

EVALUACION PRIMARIA DE FALLAS Y CONTROL DE CORROSIÓN DE POZOS PRODUCTORES DE PETROLEO

Mariana Del Pozo, YPF, mariana.delpozo@ypf.com
Marcos Tissera, Icorr, mtissera@icorr.com.ar

Sinopsis

Se ha desarrollado e implementado una metodología de evaluación primaria de fallas y control de corrosión para pozos productores de petróleo, de los cuales la amplia mayoría utilizan sistemas de bombeo mecánico. Mediante esta metodología se planteó la obtención de los siguientes resultados:

- Conocimiento de las problemáticas de falla actuales
- Identificación de mecanismos de corrosión que impactan tanto en las instalaciones de pozo como el resto de las instalaciones aguas abajo
- Revisión crítica de los programas de tratamiento actuales
- Disminución de la tasa de fallas

A partir de la conformación de un equipo de trabajo, la metodología desarrollada comienza con una evaluación primaria de fallas donde se recopilan y analizan muestras de fallas de las instalaciones de pozos para la determinación de morfologías de ataque e indicaciones relevantes. En forma complementaria se realiza un análisis integral de cada pozo incluyendo la evaluación del histórico de intervenciones y fallas, parámetros de operación, diseño del pozo, evaluación de mecanismos de daño, medidas de mitigación y plan de monitoreo implementado.

Se establecieron estrategias generales de mitigación y un plan de acciones inmediatas particulares para cada uno de los pozos evaluados.

1. Introducción

La rotura de varillas de bombeo (VB) es una de las principales causas de falla asociadas a pozos productores de petróleo. Una falla de varilla de bombeo se define como un evento catastrófico que requiere la intervención del pozo para extraer y reemplazar parte del material en servicio. La frecuencia de falla del pozo es el número total de fallas de componentes que ocurren por pozo y por año.

Cuando no se ha implementado una metodología de gestión de integridad basada en riesgo en pozos, en general se definen a los pozos que poseen elevada frecuencia de falla como “pozos problema” y requieren de un programa efectivo de gestión de fallas.

El análisis de los parámetros de producción, diseño de pozo, materiales, corrosividad, tratamientos y resultados o performance de cada pozo en forma unificada requiere de la formación de un equipo de trabajo multidisciplinario y permite establecer estrategias generales y particulares para cada pozo que permitirá una mejora en el tiempo entre intervenciones por fallas relacionadas a corrosión.

2. Desarrollo

El presente trabajo se ha enfocado en fallas de varillas de bombeo de pozos productores de petróleo. Los modos de falla en el cuerpo de las varillas de bombeo de pozos productores se pueden agrupar en fallas por tensión o fallas por fatiga. Las fallas por tensión ocurren cuando se aplican esfuerzos de tracción elevados en la sarta, diseños de sartas inadecuados o reducciones en el área transversal de las varillas de bombeo por erosión, corrosión o ambos. Las fallas por fatiga ocurren en forma progresiva, a partir de pequeñas fisuras que crecen bajo la acción de esfuerzos cíclicos. Las fallas por fatiga ocurren a niveles de tensiones por debajo del límite de fluencia del material y luego de muchas aplicaciones cíclicas de estas cargas. La fisura originada por la fatiga se propaga hasta que el área remanente del material es reducida a un punto en el que se excede el límite de ruptura del material y ocurre su fractura. Por su parte, la corrosión fatiga puede ser definida como la acción combinada de un medio agresivo y tensiones mecánicas cíclicas, que conducen a la ruptura prematura del material.

Se describen a continuación las actividades desarrolladas mediante las cuales se plantearon obtener los siguientes resultados:

- Disminución de la tasa de fallas
- Revisión crítica de los programas de tratamiento actuales
- Conocimiento de las problemáticas de falla actuales

- Identificación de mecanismos de corrosión que impactan tanto en las instalaciones de pozo como el resto de las instalaciones aguas abajo

A continuación se detallan las tareas desarrolladas:

- Evaluación primaria de fallas
- Evaluación de resultados de análisis de fallas
- Análisis integral de pozos seleccionados
 - Evaluación del Histórico de fallas, mitigación, operación
 - Análisis del diseño del pozo
 - Evaluación de Mecanismos de daño
 - Análisis de estrategias de mitigación
 - Plan de monitoreo
- Análisis general de estrategias de mitigación
- Análisis conjunto con el referente de corrosión
- Plan de acciones inmediatas
- Implementación de acciones

3. Análisis integral de pozos

Para obtener un diagnóstico particular para cada pozo se realizó una primera etapa de recopilación y evaluación de la información detallada de cada pozo incluyendo entrevistas con los referentes de diferentes áreas.

A continuación, se indican las características principales de cuatro pozos ejemplo.

Pozo	Bombeo	Bruta (m ³ /d)	Neta (m ³ /d)	Agua (m ³ /d)	Corte de agua (%)
Pozo 1	Mecánico	24	6,5	17,5	73
Pozo 2	Mecánico	130	3,5	126,5	97
Pozo 3	Mecánico	68	3,6	64,4	95
Pozo 4	Mecánico	15	7,4	7,6	51

Tabla 1. Características de pozos ejemplo.

3.1. Historial de intervenciones

Se realizó una evaluación detallada de los historiales de intervenciones de los pozos, la frecuencia de intervenciones, las causas indicadas de intervenciones de varillas de bombeo y las observaciones indicadas en cada intervención.

En la siguiente tabla se resume la cantidad de intervenciones por año asociadas a fallas de varillas de bombeo.

Pozo	2012	2013	2014	2015	Total
Pozo 1	0	0	3	1	4
Pozo 2	0	1	0	1	2
Pozo 3	0	2	0	1	3
Pozo 4	1	1	2	3	7

Tabla 2. Cantidad de intervenciones relacionadas a corrosión.

3.2. Materiales

El control de corrosión puede ser realizado mediante la selección de materiales resistentes al medio agresivo o por la combinación de selección de materiales y tratamiento químico.

De acuerdo al tipo de cargas y niveles de corrosión de los pozos se utilizan diferentes grados (especificaciones de materiales) de varillas de bombeo. El tipo más utilizado de varillas es la de acero sólido, varillas que han sido estandarizadas por la American Petroleum Institute (API) bajo la norma API Spec 11B.

Las varillas grado C son las más económicas y se aplican a servicios no corrosivos y cargas bajas. En general se utilizan elementos de aleación para incrementar la resistencia mecánica, dureza y la resistencia a diferentes mecanismos de corrosión. Las varillas Grado D Alloy, aleación cromo-molibdeno, permiten su

utilización a mayores cargas, para servicios de baja corrosividad sin H₂S. El grado K, aleación níquel-molibdeno, se utiliza para servicios moderadamente corrosivos.

Los materiales indicados a continuación corresponden al material en servicio al momento de la falla evaluada.

Pozo	Material	Descripción	Estado*
Pozo 1	MMS	Cr-Mo	Nuevo
Pozo 2	D	Ac. al C.	Clase II
Pozo 3	D	Ac. al C.	Clase III
Pozo 4	MMS	Cr-Mo	Nuevo

Tabla 3. Materiales de VB al momento de la falla.

*Estado de acuerdo a API RP-11BR.

Las varillas de bombeo Grado D pertenecen al grupo de varillas de acero al carbono (AISI 1530) diseñadas para pozos no corrosivos o efectivamente inhibidos con cargas moderadas.

Las varillas de bombeo Grado MMS pertenecen al grupo de varillas de alta resistencia para pozos profundos sometidos a altas cargas. Es un acero aleado al cromo-molibdeno (AISI 4138) sin níquel.

El acero Grado MMS posee alta resistencia mecánica pero limitada tenacidad, confiriéndole mayor tendencia a la generación y propagación de fisuras que producen las fallas. Esta característica condiciona el grado MMS en general a un bajo desempeño para trabajo en entorno corrosivo.

En cuanto al estado del material utilizado, de acuerdo a la normativa API RP 11BR, las varillas clase III puede contener los siguientes defectos aceptados:

- Varillas flexionadas con TIR (Total indicated Run-Out)>7,6 mm enderezadas en frío
- Desgaste o corrosión con una pérdida de sección del 20-30%
- Corrosión localizada (pits) entre 1-1,5 mm de profundidad

Es muy importante establecer criterios para la reutilización de material, en particular para pozos que presentan mecanismos de daño activos mitigados o no mitigados dado que los defectos preexistentes son puntos conocidos de inicio de fallas prematuras.

3.3. Monitoreo de corrosión

El monitoreo de corrosión en los pozos analizados se basaba en el seguimiento de las siguientes variables:

- Hierro disuelto
- Residual de aminas
- Velocidad de corrosión (en superficie)

El monitoreo de corrosión mediante hierro disuelto es ampliamente utilizado principalmente porque puede ser realizado fácilmente, con muy bajo costo y en forma rápida. Sin embargo los resultados suelen presentar divergencias significativas con las observaciones directas en las instalaciones o con otros métodos de monitoreo de corrosión.

Algunas de las razones por las que el monitoreo de hierro puede presentar errores son:

- Falta de análisis e interpretación de resultados
- Presencia de mecanismos de daño que producen corrosión localizada
- Presencia de H₂S u O₂ disueltos
- Corrosión en el punto de muestreo
- Errores de muestreo
- Variaciones significativas de flujo o de cantidad de agua producida
- Presencia de hierro en el agua de producción

En forma complementaria se analizaron variables clave determinadas aguas abajo de los pozos en diferentes puntos del sistema, como por ejemplo en baterías, incluyendo parámetros fisicoquímicos del agua de producción, cromatografía gaseosa y conteo de bacterias.

Como referencia, de acuerdo a la clasificación de corrosividad indicada en NACE MR0176, los pozos se clasifican en corrosión por pérdida de metal “moderada” (Pozos 1 y 4) y “severa” (Pozos 2 y 3) en función del contenido de CO₂, H₂S y el corte de agua.

En una baja cantidad de pozos se ha implementado el monitoreo de velocidades de corrosión mediante cupones de pérdida de peso. El punto de monitoreo se encuentra en el árbol de producción. Si bien este

punto de monitoreo puede presentar diferencias significativas con las velocidades de corrosión en sub-superficie, se pueden utilizar sus resultados para determinar la tendencia de corrosión en el tiempo.

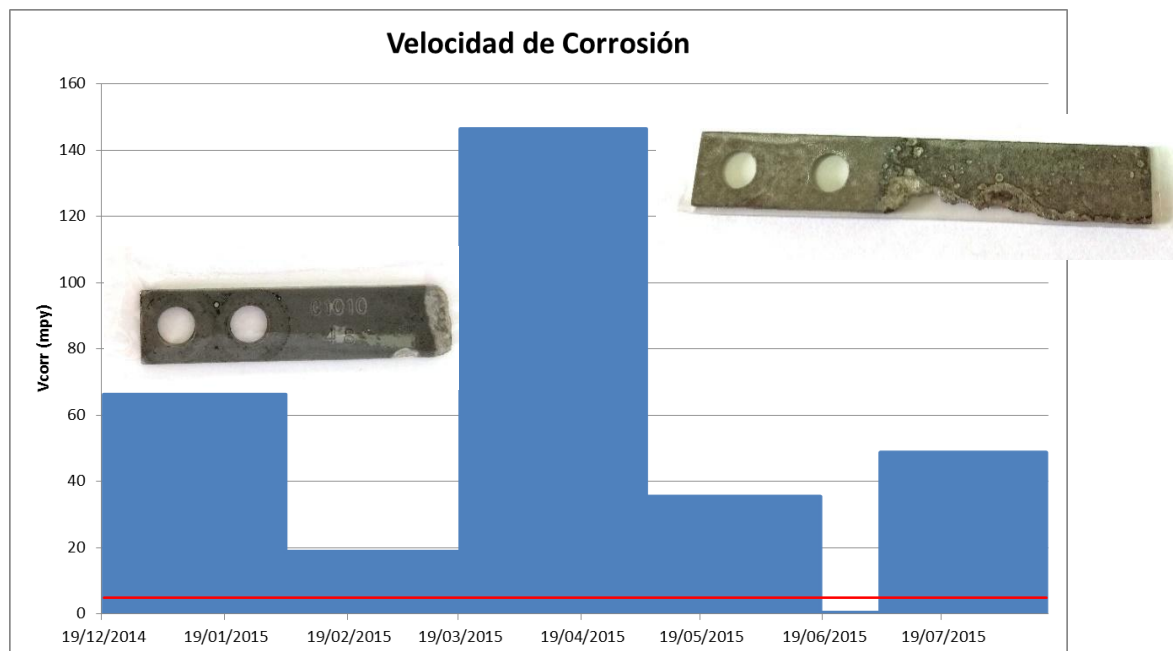


Figura 1. Velocidades de corrosión por cupones de pérdida de peso en Pozo 3.

3.4. Tratamientos

En ambientes corrosivos se requiere de un programa de tratamiento químico correctamente estructurado seleccionando una combinación adecuada del inhibidor y la técnica de aplicación. El uso de inhibidores de corrosión ha demostrado ser una opción técnico-económica efectiva para minimizar la corrosión y extender la vida de los componentes de pozo.

Pozo	Tipo de Producto	Base	Proveedor	Forma de Aplicación	Frecuencia
Pozo 1	Inhibidor de corrosión	Agua	Proveedor 1	Batch (150 ppm)	Mensual
	Inhibidor de Parafinas	N/A	Proveedor 1	EC	Continua
Pozo 2	Inhibidor de Corrosión	Agua	Proveedor 1	Batch	Semanal
Pozo 3	Inhibidor de Corrosión	Agua	Proveedor 1	Batch	Semanal
	Biocida	Aldehídos	Proveedor 1	EC con recirculado	Quincenal
Pozo 4	Inhibidor de Corrosión	Agua	Proveedor 1	EC con recirculado (500 ppm)	Continua/Batch

Tabla 4. Tratamientos utilizados en los pozos al momento de la falla.

Partiendo del estado observado de las varillas de bombeo, con mecanismos de corrosión activos y de elevada velocidad de ocurrencia en pozos tratados, y de la elevada tasa de falla, se desprende que la efectividad de los tratamientos actuales no es la adecuada. Se realizó una evaluación crítica de los tratamientos implementados identificando oportunidades de mejora en este aspecto.

Se han observado pozos con elevada tasa de falla por corrosión que poseen un tratamiento mediante inhibidor filmico soluble en agua dosificados mediante la técnica batch, en algunos casos de frecuencia mensual. La eficiencia de los tratamientos de pozos mediante la metodología batch es ampliamente discutida. En general es muy dificultoso determinar la persistencia del film generado durante el batch, así

como también asegurar la formación del mismo en la totalidad de las superficies que requieren protección. Es muy probable que la frecuencia mensual resulte escasa para mantener la persistencia del film, aún con elevadas dosificaciones.

Los inhibidores solubles en agua, como el utilizado, por lo general poseen films menos persistentes que los inhibidores solubles en hidrocarburo y por lo tanto no son recomendados para los tratamientos del tipo batch. Al perder persistencia del film, se exponen diferentes áreas de las varillas al fluido corrosivo, iniciando o profundizando la corrosión hasta que se realiza un nuevo batch de inhibidor de corrosión. Idealmente la frecuencia entre batch se debería ajustar para evitar esta pérdida del film de acuerdo al monitoreo. Sin embargo, en la práctica, esto generalmente no se realiza.

4. Análisis preliminar de fallas

Se implementó un esquema de trabajo conjunto con el personal involucrado en las intervenciones de pozos para la inspección del material extraído en los “pozos problema” definidos, el relevamiento de otra información relevante y la obtención de muestras representativas para su posterior análisis.

Las muestras fueron rotuladas y embaladas para su preservación hasta el momento del análisis preliminar. Dicho análisis consistió en una inspección visual por parte de un especialista en corrosión y materiales, relevamiento fotográfico y selección de muestras para su posterior análisis de falla en laboratorio.

Este enfoque particular de análisis preliminar de falla permite obtener información valiosa para la toma de decisiones en un lapso de tiempo muy corto desde ocurrida la falla.

A continuación, se presenta un resumen de las fallas analizadas correspondientes a los pozos ejemplo del presente trabajo.

Pozo	VB N°	Diámetro (pulg)	Fecha de Falla	Observaciones
Pozo 1	305	3/4	7/15 (271 días run life)	Aprox. 2320 mts de profundidad
Pozo 2	69	7/8	8/15 (624 días run life)	Aprox. 525 mts de profundidad
Pozo 3	19	1	5/15 (608 días Run Life)	Aprox. 152 mts de profundidad
Pozo 4	101	7/8	2/15 (160 días run life)	Aprox. 775 mts de profundidad

Tabla 5. Detalle de las fallas analizadas.

La inspección preliminar arrojó información relevante de los mecanismos posiblemente activos que condujeron a la falla de las varillas de bombeo.

Pozo 1: La muestra perteneciente al pozo 1 presentó corrosión localizada de crecimiento perpendicular al eje de las varillas. En los casos más severos con posibles fisuras en sus extremos. La muestra presenta depósitos/productos de corrosión moderadamente adheridos sobre las zonas con corrosión. Presenta corrosión generalizada muy leve en el resto de la varilla.

Pozo 2: En la muestra del pozo 2 se observan franjas longitudinales por rozamiento en una de las caras de la VB. La muestra presenta depósitos/productos de corrosión moderadamente adheridos de color negro. Se observa corrosión generalizada en la totalidad de la VB, con un ataque significativo en zonas de rozamiento. Las morfologías observadas pueden asociarse a corrosión carbónica principalmente, considerando la forma y conexión de las cavidades producidas en las zonas de rozamiento donde se iniciaría la fisura que produce la falla por fatiga. El rozamiento produce un efecto de remoción de productos de corrosión e impide la adecuada formación de la película de inhibidor de corrosión promoviendo la corrosión acelerada sobre esta zona.

Pozo 3: Se observó corrosión generalizada con gran pérdida de metal, en zonas de hasta un 50% de pérdida de sección aproximadamente. La muestra no presenta gran cantidad de depósitos/productos de corrosión.

Pozo 4: Se observa corrosión localizada severa con pits semiesféricos de 1,3 mm de profundidad máxima agrupados posiblemente en el lugar de inicio de la falla. La muestra presenta depósitos/productos de corrosión moderadamente adheridos sobre las zonas con corrosión. No presenta corrosión generalizada en el resto de la VB. La velocidad de corrosión aproximada en los pits es de 2-3 mm/año (78-110 mpy).



Figura 2. Falla en Pozo 2.



Figura 3. Falla en Pozo 2.



Figura 4. Falla en Pozo 3.

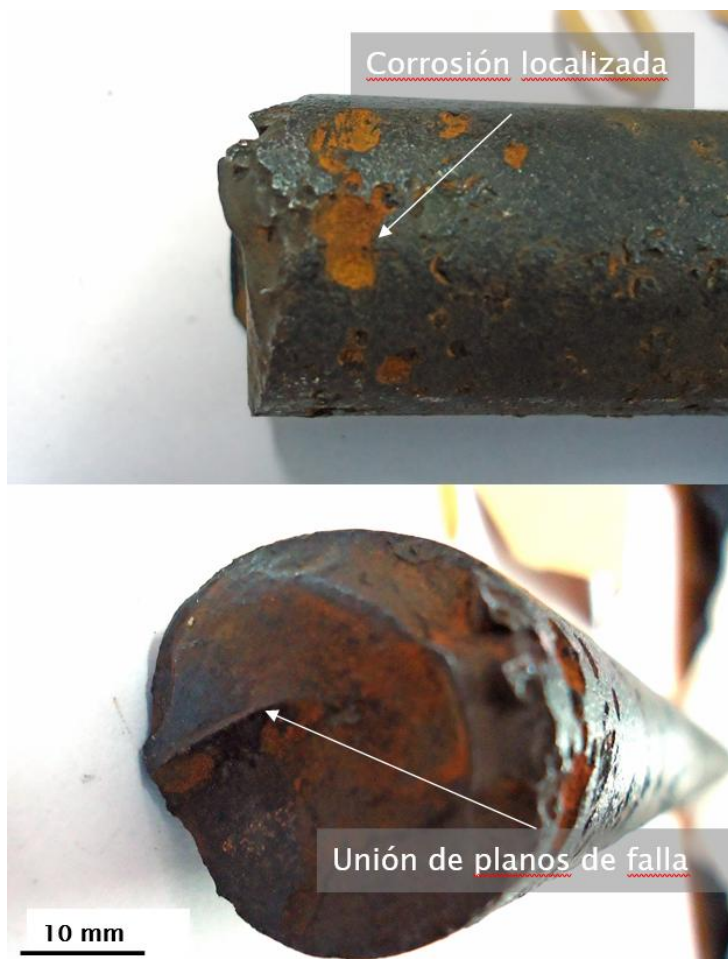


Figura 5. Falla en Pozo 4.

5. Plan de Acciones

A partir del análisis realizado, se estableció un plan de acciones particulares por cada pozo analizado en conjunto con un plan de acciones generales que se detalla a continuación:

- Desarrollar un procedimiento general para la unidad de gestión de tratamiento químico para el control de corrosión en pozos especificando condiciones de tratamiento, criterios de dosificación, esquemas de monitoreo, selección de productos, control de calidad, etc.
- Modificación de los esquemas de tratamiento de los pozos evaluados acorde a los lineamientos definidos.
- Definición e implementación de un nuevo programa de monitoreo de corrosión en pozos productores.

A modo de ejemplo para el pozo 3 se modificó el tratamiento químico de batch semanales de inhibidor base acuosa a dosificación continua por anular en recirculado. En forma complementaria se instaló una sarta de V.B. material Grado KD. El material grado KD (AISI 4320) posee como diferencias principales desde el punto de vista de resistencia a la corrosión, un contenido de Ni (1,15-1,50%) y de Cr (0,70-0,90%) superior al Grado D. Si bien se espera una mejor resistencia a la corrosión observada, es importante mantener el esquema de inhibición en forma continua, asegurar la disponibilidad del inhibidor adecuada y monitorear las variables clave incluyendo la utilización de cupones de AISI 4320.

6. Resultados:

Caso Pozo 3: En intervención en dic 2016 se observaron las VB con corrosión generalizada muy leve luego de 577 días de servicio lo que corresponde a un 95% del run life del ciclo inmediato anterior. Si bien el tipo de corrosión identificado corresponde a corrosión generalizada, el monitoreo de corrosión mediante el seguimiento de hierro disuelto no mostró resultados representativos de la corrosión en VB por lo que se descartó como método primario de monitoreo para las VB pertenecientes a este pozo.



Figura 6. Estado de las VB de material KD en pozo 3.

7. Conclusiones

A partir de la implementación de un análisis preliminar de fallas de varillas de bombeo en combinación con un análisis integral de cada pozo, se pudo obtener información relevante para el diagnóstico y la formulación de planes de acción inmediatos para cada pozo. Se determinaron los posibles mecanismos de corrosión activos relacionados a las fallas analizadas y se establecieron acciones inmediatas para su mitigación. Dichas acciones consisten fundamentalmente en modificaciones a los tratamientos químicos en particular a la combinación de tipo de producto, método de dosificación y parámetros de monitoreo de performance.

Desde el punto de vista general se identificaron importantes oportunidades de mejora relacionadas a la vinculación entre los sectores encargados de la selección de materiales de pozo y el control de corrosión implementado. En cuanto a la selección del tipo de inhibidor, método de dosificación y monitoreo de performance, se determinó la necesidad de definir criterios propios de la unidad de gestión como base para el trabajo en conjunto con los referentes técnicos de las empresas proveedoras de productos.

8. Bibliografía

API 6A, Especificación para componentes de cabeza de pozo y árbol de producción.

API RP 11BR, Práctica recomendada para cuidado y manipuleo de varillas de bombeo.

API RP 5C1, Práctica recomendada para cuidado y uso de tubing y casing.

NACE RP0195, Control de corrosión de varillas de bombeo mediante tratamiento químico.

NACE MR0176, Materiales metálicos para bombas de bombeo mecánico en yacimientos corrosivos.

9. Breve CV de los autores

Mariana Del Pozo

Ingeniera en Industrias de la Alimentación, Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria.

Cuenta con nueve años de experiencia en la industria como ingeniera en las áreas de corrosión, tratamientos químicos, evaluación de fallas de integridad, trabando en empresas del sector de petróleo y gas en las áreas de tratamientos químicos, corrosión e integridad.

Ingeniera de Corrosión, YPF-UNNRN Activos Catriel y VAM.

Marcos Tissera

Ingeniero en Materiales, Universidad Nacional de Mar del Plata; especialización en Ciencia y Tecnología de Materiales del Inst. Sábato (CNEA/UNSAM).

Cuenta con más de 19 años de experiencia en la industria como ingeniero en las áreas de corrosión, inspección e integridad, trabajando en empresas del sector de petróleo y gas, y en el área de consultoría. Profesor adjunto de la UNMDP, Facultad de Ingeniería, Dto. de Materiales, en la cátedra de Corrosión. Instructor en cursos especializados RBI (API RP 580/581) brindados a la industria de gas y petróleo. Director en Icorr Ingeniería S.A.