

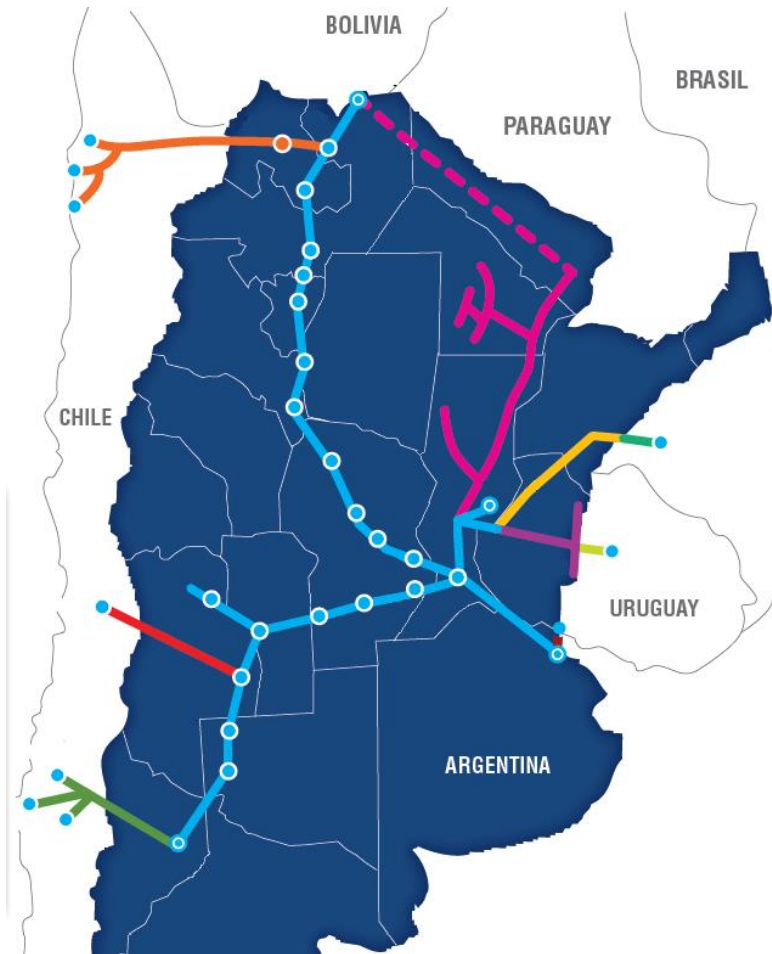
# Gestión de la Protección Catódica en cañerías susceptibles a la fragilización por hidrógeno

Andrea Moneta, Sofía Congilio

# Sumario

- Introducción:
  - Sistema TGN
  - Rotura de gasoducto por fragilización por hidrógeno
- Análisis de la protección catódica en la zona de la rotura
- Mejoras en el sistema de protección catódica
- Revisión del Plan de Integridad en el tramo
- Conclusiones

# Sistema de gasoductos TGN



Incluye un total de 10900 km, conformados por cañerías de distintos materiales, diámetros y revestimientos:

- ✓ 2390 km esmalte asfálticos (22%)
- ✓ 1250 km cintas plásticas (12%)
- ✓ 564 km epoxi (5 %)
- ✓ 6619 km polietileno tricapa (3LPE) (61%).

# Rotura en cañería de 22"



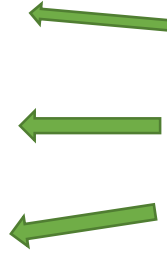
Material: acero API 5L X52  
Marca A.O. Smith  
Diámetro: 22"  
Espesor: 6,35mm  
Revestimiento asfáltico

Localidad: San Pedro (152 km de planta compresora)  
Año construcción: 1960  
A 152 km de una planta compresora  
Presión de operación: 55kg/cm<sup>2</sup>  
MAPO: 59,8 kg/cm<sup>2</sup>



# Análisis de las superficies

- Grietas en la superficie externa del revestimiento.
- Adherencia pobre al acero
- Muy frágil y fácil de romper.



REVESTIMIENTO







ACERO



- Con manchas de oxidación, depósitos blanquecinos y cristales.



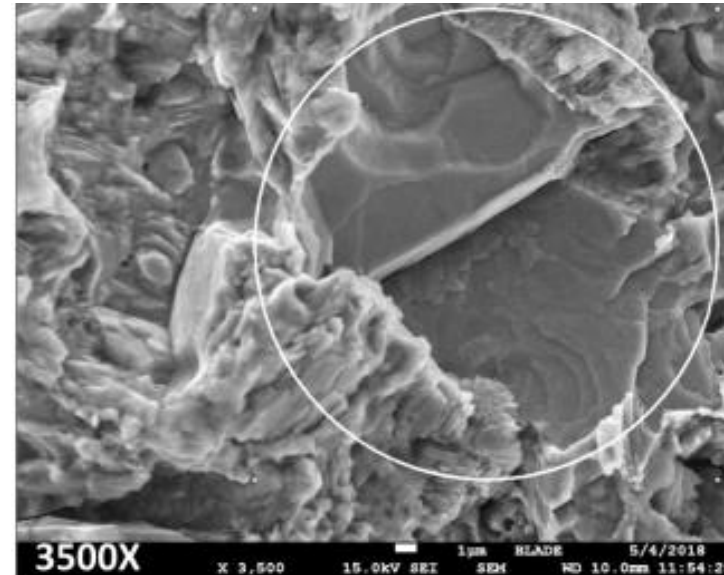
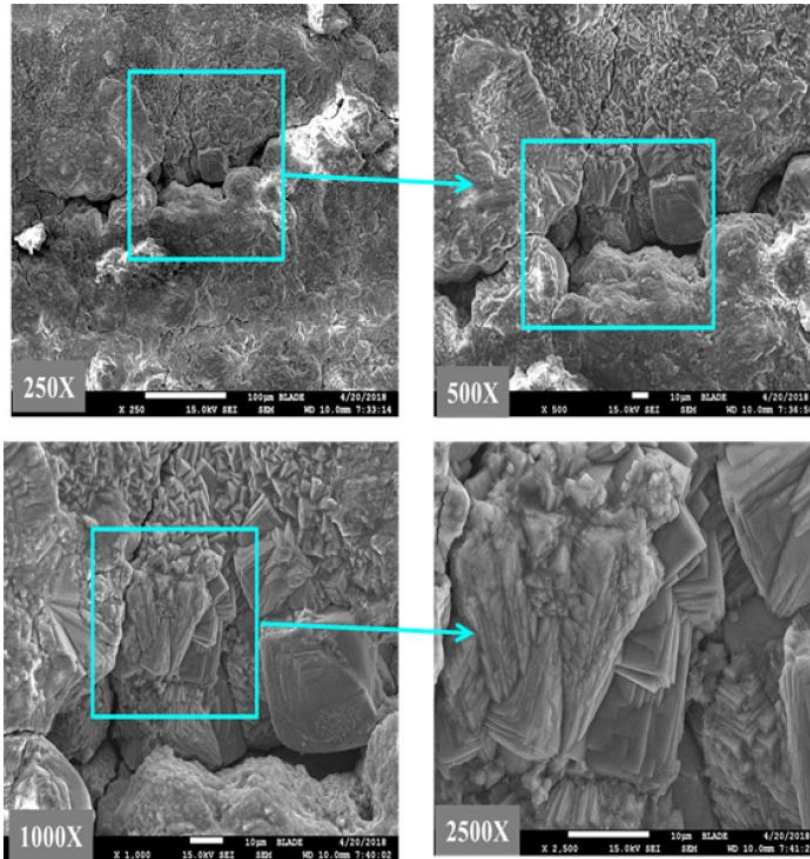
# Conclusiones Análisis de falla

- No fue por SCC de pH alto 
  - No había fisuras intergranulares
  - No se encontró pH alto en la superficie del tubo
- No fue por SCC de pH Neutro 
  - No había apantallamiento de la protección catódica. La superficie del tubo estaba catódicamente protegida.
  - No había planos de *cuasi-clivaje*.
- No fue por agrietamiento de punto duro 
  - No había altas durezas localizadas (hard spot) en el área de la ruptura.
- No fue por fatiga 
  - No había evidencia de estrías de fatiga en las superficies de fractura.
  - El ciclado de presión es bajo.

# Conclusiones Análisis de falla

## Agrietamiento por hidrógeno

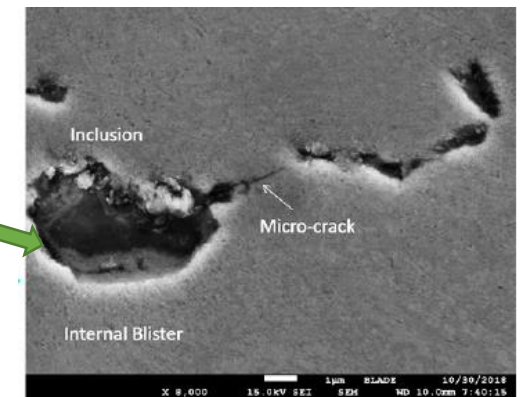
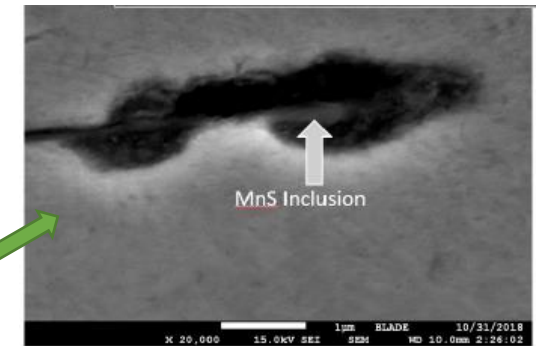
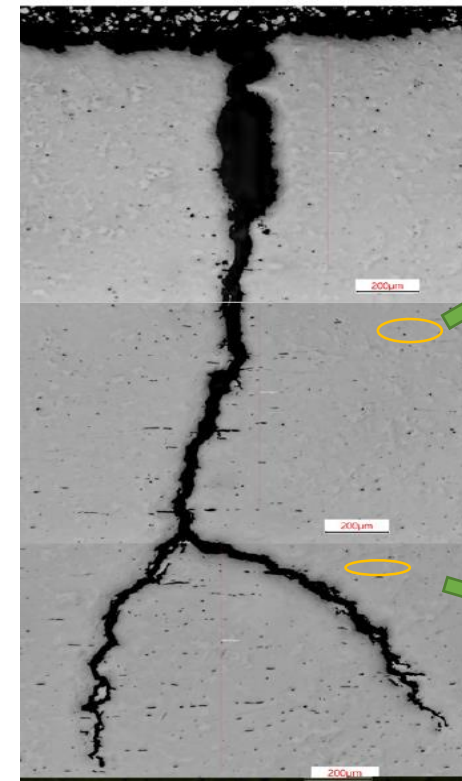
- Fractura tipo frágil, con planos de clivaje



# Conclusiones Análisis de falla

## Agrietamiento por hidrógeno

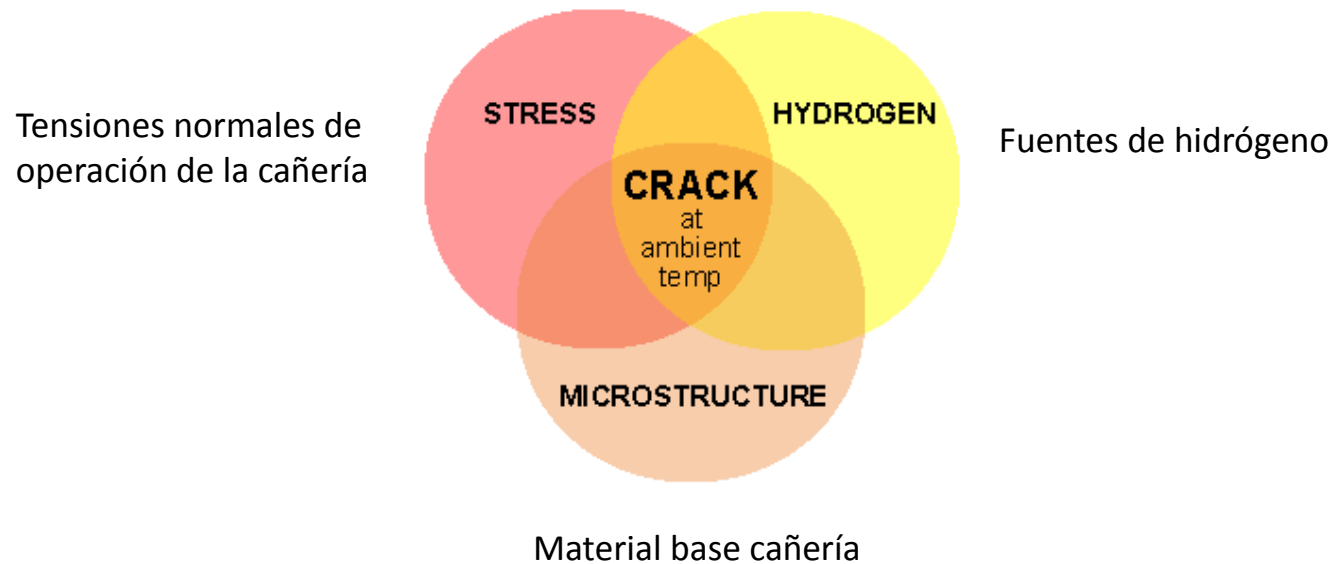
- Fractura tipo frágil, con planos de clivaje
- Grietas transgranulares
- Delaminaciones en inclusiones de MnS





# Agrietamiento por hidrógeno

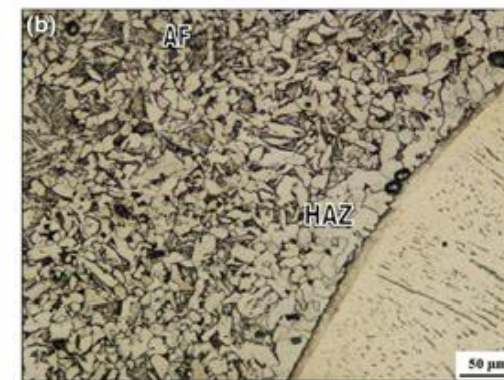
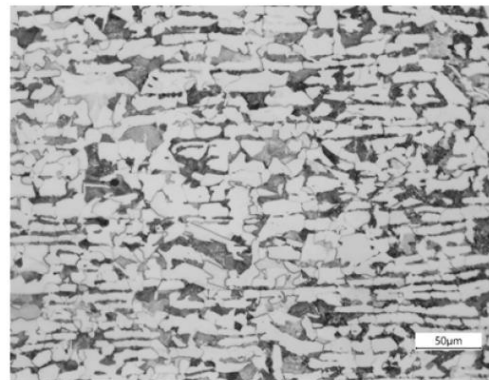
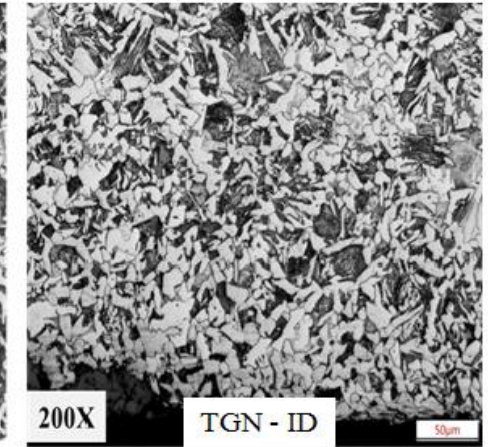
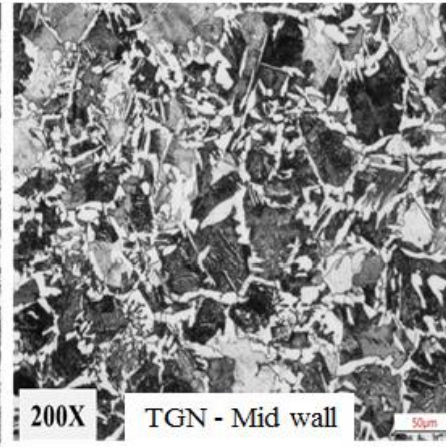
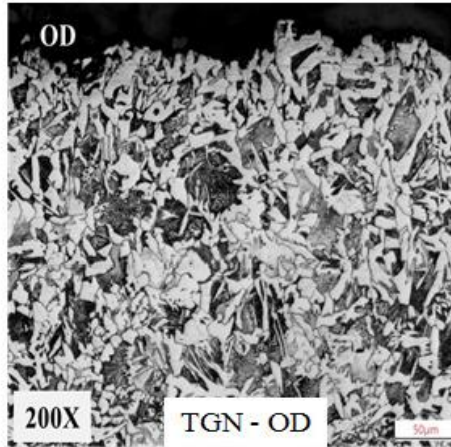
- Factores que deben conjugarse para el desarrollo del fenómeno:



# Microestructura

El material cumple con las especificaciones para tuberías API 5L Ed. 1958.

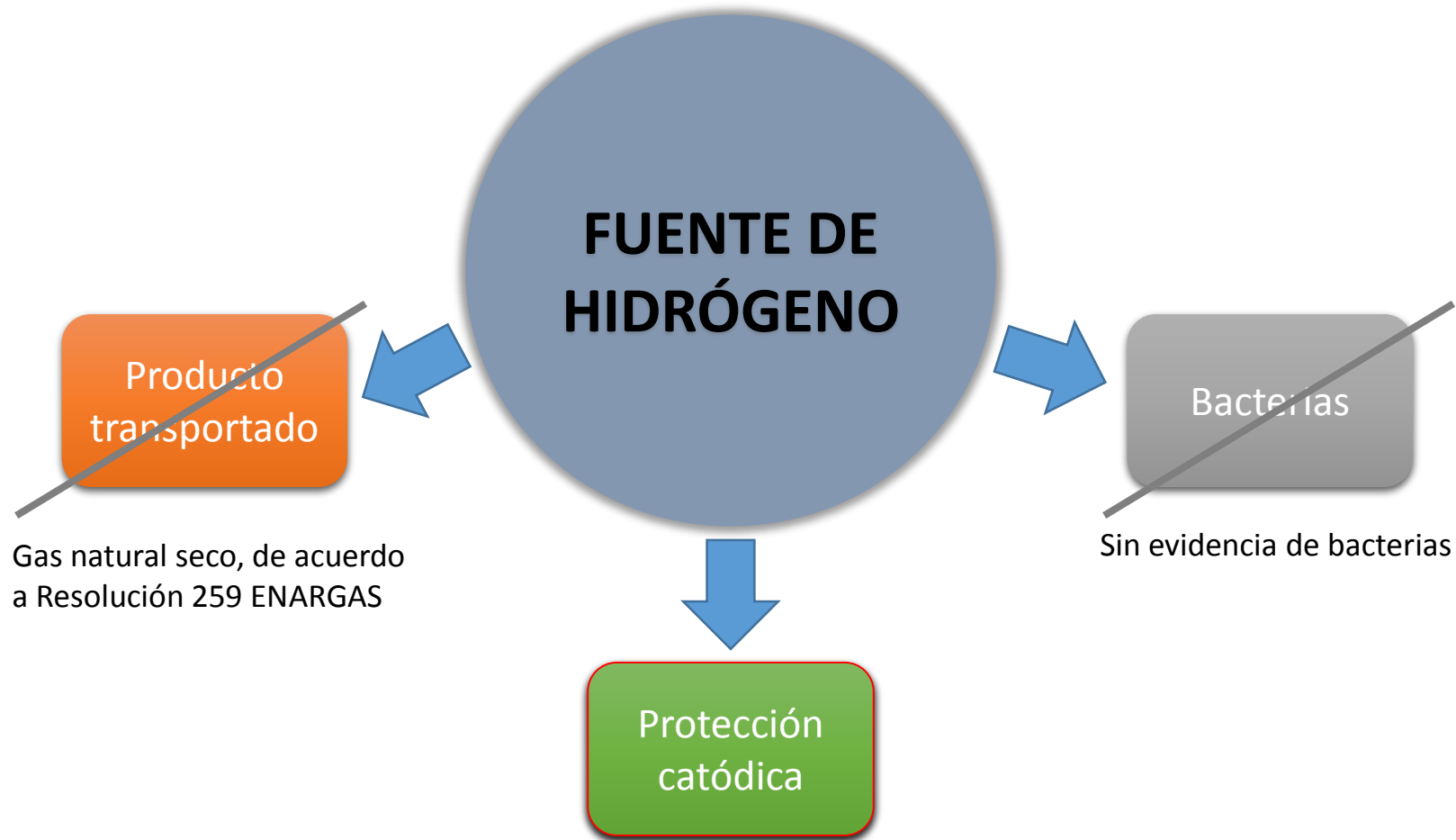
Su microestructura no es la habitualmente encontrada en tubería X52.



AF = Acicular Ferrite  
HAZ = Heat-Affected Zone

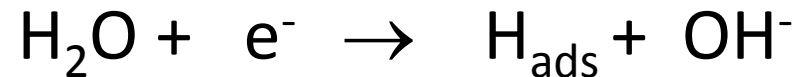
Microestructura habitual X52

Microestructura zona afectada por calor



# Protección catódica como fuente de hidrógeno

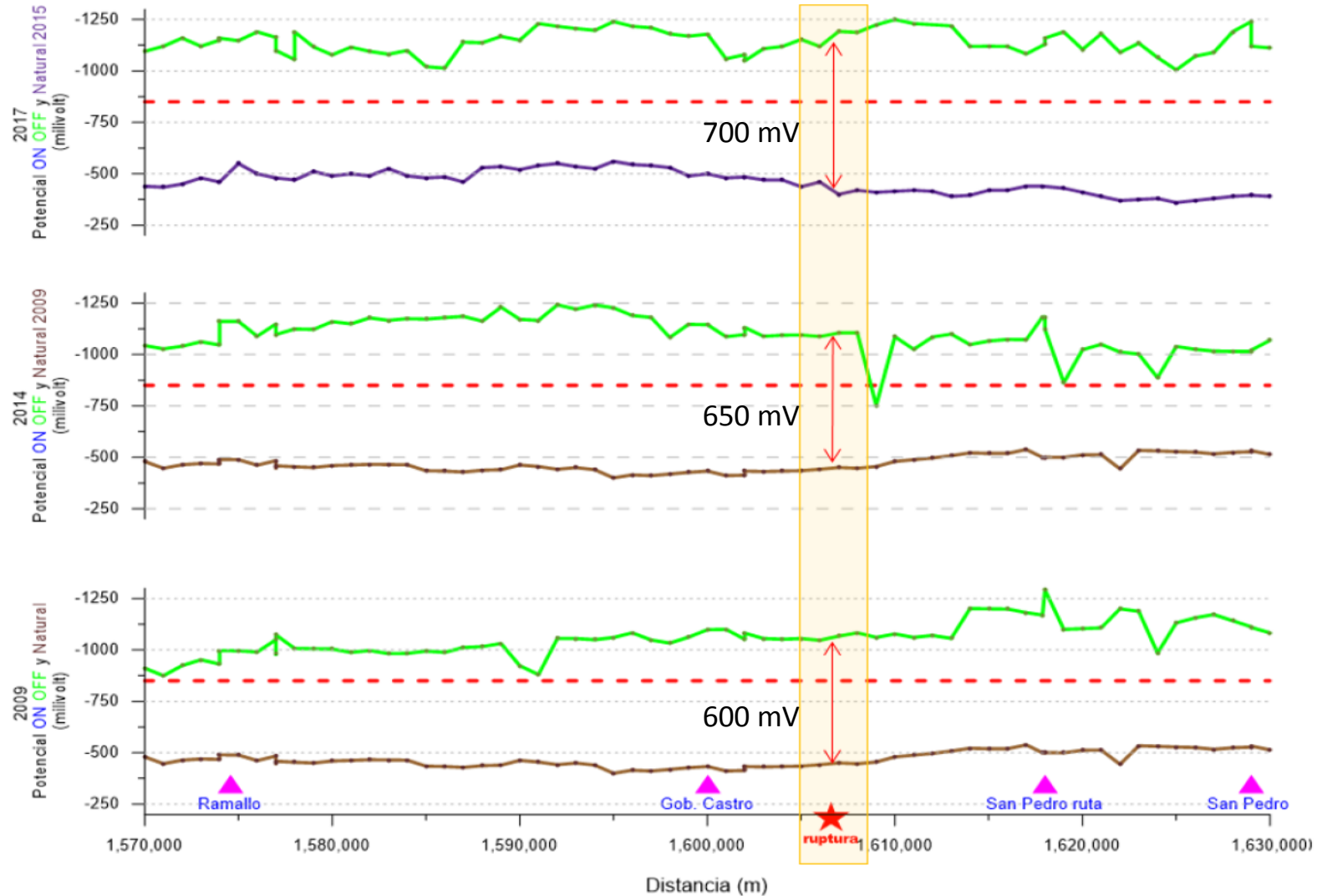
A altas densidades de corriente tiene lugar la reducción del agua:



La cantidad de hidrógeno generada está dada por la corriente de protección catódica aplicada.

# Análisis de potenciales en zona de rotura

- Relevamientos históricos de potenciales ON, OFF y Despolarizados



# Análisis de Inyecciones de corriente

Densidades de corriente promedio de los últimos 3 años en la zona de la rotura, representativas del funcionamiento de la PC desde sus inicios (1960):

CPS	Densidad de corriente (mA/m <sup>2</sup> ) 2015	Densidad de corriente (mA/m <sup>2</sup> ) 2016	Densidad de corriente (mA/m <sup>2</sup> ) 2017
1556	0.818	0.245	0.586
1574	0.398	0.235	0.241
1600	0.239	0.215	0.182
1617	0.364	0.311	0.297
1628	0.377	0.49	0.571
1657	0.117	0.26	0.302
1675	0.038	0.217	0.257
1690	0.079	0.322	0.312

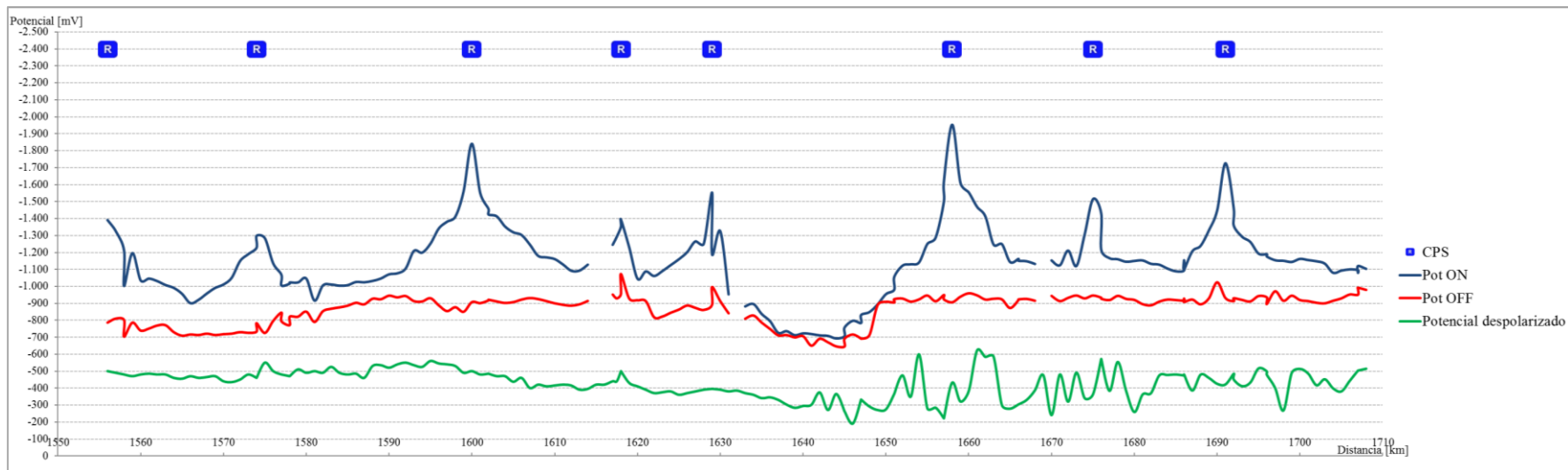
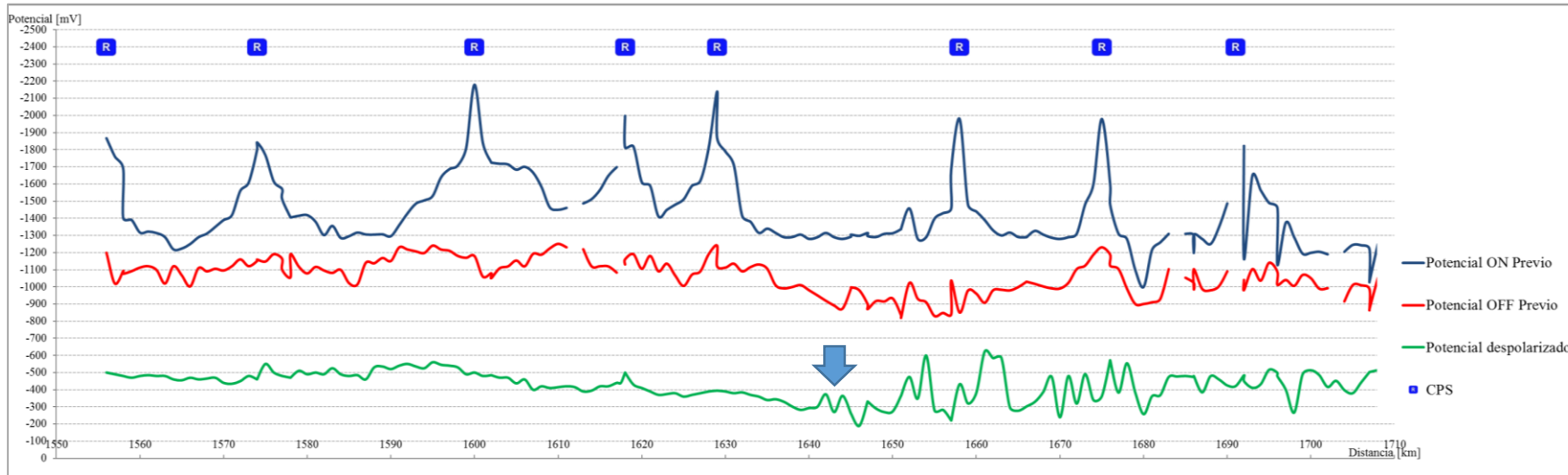
**Promedio:  
0.3 mA/m<sup>2</sup>**

Requerimientos de corriente típicos en cañería con revestimiento asfáltico:

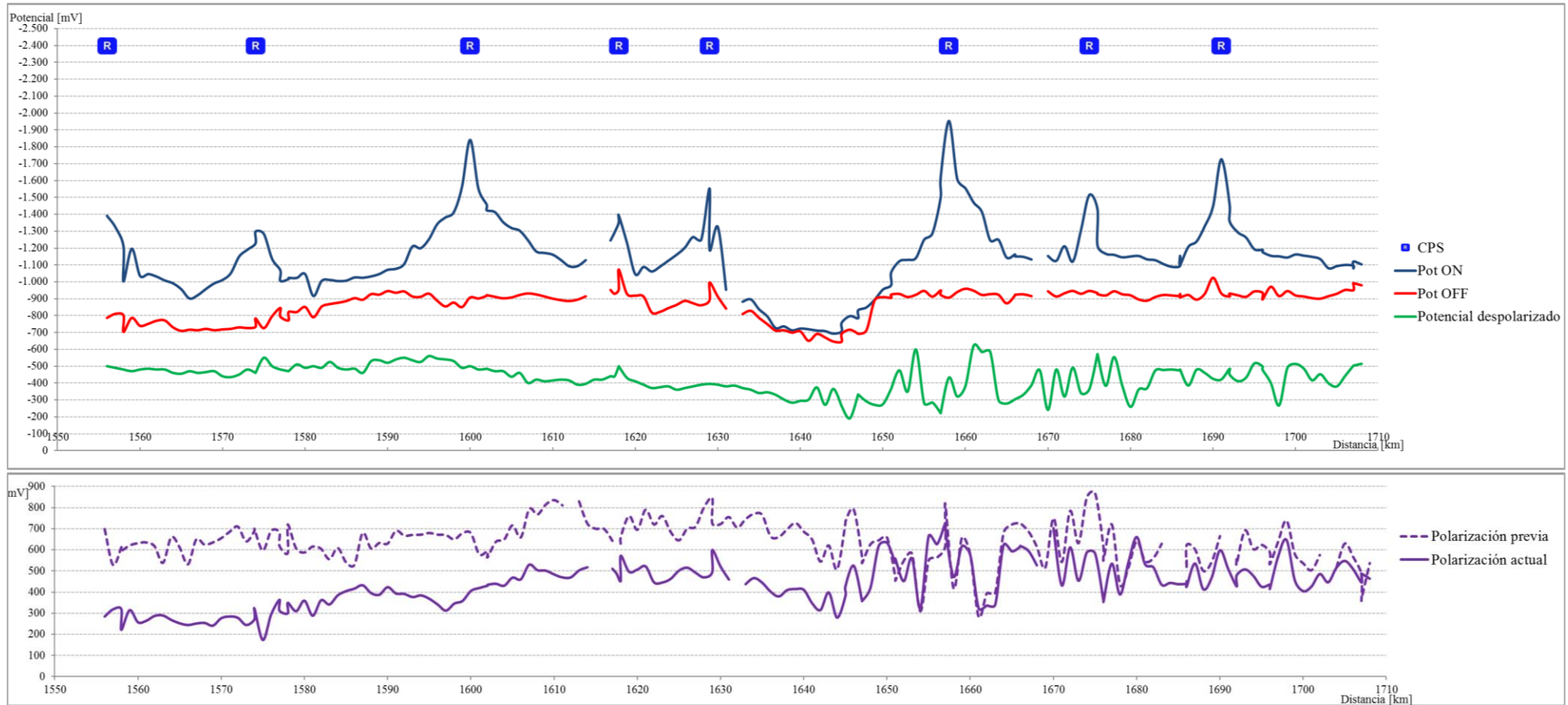
Asfalto 1960..... 0,250 a 3,500 mA/m<sup>2</sup>  
 Asfalto 1974/1984 .....0,060 a 0,100 mA/m<sup>2</sup>

- Densidades de corriente bajas en comparación con otros tramos revestidos con asfalto.
- Estas bajas densidades de corriente fueron suficientes para el desarrollo del fenómeno en una metalografía no común.

# Cambios en los valores de potenciales



# Cambios en los valores de potenciales





# Mejoras en el sistema de protección catódica

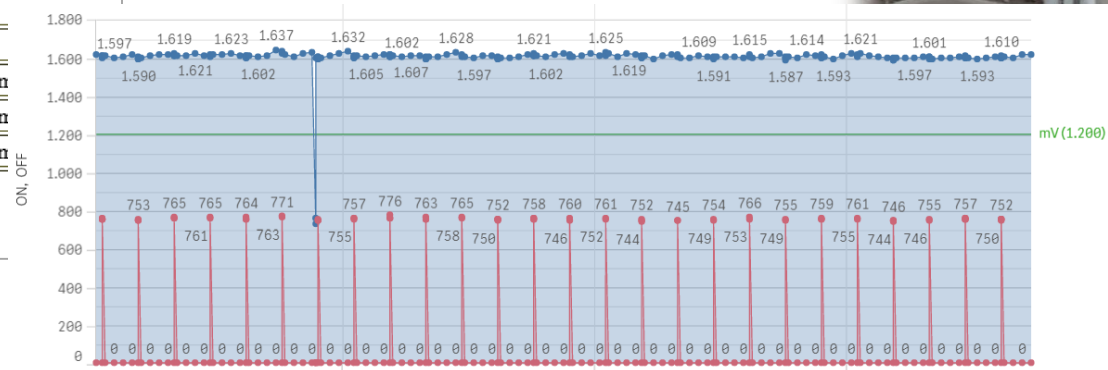
- Ensayo de área de alcance de CPS
- Renovación tecnológica de equipos rectificadores
- Mediciones semestrales ON-OFF
- Plan de relevamientos CIS



Responder Responder a todos Reenviar MI  
 domingo 25/08/2019 06:00 a.m.  
 no-responder@tgn.com.ar  
**Alarma - Equipo 1500+000-Monte Flores (350)**  
 Para ■ CONIGLIO Sofia

Alarma	Valor	Linea	Timestamp
MOD1 - Alarma Max Pot	-778.00 mV.	N1T	24/08/2019 07:06:04 a.n
MOD2 - Corriente de salida	0.58 Amp.	N3P	24/08/2019 07:05:43 a.n
MOD1 - Corriente de salida	1.30 Amp.	N1T	24/08/2019 07:05:22 a.n

Este correo es enviado en forma automática al usuario  
[sofia.coniglio@tgn.com.ar](mailto:sofia.coniglio@tgn.com.ar)



# Criterios de Protección Catódica

- NAG 100,  
Apéndice D:

## 1. CRITERIOS DE PROTECCION CATODICA

1.1 Un potencial negativo (catódico) de por lo menos 850 mV, con la protección catódica aplicada. Este potencial está referido a un electrodo de Cu/SO<sub>4</sub>Cu saturado. las caídas de tensión distintas de las producidas en la interfase estructura-electrolito, deben ser determinadas para la interpretación válida de este criterio.

1.2 Un potencial negativo de polarización de por lo menos 850 mV con respecto a un electrodo de referencia de CU/SO<sub>4</sub>CU saturado.

La medición de este potencial se hará sin la aplicación de la corriente de protección (para el caso de existir el aporte de más de una fuente, se deberán interrumpir las mismas simultáneamente y en forma periódica).

1.3 Un mínimo de 100 mV de polarización catódica entre la superficie de la estructura y un electrodo de referencia estable en contacto con el electrolito. La formación o decaimiento de la polarización puede ser medido para satisfacer este criterio.

### CONDICIONES ESPECIALES

En algunas situaciones, tales como presencia de sulfhídricos, bacterias, elevadas temperaturas, medios ácidos y materiales disímiles, los criterios indicados pueden no ser suficientes, por lo tanto para:

- en caso de operarse con altas temperaturas, los valores fijados deberán incrementarse en 3 mV/°C a partir de 25°C (temperatura de la estructura).
- en caso de presencia bacteriana, los valores indicados se incrementarán en 100 mV.

# Crterios de Protección Catódica

- NACE SP-0169

## 6.2 Criteria

### 6.2.1 Criteria for Steel and Gray or Ductile Cast-Iron Piping

6.2.1.1 Criteria that have been documented through empirical evidence to indicate corrosion control effectiveness on specific piping systems may be used on those piping systems or others with the same characteristics.

6.2.1.2 A minimum of 100 mV of cathodic polarization. Either the formation or the decay of polarization must be measured to satisfy this criterion.<sup>6,62</sup>

6.2.1.3 A structure-to-electrolyte potential of -850 mV or more negative as measured with respect to a saturated copper/copper sulfate (CSE) reference electrode. This potential may be either a direct measurement of the polarized potential or a current-applied potential. Interpretation of a current-applied measurement requires consideration of the significance of voltage drops in the earth and metallic paths.

Consideraciones especiales para:

	6.2.1.3	6.2.1.2
Presencia de MIC	-950 o más negativo	Al menos 300 mV
Temperaturas elevadas	-950 o más negativo	-
Altas resistividades	-750mV / -650mV	-
Interferencia AC	mención	-
Ambientes ácidos	-950 o más negativo	-
SCC de pH alto	Rango de potenciales vs temperatura	

# Otros Estándares de Protección Catódica

Estándar Alemán DIN 30676

## Norma ISO 15589-1

### Industria del Petróleo y el Gas Natural- Protección Catódica de Tuberías de Transporte

#### Parte 1 Tuberías Enterradas

- El potencial del metal con respecto al electrolito elegido para alcanzar una velocidad de corrosión inferior a 0.01 mm/año (0.39 mils/año)
- Potencial polarizado más negativo que  $-850 \text{ mV}_{\text{CSE}}$
- El potencial no debe superar en valor negativo,  $-1,200 \text{ mV}_{\text{CSE}}$
- En suelos anaeróbicos o en presencia de bacterias sulfato reductoras (SRB), el potencial deberá ser más negativo que  $-950 \text{ mV}_{\text{CSE}}$ .
- En suelos de alta resistividad
  - $-750 \text{ mV}_{\text{CSE}}$  para  $100 \Omega\text{-m} < \rho < 1,000 \Omega\text{-m}$
  - $-650 \text{ mV}_{\text{CSE}}$  para  $\rho > 1,000 \Omega\text{-m}$
- Polarización catódica de 100 mV

#### Precauciones:

Evitar el uso del criterio de 100 mV en condiciones de altas temperaturas, presencia de bacterias SRB, corrientes de interferencia, corrientes de recirculación o corrientes de balance, corrientes telúricas, combinación de metales diferentes, o probabilidad de SCC a potenciales más positivos que  $-850 \text{ mV}_{\text{CSE}}$ .

Estándar Británico BS 7631

Material	Potencial, CSE Suelos y Agua Dulce	Potencial, Plata-Cloruro de Plata Agua de Mar
Hierro y Acero Medio aeróbico	$-850 \text{ mV}$	$-800 \text{ mV}$
Hierro y Acero Medio anaeróbico	$-950 \text{ mV}$	$-900 \text{ mV}$
Plomo	$-600 \text{ mV}$	$-550 \text{ mV}$
Aluminio No exceder los	$-950 \text{ mV}$ $-1200 \text{ mV}$	$-900 \text{ mV}$ $-1150 \text{ mV}$
Aleaciones de Cobre	$-500 \text{ a } -650 \text{ mV}$	$-450 \text{ a } -600 \text{ mV}$

Material	Temperatura, °C o Electrolito	Potencial $V_{\text{CSE}}$
Materiales ferrosos no aleados o de baja aleación	Menos de 40°C (104°F)	$-850 \text{ mV}$
	Ídem Más de 60°C (140°F)	$-950 \text{ mV}$
	Ídem Medios anaeróbicos	$-950 \text{ mV}$
	Ídem Suelo arenosos, $\rho > 500 \Omega\text{-m}$	$-750 \text{ mV}$
Aceros inoxidables con Cr≥16%	Suelo o agua dulce y menos de 40°C	$-100 \text{ mV}$
	Ídem Suelo o agua dulce y más de 40°C	$-300 \text{ mV}$
	Ídem Agua salada	$-300 \text{ mV}$
Aleaciones de cobre-níquel, cobre		$-200 \text{ mV}$
Plomo		$-650 \text{ mV}$
Aluminio	Agua dulce	$-800 \text{ mV}$
Ídem	Agua salada	$-900 \text{ mV}$
Acero en contacto con hormigón		$-750 \text{ mV}$
Acero galvanizado		$-1200 \text{ mV}$



# Conclusiones

- Una metalografía ha provocado susceptibilidad a la fragilización por hidrógeno, a valores de corriente de protección catódica bajos para el revestimiento asfáltico.
- Este efecto se reduciría con la disminución en los niveles de PC de la cañería, pero dando lugar a otros posibles mecanismos de corrosión (MIC, SCC, corrosión generalizada).

Por lo tanto:

- La protección de la cañería sólo se conseguiría con la ejecución de pruebas hidráulicas y refrorrido del tramo.
- Nos planteamos: ¿esta amenaza no ameritaría una sugerencia de potencial OFF límite para cañerías “vintage” dentro de los estándares de protección catódica?



# ¿Preguntas? ¿Comentarios?

Andrea Moneta, Sofía Congilio