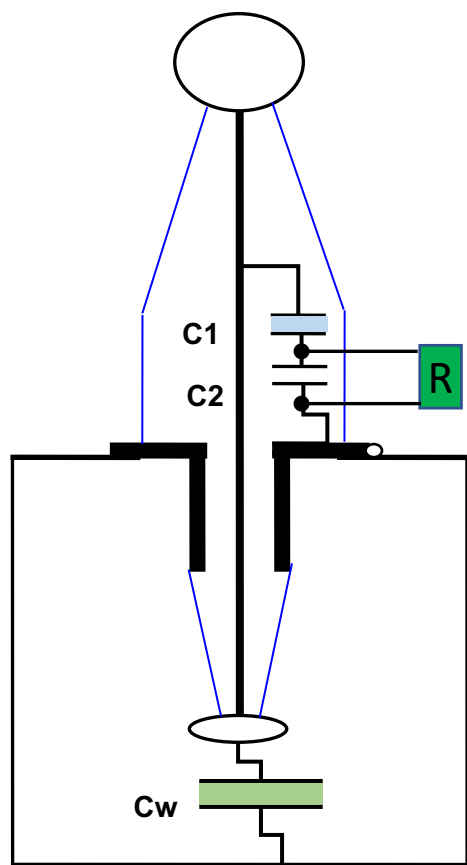
Transformer parts	Failure abundance, %
Tap changers	30,1
Windings	23
Terminals (bushings)	15,6
Tank and dielectric fluid	13,6
Other accessories	14,4
Magnetic circuit	3,3



# Fallas

UBICACIÓN	CÓDIGOS DE DEFECTOS (CIGRE)	BREVE DESCRIPCIÓN DEL DEFECTO
<b>BUJES</b>	CB1	Aislamiento envejecido
	CB2	Contaminación: superficie interna
	CB3	Contaminación: superficie externa
	CB4	Contaminación: entrada de humedad
	CB5	Envejecimiento del aceite
	DB1	Problema dieléctrico, por ejemplo, el rastreo
	MB1	Problema de conexión
<b>ACEITE</b>	TB1	Sobrecalentamiento del núcleo / desbordamiento térmico debido a pérdidas dieléctricas excesivas
	CO4	Contaminación de partículas

# Monitoreo online



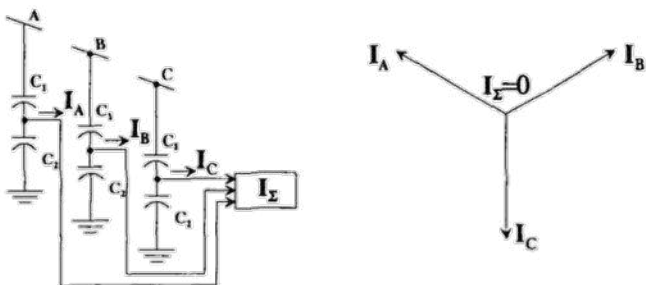
- El sensor está conectado en la toma de PRUEBA o VOLTAJE
- Se instala una impedancia en paralelo a C2
- Las señales (tanto de baja como de alta frecuencia para la DP) van a una unidad de adquisición
- Los datos se procesan para estimar el nivel de la DP y las variaciones de Capacitancia o Tandelta
- La correlación con la temperatura y la carga se utiliza para determinar el posible modo de falla



# Métodos (Online)

## Suma de corrientes

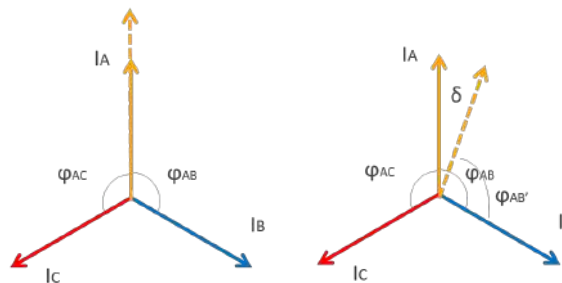
- Suma vectorial de las corrientes en la toma de prueba o de voltaje
- Si los bujes son idénticos y los voltajes del sistema están perfectamente equilibrados, la suma de corrientes,  $I_z$ , será igual a cero.



"Monitoreo online de transformadores eléctricos y componentes:  
Una revisión de los parámetros clave"

## Relativo

- La amplitud de la corriente o del voltaje en la toma de prueba/voltaje del buje se compara con la registrada simultáneamente en los otros bujes del mismo bobinado o de la misma fase.
- Se compara el ángulo entre AB y AC en el mismo bobinado



## Referenciado

- El voltaje del transformador de voltaje (TV) y la corriente del buje de la toma de prueba se registran simultáneamente y luego se calcula el desfase

o bien

- Igual que el método relativo, pero la comparación se realiza con la corriente del transformador de voltaje (TV) y los ángulos

# Métodos (Online)

## Suma de corrientes

- Fácil de calcular
- Menor costo, sin necesidad de referencia de voltaje

## Relativo

- Separación entre C y Tandelta
- Menor costo, sin necesidad de referencia de voltaje
- Promedios separados para C1 y TanD

## Referenciado

- Respuesta más rápida
- Menos propensos a errores

- Afectada por fluctuaciones y desequilibrios
- Menos sensible para el Tandelta
- No se identifica si la falla es por capacitancia o por Tandelta

- Sigue siendo afectada por fluctuaciones y desequilibrios
- Promedios necesarios
- El Tandelta necesita promedios largos

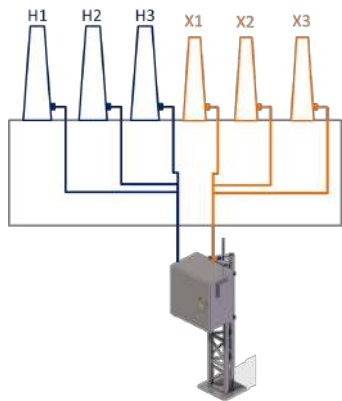
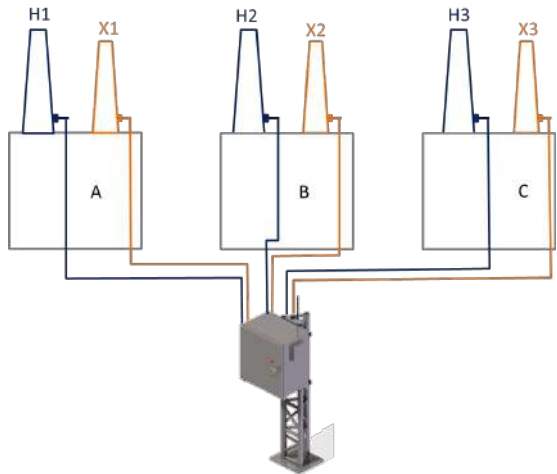
- Costoso
- No siempre es aplicable

# PRINCIPIOS BÁSICOS DEL FUNCIONAMIENTO DEL MONITOR DE BUJES

**Cómo las decisiones basadas en datos confiables impidieron que los activos  
críticos sufrieran una falla de alto impacto**



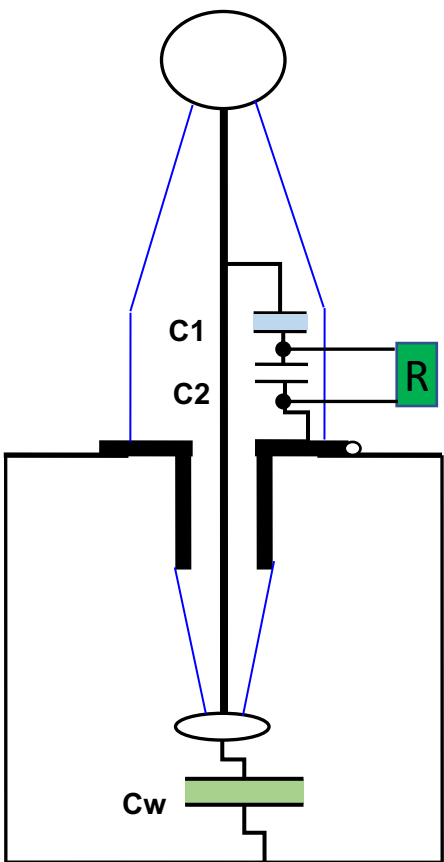
# Conceptos básicos sobre el sistema de monitoreo instalado



- Monitoreo continuo para
  - Descargas parciales
  - Corriente de fuga de los bujes
- Monitoreo de los bujes → comparación entre
  - Un valor de referencia obtenido tras un periodo de aprendizaje (cada hora, diario, semanal, mensual)
  - Bujes del mismo bobinado (ABC - abc)
  - Bujes de la misma fase (Aa - Bb - Cc )
- Alarmas de cambios relativos, alarmas rápidas de capacitancia

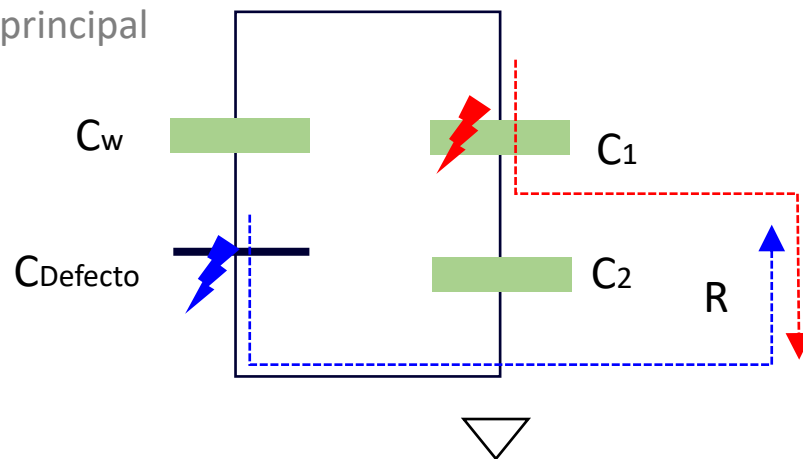
# Descarga parcial en los bujes

Circuito simplificado



Tanque principal

Circuito equivalente

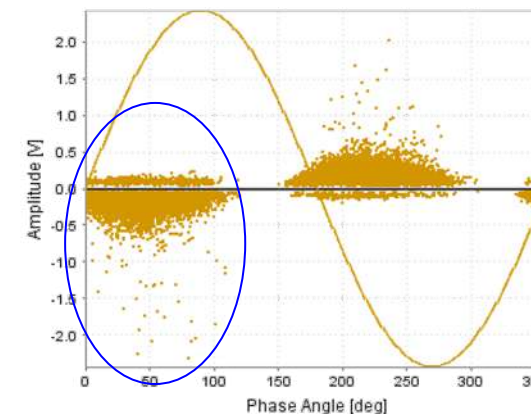
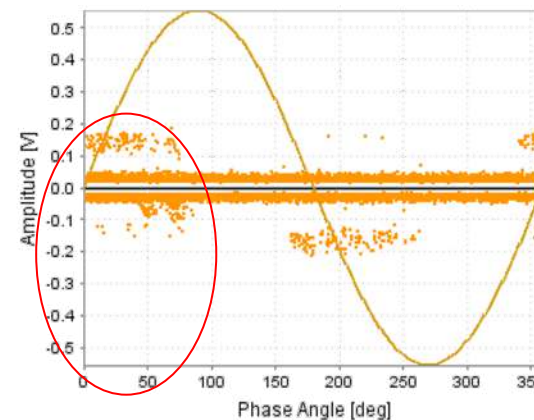


La DP del buje tiene polaridad positiva bajo la onda sinusoidal positiva

La DP del tanque tiene polaridad negativa bajo la onda sinusoidal positiva

Descarga parcial en el buje

Descarga parcial en el tanque



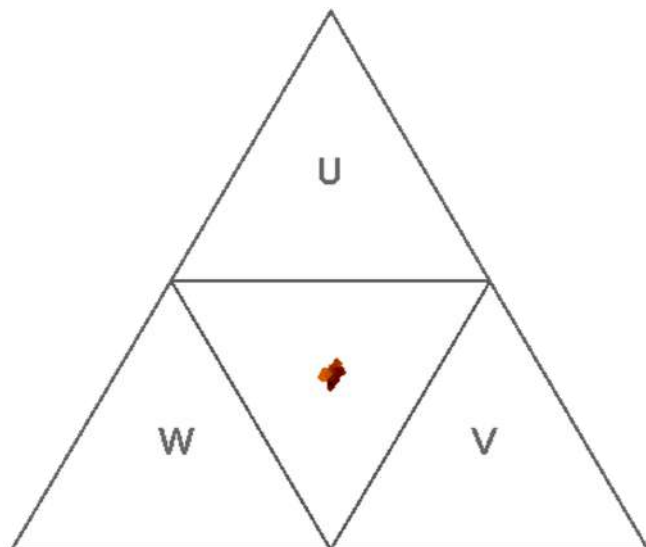
# Aspectos básicos en eventos de alta energía

- Actividad de descarga parcial que supera los 20 voltios pico a pico
- Por lo general con una tasa de repetición PEQUEÑA y un comportamiento intermitente
- Por lo general relevante para la FORMACIÓN DE ARCOS ELÉCTRICOS y elementos flotantes

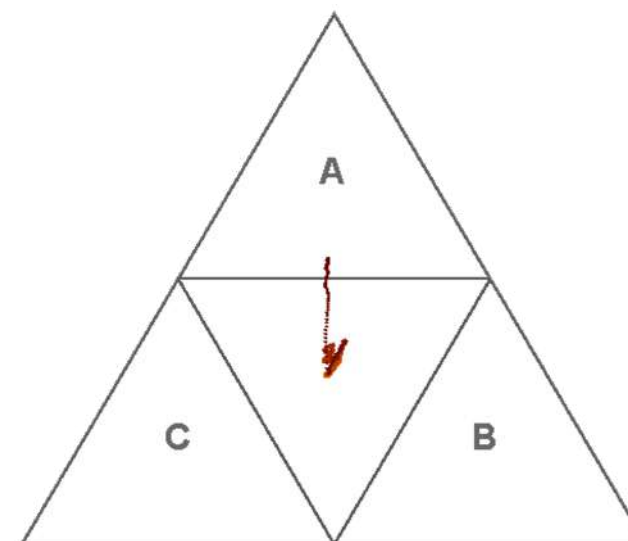


# Triángulo de capacitancia CAMLIN

Distribución 63 MVA  
 Monitoreo de dos meses  
 No hay cambios de C % o PF %



Monofásico 166 MVA  
 Monitoreo de tres meses  
 Aumento repentino de la capacitancia del 1.5 % en la fase A



# CASO PRÁCTICO 1

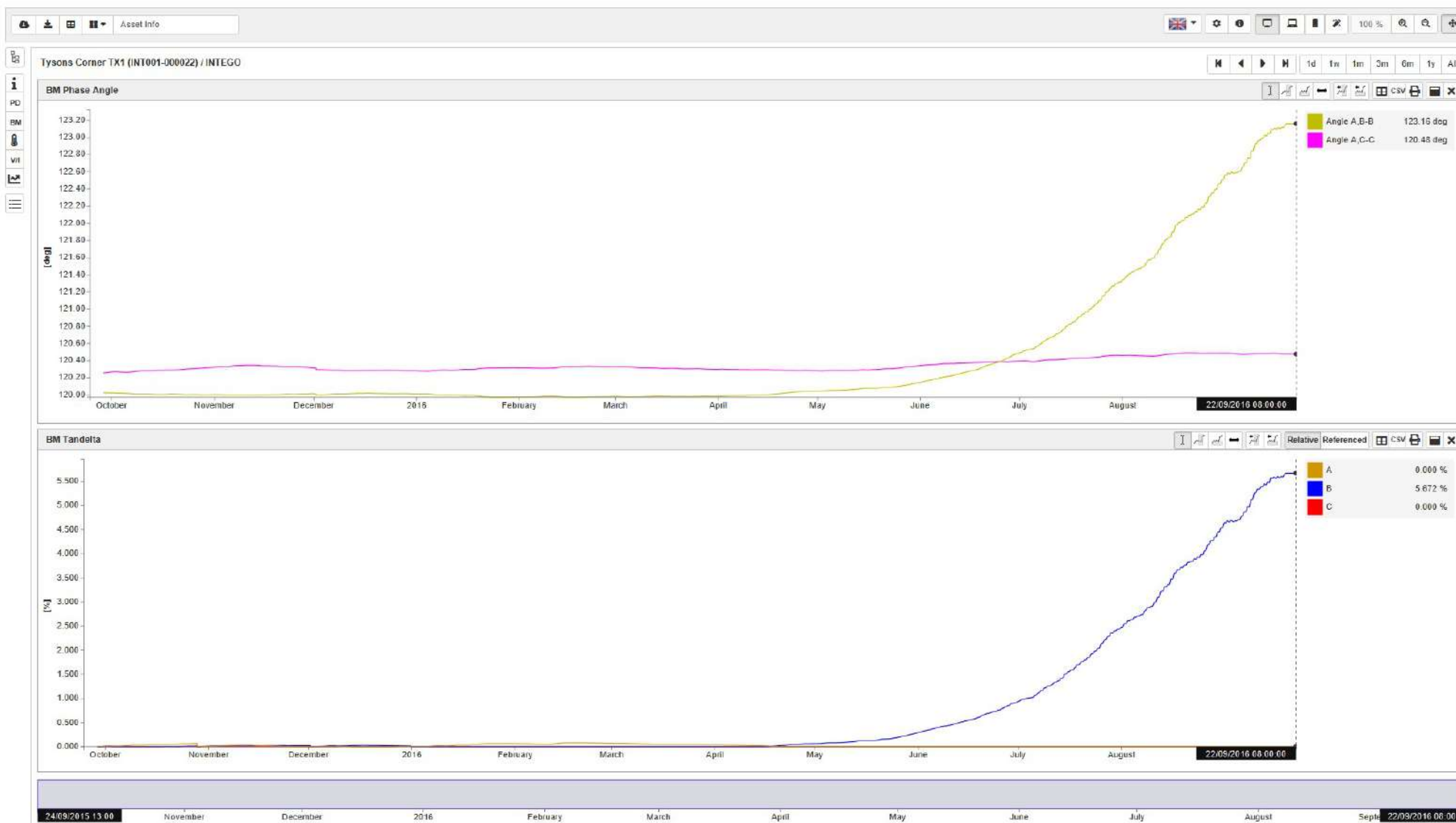
**El Tandelta / Factor de potencia del buje aumenta con la temperatura**



## Características del buje

- Ubicación: Norteamérica
- Año 2016
- Voltaje del buje: 34.5 kV
- Tecnología del buje: OIP
- Edad del buje: 1988
- Fabricante de equipo original: McGraw Edison





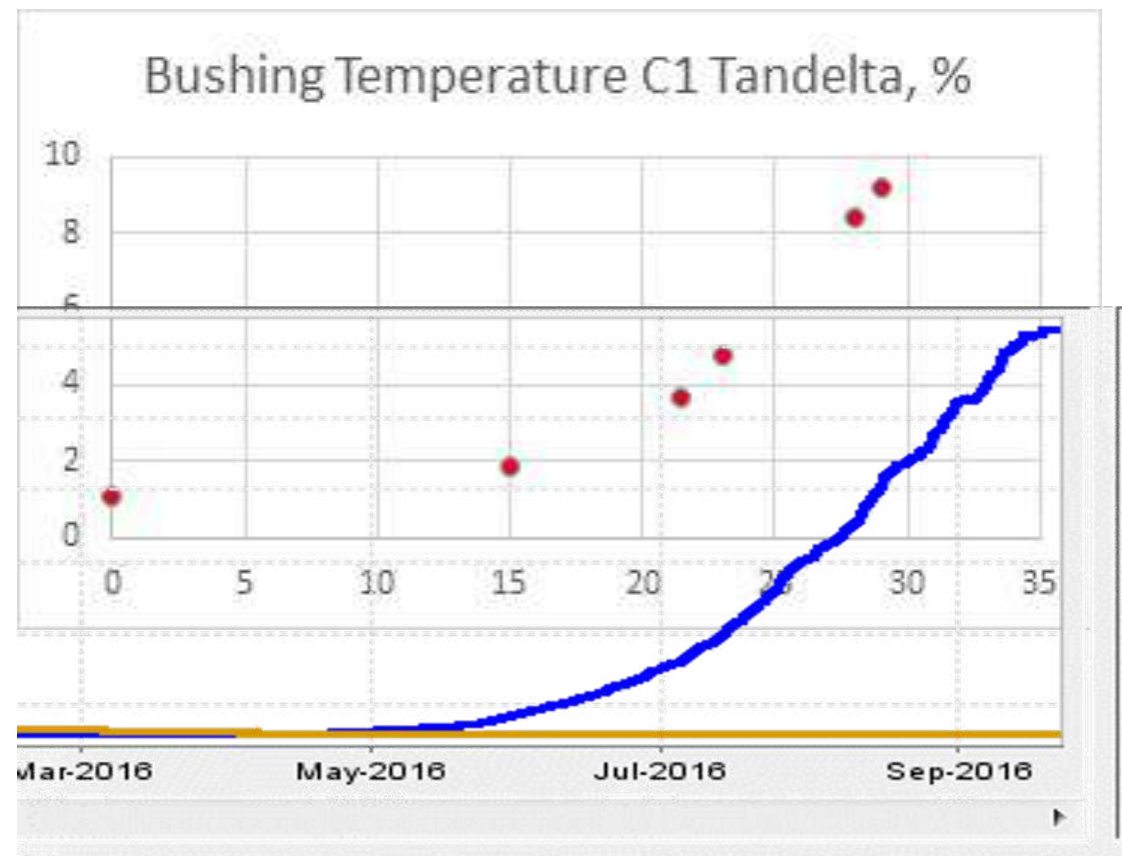
Serial Num: C07055-5-2 Reason: LTC MAINT.

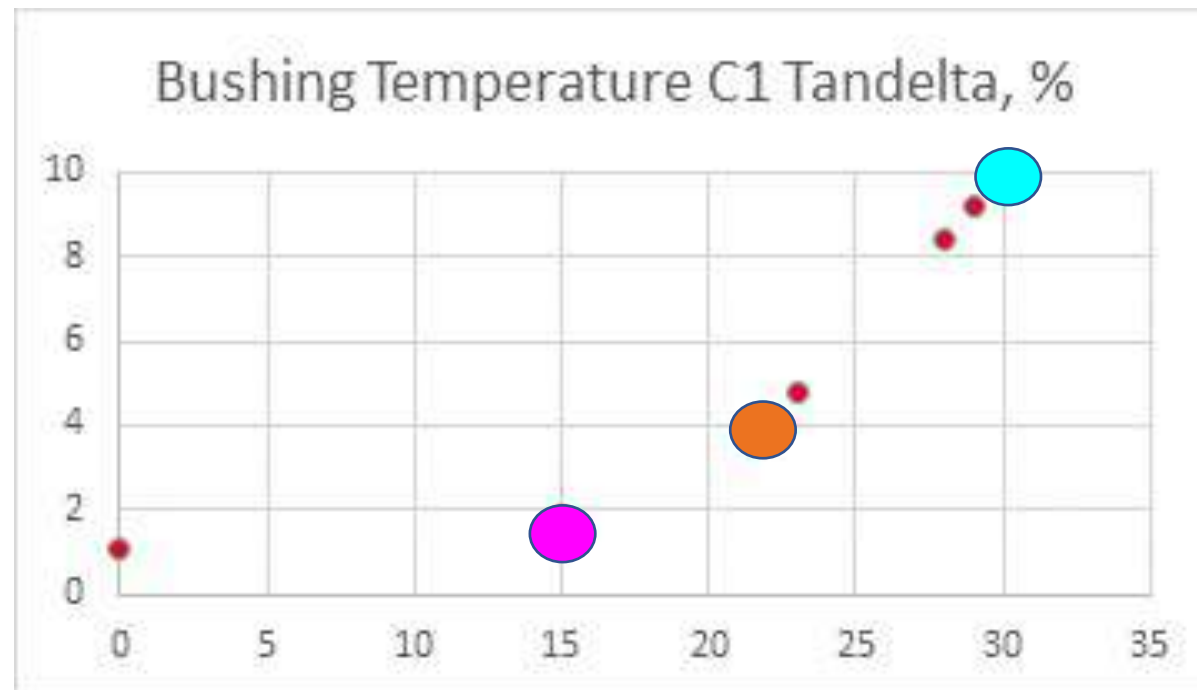
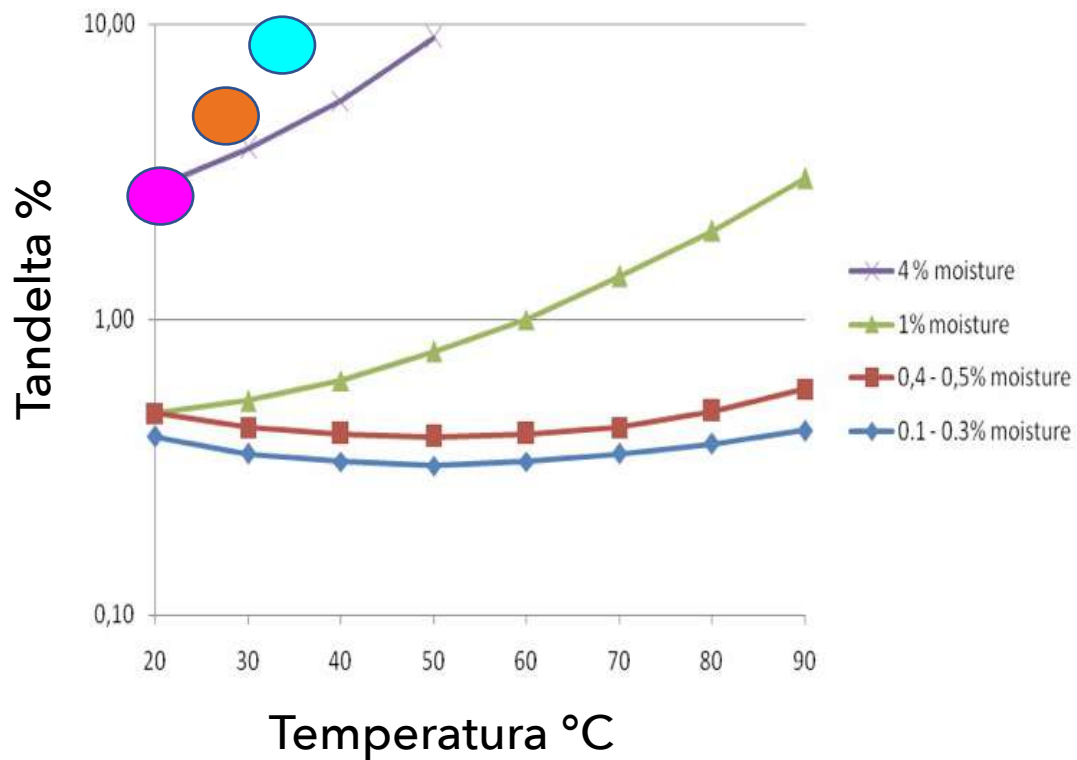
Arrester Exciting Current Doble Ratio Turns Ratio  
all Bush C1/C2 Bush Hot Collar Insulating Fluid

C2

NP %PF	NP Cap.	Test kV	mA	Watts	% PF Meas.	% PF Corr.	Corr. Factor	Cap. (pF)	Rtg
0.53	592	10.00	2.205	0.1240	0.56	0.58	1.04	584.89	D
0.53	591	10.00	2.232	0.4270	1.91	1.99	1.04	591.91	I
0.53	635	10.00	2.360	0.1220	0.52	0.54	1.04	625.98	D
0.48	582	10							
0.53	591								
0.53	635								
0.48	582								





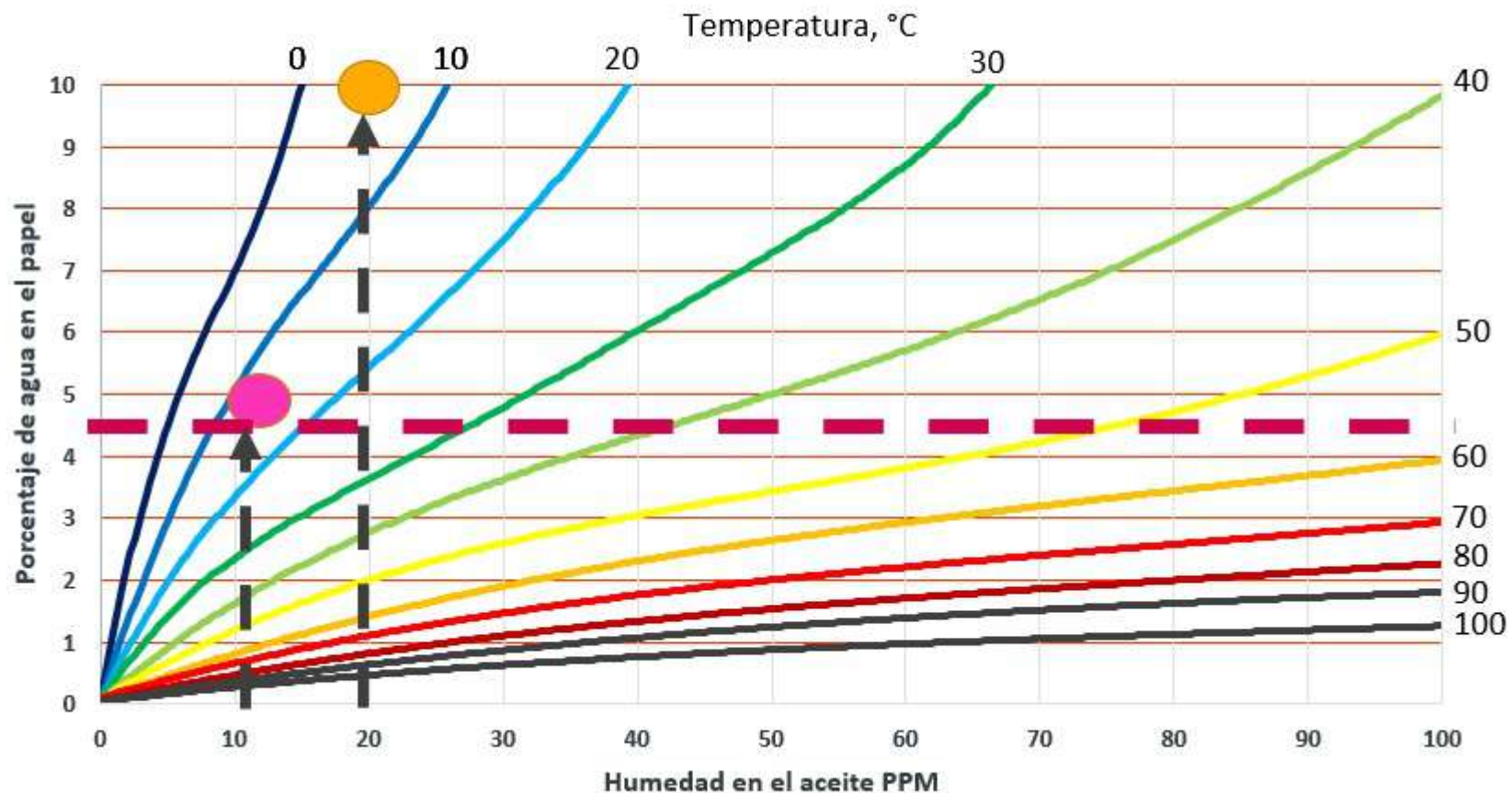


- 2 % a 15 °C
- 4 % a 22 °C
- 10 % a 30 °C

Confirma que la humedad es superior al 4 %



Isotermas de equilibrio de la humedad (redibujadas a partir de Oommen 2003)



Se midió la humedad en el aceite

- 12 ppm a 15 °C
- 19 ppm a 2 °C

Por el aceite parece que es > 4 % de agua en el papel

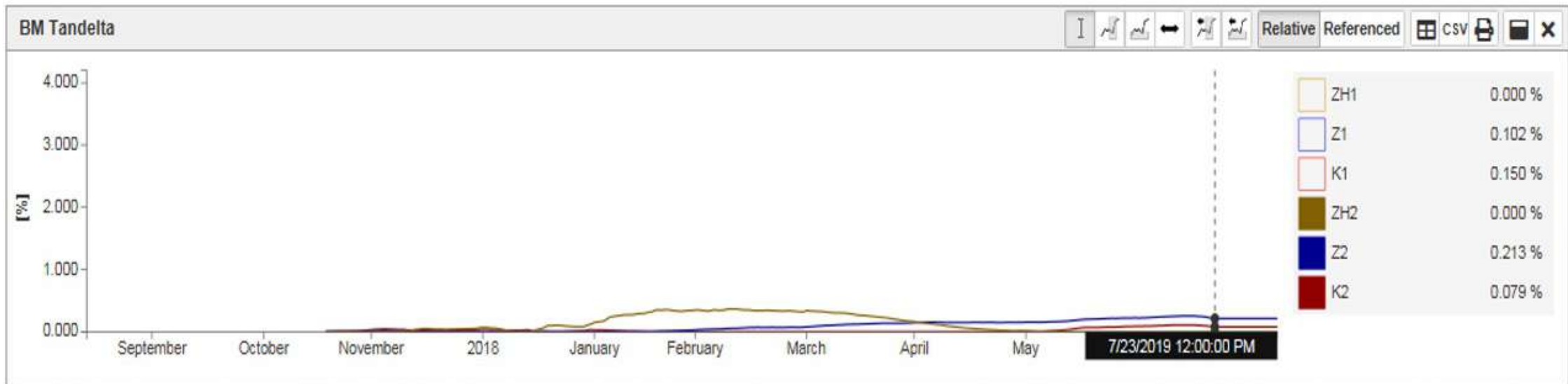
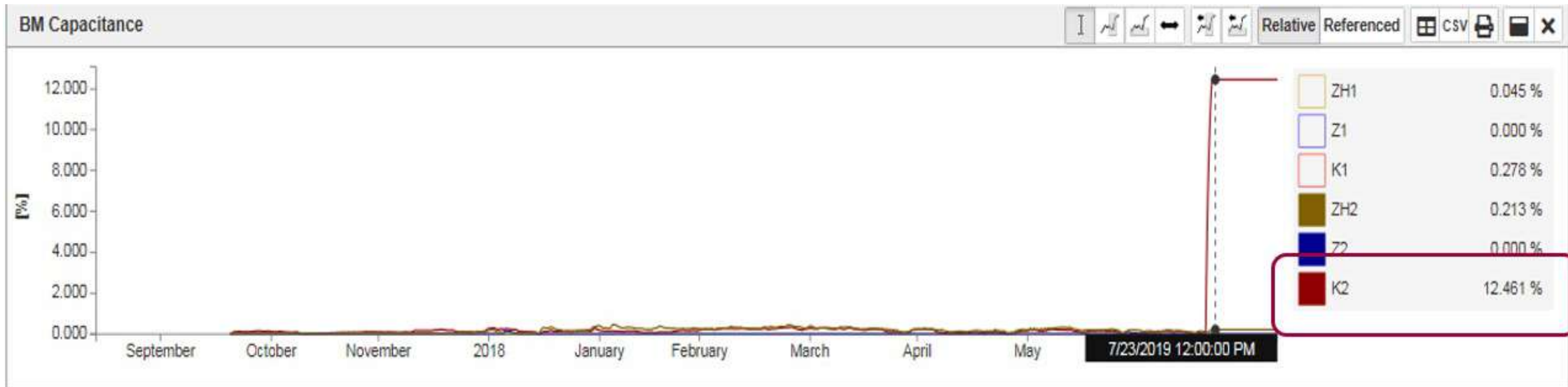
# CASO PRÁCTICO 2

**Aumento de la DP y de la capacitancia en el buje de pared RIP**

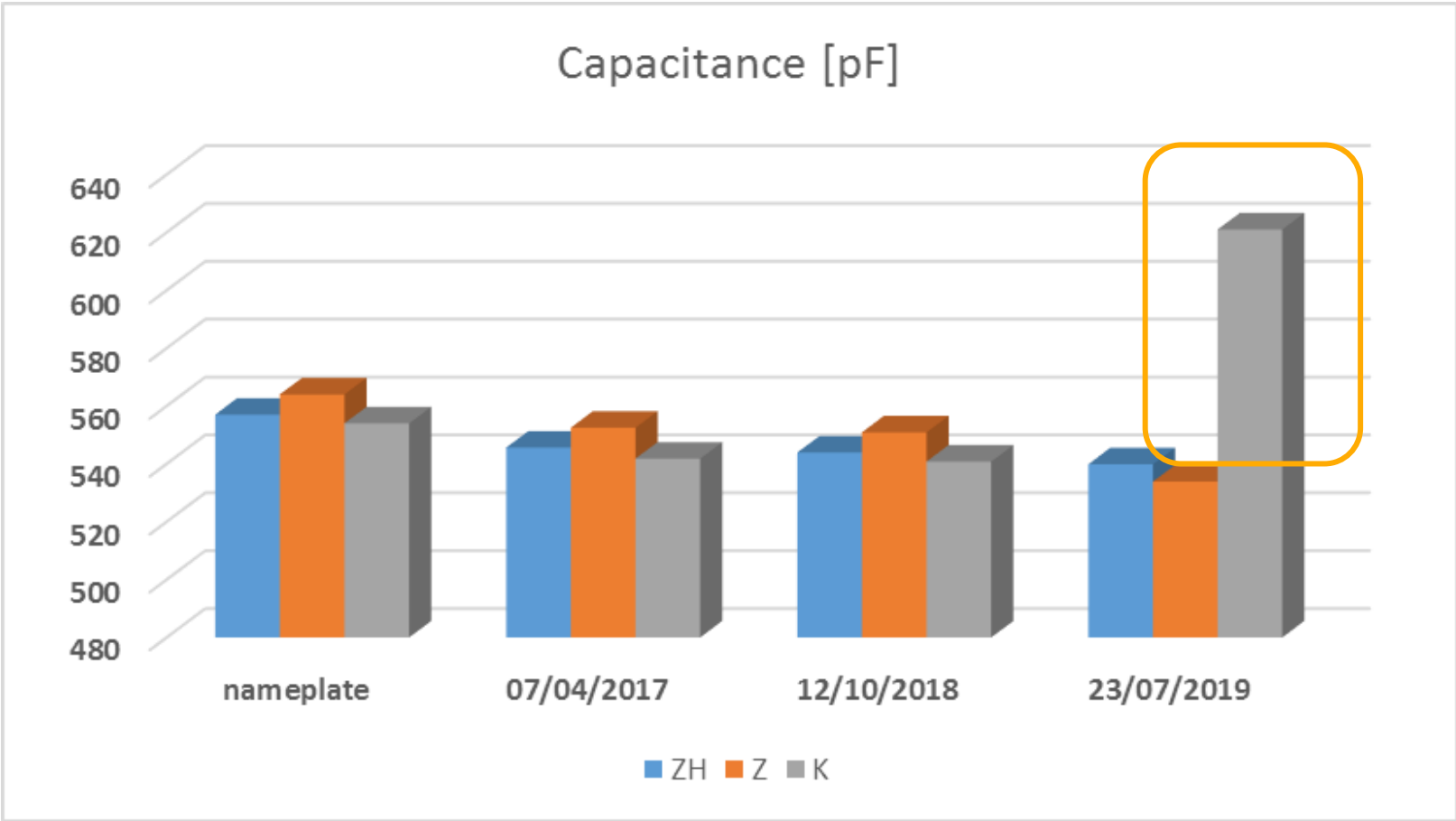
# Características del buje

- Ubicación: Rusia
- Año 2019
- Tipo de buje: PARED
- Tecnología del buje: RIP





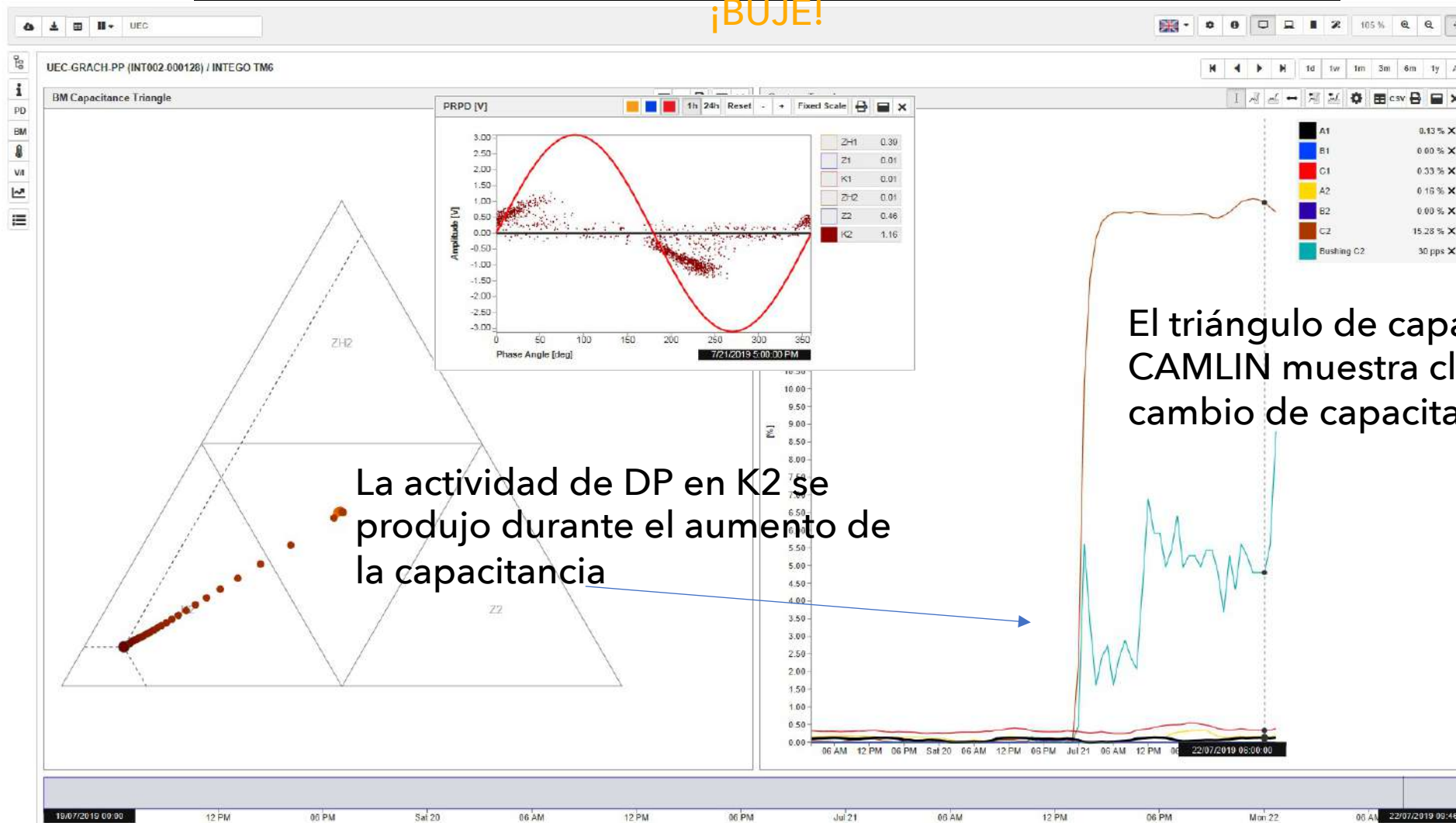
Se detectó un cambio de capacitancia del 10-12 % offline





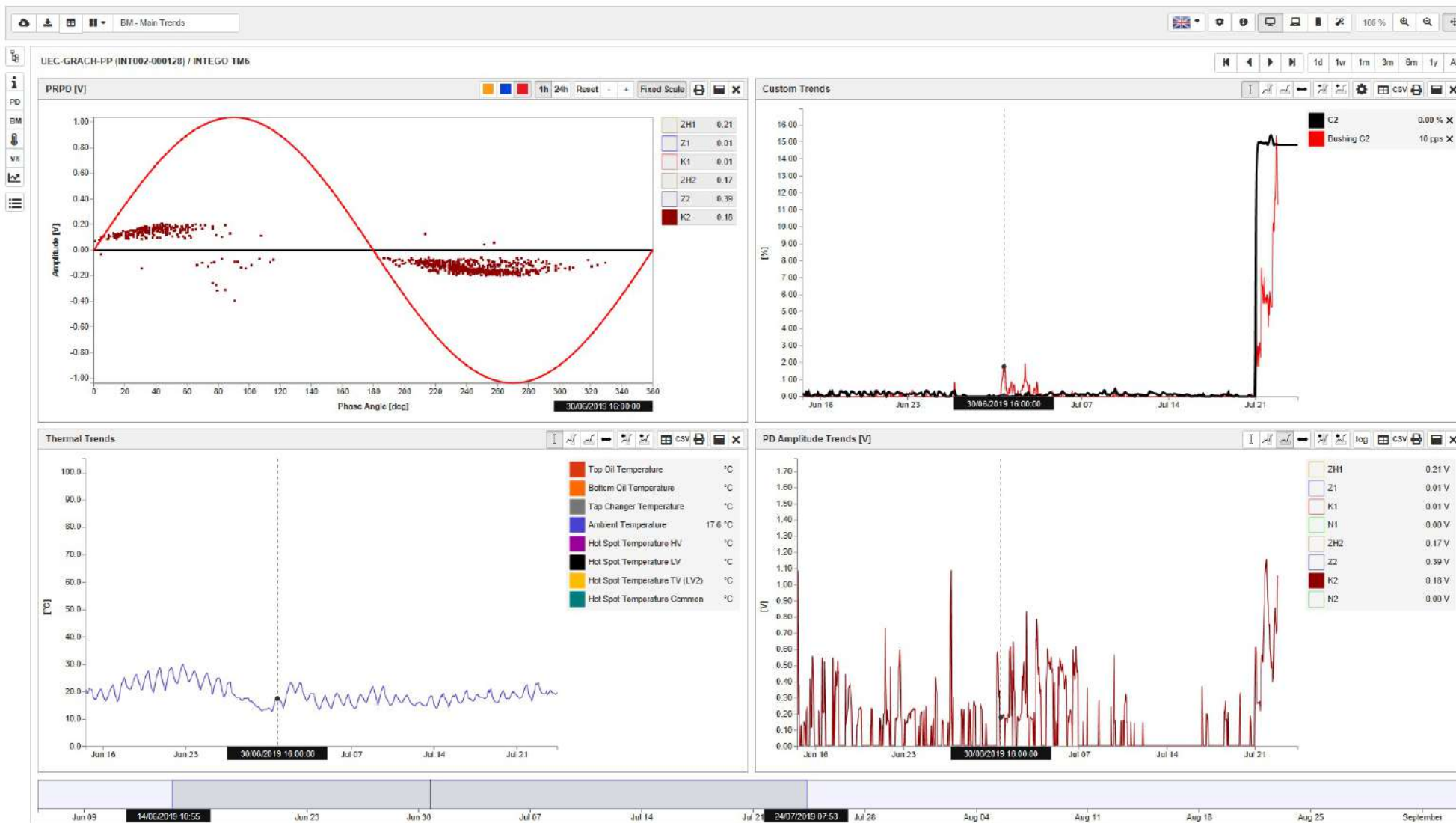
Patrón típico de cavidades en la resina, polaridad DIRECTA, ¡BUJE!

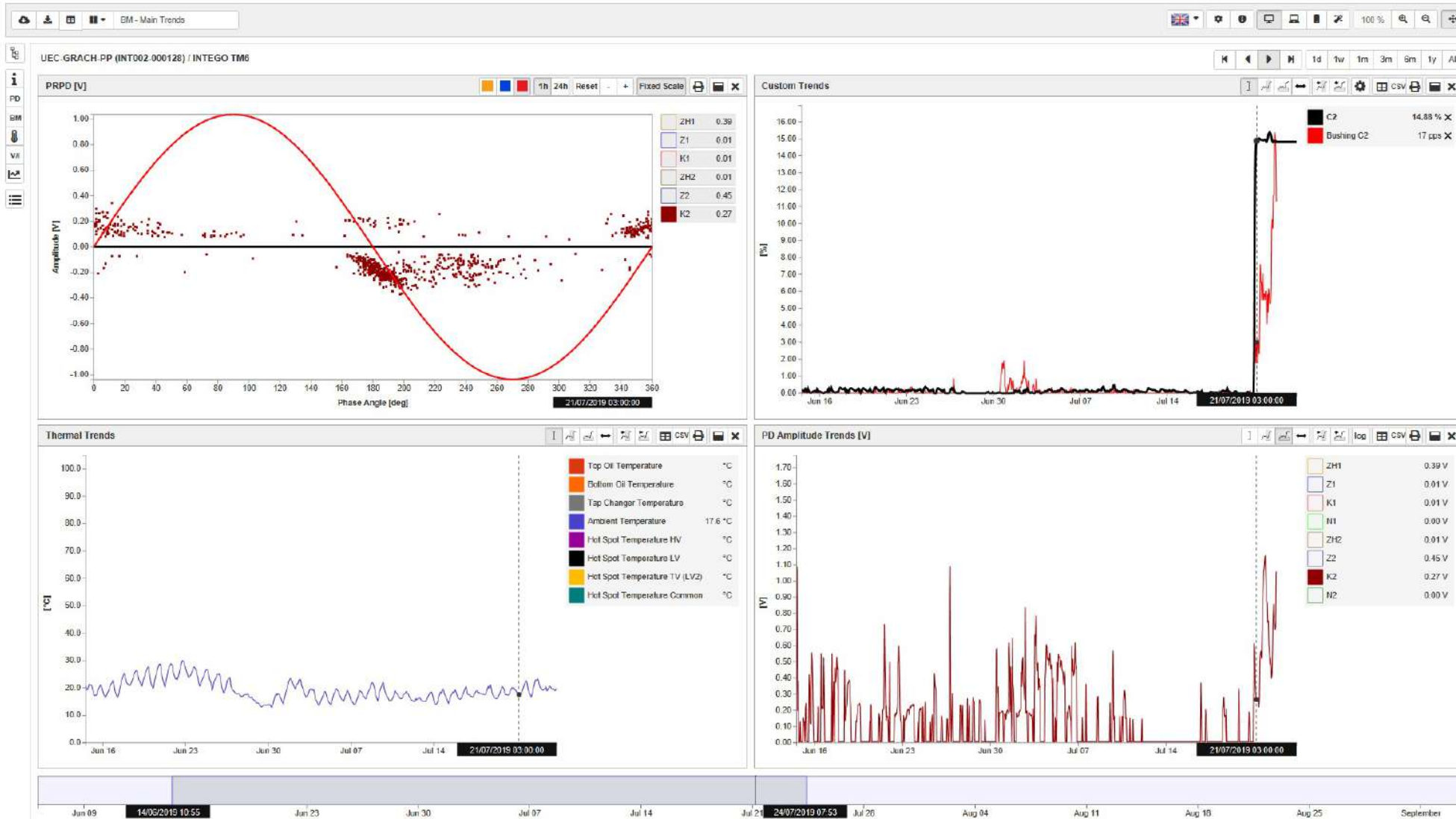
¡BUJE!

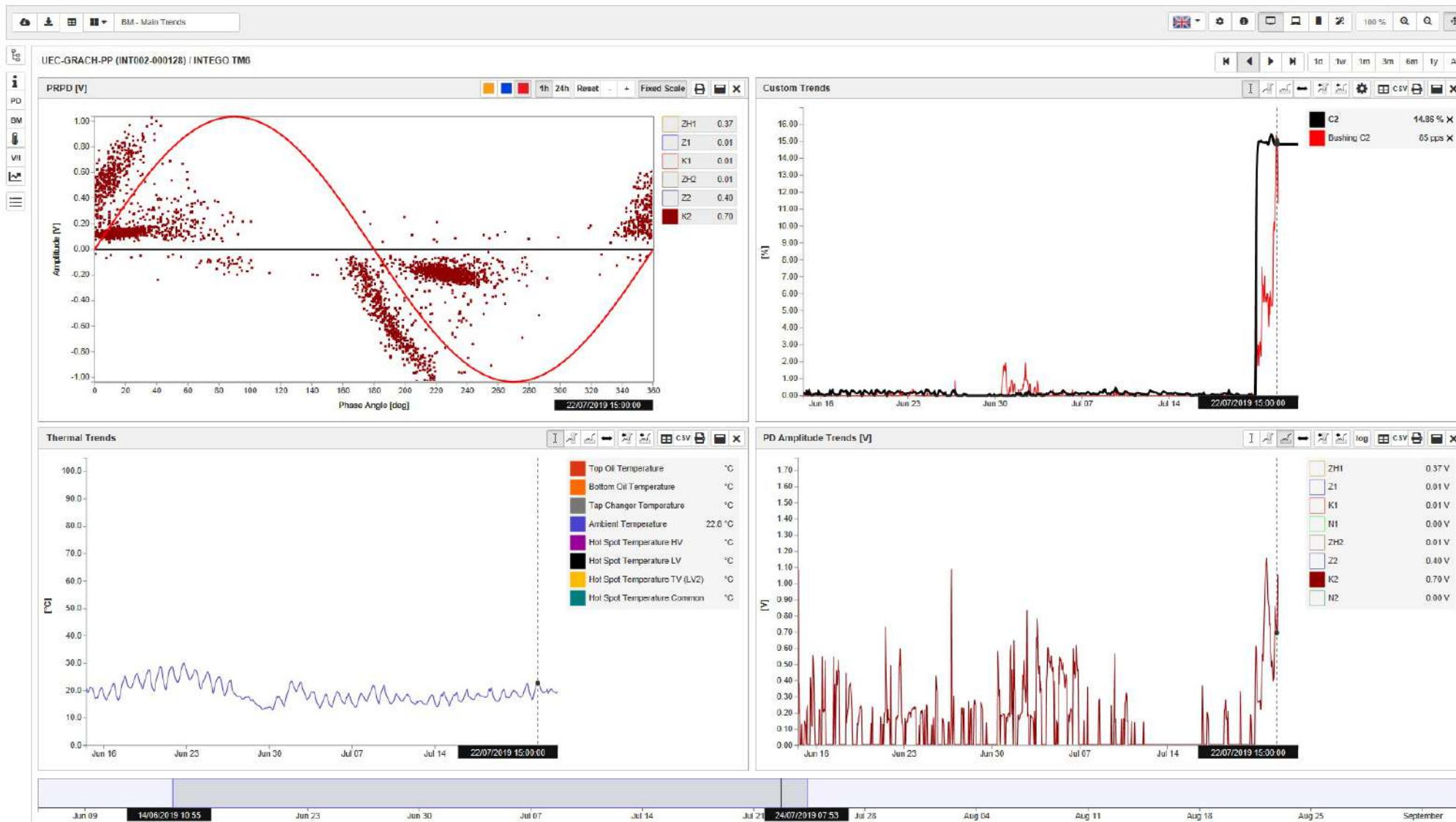


La actividad de DP en K2 se produjo durante el aumento de la capacitancia

El triángulo de capacitancia de CAMLIN muestra claramente el cambio de capacitancia en el buje K2









# CASO PRÁCTICO 3

El factor de potencia y la DP permiten detectar la contaminación de los bujes

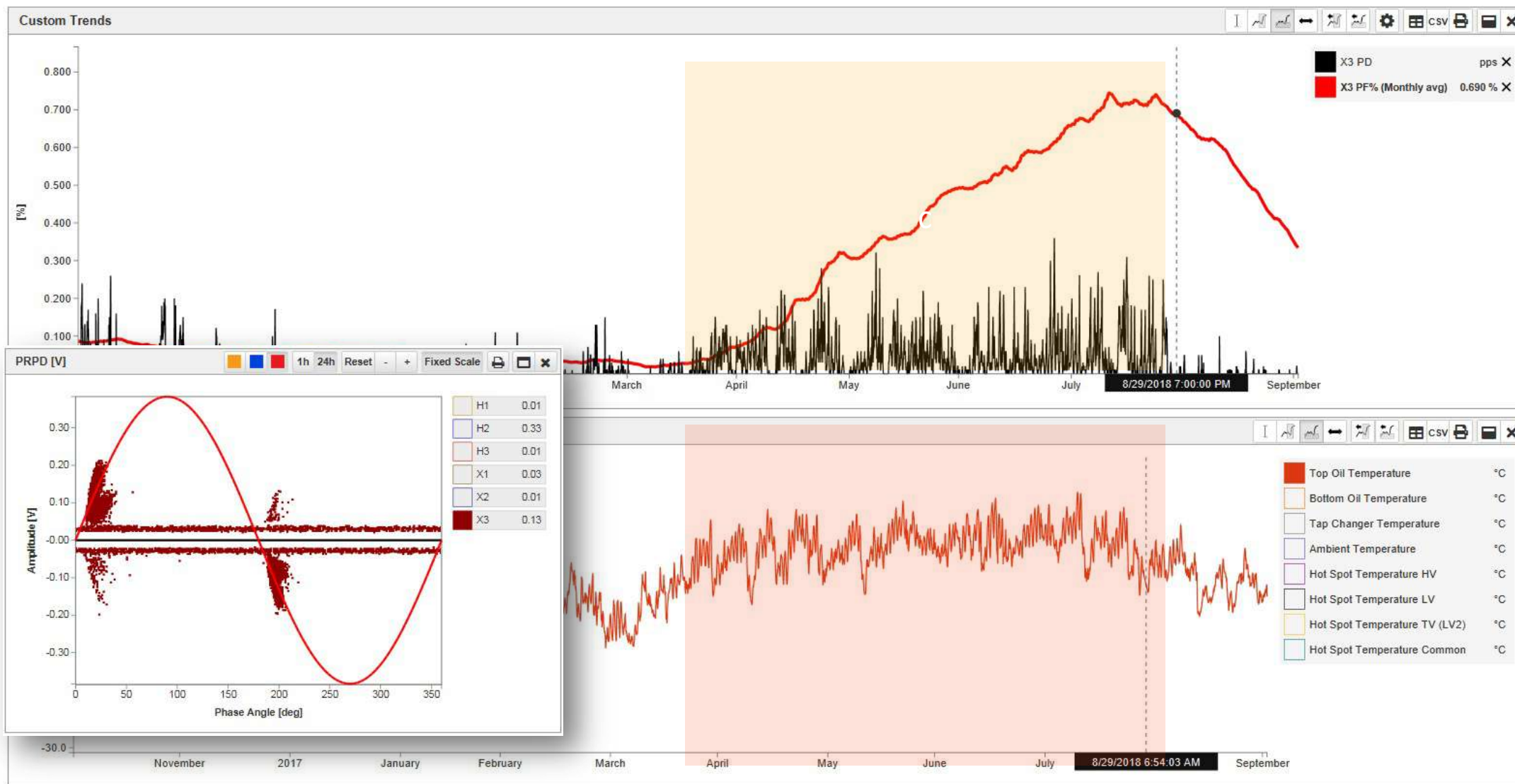


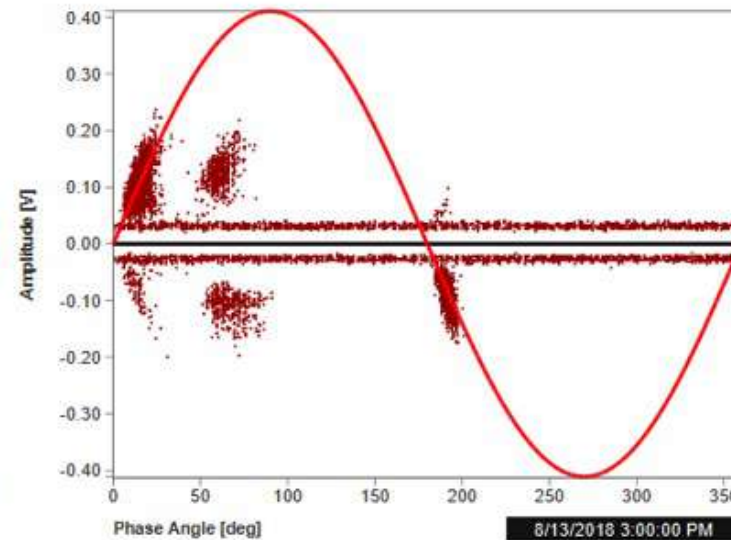
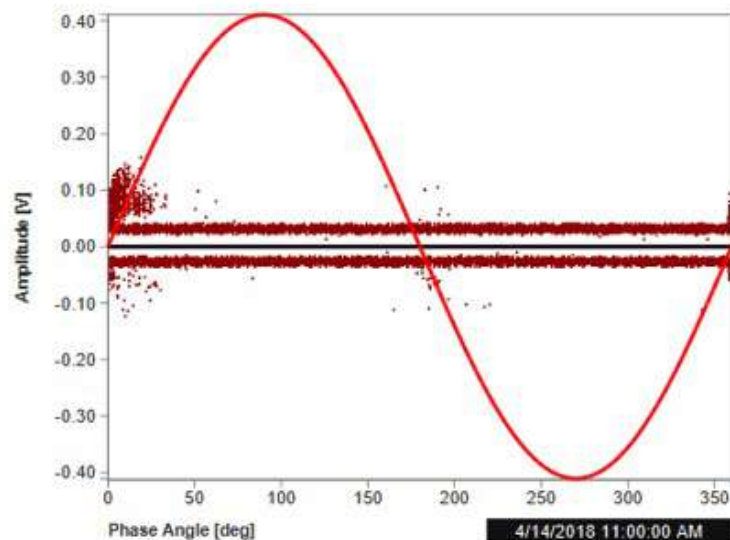
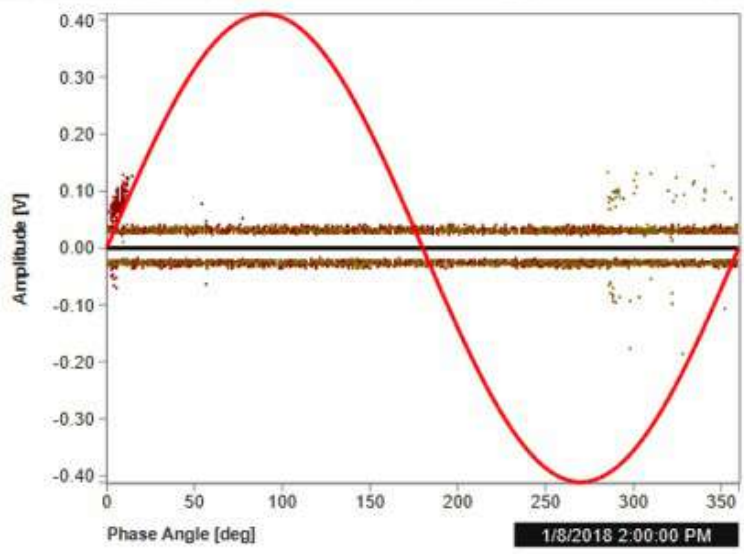
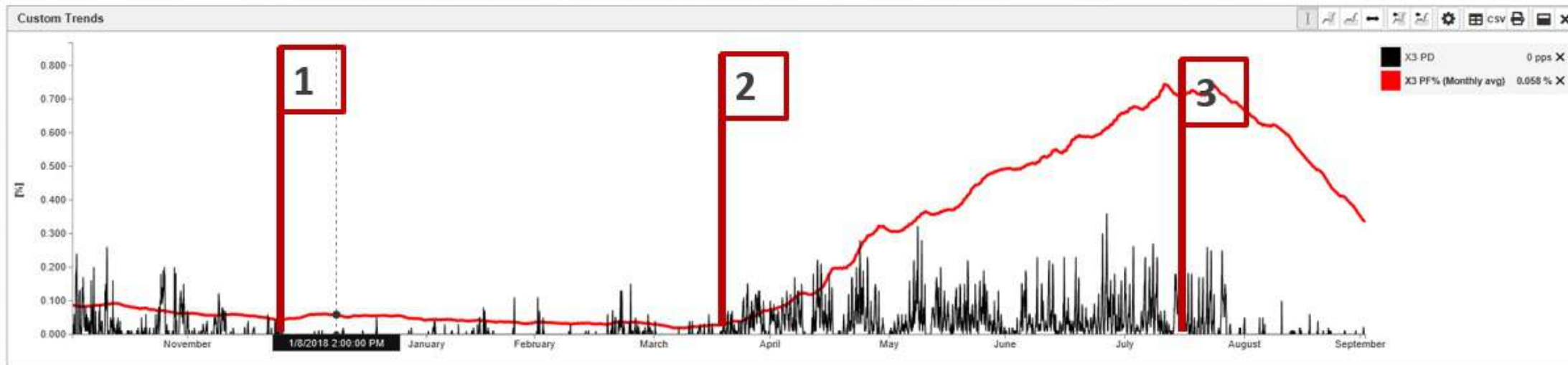


## Características del buje

- Ubicación: Norteamérica
- Año: 2018
- Voltaje del buje: 132 kV
- Tecnología del buje: OIP
- Edad del buje: 2016



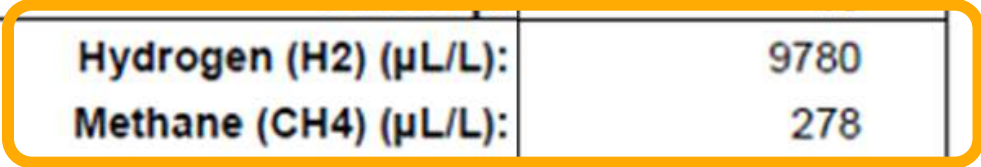






X3

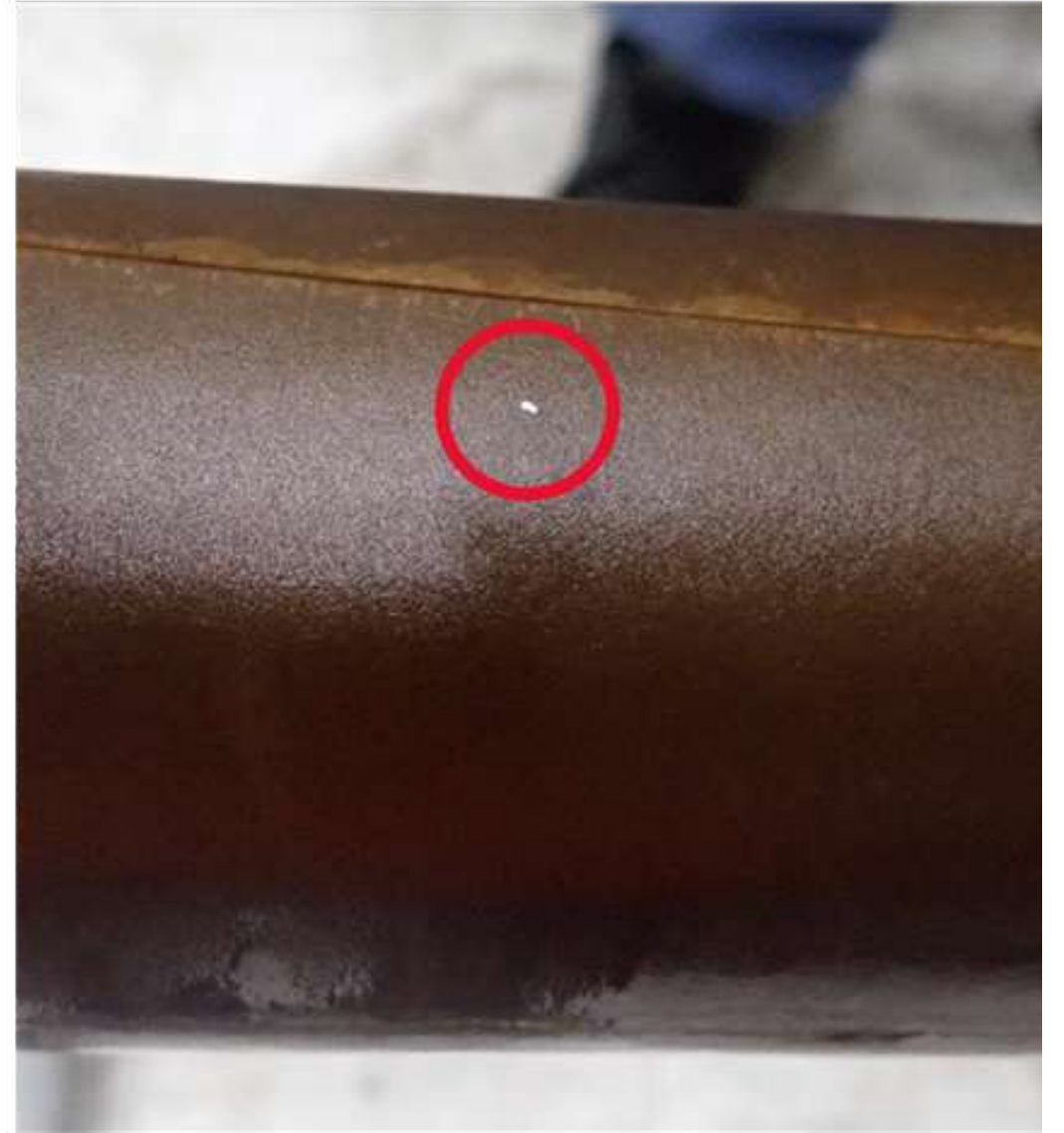
	Lab Control Number:	7170745
	Date Sampled:	08/28/2018
	Order Number:	575914
	Oil Temp:	15
Dissolved Gas Analysis (DGA) ASTM D-3612 <sup>1</sup>	Hydrogen (H2) (µL/L):	9780
	Methane (CH4) (µL/L):	278
	Ethane (C2H6) (µL/L):	154
	Ethylene (C2H4) (µL/L):	10
	Acetylene (C2H2) (µL/L):	5
	Carbon Monoxide (CO) (µL/L):	458
	Carbon Dioxide (CO2) (µL/L):	1671
	Nitrogen (N2) (µL/L):	61641
	Oxygen (O2) (µL/L):	3590
	Total Dissolved Gas (TDG) (µL/L):	77587
Total Dissolved Combustible Gas (TDCG) (µL/L):	10685	
Equivalent TCG (%):	21.4276	



## LOS RESULTADOS DE LA CALIDAD DEL ACEITE permitieron detectar bajo voltaje de ruptura y alto factor de potencia

Fluid Quality		X2	X3	H3
Moisture (ppm)	D1533	9	10	3
Interfacial Tension (mN/m)	D971	26.5	23.6	37.0
Acid Number (mg KOH/g)	D974	0.014	0.008	0.01
Dielectric BV (kV)	D1816	14	26	11
Power Factor @ 25°C (%)	D924	0.02	0.03	0.034
Power Factor @ 100°C (%)	D924	0.754	1.1	NA
Corrosive Sulfur	D1275B	4a	3a	3b





## Resumen

***“AltaLink tiene actualmente 76 transformadores con bujes similares (2014 o más recientes) instalados y 30 de estos transformadores tienen instalados monitores de bujes. Debido a la edad relativamente joven de estos bujes, no se han realizado pruebas offline desde su instalación.***

***[...] El deterioro identificado del buje debe ser medible en los primeros años de servicio.***

***El monitoreo online y las pruebas del factor de potencia offline son métodos adecuados para detectar este mecanismo de degradación. Los resultados sospechosos también pueden confirmarse mediante el análisis de gases disueltos.***

***El monitoreo online demostró ser fiable a la hora de detectar un modo de degradación precoz y proporcionar información útil adicional para planificar las pruebas y la investigación offline adecuadas.”***

**C. Clark, Ingeniero Principal - Subestaciones, equipos principales y HVDC, AltaLink**

# CASO PRÁCTICO 4

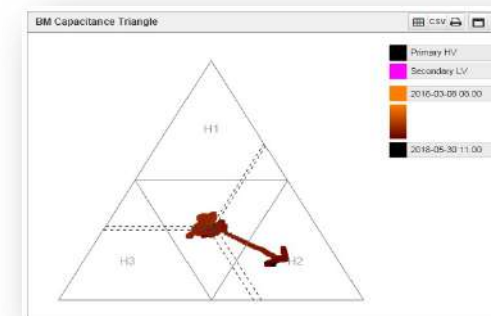
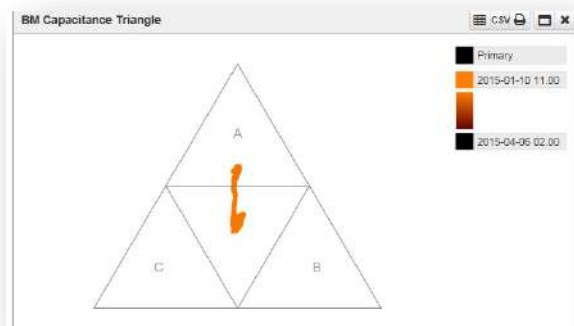
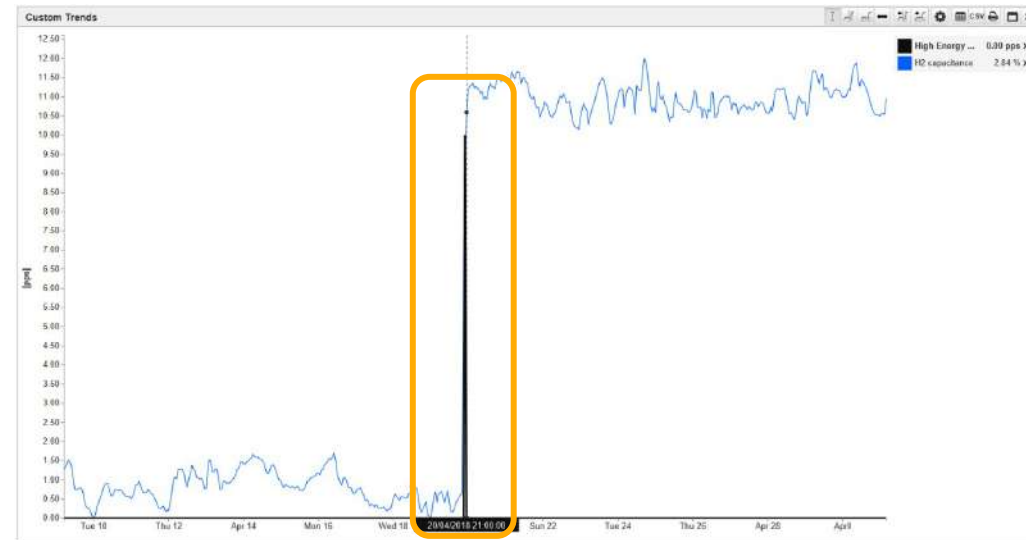
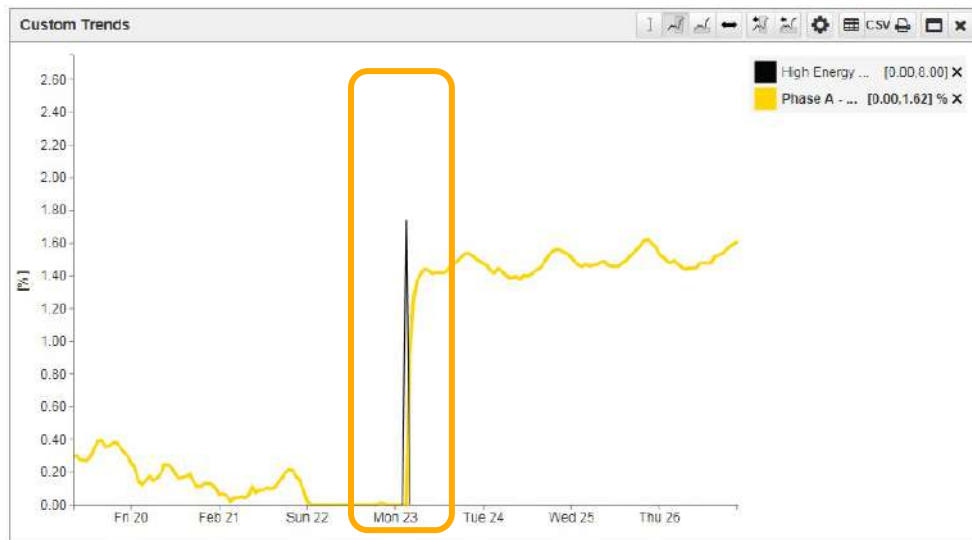
**Cortocircuitos de la capacitancia del buje detectados por  
la corriente de fuga del buje y la DP**

# Monitoreo de descarga parcial y bujes

- Ubicación: Corea del Sur
- Año 2015
- Fabricante de equipo original: NGK
- Voltaje del buje: 345 kV
- Tecnología del buje: OIP
- Edad del buje: 1990



- Ubicación: Norteamérica
- Año 2018
- Fabricante de equipo original: Westinghouse
- Voltaje del buje: 345 kV
- Tecnología del buje: OIP
- Edad del buje: 1979



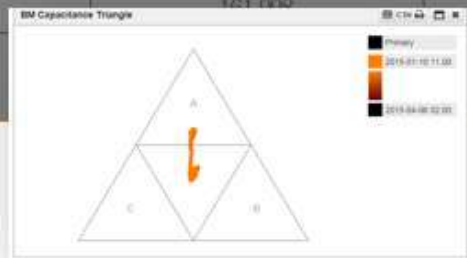
EVENTO DE ALTA ENERGÍA Descargas parciales detectadas en el momento del aumento de la capacitancia



설비명	#2M.Tr A상 1차	#2M.Tr C상 2차
가스종류	#2M.TR Phase A Primary	#2M.TR Phase C Secondary
H <sub>2</sub>	17	28
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	76	0
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	11	1
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	32	62
CH <sub>4</sub>	40	39
C <sub>2</sub> H <sub>8</sub>	21	24
가연성가스 총량 (T.C.G)	230	154
CO	71	53
CO <sub>2</sub>	564	789
O <sub>2</sub>	10280	4337
N <sub>2</sub>	150862	156665
총 가스량	162,007	161,000

OFFLINE DGA results for H1 and H2 bushings

	H1	H2
H2	20	85
CH4	8	167
C2H2	<2	21
C2H4	<2	645
C2H6	14	65
CO	75	714
CO2	1460	2790
N2	51800	84300
O2	7490	29600
TDCG	117	16
TDG%	6.07	11



El análisis de gases disueltos confirmó la condición defectuosa mostrando un alto nivel de acetileno en el mismo buje

# Lección aprendida



- Las variaciones del Tandelta debidas a la entrada de humedad son MUY lentas, y pueden ser reconocidas también por los análisis de Tandelta con Temperatura, ONLINE
- El aumento de la capacitancia del buje junto con las descargas parciales representan una señal confiable para identificar un buje RIP defectuoso. También podría ser posible eliminar un buje mucho antes de que se produzcan cambios críticos en la capacitancia
- Es cierto que los bujes RIP son libres de descarga parcial...  
...hasta que no sufren una descarga parcial
- El aumento del Tandelta con las descargas parciales identificó partículas flotantes en el aceite, con lo que se puso de manifiesto un problema de fabricación y se salvaron los bujes en garantía
- El aumento de la capacitancia del buje junto con las descargas parciales de eventos de alta energía representan una señal confiable para identificar un buje OIP defectuoso aunque las dos variaciones fueran pequeñas

# CONCLUSIONES

Modo de falla	Evidencia online	Confirmación offline
Cortocircuito de la capa del condensador	Capacitancia + DP / HEE	Análisis de gases disueltos (OIP), prueba C1 (RIP)
Contaminación por entrada de humedad	Tandelta + Temperatura	Prueba C1/PF con variación de temperatura, humedad en el aceite
Contaminación por partículas metálicas	Tandelta + DP + Temperatura	Prueba C1/PF, prueba DP, inspección visual, BDV del aceite

- Los resultados online y offline pueden diferir. Brinde una oportunidad a las lecturas online
  - La correlación de múltiples datos online puede proporcionar una mejor visión, identificar el modo de falla y proporcionar mejores ACCIONES PREVENTIVAS Y PRESCRIPTIVAS
- El análisis de gases disueltos es una gran herramienta para los bujes, permite confirmar e identificar una falla, pero ¿qué pasa con los bujes RIP?
  - Las descargas parciales pueden ser una herramienta muy eficaz para evitar las fallas de capacitancia

# ¡Gracias!

por ser parte de la **comunidad Innovar +**



Agendemos una cita presencial o virtual  
[pti@pti-sa.com.co](mailto:pti@pti-sa.com.co)



camlin energy



Grupo.epm