

DISEÑO DE TAPONES DISOLUBLES PARA FRACTURAS NOC EN BASE A CONCEPTOS DE PROTECCIÓN CATÓDICA.

M. J. Gonzalez Pabon, F. Porcel de Peralta, A. Aguirre, P. Cirimello, S. Rivelli, W. Morris.

Maria.j.pabon@ypftecnologia.com, YPF Tecnología S.A.

Sinopsis

Los tapones disolubles para fractura hidráulica (TDFH) utilizados en pozos No Convencionales (NoC) son herramientas fundamentales para estimular eficientemente la formación, asegurar la productividad y la recuperación final estimada (EUR, Estimated Ultimate Recovery) de los pozos. La calidad de la operación depende en gran medida de lograr una adecuada aislación entre etapas de fractura, así como una rápida y efectiva limpieza post-frac de la rama horizontal. Los TDFH se fabrican con aleaciones de Mg-Al, de modo que se disuelvan una vez finalizada la operación de fractura, en forma análoga a lo que ocurre con los ánodos de sacrificio para protección catódica. Al margen de esta analogía, la determinación de la tasa de disolución de los TDFH se estima en forma empírica, mediante ensayos de pérdida de masa de cupones sometidos a condiciones que, supuestamente, simulan la exposición en fondo de pozo. Con frecuencia estas estimaciones conducen a resultados erróneos ya que no contemplan el incremento en la tasa de disolución asociado al acople galvánico con el casing de acero carbón ni efectos térmicos propios de la reacción de disolución de la aleación.

Este trabajo presenta los resultados experimentales realizados para seleccionar la aleación de un TDFH desarrollado localmente, donde se aplican conceptos de protección catódica por ánodos de sacrificio y mediciones electroquímicas (curvas anódicas y catódicas de polarización), para evaluar la velocidad de disolución de la aleación en condiciones de fondo de pozo.

Los resultados demuestran que al comparar los valores de velocidad de corrosión (VC) de las aleaciones disolubles sin acople galvánico al acero (como se evalúan actualmente) con los medidos en la condición acoplada, la VC se incrementa entre 2,5 y 6 veces. La incorporación de microaleantes más nobles (Ni, Cu, Fe) al Mg promueve el fenómeno de auto-corrosión. Por consiguiente, el parámetro de eficiencia del material anódico utilizado para fabricar TDFH suele ser mucho más bajo que los valores reportados para ánodos de sacrificio utilizados en protección catódica.

La aplicación de conceptos de protección catódica sacrificial permite estimar con mayor precisión la velocidad de disolución de los TDFH, evitando pérdida de eficiencia por falta de hermeticidad o corrimiento, así como inconvenientes en las maniobras de limpieza post-frac con CTU.

Introducción

La construcción de pozos horizontales multietapa para la extracción de recursos no convencionales, ha impulsado la investigación, el desarrollo y la adopción de tecnologías que permitan maximizar la eficiencia de las operaciones y el *Estimated Ultimate Recovery* (EUR); y minimizar la realización de intervenciones posteriores a la estimulación hidráulica. En este contexto, los tapones disolubles para estimulación hidráulica (TDFH) fabricados a partir de aleaciones de magnesio han surgido como una solución tecnológica clave, al reducir tiempos no productivos en la limpieza post-fractura ^[1,2]. Estas aleaciones, generalmente basadas en sistemas Mg-Al con adición de otros microaleantes, combinan una buena resistencia mecánica con una disolución controlada bajo condiciones de fondo de pozo ^[1].

El mecanismo de disolución de los TDFH se basa en procesos electroquímicos donde el magnesio actúa como metal anódico debido a su elevado potencial negativo. Dicha característica ha sustentado la utilización de este tipo de materiales como ánodos de sacrificio en sistemas de

protección catódica para diversas aplicaciones ^[3]. Sin embargo, a diferencia de los usos tradicionales, en los TDFH la velocidad de disolución no sólo condiciona la vida útil del componente, sino que resulta crítica para garantizar una efectiva hermeticidad entre etapas de fractura y una eficiente limpieza del pozo ^[2].

En la práctica industrial, la estimación de la tasa de disolución de los TDFH suele realizarse mediante ensayos gravimétricos de inmersión de cupones en los fluidos de interés, asumiendo condiciones representativas de temperatura de fondo de pozo. Sin embargo, diversos estudios han señalado que estos enfoques simplificados no contemplan fenómenos electroquímicos relevantes, como el acople galvánico entre la aleación soluble y el acero del casing y la presencia de micro-celdas galvánicas internas asociadas a la microestructura de la aleación. Dichos efectos pueden modificar significativamente la velocidad de corrosión efectiva del material y afectar la performance final de los productos ^[3,4].

Adicionalmente, a partir de información bibliográfica se puede indicar que los métodos electroquímicos convencionales (curvas de polarización) y los ensayos gravimétricos pueden arrojar valores de velocidad de corrosión significativamente diferentes, particularmente en sistemas donde coexisten procesos de auto-corrosión y corrosión galvánica ^[5,6]. Estas diferencias ponen en evidencia la necesidad de integrar criterios propios de evaluación de los materiales de los TDFH, con el fin de lograr predicciones más realistas del comportamiento en servicio.

En este marco, la aplicación integrada de conceptos de protección catódica por ánodos de sacrificio, técnicas electroquímicas y estudios gravimétricos constituye una herramienta fundamental para optimizar el diseño y la selección de aleaciones solubles, contribuyendo a mejorar la confiabilidad operativa y reducir fallas por disolución prematura o incompleta.

Desarrollo

Se determinó tasa de disolución de aleaciones mediante ensayos electroquímicos y gravimétricos. Los ensayos electroquímicos efectuados corresponden a curvas de polarización anódicas para aleaciones de Mg y curvas de polarización catódica para acero P110. Los ensayos gravimétricos se desarrollaron de dos formas:

1. Ensayos gravimétricos convencionales (empleando cupones individuales de la aleación de magnesio).
2. Ensayos gravimétricos en condición acoplada (empleando cupones de la aleación de magnesio acoplados a cupones de acero carbón) mediante inmersión en el electrolito de interés según se especifique y los respectivos controles de peso.

A continuación, se describen los materiales empleados, geometrías y detalles de métodos.

Materiales y métodos

Los materiales evaluados corresponden a aleaciones de magnesio desarrolladas en Y-TEC (identificada con la letra A) y aleaciones comerciales (identificada con la letra B) en la **Tabla 1**. El material P110 corresponde a acero al carbono (densidad 7,85 g/cm³) se emplea a nivel comparativo y/o para complementar ensayos electroquímicos.

Materiales

A continuación, en la **Tabla 1** se describen la composición de las aleaciones estudiadas.

Tabla 1. Identificación de Aleaciones

Código	Origen	Material	ρ , Densidad [g/cm ³]	Mg (%)	Aleantes (%)
A	Argentina	2025.08	1,70 – 1,72	96,1	3,9
B	-	Comercial	1,70 – 1,72	95-88	12-5
P110	-	P110	7,85	NA	NA

Geometría de los cupones

La geometría de los cupones utilizados para los estudios experimentales varió dependiendo del tipo de ensayo. En el caso de los ensayos electroquímicos, se utilizaron cupones macizos con rosca interna para asegurar la conexión al sistema de medida. Estos cupones roscados contaron con una altura de 12,84 mm, un diámetro externo de 8,6 mm y un diámetro de rosca 4,5 mm. Para los ensayos gravimétricos convencionales se emplearon discos macizos del material de interés con una altura aproximada de 12 mm y un diámetro de 76 mm. Para los ensayos gravimétricos en condición acoplada se utilizaron cupones cilíndricos con pasaje central (tipo tubo) con una altura de 13 mm, un diámetro externo de 11,5 mm y un diámetro interno 7,5 mm. Todos los resultados se estandarizan por área del material empleado.

Aguas de producción y electrolitos empleados

Para los ensayos se emplearon dos tipos de soluciones salinas de distinta concentración: una al 3 % de KCl, considerada un estándar para caracterizar herramientas disolubles para pozos, y otra utilizando una solución sintética de flowback, cuya composición fue definida a partir de análisis fisicoquímicos realizados sobre muestras reales recolectadas en los años 2023 y 2024. El agua de flowback sintética presentó un pH de 6,5, una dureza total de 42046 mg L⁻¹ CaCO₃, 51667 mg L⁻¹ de cloruros y 75 mg L⁻¹ de hierro total. Todos los materiales inicialmente se probaron empleando el electrolito 3 % de KCl. El agua de flowback se empleó como electrolito a nivel comparativo, según se indique.

Determinación de VC mediante ensayos electroquímicos

Los ensayos se realizaron utilizando un potenciostato Gamry REF 3000, empleando soluciones de KCL (30 g/L) o agua de flowback como electrolito, según se indique. Se trabajó en condición estática bajo atmósfera de nitrógeno y temperatura de 80°C. Las muestras de aleación a evaluar se cortaron y tornearon para su uso como electrodos de trabajo. Se utilizó un electrodo de calomel saturado y un electrodo de grafito como electrodo de referencia y contraelectrodo, respectivamente. Las muestras se sometieron a pruebas de potencial de circuito abierto (OCP) y curvas de polarización. La prueba de potencial de circuito abierto se realizó durante 3600 s hasta verificar potencial estable. La prueba de curva de polarización se llevó a cabo a una tasa de escaneo de 0.165 mV/s y polarización de 500 mV (anódico) para aleaciones de Mg y -500 mV (catódico) para acero P110. Para cada condición de ensayo las curvas de polarización obtenidas para aleaciones de Mg se graficaron vs. a las obtenidas para el acero P110. Se extrapoló donde se cortan ambas curvas y determinó la velocidad de corrosión de ambos (AC y Mg) acoplados.

$$VC \text{ (g/s)} = I \text{ (A)} \times PM \text{ (g/mol)} / [96500 \text{ (C/mol)} \times n \text{ (eq)}].$$

Para el Mg, PM 24,3 g y n = 2.



Figura 1. Set up experimental empleado para la determinación de velocidad de corrosión. Los ensayos electroquímicos se realizan en atmósfera de N_2 y control de temperatura.

Determinación de VC mediante ensayos gravimétricos

VC mediante ensayos gravimétricos individuales

Los ensayos de pérdida de masa para determinar la tasa de disolución de las aleaciones fueron realizados utilizando cupones tipo disco, expuestos en inmersión a 90°C en la solución salina especificada. Durante el ensayo, se registraron sistemáticamente la pérdida de masa y los cambios en el diámetro y espesor de cada disco, con mediciones realizadas cada hora hasta alcanzar la disolución completa o la rotura del cupón. Los cambios más significativos fueron documentados mediante registros fotográficos.

Se mantuvieron constantes la temperatura y el volumen de las soluciones, las cuales fueron reemplazadas cada ocho horas para asegurar condiciones homogéneas. Cada disco fue medido inicialmente para determinar su área superficial y peso, y luego sumergido utilizando soportes que garantizaban una exposición uniforme. Durante el ensayo, los discos fueron extraídos, lavados con etanol, secados con aire caliente y luego pesados nuevamente antes de ser reincorporados al baño. Cuando los materiales no estaban siendo ensayados, estos fueron almacenados en desecadores para evitar alteraciones superficiales.

VC mediante ensayos gravimétricos acoplados

El ensayo gravimétrico acoplado consiste en un ensayo de pérdida de masa convencional, pero en vez de utilizar un cupón de la aleación que se desea evaluar, se utiliza una probeta compuesta de 2 cupones que presentan la misma geometría y área expuesta en contacto eléctrico entre sí (formando una cupla galvánica), sumergidos en la solución de ensayo. En la **Figura 2** se esquematiza la probeta con los cupones de Mg y P110. Las mediciones gravimétricas se asocian únicamente a la disolución del cupón de Mg.

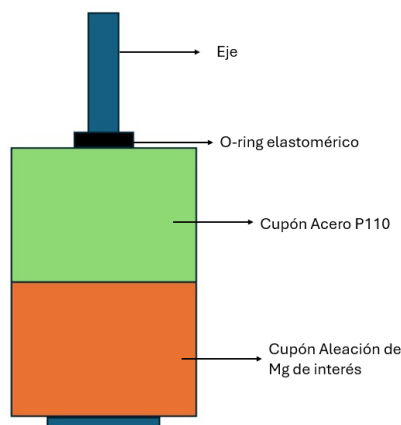


Figura 2. Esquema de la probeta utilizada en los ensayos gravimétricos acoplados.

Resultados

VC mediante ensayos electroquímicos

Los resultados de estos ensayos permiten evaluar el comportamiento de las aleaciones solubles en condiciones de polarización generadas por el acople galvánico con el acero del casing (CSG) en las condiciones de fondo (incidencia del medio corrosivo y la temperatura). Para ejemplificar este fenómeno, en la **Figura 3** se muestra un esquema de un tapón disoluble de fractura fijado en un CSG. La zona del tapón que presenta la tasa más alta de disolución corresponde a las caras del tapón que quedan expuestas al fluido. La disolución del tapón no ocurre en forma homogénea, sino que se acentúa en estos sectores.

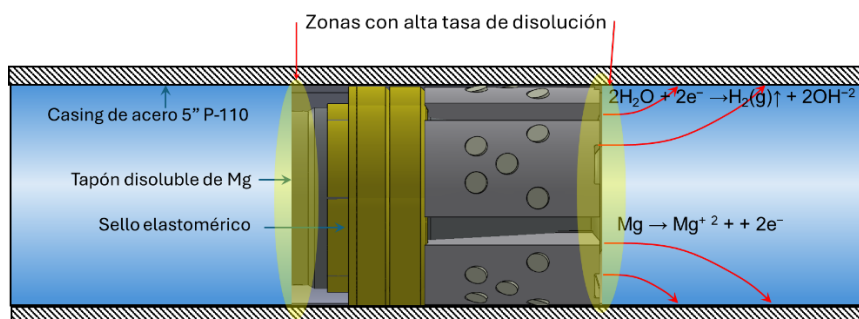


Figura 3. Esquema de un tapón disoluble de fractura hidráulica (TDFH) fijado en un CSG.

En la **Figura 4** se ilustran las curvas de polarización de las aleaciones involucradas al fijar un tapón de Mg a un CSG P-110. El potencial de corrosión del Mg ($E_{corr\ Mg}$) es más electronegativo (anódico) que el del acero P-110 ($E_{corr\ P110}$), que se comporta como cátodo. Al fijar el tapón al CSG, el sistema (TDFH-CSG) adquiere un potencial intermedio (E_{Mix}) y la velocidad de corrosión del Mg se incrementa desde VC (Mg solo) a VC (Mg cupla).

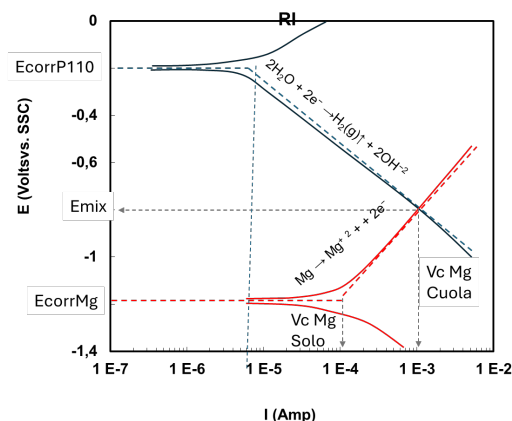


Figura 4. Representación esquemática de las curvas de polarización del tapón de Mg y el CSG de acero P110, una vez fijado el TDFH.

Los resultados de estos ensayos permiten evaluar el comportamiento de las aleaciones solubles en condiciones de polarización generadas por el acople galvánico con el acero del CSG en las condiciones de fondo (incidencia del medio corrosivo y la temperatura),

En las **Figuras 5 y 6** se presentan las curvas de polarización de los materiales (aleación de Mg y acero P110) en solución de 3 % KCl y agua de flowback, respectivamente. Como se mencionó previamente, para determinar la velocidad de corrosión de los materiales en la condición acoplada, se extrapolaron las curvas y se determinó el punto de intersección entre ambas curvas (anódica del Mg y catódica del P110).

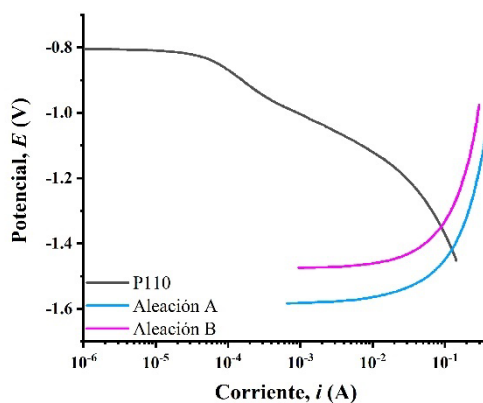


Figura 5. Curvas de potencial para acero P110 y aleaciones de Mg expuestas a 3 % KCl.

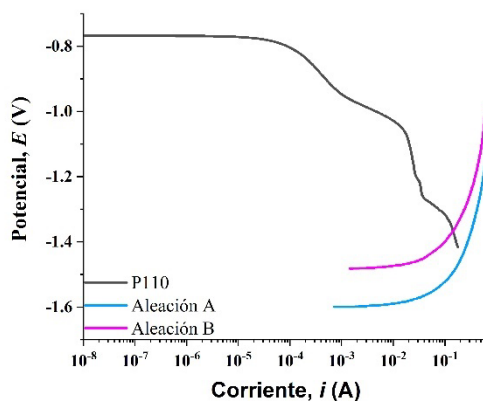


Figura 6. Curvas de potencial para acero P110 y aleaciones de Mg expuestos a agua de *flowback*.

En la **Tabla 2** se resumen los valores de VC de las aleaciones de Mg determinadas a partir de curvas de polarización en ambos medios (3 % KCl y agua de *flowback*).

Tabla 2. Resultados de VC de las aleaciones de Mg determinados a partir de curvas de polarización.

Material	Electrolito	I [A]	VC [μg/s]	VC [mg/cm ² .h]
A	3 % KCl	0,125	15,7	11,8
B	3 % KCl	0,090	11,3	8,5
A	Agua de <i>flowback</i>	0,213	26,8	20,2
B	Agua de <i>flowback</i>	0,136	17,1	12,9

La aleación A presenta valores de VC entre 20 y 50 % más altos que los determinados en la aleación B. Se observa que los valores de VC de las aleaciones de Mg expuestas al agua del *flowback* son superiores a los medidos en 3 % KCl. Esta diferencia se puede atribuir a la mayor salinidad del agua de *flowback*, lo cual aumenta la corrosividad del medio.

VC mediante ensayos gravimétricos

Ensayos gravimétricos individuales

En la **Figura 7** se presentan los resultados obtenidos a partir de los ensayos de pérdida de masa realizados con cupones de dos tipos de aleaciones de Mg, materiales A y B (ver **Tabla 1**) expuestos en 3 % KCl y en agua de *flowback*.

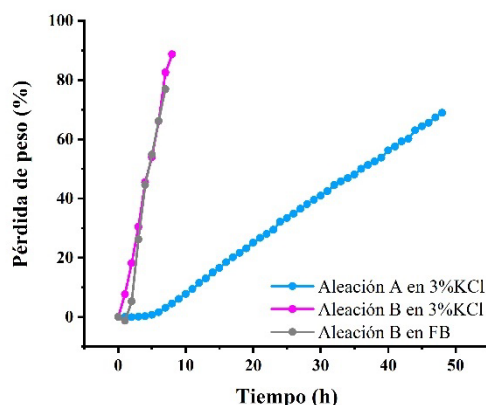


Figura 7. Curvas de pérdida de masa de aleaciones de Mg en función del tiempo expuestas a la solución de 3 % KCl (materiales A y B) y en agua sintética de flowback (material B).

En la **Figura 7** se observa que la aleación B alcanzó una disolución del 90 % en un período de 8 horas, mientras que la aleación A se disolvió un 70 % trascurridas 48 h, empleando el electrolito 3 % KCl. La aleación B presenta una velocidad de disolución entre 7 y 8 veces mayor a la A. Por lo tanto, se observa que, dependiendo de la composición de la aleación de Mg, la velocidad de disolución puede variar significativamente.

Al comparar la incidencia del medio de exposición (solución 3 % KCl y agua de flowback) en el caso de la aleación B, se observa que el comportamiento en cuanto a pérdida de masa no varió de manera significativa con el cambio de electrolito. En la **Tabla 3** se presenta un resumen de los resultados obtenidos en los ensayos de disolución.

Tabla 3. Resultados de ensayos de disolución de aleaciones de Mg en 3 % KCl y agua sintética de flowback a 90°C.

Muestra	Fluido ensayo	Tasa de disolución promedio [mg/cm ² .h]	Tiempo total ensayo por rotura [h]
A	3 % KCl	11,2	48
B	3 % KCl	87,3	8
B	Agua de Flowback	75,8	7

Ensayos gravimétricos acoplados

En las mediciones gravimétricas usando acoplamiento de cupones de la aleación de Mg de interés y cupones de acero, la pérdida de masa se asocia únicamente a la disolución del cupón de Mg. En las fotografías tomadas durante este ensayo (ver **Figura 8**) puede comprobarse que el cupón de acero P110 no presenta pérdida de masa dado que se encuentra catódicamente protegido por el cupón de Mg que actúa como ánodo de sacrificio.

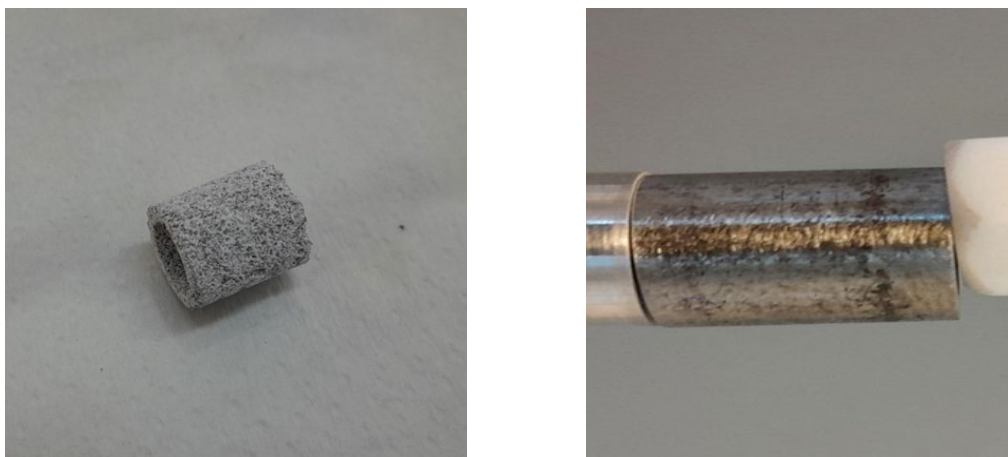


Figura 8. Imágenes tomadas a los cupones de Mg (izquierda) y P110 (derecha) durante el ensayo gravimétrico acoplado.

En la **Figura 9** se presentan los resultados de los ensayos de pérdida de masa acoplados para las dos aleaciones de Mg, A y B en solución 3 % KCl a 90°C. En la **Tabla 4**, se resumen los resultados de estos ensayos.

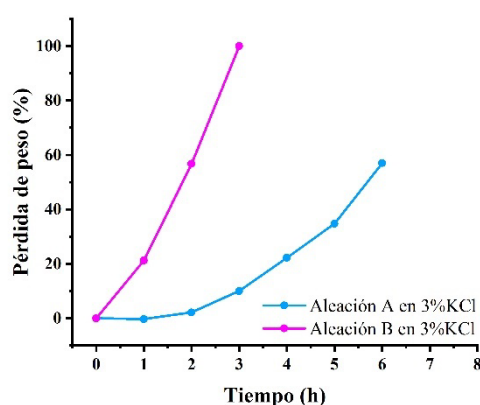


Figura 9. Resultados de los ensayos de pérdida de masa acoplados de las aleaciones de Mg A y B en solución 3 % KCl.

Tabla 4. Resultados de ensayos de disolución de aleaciones de Mg acoplada a P110 en 3 % KCl a 90°C.

Muestra	Fluido ensayo	Tasa de disolución promedio [mg/cm ² .h]	Tiempo total ensayo por rotura [h]
A	3 % KCl	25,06	> 8
B	3 % KCl	91,02	2,5

La **Figura 9** y la **Tabla 4** muestran que las aleaciones presentan una diferencia apreciable en sus velocidades de disolución, siendo la VC de la aleación B aproximadamente 3,6 veces mayor que la A. En un período de 3 horas, la aleación B alcanzó una disolución del 100 %, mientras que la aleación A se disolvió sólo un 60 %, empleando el electrolito 3 % KCl.

El ensayo gravimétrico de cupones acoplados evidencia la influencia del acoplamiento galvánico de los materiales al comparar con ensayos gravimétricos individuales. La tasa de disolución promedio ($\text{mg}/\text{cm}^2\cdot\text{h}$) para la aleación A se duplicó pasando de 11,2 a 25,6 cambiando el tiempo de disolución del 50 % del material de 35 h a menos de 6 h. Para el caso de la aleación B la tasa de disolución promedio ($\text{mg}/\text{cm}^2\cdot\text{h}$) incrementó levemente, cambiando el tiempo de disolución del 50 % del material de 4,5 h a menos de 2 h.

Discusión

Si bien los resultados de los ensayos electroquímicos (**Tabla 2**) muestran que la velocidad de corrosión de las aleaciones de Mg se incrementa con la salinidad del medio, este comportamiento no fue observado en los ensayos de pérdida de masa de la aleación B (**Tabla 3**). Por otro lado, los resultados electroquímicos presentados en la **Tabla 2** muestran que la velocidad de corrosión de la aleación B es inferior a la VC medida en la aleación A. Nuevamente, esta respuesta es opuesta a la observada en los ensayos de pérdida de masa (**Tabla 3**), donde la aleación B arrojó valores de VC significativamente mayores a la A.

Estos resultados ponen en evidencia que existen diferencias importantes entre las mediciones realizadas con ambas técnicas de evaluación (gravimétricos y electroquímicos). En la **Tabla 5** se exponen las ventajas y limitaciones de cada técnica.

Tabla 5. Ventajas y limitaciones de las técnicas de medición de velocidad de corrosión.

Técnica de medición	Ventajas	Limitaciones
Gravimétrico (pérdida de masa)	Simple. Permite cuantificar procesos de disolución y fenómenos de auto-corrosión.	No evalúa el incremento de VC por polarización anódica producida por acople galvánico.
Electroquímico (curvas de polarización)	Permite estimar la VC asociada al acople galvánico de la aleación.	No evalúa VC asociada a auto-corrosión.

Para poder establecer la velocidad de disolución de las aleaciones utilizadas para fabricar tapones disolubles se debería considerar la influencia de ambos fenómenos, la auto-corrosión y la polarización galvánica. Para simplificar la medición de este parámetro en forma práctica y considerando las condiciones de servicio (salinidad del medio, temperatura y acople galvánico) se propone el método alternativo de pérdida de masa en condición acoplada.

Los resultados obtenidos con las distintas aleaciones de Mg ponen en evidencia que, dependiendo de la composición química, se pueden promover procesos de auto-corrosión, que aceleran marcadamente la VC. El proceso de auto-corrosión se genera por fenómenos de micro-celdas galvánicas, muchas veces generados en alteraciones microestructurales como límites de grano e inclusiones, que favorecen el desprendimiento de material sin que ocurra la completa disolución anódica. En términos de protección catódica sacrificial, este fenómeno representa una pérdida de eficiencia del ánodo ya que se pierde material sin que ocurra transferencia de carga (suministro de corriente). La incorporación de microaleantes más nobles (Ni, Cu, Fe) al Mg promueve el fenómeno de auto-corrosión. Por consiguiente, el parámetro de eficiencia del material anódico utilizado para fabricar TDFH suele ser mucho más bajo que los valores reportados para ánodos de sacrificio utilizados en protección catódica.

La velocidad de disolución de las aleaciones utilizadas para la fabricación de TDFH así como de otras herramientas utilizadas en fondo de pozo (bolas poor boy, tapones shear outs, etc.) depende fuertemente de:

- Condiciones del medio (principalmente salinidad y pH del agua, temperatura y presión parcial de gases corrosivos).
- Composición química de la aleación. En particular, la incidencia de microaleantes como Ni, Cu y Fe que promueven la auto-corrosión de la aleación.
- Acoplamiento galvánico de la aleación con el acero del casing.

La relación de áreas expuesta, entre ánodo (aleación soluble) y cátodo (casing de acero) juega un papel importante también. A medida que la relación de área Ánodo/Cátodo se reduce, se incrementa la VC de la aleación soluble. Al fijar un TDFH en un casing (ver **Figura 3**), solo sus caras expuestas a la solución se ven afectadas por la polarización galvánica que ejerce la superficie expuesta del casing (mayor superficie). Esta relación de áreas hace que la herramienta pierda integridad más rápidamente y la disolución se acelere con el tiempo. Al comparar las **Figuras 7 y 9** se observa que el cupón sin acople galvánico (**Figura 7**) presenta una pendiente constante en el tiempo. Por su parte, en la condición acoplada (**Figura 9**), se observa una tendencia parabólica de las curvas de pérdida de masa, que reflejan el incremento de la VC con el tiempo, producto de la modificación en la relación de áreas (cada vez menor área anódica).

Al igual que ocurre con los sistemas de protección catódica, y si bien no fue parte de este estudio, la aplicación de revestimientos orgánicos a ciertos componentes de las herramientas fabricadas con aleaciones solubles permite controlar su VC. Esta práctica es habitualmente empleada por los fabricantes de herramientas solubles, si bien requiere de validación experimental para ajustar la respuesta de la herramienta en su conjunto.

Como se indicó anteriormente, una vez finalizada las etapas de fractura programadas para la terminación del pozo, se realiza la limpieza post-frac con una unidad de coiled tubing (CTU). Generalmente, los TDFH tienen un mínimo de 3 días para disolverse antes de que el CTU comience a profundizar el BHA de limpieza. Es importante asegurar que la mayor parte del tapón se haya disuelto al momento de iniciar la limpieza con CTU para evitar contacto o necesidad de rotar (moler con fresa) el tapón. Por esta razón es importante poder establecer con la mayor precisión posible la VC de la aleación y el tiempo que demorará el TDFH en disolverse por completo.

Siendo que el proceso de disolución de la aleación combina procesos electroquímicos y de auto-corrosión, resulta clave contemplar ambos fenómenos para caracterizar el material del TDFH. La **Tabla 6** resume los resultados experimentales de velocidad de corrosión gravimétricos (VCG), electroquímicos (VCE) y acoplados (VCA) de las aleaciones de Mg A y B. Se incluye una columna con los valores de VCG+VCE para mostrar la correspondencia que existe con los valores de velocidad de corrosión acoplados (VCA).

Tabla 6. Resumen de resultados de VC medidos en forma gravimétrica (VCG), electroquímica (VCE) y acoplada (VCA) para las aleaciones de Mg A y B en 3 % KCl y 90°C.

Muestra	VCG [mg/cm ² .h]	VCE [mg/cm ² .h]	VCG+VCE [mg/cm ² .h]	VCA [mg/cm ² .h]
A	11.2	11.8	23	25.06
B	87.3	8.5	95.8	91.02

La correspondencia entre los valores de VCG+VCE y VCA sugieren que la medición en la condición acoplada permite cuantificar la velocidad de corrosión de las aleaciones de Mg utilizadas para fabricar TDFH en condiciones de servicio y considerando tanto procesos galvánicos como de auto-corrosión.

Conclusiones

El proceso de disolución de las aleaciones de Magnesio utilizadas para la fabricación de tapones disolubles para fractura hidráulica (TDFH) combina procesos de auto-corrosión y disolución anódica. El proceso depende fuertemente de:

- Condiciones del medio, principalmente salinidad y pH del agua, temperatura y presión parcial de gases corrosivos.
- Composición química de la aleación. En particular, la incidencia de microaleantes como Ni, Cu y Fe que promueven la auto-corrosión de la aleación.
- Acoplamiento galvánico de la aleación con el acero del casing.

La medición de la velocidad de corrosión (VC) de las aleaciones mediante técnicas puramente gravimétricas puede conducir a errores en el cálculo del tiempo de disolución del tapón en condiciones de fondo de pozo. Se propone un método para determinar la VC de las aleaciones denominado “gravimétrico acoplado” que contempla el incremento de VC producido por efecto galvánico. La VC determinada por este método es equivalente a la suma de la VC gravimétrica y electroquímica.

Conceptos de protección catódica como la relación de áreas expuesta (ánodo; aleación disoluble y cátodo: casing de acero) y la modificación de esta relación con la aplicación de revestimientos, juega un papel determinante en la VC.

La aplicación de conceptos de protección catódica sacrificial permite estimar con mayor precisión la velocidad de disolución de los TDFH, evitando pérdida de eficiencia por falta de hermeticidad o corrimiento, así como inconvenientes en las maniobras de limpieza post-frac con CTU.

Bibliografía

1. Zhao, L., Dunne, T. R., Ren, J., & Cheng, P. *Dissolvable Magnesium Alloys in Oil and Gas Industry*. In: **Magnesium Alloys – Processing, Potential and Applications**, IntechOpen, 2023.
2. Hassan, S. F. *et al.* “Fracking Plug Material: A Review of Processing, Microstructure, and Properties of Magnesium-Based Alloy.” **Transactions of the Indian Institute of Metals**, 2025.
3. Song, G.-L., & Atrens, A. “Understanding Magnesium Corrosion.” **Advanced Engineering Materials**, 2003.
4. Sundjono *et al.* “The Selection of Magnesium Alloys as Sacrificial Anode for the Cathodic Protection of Underground Steel Structure.” **IJETT**, 2017.
5. Castaño-González, J. G. *et al.* “Methods for evaluation of corrosion rate on magnesium alloys: a review.” **Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia**, 2024.
6. Feliu Jr., S. “Electrochemical Impedance Spectroscopy for the Measurement of the Corrosion Rate of Magnesium Alloys.” **Metals**, 2020.

Autores**Walter Morris**

Título y lugar de estudio: Dr. en Ciencia de los Materiales, Universidad Nacional de Mar del Plata.

Trayectoria: Más de 25 años en la industria del O&G.

Cargo actual en la empresa: Especialista de O&G, Y-TEC.

El CV deberá tener 85 palabras como máximo

Sofia Rivelli Lavallen

Título y lugar de estudio: Ingeniería en Materiales, Universidad Nacional de Mar del Plata.

Trayectoria: Entre 2016 y 2017 realizó una estadía en la Universidad de Saarland y una pasantía en el área de I+D de Dillinger Hütte (Alemania). Desde 2018 trabaja en YPF Tecnología S.A. en proyectos sobre fluidos de fractura, agentes de sostén, materiales para aislación de pozos y evaluación termo mecánica. Además, participa en actividades de escalado y pilotos de campo. Actualmente cursa un Doctorado en Ingeniería en la Universidad de Buenos Aires.

Cargo actual en la empresa: Tecnóloga P&WO - YPF Tecnología S.A.

Facundo Leonel Porcel de Peralta

Título y lugar de estudio: Técnico Químico Universitario por la UTN FRLP

Trayectoria: Analista en el Laboratorio de Nanotecnología y Surfactantes en YPF Tecnología S.A., donde desarrolla tareas de caracterización y evaluación de productos químicos comerciales y *tailor-made* aplicados a la industria del Oil & Gas, además de tareas de campo y aseguramiento metrológico. Integra análisis de datos con Python, Power BI y herramientas de Power Platform, desarrollando aplicaciones para optimización de procesos y gestión de muestras.

Cargo actual en la empresa: Analista de Laboratorio - YPF Tecnología S.A.

María Jesús González Pabón

Título y lugar de estudio: Ing. Ambiental y Sanitario. PhD. Química Biológica

Trayectoria: más de 5 años de experiencia el sector Oil & Gas, en la empresa i+D, YTEC. Experiencia en proyectos de investigación y desarrollo tecnológico de nuevos productos químicos para aseguramiento de flujo e integridad en instalaciones de superficie, como productos dispersantes de parafinas y asfaltenos, desemulsionantes, clarificantes, inhibidores de corrosión. Estudios doctorales en la UBA temáticas de electroquímica y nuevos materiales para producción de energía.

Cargo actual en la empresa: Tecnóloga