



# Revisión de las investigaciones de fallos en activos de media tensión

William Higinbotham - Presidente, EA Technology LLC

Kelly Higinbotham - Universidad de Connecticut

26 de febrero de 2018

# POWERTEST<sup>®</sup>

CONFERENCE

¿Los cables fallan por razones evitables?



## Agenda

- ¿Qué es una investigación forense?
- ¿Cómo hicimos nuestro estudio?
- ¿Cuándo y dónde se producen los fallos?
- Estadísticas de fallos en los cables
- Ejemplos de fracasos
- ¿Qué recomendaciones se desprenden del análisis de fallos?
- ¿Qué hemos aprendido?

# POWERTEST<sup>®</sup>

CONFERENCE  
EA Technology Group

- Creado originalmente como R&D Center para la industria eléctrica del Reino Unido. Privatizado a principios de los años 90.
- Ofrece investigación, consultoría estratégica de ingeniería, servicios de evaluación del estado de los activos de alta tensión, instrumentación especializada y software de gestión de activos y consultoría.
- Descubre el efecto TEV en 1978 y desarrolló el primer método práctico de detección en 1982
- Ha participado en el desarrollo de las normas PAS-55 e ISO-55000
- Mantiene un gran laboratorio de investigación forense equipado con la última tecnología y dotado de científicos altamente experimentados.

# POWERTEST<sup>®</sup>

CONFERENCE

¿Qué es una investigación forense?

"Recolección y análisis de datos para sacar conclusiones científicas sobre los mecanismos de fallo, las causas y la reparación"



## Beneficios del análisis forense:

- Proporciona una visión de los mecanismos de fallo
- Destaca otros activos de riesgo existentes
- Recomienda estrategias de gestión de activos para reducir el riesgo futuro
- Proporciona datos para la mejora continua de la mano de obra y las prácticas en la empresa

## Proceso de investigación

- Documentación de las condiciones del lugar y del fallo
- Revisión de los parámetros de la aplicación
- Desmontaje y revisión mecánica
- Investigación analítica
- Pruebas de materiales especializados
- Revisión de aplicaciones especializadas
- Conclusiones y recomendaciones
- Generación de informes

## Documentación de las condiciones del lugar y de la falla

Las circunstancias de un fallo a menudo pueden aportar mucha información sobre la causa del mismo.

### Cosas a tener en cuenta:

- Colocación del cable tal y como está instalado
- Detalles de la ocurrencia del fallo
- Influencias externas presentes
- Cualquier daño preexistente en el cable antes de su retirada

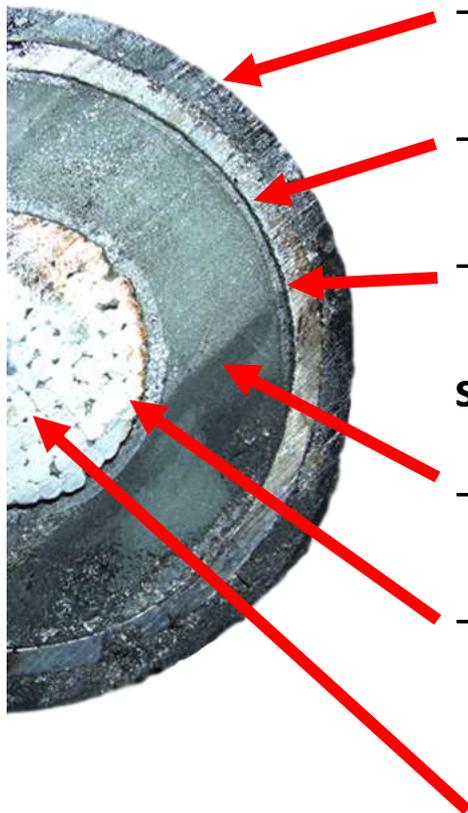


## Revisión de los parámetros de la aplicación

No aplicar los materiales/componentes adecuados a una situación determinada es una causa evitable común a muchos fallos.  
es decir

- No utilizar el kit de terminación correcto o las instrucciones correctas
- Conductores subdimensionados en comparación con la carga o la corriente de defecto
- Fijaciones mecánicas y herrajes incorrectos
- Cálculo incorrecto del aumento de calor para una instalación determinada

## Revisión del diseño del fabricante

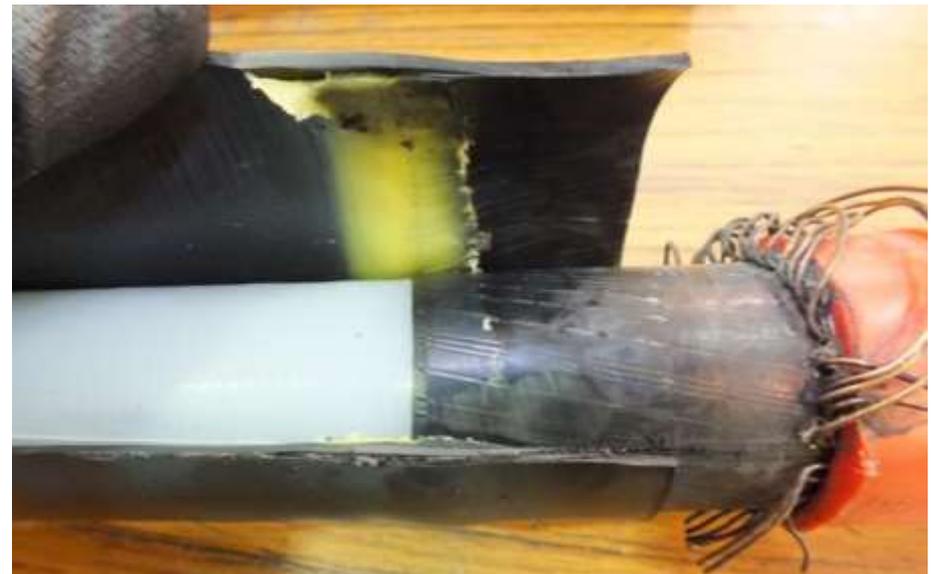


- Funda
- Escudo
- Escudo  
capa de  
semiconductores
- Aislamiento
- Capa conductora  
de  
semiconductores
- Conductor

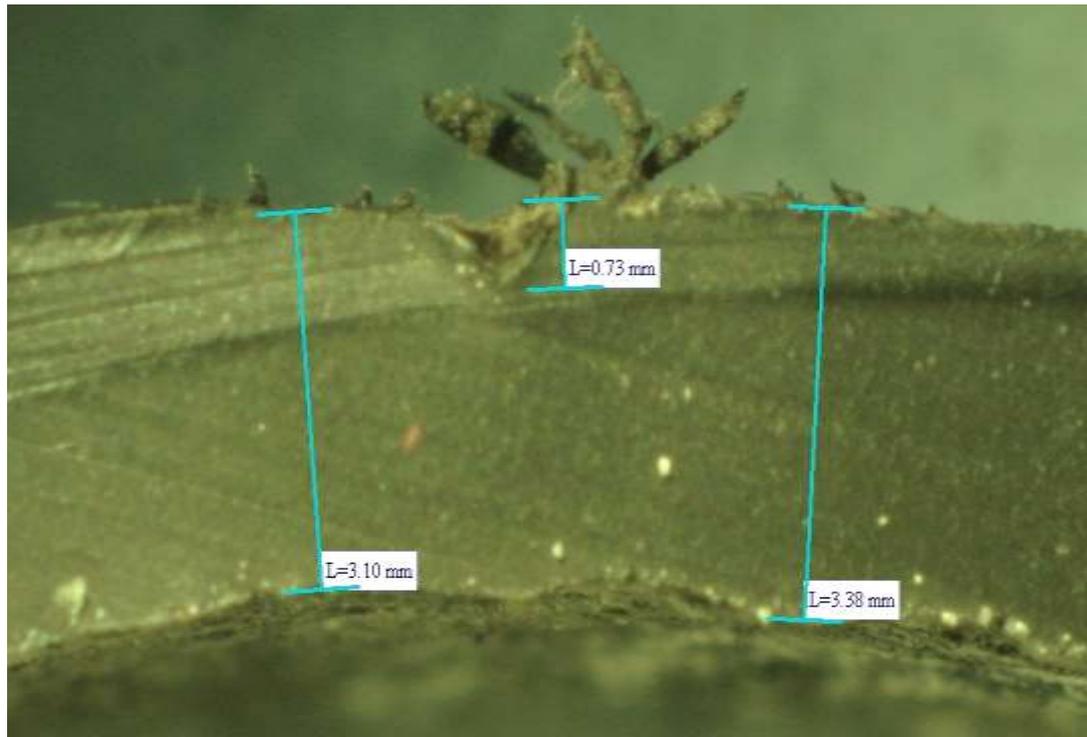
- Garantizar que el cable suministrado cumple con las normas de la empresa y de la aplicación
- Examinar las instrucciones de instalación para asegurarse de que son claras y completas
- Buscar los defectos de diseño que puedan conducir a una mayor probabilidad de fracaso

## Desmontaje y revisión mecánica

- Capa por capa
- Amplias medidas e imágenes
- Revisión según el diseño del fabricante y las instrucciones de unión
- Microscopía óptica cuando se justifique

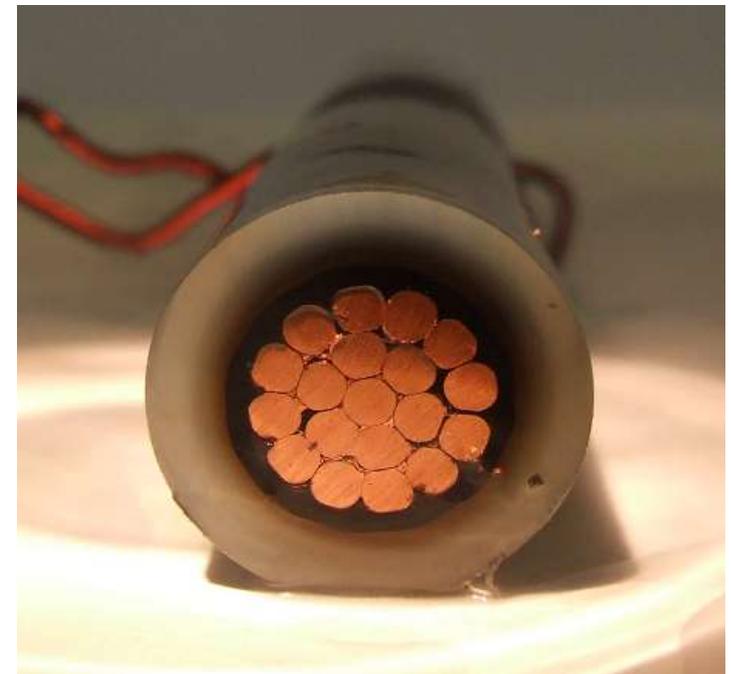


## Desmontaje y revisión mecánica



## Investigación analítica - XLPE

- Hervir en aceite de clavos para que quede transparente
- Inclusiones y ámbares
- Filtros polarizadores
- Los daños en el aislamiento pueden mostrar el origen del fallo



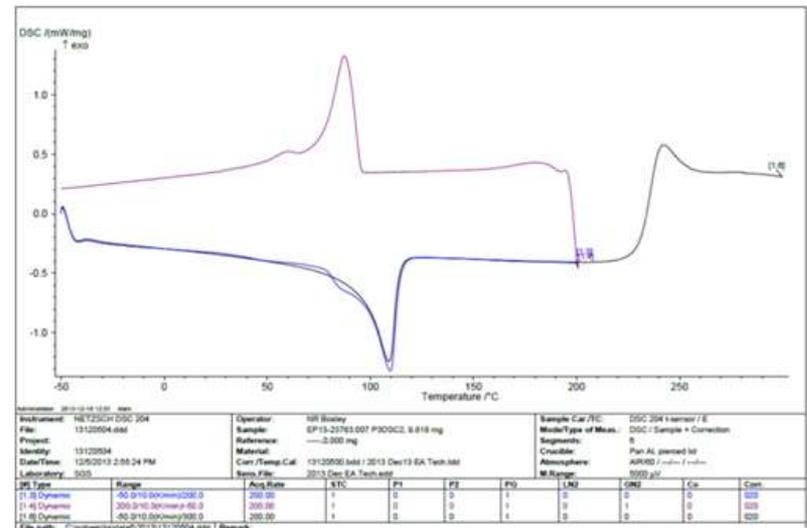
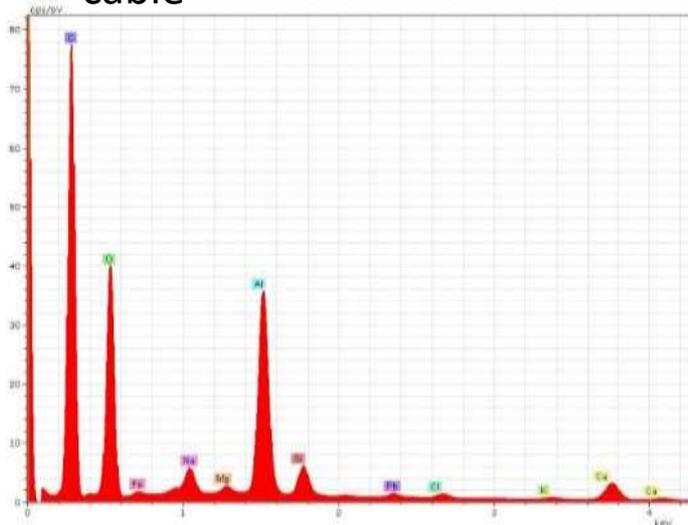
## Investigación analítica - Aislamiento de aceite de papel

- Hay muchos más factores mecánicos que pueden provocar un fallo
- Desenvuelve el papel y examina la superposición de los diferentes hilos para conseguir una estratificación uniforme
- Comprueba si hay patrones de cera localizados en los intersticios de los papeles
  - Árboles eléctricos marrones
  - Materiales a granel en papeles a tope



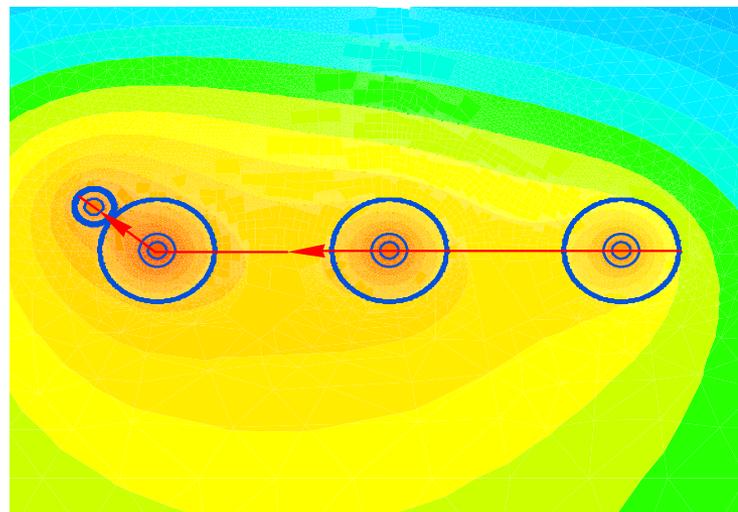
## Pruebas de materiales especializados

- Microscopio electrónico de barrido y espectrómetro: El análisis elemental puede utilizarse para encontrar inclusiones o identificar compuestos extraños
- Calorimetría diferencial de barrido: Encuentra la temperatura máxima que ha alcanzado el componente
- Pruebas mecánicas: Resistencia a la tracción realizada en los componentes del cable



## Revisión de aplicaciones especializadas

- Se ha realizado cuando todo parece estar bien, pero el fallo sigue produciéndose.
- Análisis de elementos finitos: nos indica dónde pueden producirse condiciones de sobrettemperatura.



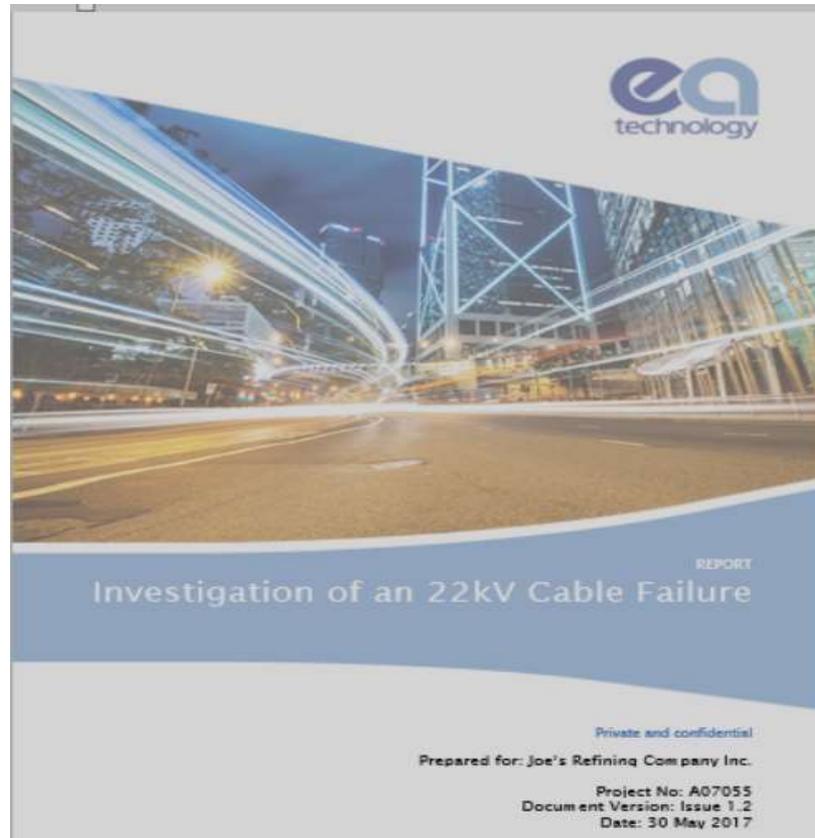
## Conclusiones y recomendaciones

- Las conclusiones ponen de relieve las causas próximas y últimas de los fallos a partir de los datos recogidos en el informe
- Las recomendaciones suelen ser:
  - Estrategias de gestión de activos para los componentes restantes
  - Remediación de los mecanismos de fallo
  - Cualquier formación necesaria o revisión de los procedimientos

# POWERTEST<sup>®</sup>

CONFERENCE

## Generación de informes





## Nuestro procedimiento de investigación (1)

Informes extraídos de 2011 a 2015 de los informes de análisis forense de EA Technology

100 informes revisados

- 27 Consideradas irrelevantes y descartadas del estudio
  - Clase de tensión inferior
  - No se ha producido ningún fallo
  - Fallo mecánico, no eléctrico
- El resto de los 73 informes analizados



## Nuestro procedimiento de investigación (2)

Informes clasificados por:

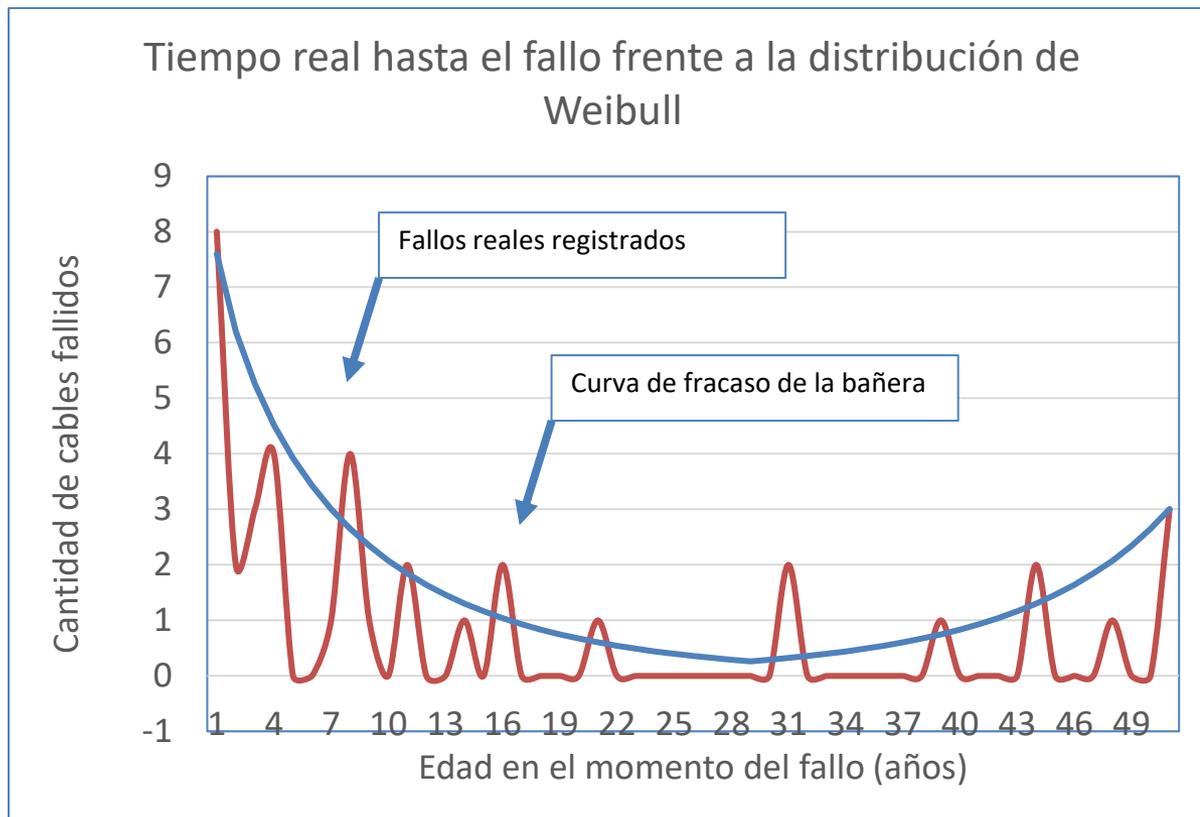
- **Antigüedad en el momento del fallo**
- **Tipo de aislamiento**
- **Tensión**
- **Lugar de instalación**
- **Componente fallido**
- **Causa próxima**
- **Causa última**

## Nuestro procedimiento de investigación (3)

### Informes revisados y acciones recomendadas contabilizadas

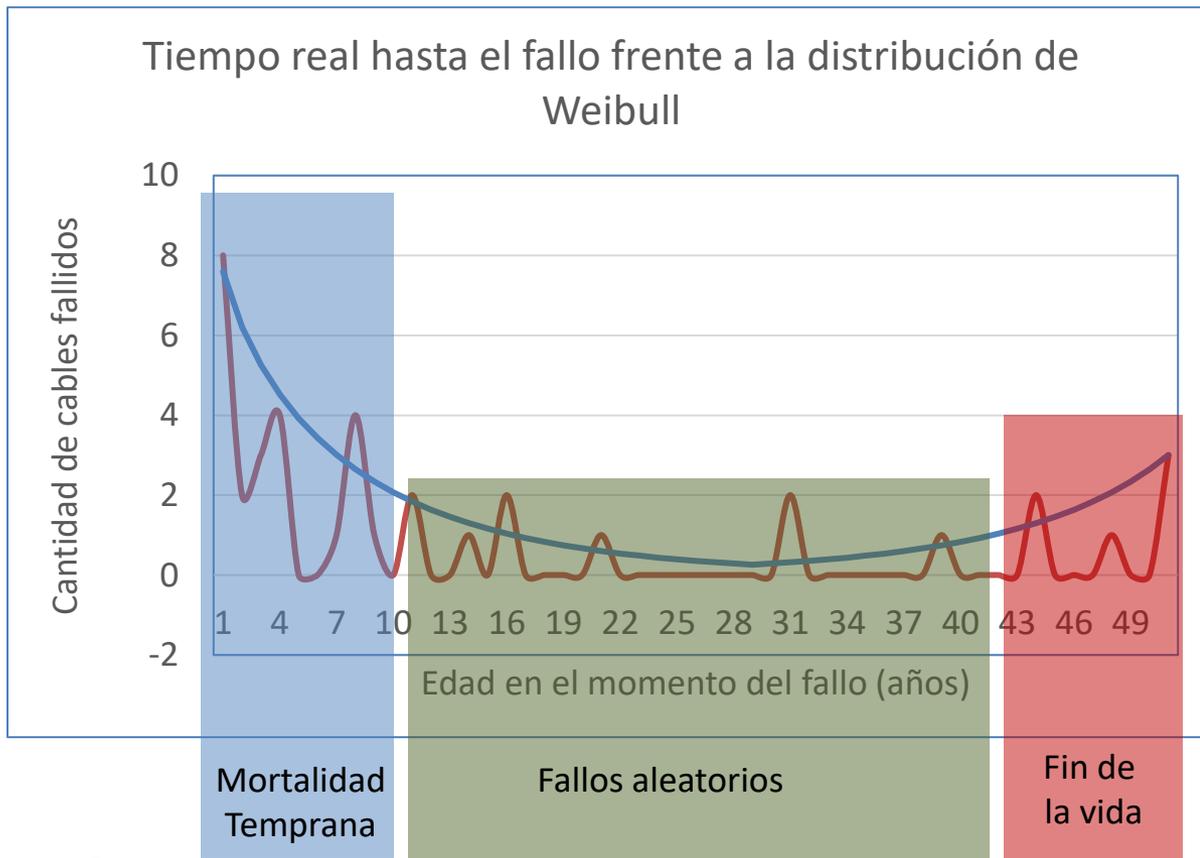
- Realizar el mapeo de la DP
- Considerar la sustitución
- Evaluación del estado de componentes similares
- Inspección visual
- Reencauzamiento de la carpintería
- Revisar las instrucciones/procedimientos
- Evaluar los daños mecánicos
- Discutir con el fabricante
- Revisar la selección de equipos

## Resultados del estudio - Fallos a lo largo del tiempo



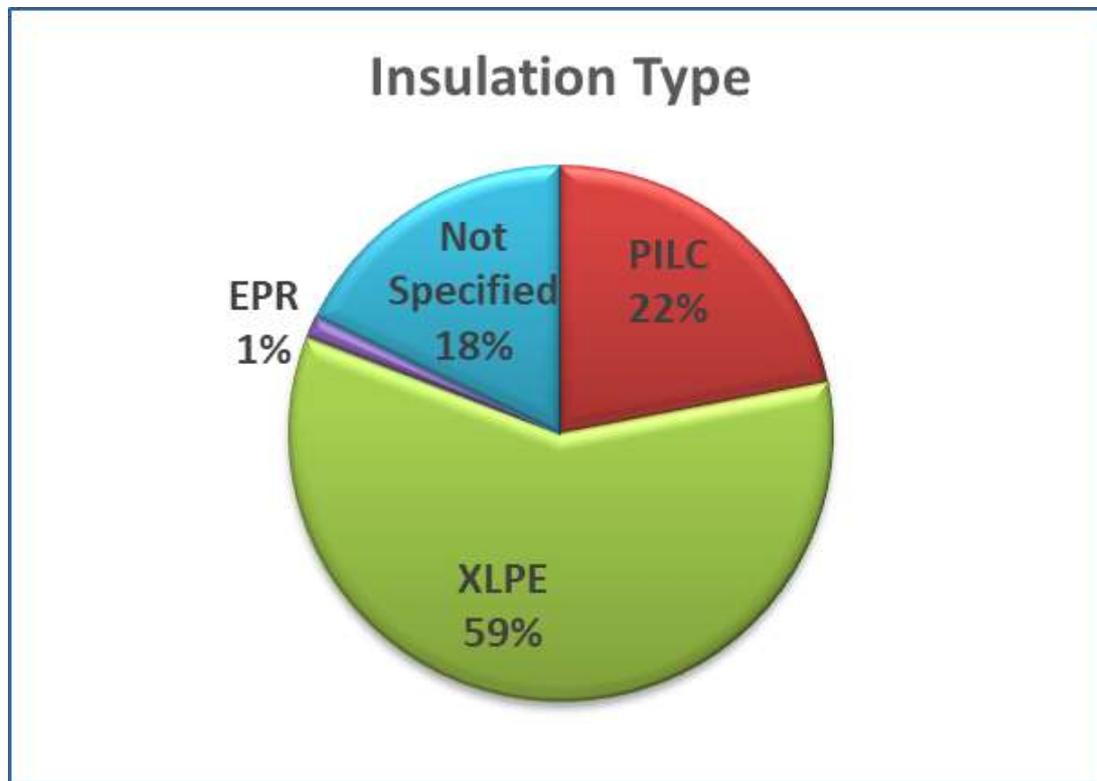
- Patrón típico de fallo de la curva de la bañera
- Indica que las tasas de fracaso son predecibles.

## Resultados del estudio - Etapas de la vida de los cables (IM, RF, EOL)



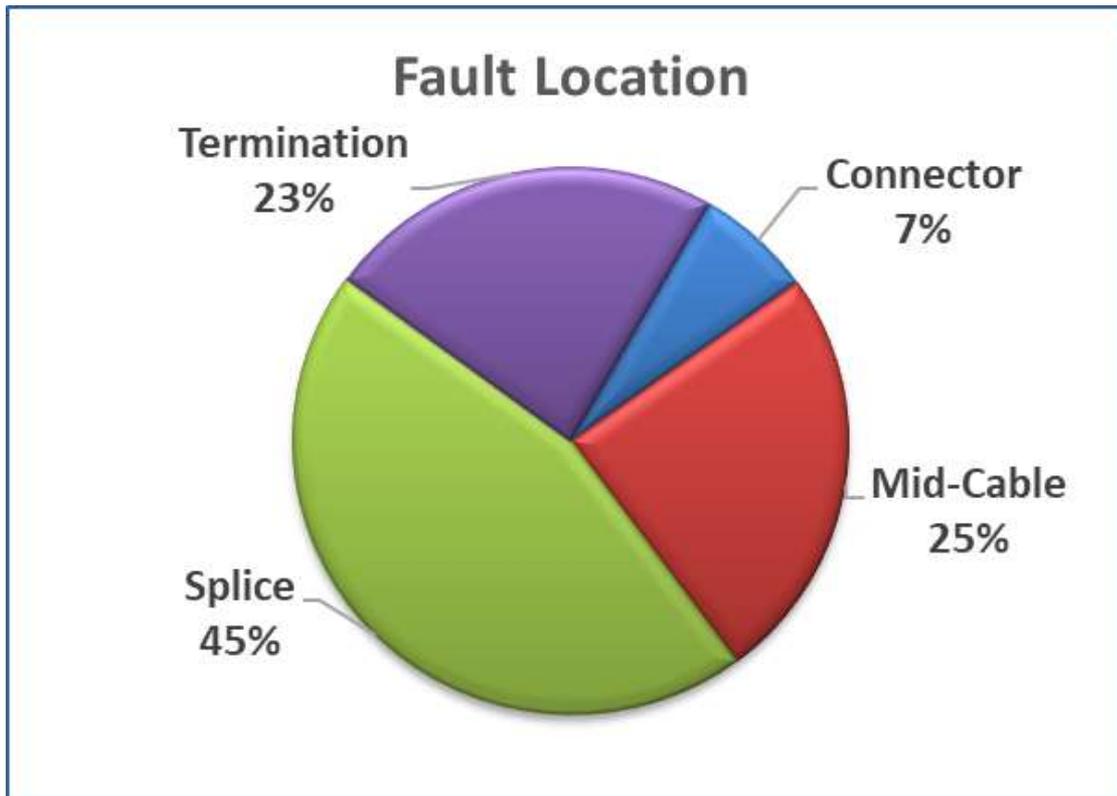
- El periodo de mortalidad temprana (MT) es de ~ 10 años
- La mortalidad temprana constituye el mayor segmento
- Fallo aleatorio (FA) Período de 10 a 40 años de edad
- Después de los 40 años, comienza el fin de la vida (FDV)

## Resultados del estudio - Fallos en función del tipo de cable



- El XLPE representa más del 70% de los identificados
- El XLPE y el PILC presentan una proporción similar de fallos por kilómetro de base instalada\*.
- La EPR presenta un número desproporcionadamente menor de fallos por kilómetro

## Resultados del estudio - Lugares donde se producen fallos



- El 68% de las averías se producen en lugares en los que los técnicos trabajan sobre el cable.
- Los fallos del cable central pueden ser
  - Mecánica
  - Aplicación
  - Fabricación
  - Al azar

## Estudio - ¿Qué es una "causa"?

El Titanic se hundió..... ¿Por qué?

1. El barco se llenó de agua
2. ¿Por qué? - Un agujero en el barco
3. ¿Por qué? - El barco chocó con un iceberg
4. ¿Por qué? - El barco iba demasiado rápido
5. ¿Por qué? - White Star Lines estaba presumiendo



## Estudio - ¿Qué es una "causa"?

El Titanic se hundió..... ¿Por qué?

1. El barco lleno de agua - **Efecto natural**
2. Había un agujero en el barco - **Causa próxima**
3. El barco chocó con un iceberg
4. El barco iba demasiado rápido
5. White Star Lines presumía- **Última causa**

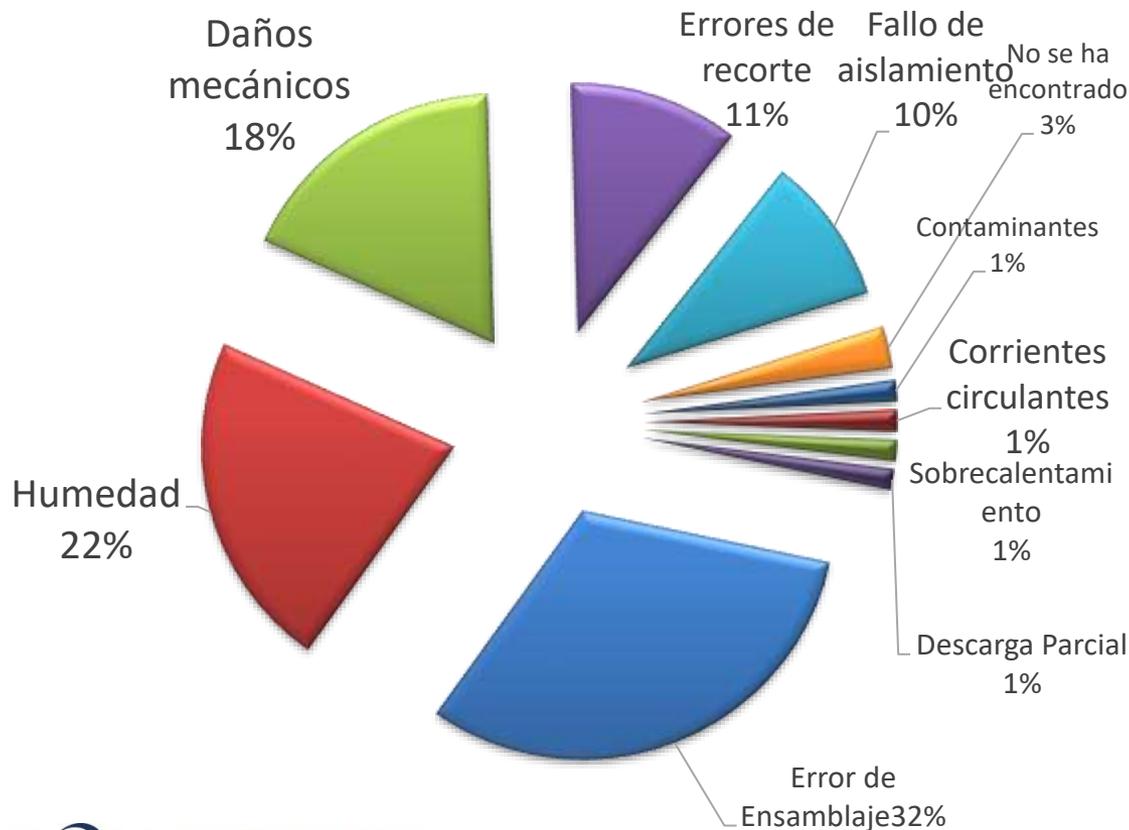
## Estudio - ¿Qué es una "causa"?

El Titanic se hundió..... ¿Por qué?

1. El barco lleno de agua - **Efecto**
2. Había un agujero en el casco - **Causa próxima**
3. El barco chocó con un iceberg
4. El barco iba demasiado rápido
5. White Star Lines se equivocó - **Última causa**

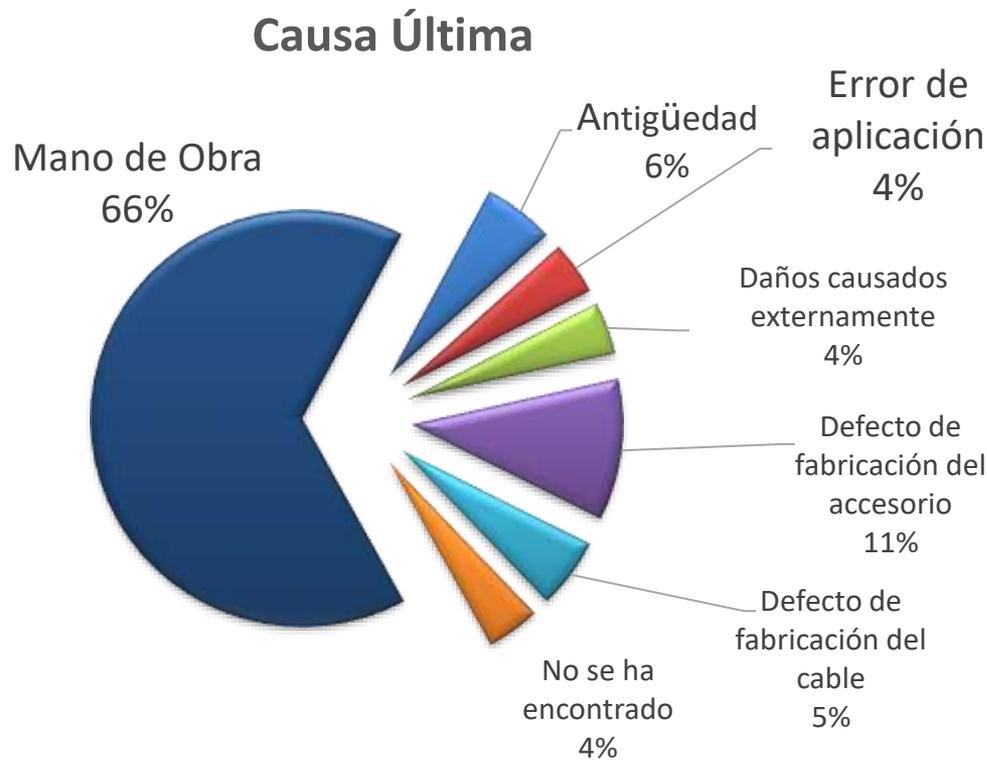
5 razones

## Resultados del estudio – Causa Próxima



- Los errores de montaje parecen ser la causa de 1/3 de los fallos
- "No se ha encontrado" es un porcentaje muy pequeño de casos
- Está claro que la Causa Próxima no sirve para ver el panorama completo
  - ¿Por qué hay tantos fallos de humedad?
  - ¿Qué está causando los daños mecánicos?

## Resultados del estudio – Causa Última



- La Causa Última pinta un cuadro muy diferente
- La mano de obra representa 2/3 de los fallos
- Los defectos de fabricación no son insignificantes (16%)
- El daño externo no es un gran contribuyente
- Los fallos relacionados con la antigüedad son pequeños

## Ejemplo 1

Tipo de cable - PILC / XLPE

Tensión - 11 KV

Antigüedad - 1 hora

Localización de fallos - Rama PICAS a XL

Adaptador



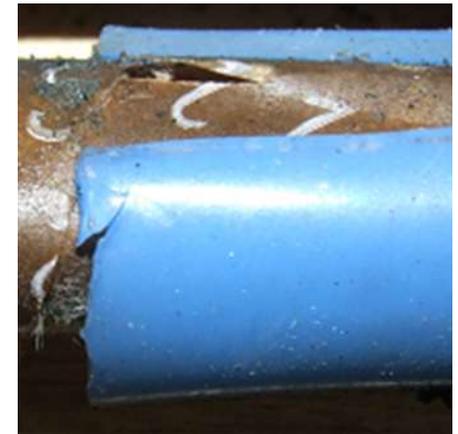
## Ejemplo 1

Causa próxima - Colocación incorrecta de los tubos adaptadores

Causa última: la **mano de obra**

### Puntos de partida

- Una mano de obra horrible
- Numerosos puntos de fallo futuros presentes



**Tubo mal cortado**



**30 mm de separación en el aislamiento Sólo 1 perno de cizalladura en contacto**

**POWERTEST<sup>®</sup>** No hay masilla en los pernos de cizalladura  
CONFERENCE

## Ejemplo 2

Tipo de cable - XLPE

Tensión - 33KV

Antigüedad - 18 meses

Ubicación del fallo -

Junta



## Ejemplo 2

Causa próxima - No desbarbar el conector

Causa última - **La mano de obra**

### **Puntos de partida**

- Mala comprensión de las instrucciones
- Falta de atención a los detalles
- Falta de formación



## Ejemplo 3

Tipo de cable - XLPE

Tensión - 11KV

Antigüedad - 28 años

Ubicación de la avería - Cable medio



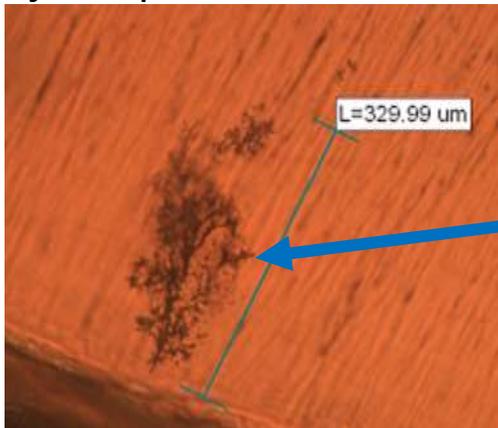
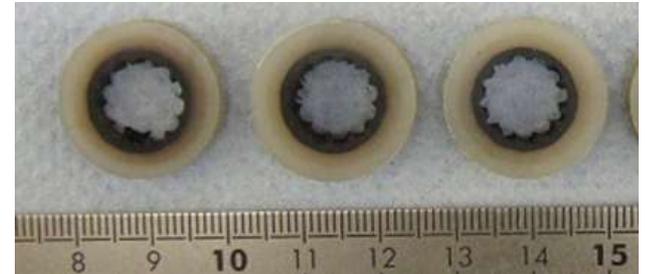
## Ejemplo 3

Causa próxima: la humedad

Causa última - **Daños mecánicos en la funda**

### Puntos de partida

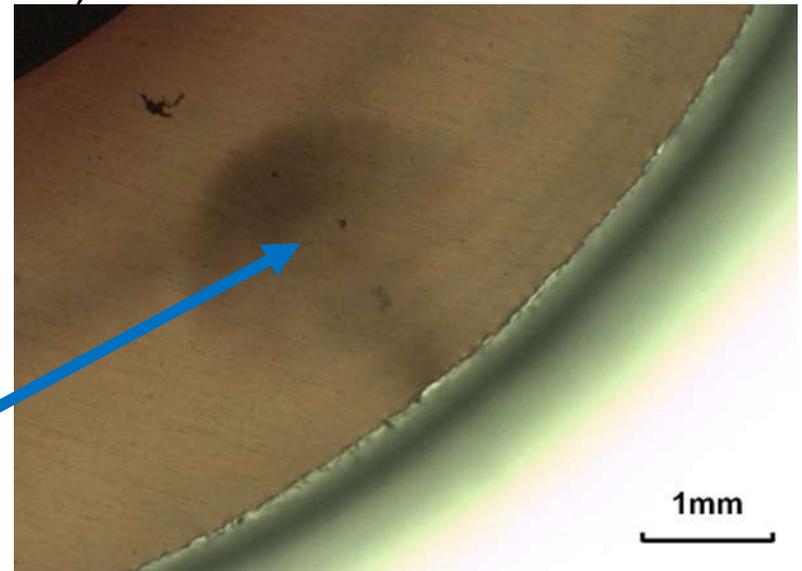
- Daños mecánicos en un cable que, por lo demás, está en buen estado
- Sustituir la sección anegada
- Mejores prácticas de instalación



Árboles

Eléctrico

Agua



## Ejemplo #4

Tipo de cable - PILC

Tensión - 11KV

Antigüedad - 47 años

Ubicación de la avería - Cable medio



## Ejemplo #4

Causa próxima - Descarga parcial

Causa última - **La Antigüedad**

### Puntos de partida

- No es una mala vida
- Las pruebas de descarga parcial habrían evitado un fallo imprevisto
- Sustituir el cable



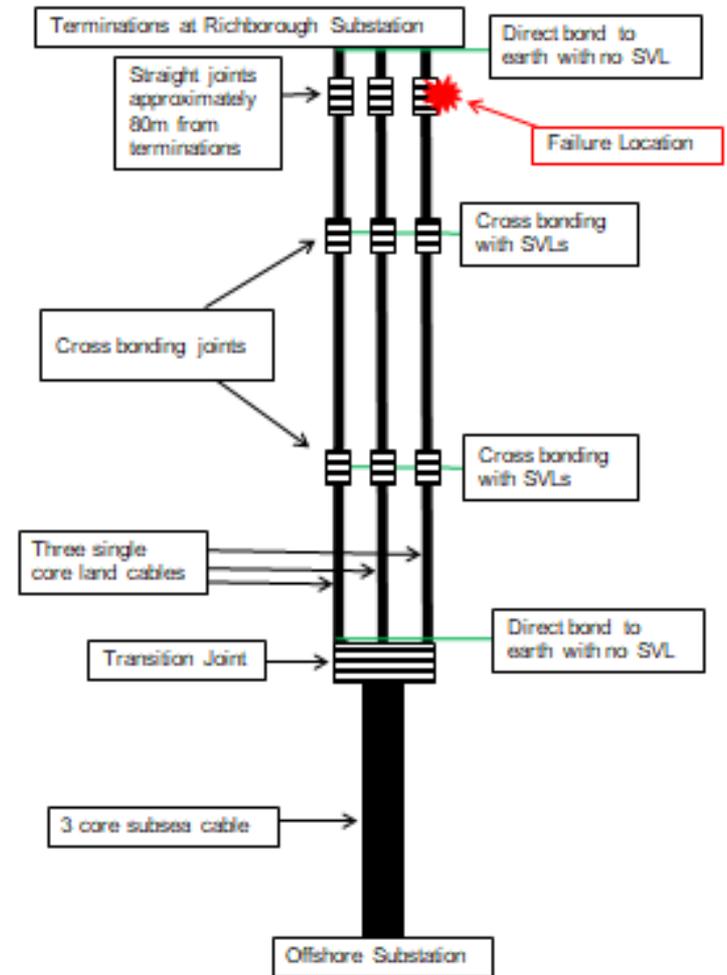
## Ejemplo 5

Tipo de cable - XLPE

Tensión - 132 KV

Antigüedad - 3 años.

Ubicación del fallo -  
Junta



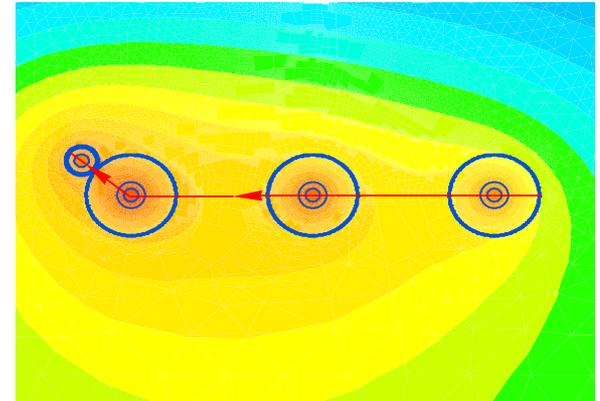
## Ejemplo 5

Causa próxima - Sobrecalentamiento

Causa última - **Error de aplicación**

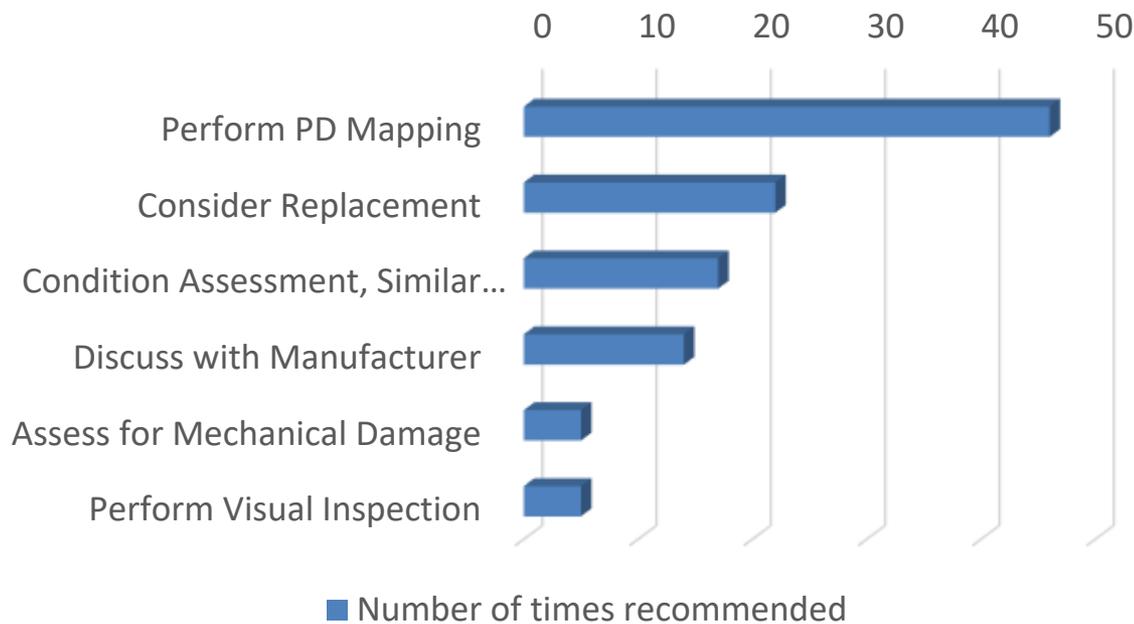
**Puntos de partida**

- La unión bien hecha
- La colocación física del cable adyacente causó el fallo



## Resultados del estudio - Medidas recomendadas para evitar fallos en los equipos existentes

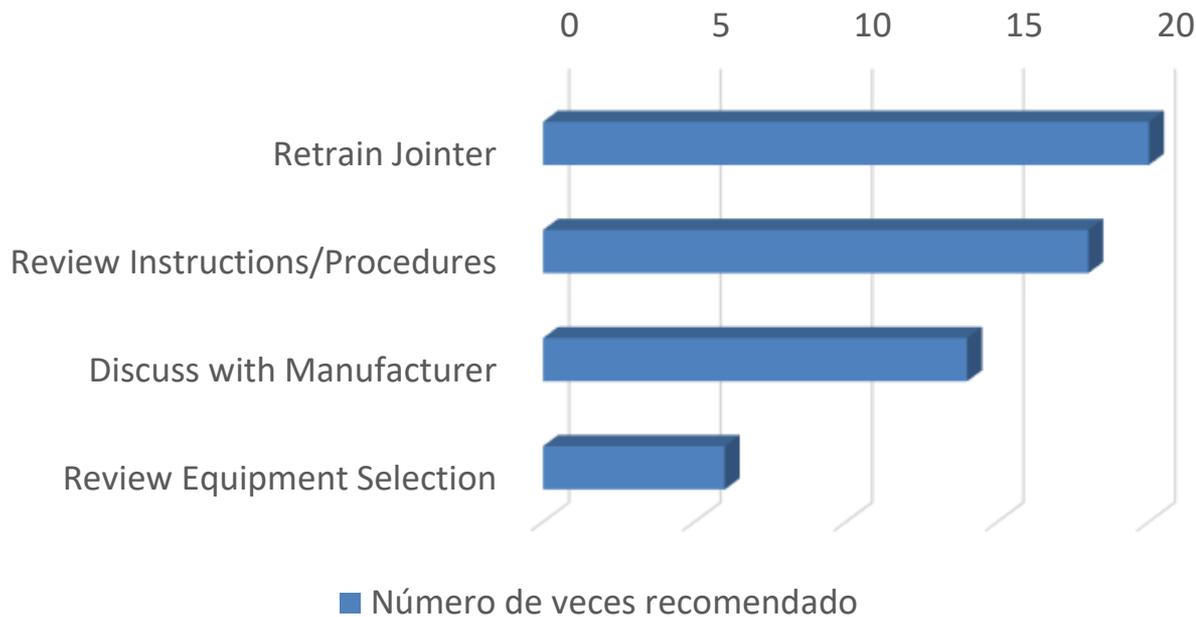
Acciones recomendadas - Existencia de equipos



- La cartografía de la DP es muy recomendable
- La sustitución es una de las únicas opciones
- La inspección visual tiene un valor limitado, ya que la mayoría de los problemas están ocultos
- El fabricante puede ofrecer asesoramiento

## Resultados del estudio - Medidas recomendadas para evitar fallos en futuras instalaciones

Acciones recomendadas - Nuevas instalaciones



- La formación de los carpinteros es fundamental
- Revisar las instrucciones y hablar con el fabricante cuando no esté claro puede ser de gran ayuda
- Asegúrese de que utiliza las piezas adecuadas para el trabajo

Pregunta - ¿El estudio siempre encuentra la causa?

No siempre. Pueden darse tres situaciones sin que se encuentre la causa principal.

- 1) Hay tanto daño que se pierde la evidencia de la causa inicial
- 2) Tras un examen exhaustivo, no se encuentra ningún problema
- 3) No es rentable seguir

**Incluso con todas estas formas de no encontrar la causa última, ¡se aprende mucho!**

## ¿Qué hemos aprendido hoy (1)?

- El análisis forense es mucho más detallado que una revisión de campo
- La revisión forense puede ayudar a prevenir futuros fracasos
- Golpear el iceberg no es el verdadero problema
- No todas las investigaciones encuentran la causa principal
- Cada investigación se suma a nuestra base de conocimientos
- Los científicos forenses tienen herramientas muy interesantes.

## ¿Qué hemos aprendido hoy (2)?

- Los cables tienen una curva de fiabilidad predecible
- El 35% de las averías de los cables se producen en los primeros 10 años
- El 75% de los fallos de los cables se producen en las terminaciones y empalmes
- El 66% de los fallos de los cables se deben a la mano de obra
- Muchos de los problemas de mano de obra, aunque no todos, pueden mejorarse mediante la formación, ya que  
....

# POWERTEST<sup>®</sup>

CONFERENCE

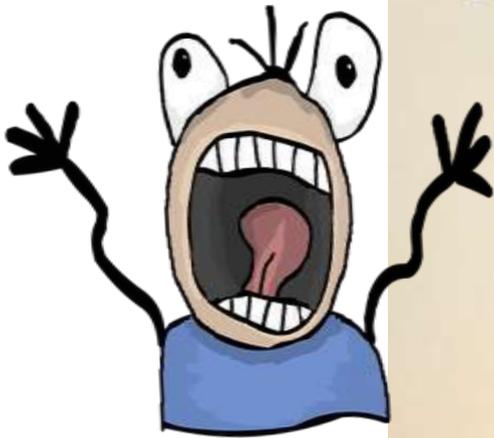
## ¿Qué hemos aprendido hoy (3)?

- No se pueden evitar todos los fracasos.



**Hoja de sierra**

**Aislamiento de cables**





**Descargo de responsabilidad** - Este estudio incluyó un número modesto de muestras durante un periodo de tiempo relativamente corto. Aunque los autores creen que los resultados son representativos de las condiciones reales del campo. Esto no se puede garantizar. El tamaño de la muestra, el período de tiempo, las motivaciones de las investigaciones, etc., podrían contribuir a las variaciones de un estudio más detallado.



No olvide rellenar el formulario  
de evaluación  
Gracias.