



Agosto 2003

Jornadas Conjuntas de Perforación, Reparación y Estimulación de Pozos
“Abdelcrim Elias”

Análisis de Fallas en COLUMNA DE PERFORACIÓN

Ing. Ramón Aguiño

Dr. Alberto Keitelman

DLS Argentina Limited Sucursal Argentina

Comisión Nacional de Energía Atómica

INTRODUCCION :

En la década del 80, la vida útil de una columna de perforación oscilaba entre los 200.000 y 250.000 mts. perforados. Con la aparición de los trépanos de arrastre, que debido a las condiciones de operación generan severas vibraciones torsionales, axiales y radiales, conjuntamente con la utilización de lodos altamente corrosivos; la vida útil de los componentes de las columnas perforadoras comenzó a disminuir ostensiblemente.

Actualmente las fisuras por fatiga comienzan a manifestarse entre los 70.000 y 80.000 mts. perforados si bien los tubos conservan los valores de calibración y espesor de pared correspondientes a clase “premium”.

En algunos casos, las fallas comienzan prematuramente, como el caso que nos ocupa: la barra grado S-135 tenía 58.397 mts. perforados y 4080 hrs. de rotación; motivo que generó el desarrollo de este análisis.

La CNEA llevó a cabo toda la investigación que se describe en este trabajo.

INFORMACION :

Se remitieron dos trozos de barras de sondeo de 5" de diámetro fisuradas en servicio, lodo de perforación empleado en el equipo. Una de las barras era grado G-105 y la otra era grado S-135 y las fallas ocurrieron con tres días de diferencia consistiendo en fisuras propagadas en la "zona de cuñas" a unos 5 cm del ensanchamiento de la pared del tubo. Según los partes diarios de perforación las barras estaban operando en 1409 m y en 1256 m respectivamente. La temperatura de salida del lodo en superficie fue de 40 °C mientras la de fondo de pozo, alrededor 2800m. fue de alrededor de 85 °C.

Se proporcionó también datos de composición del lodo, donde resulta destacable que se trata del tipo **KCl/PHPA** salado, es decir de alto cloruro (30000-33000 ppm), su pH es de 9-9.5 y que el contenido de oxígeno se controló con cinta de bisulfito de amonio, desconociéndose cual es la concentración de anión bisulfito libre que permite esta técnica (cinta). No se agregó inhibidor de corrosión al lodo de perforación.

ANALISIS VISUAL Y MICROSCOPICO :

Se realizó análisis visual y observaciones con la lupa estereoscópica y el microscopio óptico de las barras de sondeo fisuradas. En las fotografías siguientes se detallan las observaciones. En las Fotografías 1 y 2 se presenta la fisura propagada en la barra G-105 del lado externo. En las Fotog. 3 y 4 se aprecia el lado interno de la fisura nucleada en una picadura central. En la Fotog. 4 se aprecian las socavaduras sobre las que se aplicó el recubrimiento.

La Fotog. 5 presenta el aspecto externo de la barra S-135 con una fisura circunferencial. En la Fotog. 6 a 9 se muestra el lado interno de la misma. La fisura presenta una picadura en su zona central como se aprecia en la Fotog. 7. y con mayor aproximación en la siguiente. La picadura central parece estar alineada con otras iniciadas en un daño longitudinal del recubrimiento, ver Fotog. 6 y 7. La Fotog. 9 permite observar otras picaduras nucleadas en fallas del recubrimiento



Fotografía 1



Fotografía 2



Fotografía 3



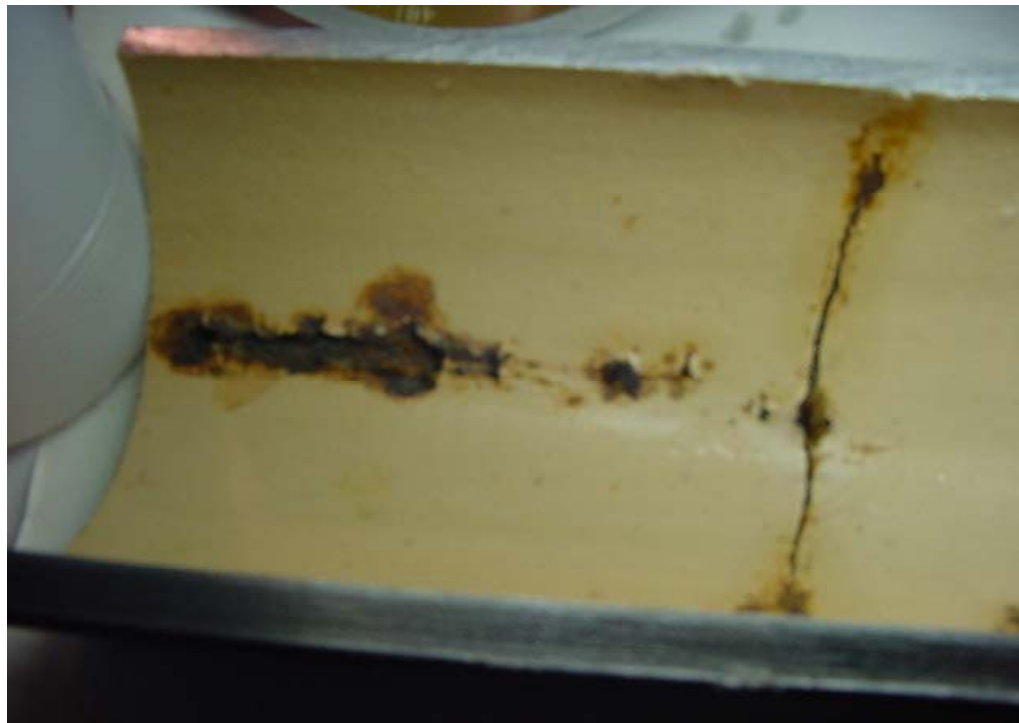
Fotografía 4



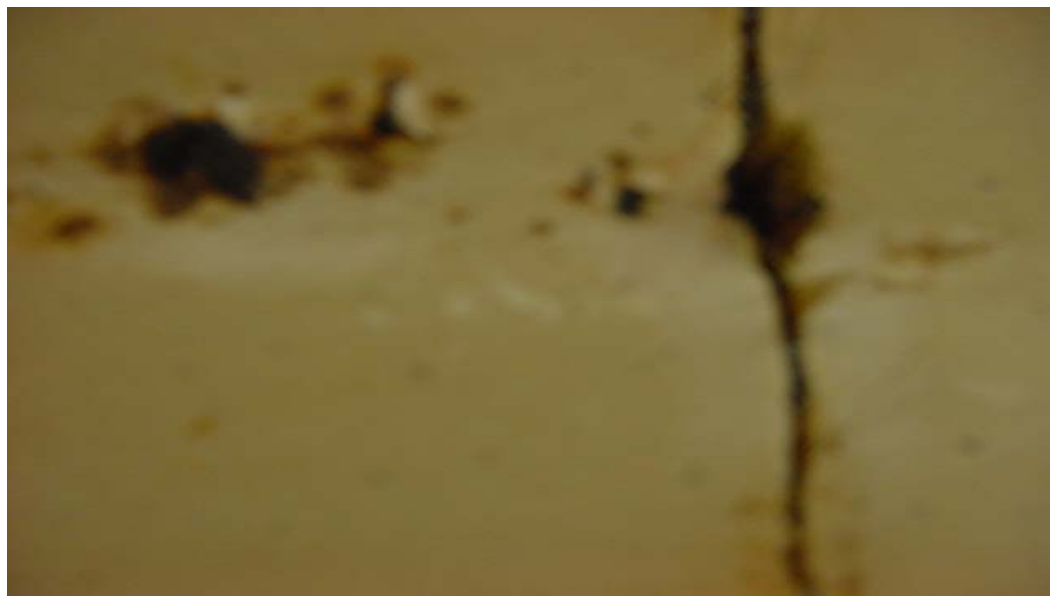
Fotografía 5



Fotografía 6



Fotografía 7



Fotografía 8



Fotografía 9

ENSAYOS ELECTROQUIMICOS EN CONDICIONES DE POZO :

Se realizaron ocho ensayos, cuatro con cada material, con el lodo proporcionado, a su pH de 11.3 y a pH 9.0 modificado con HCl para reproducir la condición en que se originaron la fallas según los partes diarios de perforación proporcionados por el usuario, en medio aireado y deaireado, presión de aire ó N₂ a 20 atm. Se prepararon probetas extraídas de los componentes fallados, de las barras G-105 y S-135, siendo los ensayos realizados según la siguiente tabla.

Material	Aire	Nitrógeno	pH
G-105	~ 20 atm.	-	11.3
G-105	-	~ 20 atm.	11.3
G-105	~20 atm	-	9.0
G-105	-	~ 20 atm.	9.0
S-135	~20 atm	-	11.3
S-135	-	~ 20 atm.	11.3
S-135	~20 atm	-	9.0
S-135	-	~ 20 atm	9.0

GURA 1. Curva de polarización potenciodinámica de acero G-105
en lodo de perforación de alto KCl, pH 11.3, T=60°C,
deaireado a P=20 atm de N₂.

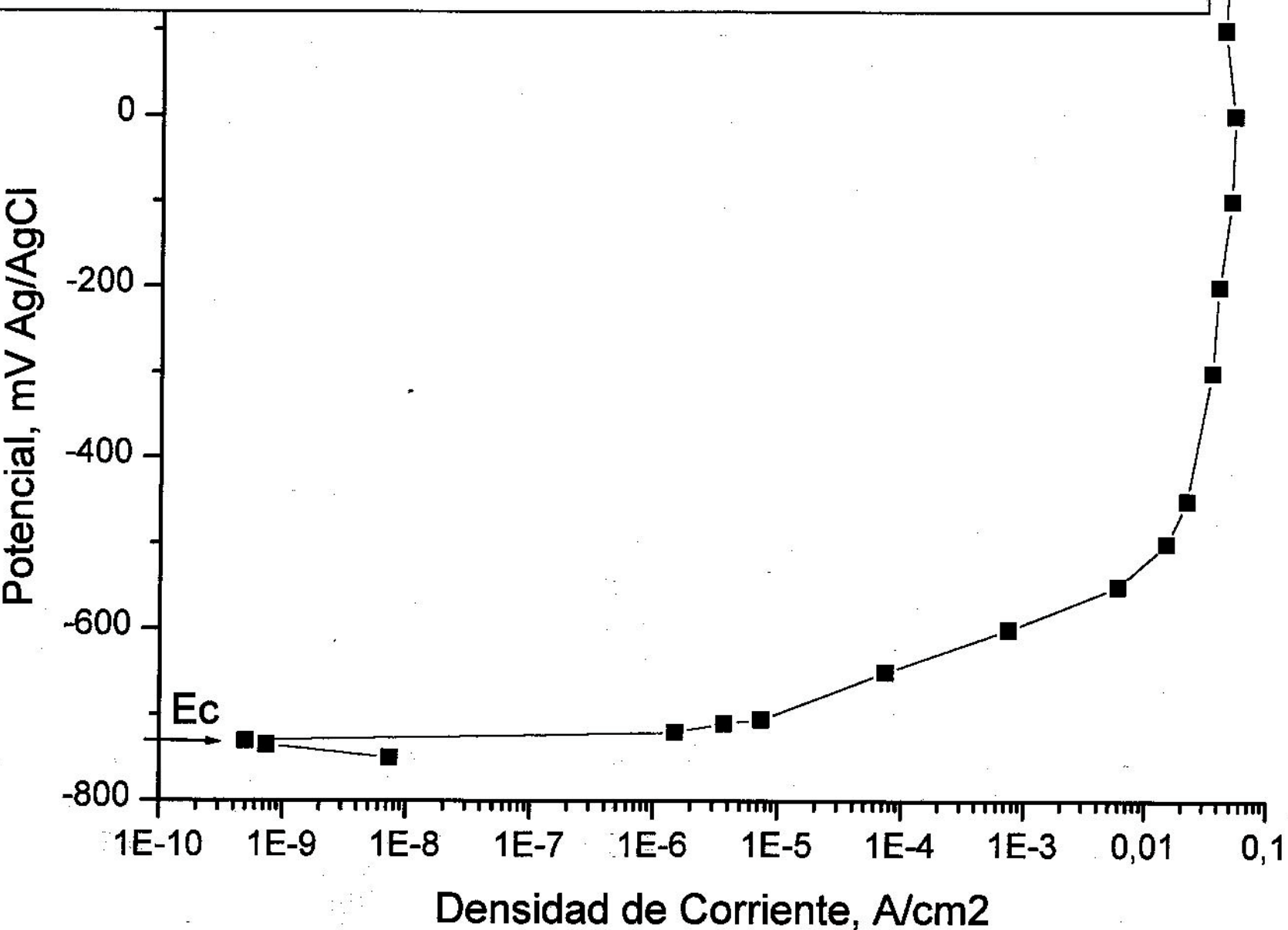


FIGURA 2. Curva de polarización potenciodinámica de acero S-135 en lodo de perforación de alto KCl, pH 11.3, $T=60^{\circ}\text{C}$, deaireado a $P=20$ atm de N_2 .

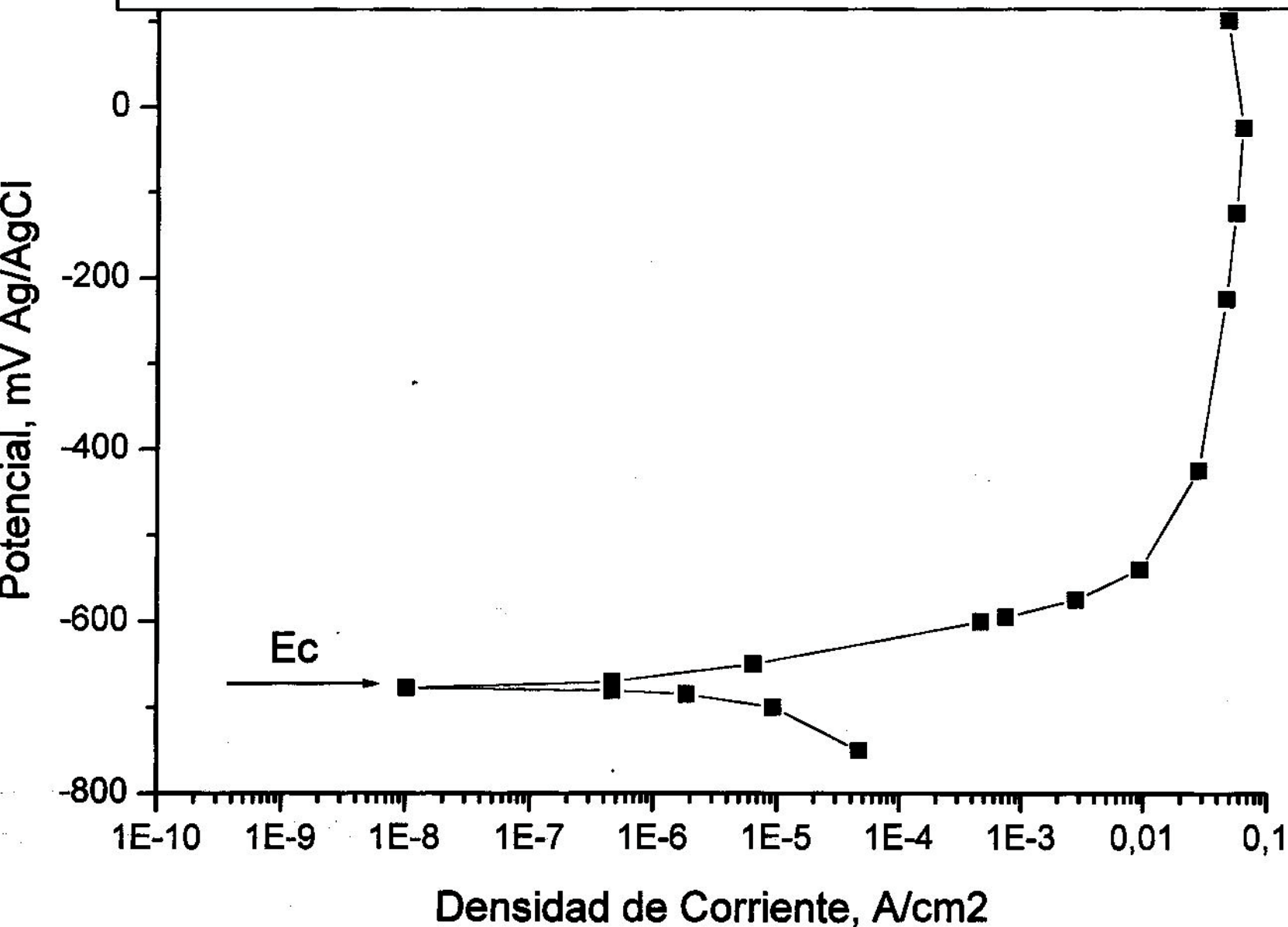


FIGURA 3: Curva de polarización potenciodinámica de acero G-105
en lodo de perforación de alto KCl, pH 11.3, T=60°C,
aireado a P=20 atm

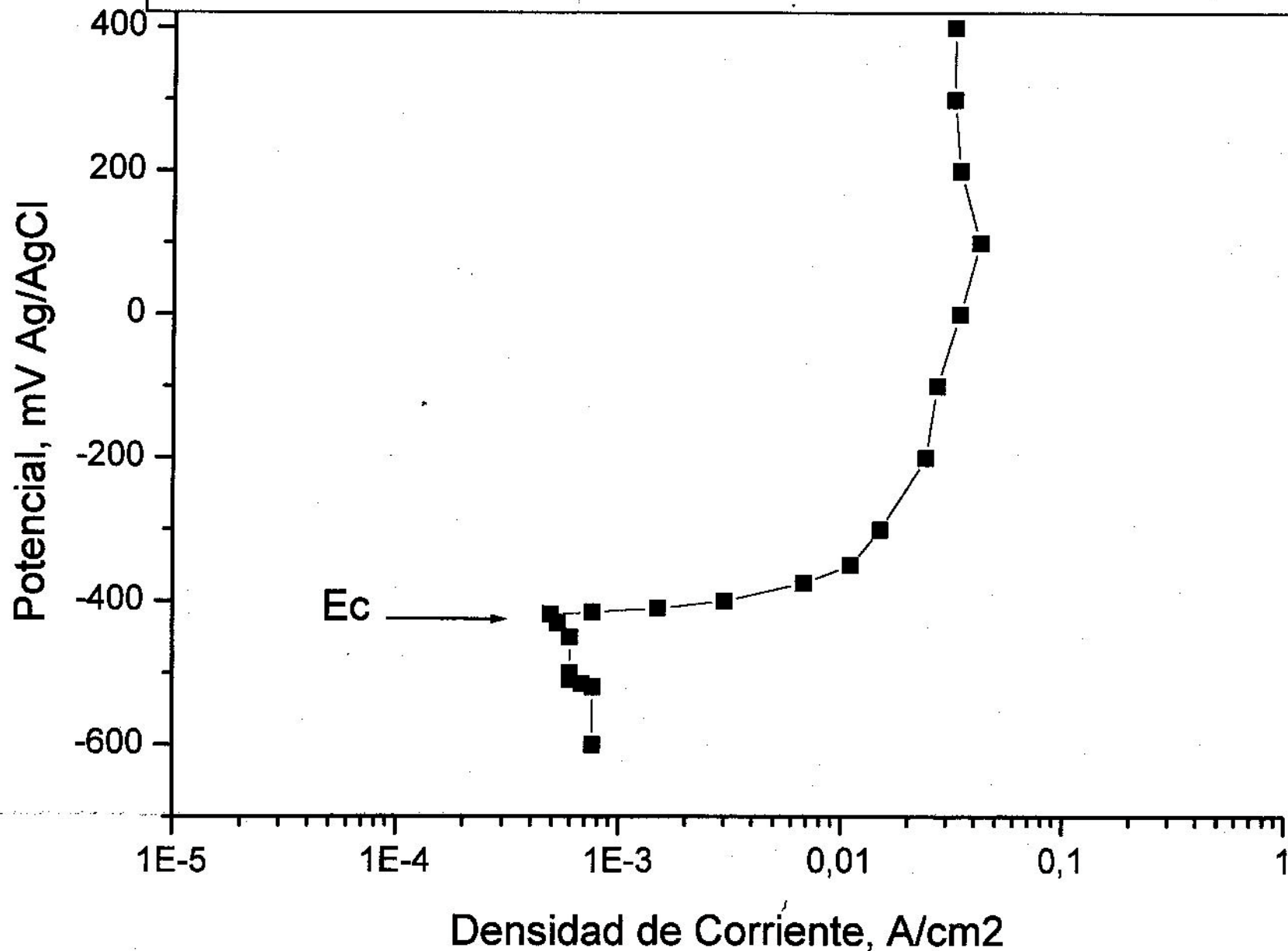


FIGURA 4. Curva de polarización potenciodinámica de acero S-135 en lodo de perforación de alto KCl, pH 11.3, T=60°C, aireado a P=20 atm

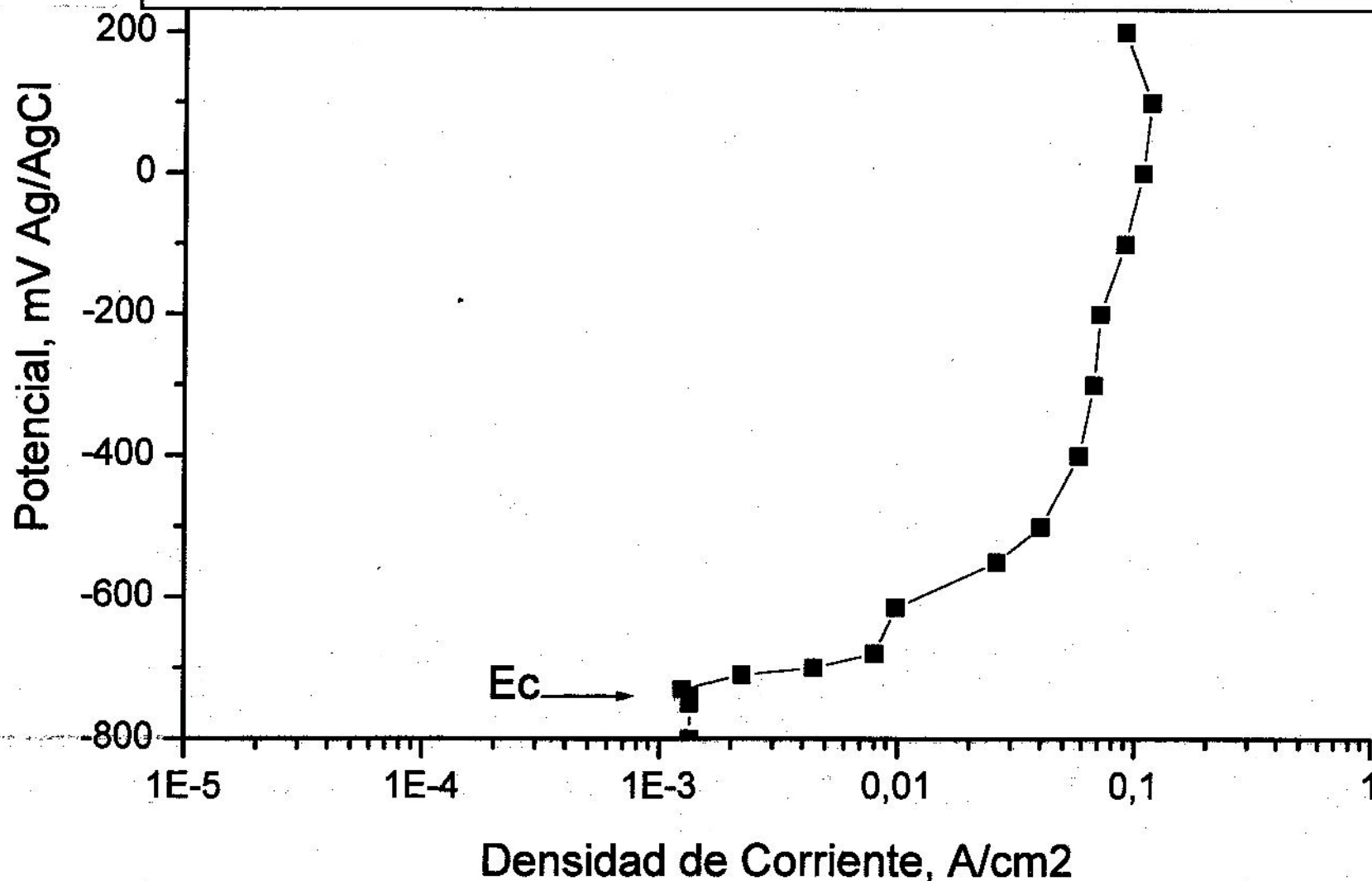


FIGURA 5. Curva de polarización potenciodinámica de acero G-105 en lodo de perforación de alto KCl, pH 9.0, T=60°C, deaireado a P=20 atm de N₂.

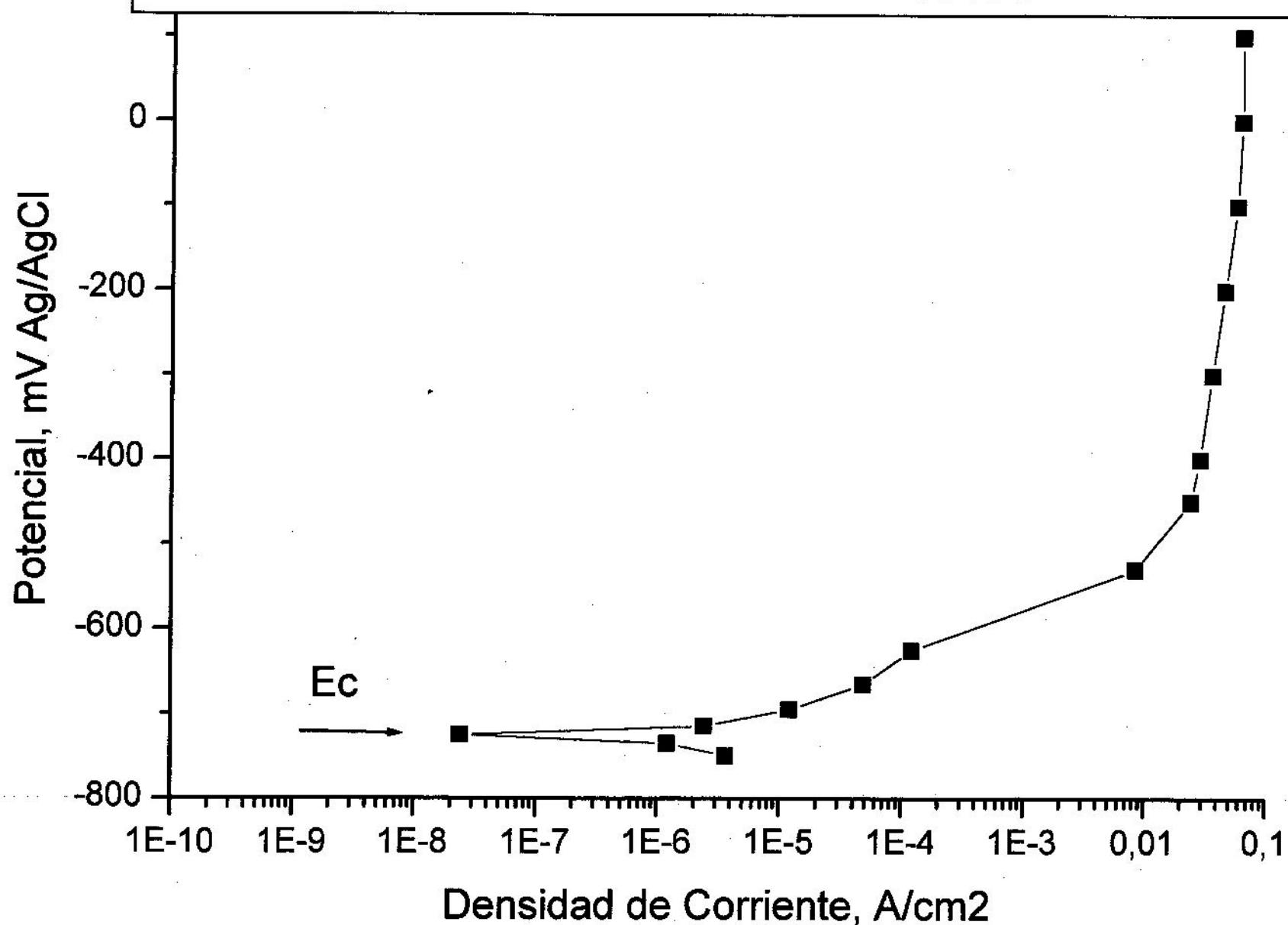


FIGURA 6. Curva de polarización potenciodinámica de acero S-135 en lodo de perforación de alto KCl, pH 9.0, T=60°C, deaireado a P=20 atm de N₂.

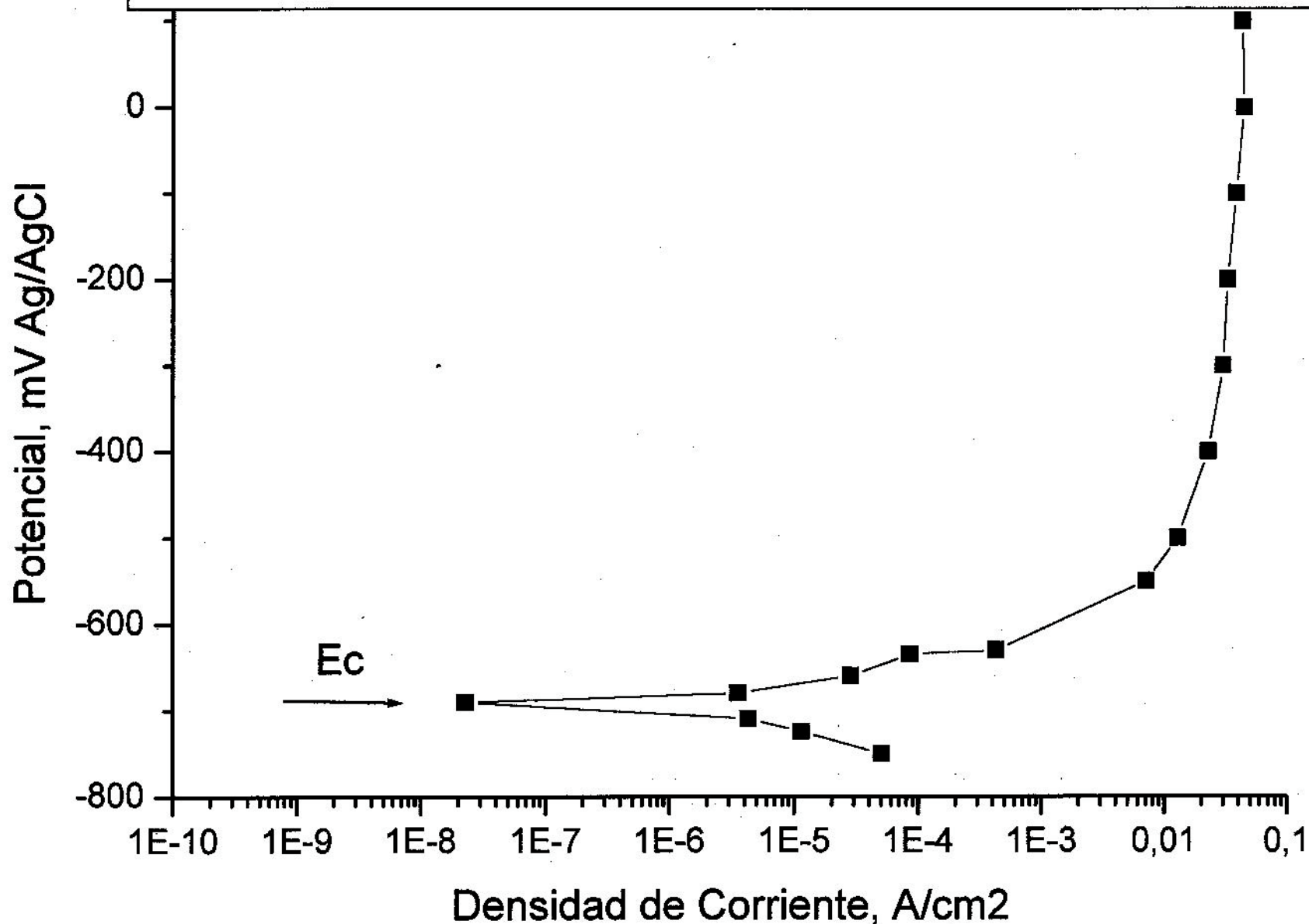


FIGURA 7. Curva de polarización potenciodinámica de acero G-105
en lodo de perforación de alto KCl, pH 9.0, T=60°C,
aireado a P=20 atm

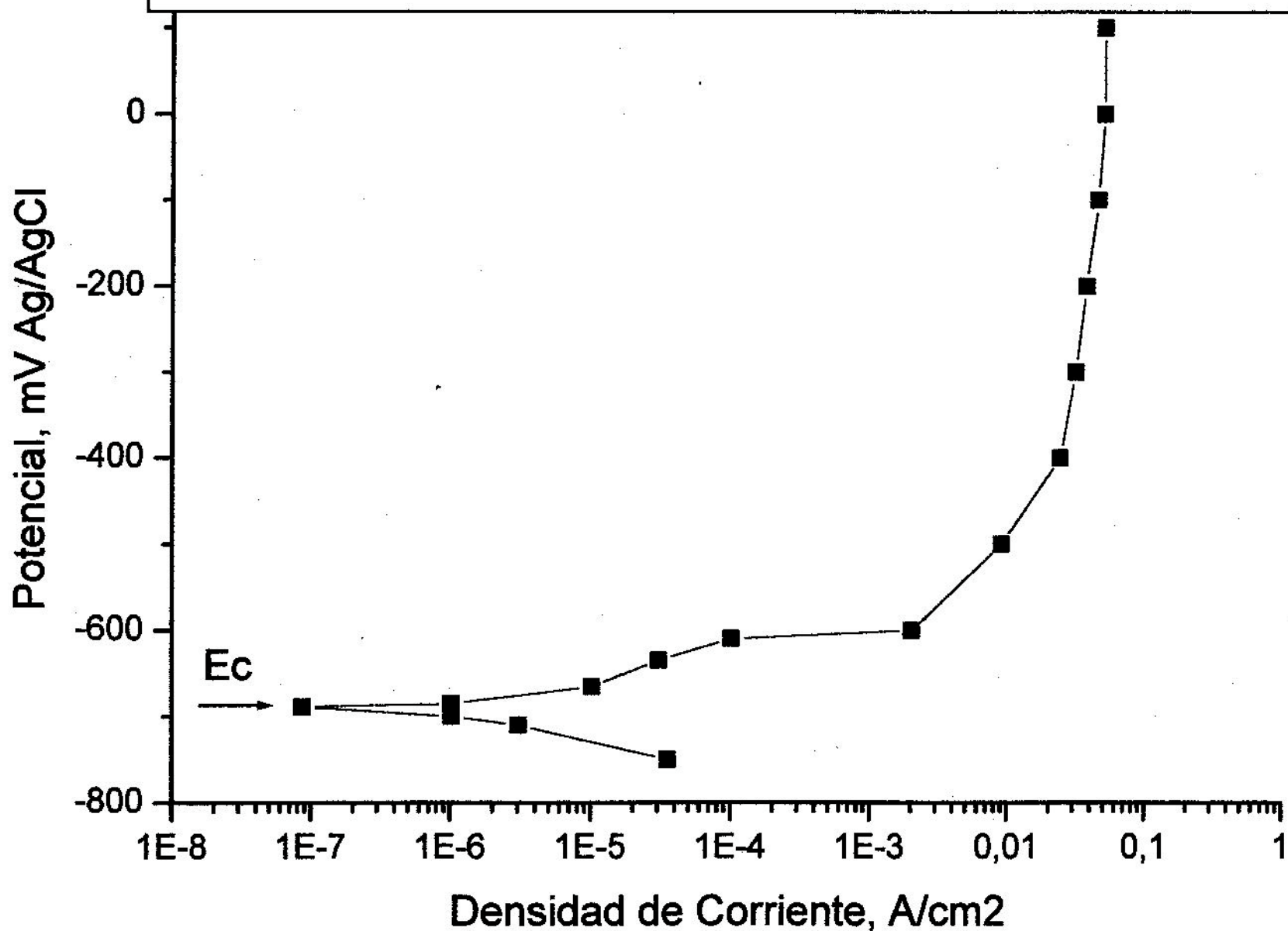
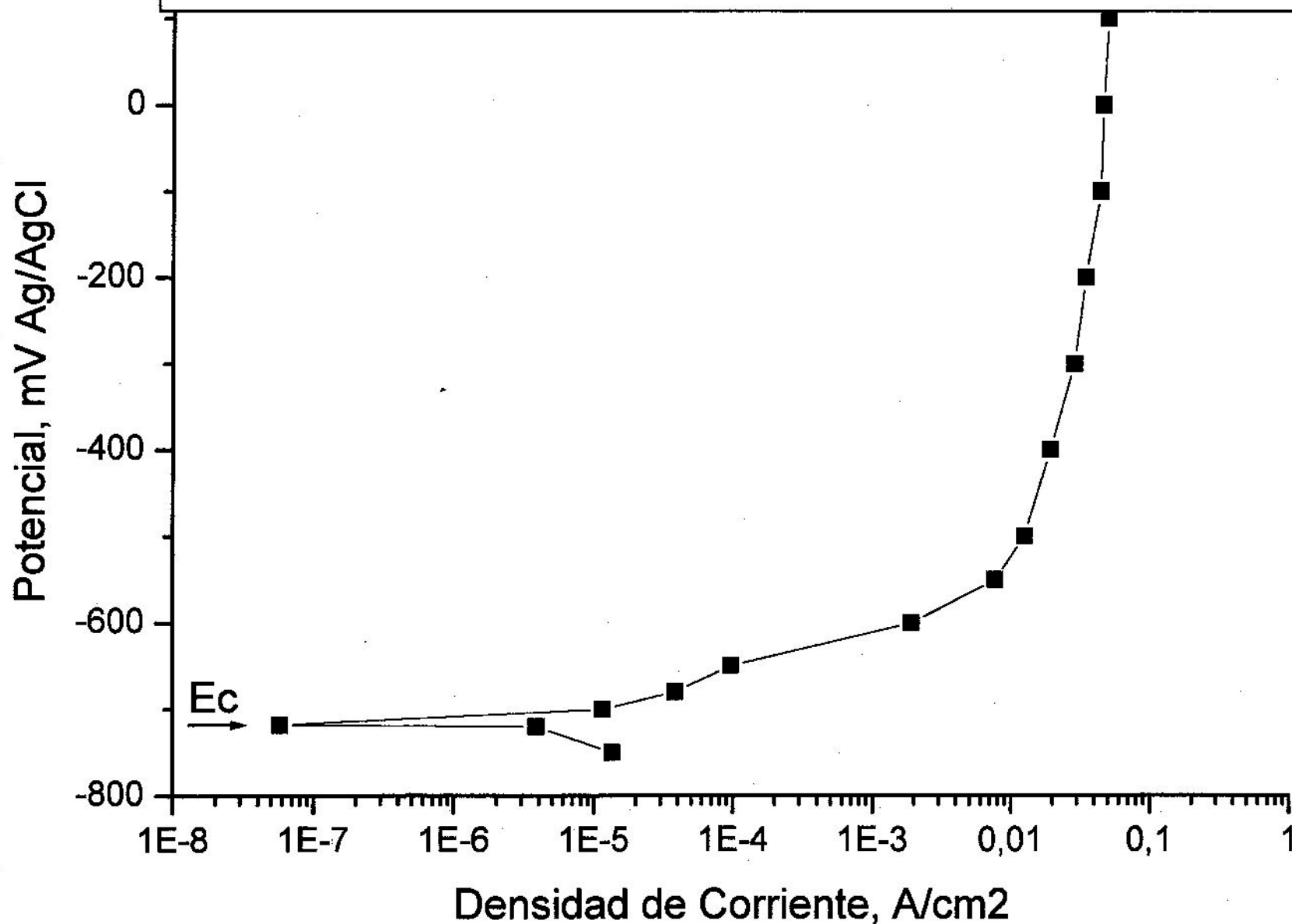


FIGURA 8. Curva de polarización potenciodinámica de acero S-135
en lodo de perforación de alto KCl, pH 9.0,
 $T=60^{\circ}\text{C}$, aireado a $P=20\text{ atm}$



RESULTADOS

Las curvas de polarización potenciodinámicas obtenidas se presentan en las figuras 1 a 8. Los dos materiales ensayados presentan disolución activa con alta velocidad de corrosión en las proximidades del potencial de corrosión, no existiendo diferencias significativas de comportamiento entre ambos. A pH 11.3 la densidad de corriente de reducción de oxígeno sobre el metal resultó ser de 10^{-3} A/cm², ver Fig.3 y 4 por debajo del potencial de corrosión (E_c). Esta densidad de corriente es la que determina la alta velocidad de disolución en condiciones aireadas. A pH 9.0 la corriente catódica de reducción de H^+ es mayor, lo que se observa cualitativamente comparando las densidades de corriente al potencial de corrosión (E_c) en la Fig. 1 (pH 11.3) con la Fig. 5 (pH 9.0). Esto implica una mayor velocidad de disolución en el lodo menos alcalino. No se observó la existencia de una zona pasiva en ninguno de los ensayos realizados, por lo que el lodo es altamente corrosivo..

ESTUDIO METALOGRAFICO :

En el Anexo I se presentan los resultados de la observación microscópica y los ensayos de dureza realizados en las barras. La microestructura del acero de ambas corresponde a metal templado y revenido, martensítico. Las propiedades mecánicas, que en forma aproximada se pueden deducir de los ensayos de dureza, corresponden a las esperables para materiales cumpliendo las normas API de los tipos G-105 y S-135. Otra observación relevante allí informada es la de la iniciación de las fisuras -en ambas barras- en picaduras sobre la superficie metálica del lado interno. En las micrografías también se aprecian fisuras secundarias paralelas a la principal (ver Fig. 14 y 15 del Anexo I) reflejando la localización preferencial de las tensiones de flexión rotativas en las proximidades del ensanchamiento del espesor de la barra (“zona de cuña”). Las características de propagación intergranular de las fisuras en una de las barras puede estar reflejando un efecto adicional del medio agresivo sobre la corrosión fatiga.

INFORME METALOGRAFICO

Caracterización metalúrgica de barras de perforación identificadas como: S 135 y G 105

Introducción: Por medio de técnicas convencionales de metalografía se realizó la inspección metalúrgica de dos barras de perforación las cuales poseían fisuras pasantes en ambos casos.

A continuación presentamos los resultados obtenidos.

Barra de perforación S 135:

Se inspeccionó un corte transversal y otro longitudinal de esta barra, observándose en el corte longitudinal una matriz del tipo de martensita revenida, con un bandeo central importante y con sulfuros de manganeso. En el corte transversal se inspeccionó la fisura detectada que tiene un avance del tipo intergranular en el inicio para luego propagar en forma aleatoria. El origen de la fisuración se encuentra en una picadura detectada en la superficie interior de la barra. En las siguientes imágenes veremos en detalle los resultados obtenidos, ver Figuras 1 y 2.

Corte longitudinal



Fig.1 Bandeado del material

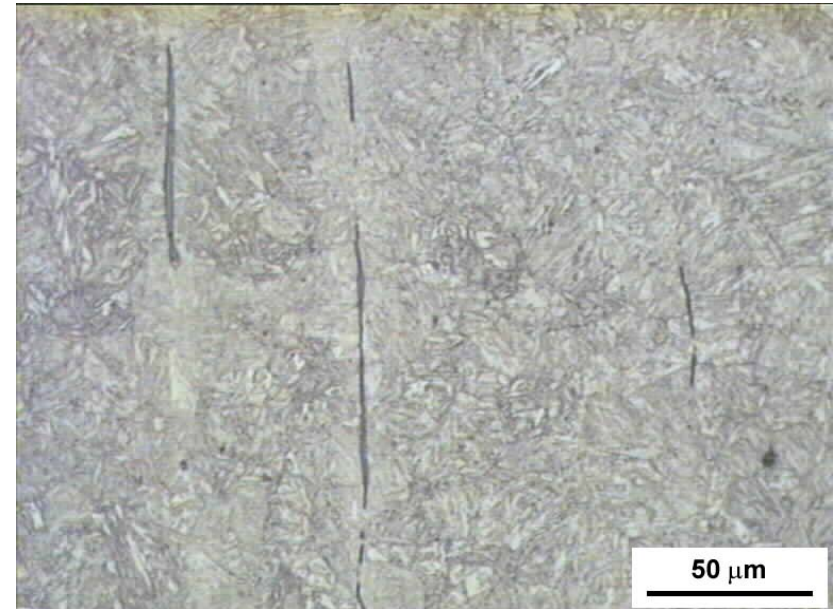


Fig.2 Detalle de las inclusiones (MnS)

Corte transversal

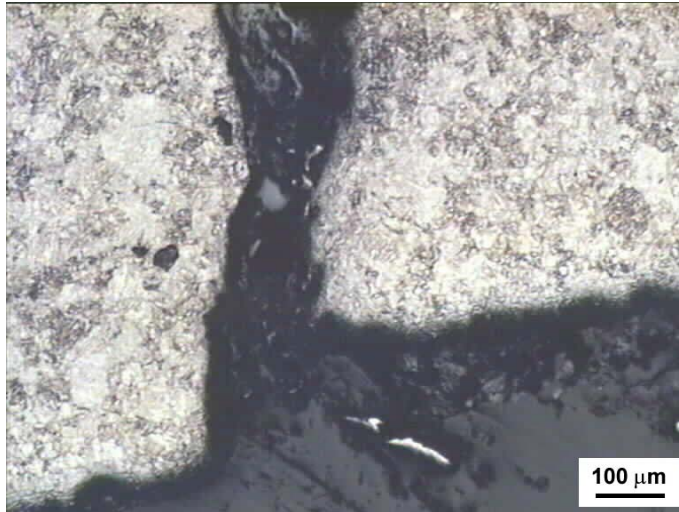


Fig.3 Inicio de la fisur. por picado



Fig.4 Avance de la fisur. en forma intergranular

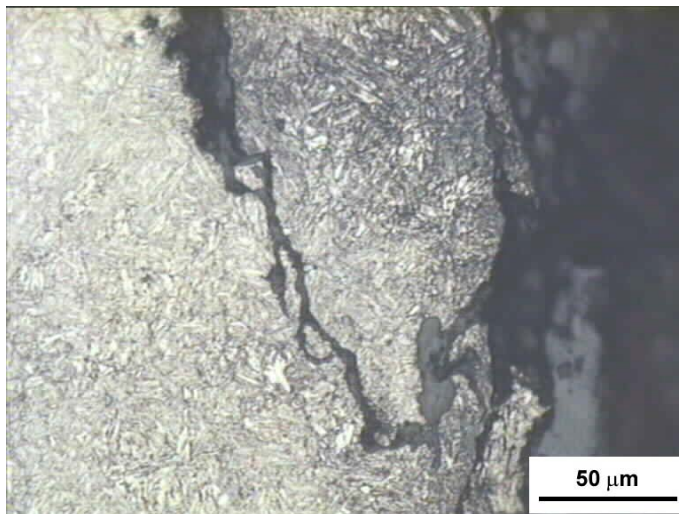


Fig.5 Detalle del avance de las fisuras

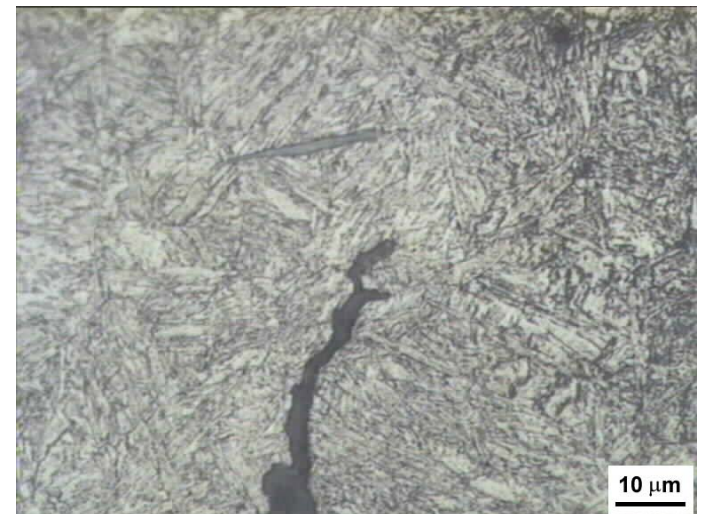


Fig.6 Avance intergranular

Barra de perforación G 105:

Al igual que en la barra anterior se inspeccionó tanto el corte transversal como longitudinal. En el corte longitudinal se observó un bandeo mucho más leve, con una microestructura similar a la de la S-135, correspondiente a martensita revenida.

En cuanto al corte transversal, se observó una decarburación superficial en un espesor menor de 100 μm . En cuanto al origen de la fisura, esta también se inicia en una picadura del lado interno de la barra, y propaga al principio en forma intergranular para luego avanzar en forma transversal.

Corte longitudinal



Fig.7 Detalle del bandeo

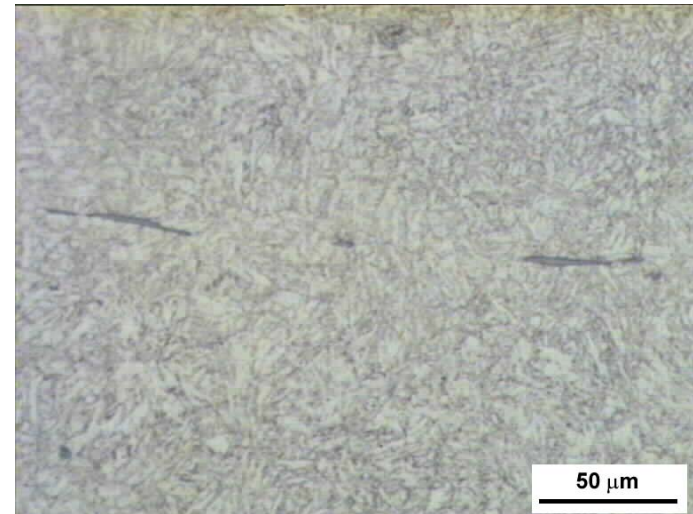


Fig.8 Inclusiones de MnS

Corte transversal

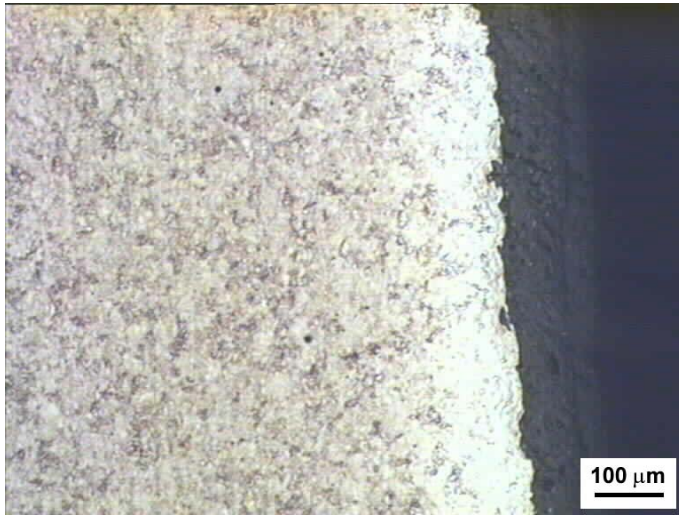


Fig.9 Capa decarburada



Fig.10 Capa decarburada y oxido adherido

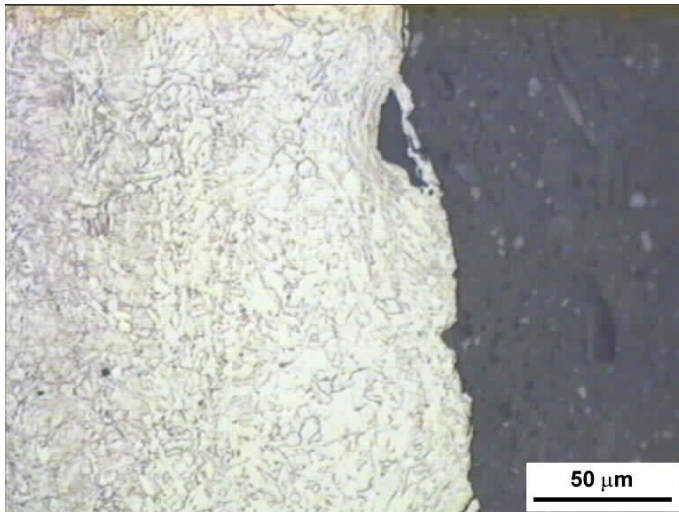


Fig 11

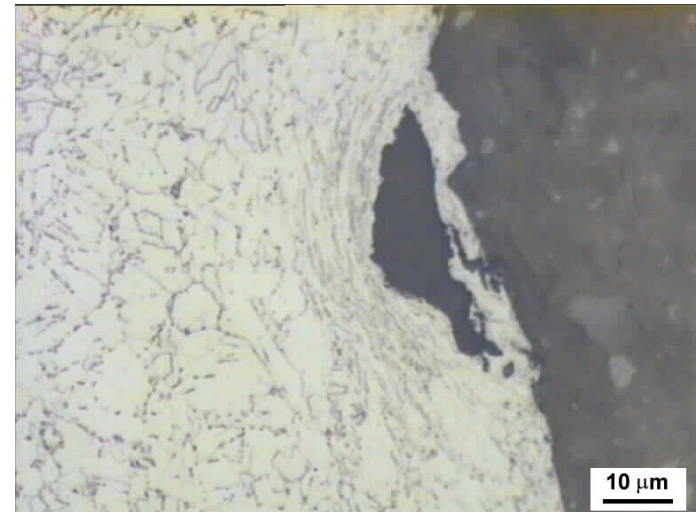


Fig.12 Zona decarburada

Corte transversal

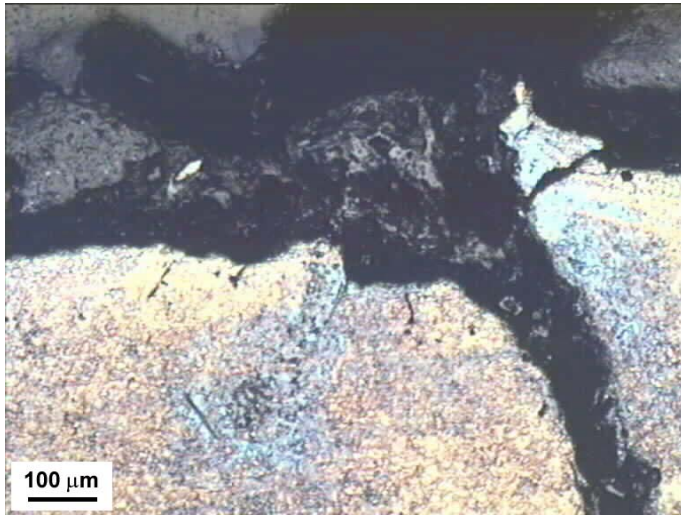


Fig.13 Inicio en picadura de la fisura

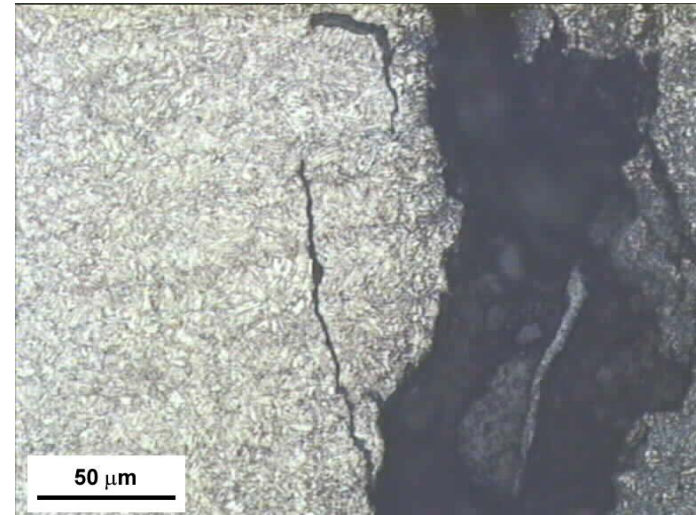


Fig. 14 Propagación de las fisuras



Fig.15 Detalle de la propagación

Ensayo de Microdureza Vickers con una carga de 100 gr.

Muestra	Valor de dureza Vickers (Hv)
G-105	322
S-135	366

Equivalencias :

Muestra G-105 : Dureza HRc 33. Resistencia a la tracción = 110 Kg/mm²

Muestra S-135 : Dureza HRc 37. Resistencia a la tracción = 125 Kg/mm²

DISCUSION Y CONCLUSIONES

Las barras de perforación analizadas fallaron por corrosión fatiga. Las fisuras se originaron del lado interno de las barras en picaduras nucleadas en discontinuidades del recubrimiento plástico. La propagación se produce a partir de las tensiones de flexión rotativa que sufre la columna de perforación en operación, siendo las picaduras concentradores de tensiones. Una de las barras, la G-105 presenta el recubrimiento aplicado sobre una superficie metálica irregular, con socavaduras, lo que facilita su ruptura localizada.

Los ensayos electroquímicos, la observación metalográfica de las barras y los anillos de corrosión determinaron que el lodo es muy agresivo para ambos materiales estudiados, por lo que es necesario mitigar esta condición para una operación libre de fallas previsibles..

Las tres medidas principales de control del fenómeno de picado originado por salmueras como el barro en cuestión son (además de la integridad del recubrimiento) el secuestro de oxígeno, el agregado de un inhibidor en la concentración adecuada, y el control del pH, que para esta concentración salina debe mantenerse por arriba de 10.5. **Dado que no se agregó inhibidor, el valor de pH que estuvo entre 9-9.5 y quizás el control de oxígeno con bisulfito fueron insuficientes para reducir la velocidad del fenómeno de picado.**

RECOMENDACIONES

- Mantener el pH por encima de 10.5 hasta 11.0 –11.3
- Controlar la existencia de una concentración mínima de 100 mg/l de bisulfito **en fondo de pozo con el agregado correspondiente de cloruro de cobalto como catalizador (un 5% en peso del agregado de bisulfito)**. El catalizador garantiza la rápida acción desoxigenante del bisulfito cuyo tiempo de reacción con el oxígeno sin el CoCl_2 tarda muchos minutos como para prevenir el ataque. Para asegurar el secuestro de oxígeno se puede agregar exceso de bisulfito hasta el doble o triple pero siempre manteniendo la proporción de catalizador.
- Agregar un inhibidor de corrosión en concentración adecuada, que podrá evaluarse en ensayos electroquímicos a presión y temperatura de fondo de pozo.