

PROTECCIÓN CATÓDICA EN TANQUES EXISTENTES- DISEÑO Y APLICACIÓN

Barragan Martin, YPF, martin.h.barragan@ypf.com; Iyaiz Federico, YPF, federico.iyaiz@ypf.com; Cianciosi, Pablo, YPF, pablo.cianciosi@ypf.com, Gonzalez, Iris, YPF, iris.gonzalez@ypf.com

1. Resumen:

Los sistemas de protección catódica en plantas con tanques existentes plantean un desafío significativo en lo que respecta a la distribución de corriente. En particular, en tanques de gran diámetro resulta complicado establecer los potenciales necesarios en la envolvente, lo cual compromete la protección efectiva del centro del tanque.

En este estudio, se presenta una alternativa de diseño que aborda este problema de forma simplificada, sin la necesidad de recurrir a perforaciones dirigidas para instalar electrodos de referencia en el centro de cada tanque. Se realiza un análisis exhaustivo de esta estrategia, incluyendo un cálculo estimativo de los beneficios asociados en comparación con el enfoque tradicional de la perforación dirigida para la instalación del electrodo de referencia central. Además, se abordan las variables críticas a considerar en dicho cálculo, así como las posibles formas de fallo relacionadas con este sistema.

2. Introducción

La protección catódica es uno de los métodos mas utilizados en la industria contra la corrosión externa, sumado a los revestimientos conforman los sistemas de protección anticorrosiva para estructuras soterradas. En el caso de los tanques de almacenamiento, los mismos suelen no tener el fondo del lado suelo revestido puesto a que los procesos de construcción y soldadura harían esta tarea demasiado ardua.

En el caso de tener un parque de tanques existente, se presenta el desafío a la hora del diseño de la protección catódica, debido a la dificultad de verificar los potenciales de protección en el centro del tanque. De no mediar una alternativa, suelen tomarse potenciales en la envolvente suponiendo que en el centro del mismo, donde menos corriente llega, estará protegido.

Existen diversas soluciones constructivas para evaluar si la corriente de protección es suficiente, cada una con sus propias ventajas y desventajas.

Este estudio presenta datos de varios tanques, detallando los potenciales ON" y "OFF" medidos en diferentes puntos y las corrientes aplicadas. Los resultados muestran discrepancias significativas en la densidad de corriente requerida para una protección efectiva, comparadas con las recomendaciones de la API 651 y la NACE SP0193, que sugieren una densidad de corriente de alrededor de 21,5 mA/m². En los casos verificados, la densidad de corriente observada es hasta cuatro veces mayor que lo establecido en las normas. Esta discrepancia puede deberse a la pérdida de corriente en las puestas a tierra de cobre y en las cañerías de proceso que no están aisladas.

Además, se nota una disminución en la densidad de corriente necesaria en los tanques 77 y 78 en comparación con el tanque 74, que tiene un doble fondo de concreto. A pesar de contar con una infraestructura mejorada, como el cambio de piso en 2023, los tanques con plateas de concreto completas siguen siendo vulnerables a la corrosión externa debido a la baja resistividad de este tipo de materiales (en el orden de los 8000 ohm.cm). Esto puede exacerbarse por la fisuración del

concreto y de factores como la porosidad, el contenido de humedad y la presencia de cloruros en el ambiente.

3. Desarrollo

La distribución de corriente en tanques existentes es siempre un inconveniente, debido a que sólo se puede verificar los potenciales en el diámetro exterior del tanque, siendo el punto de menor protección el centro del tanque.

Para lograr establecer el potencial en el centro del tanque, pueden recurrirse a distintos programas que simulan la distribución de corriente por elementos finitos.

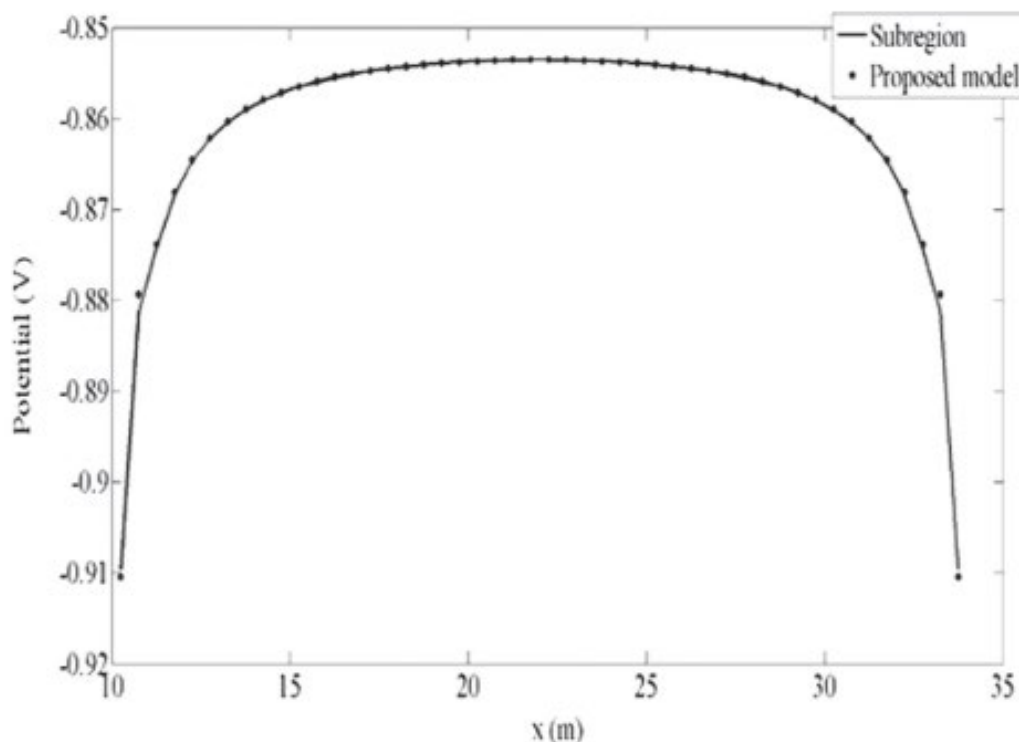


Fig. 1 - Perfil de potenciales de simulación por método BEM (elementos de frontera) ⁸

Existen también alternativas constructivas tendientes a estimar si la corriente de protección aplicada es suficiente. Las mismas son variadas y tienen factores positivos y negativos a considerar.

La utilizada en este caso es la que responde al siguiente esquema: 2 hemidispersores que pueden desanclarse, para dejar un solo hemidispersor entregando corriente y tomar potenciales en la envolvente al lado opuesto del dispersor en servicio.

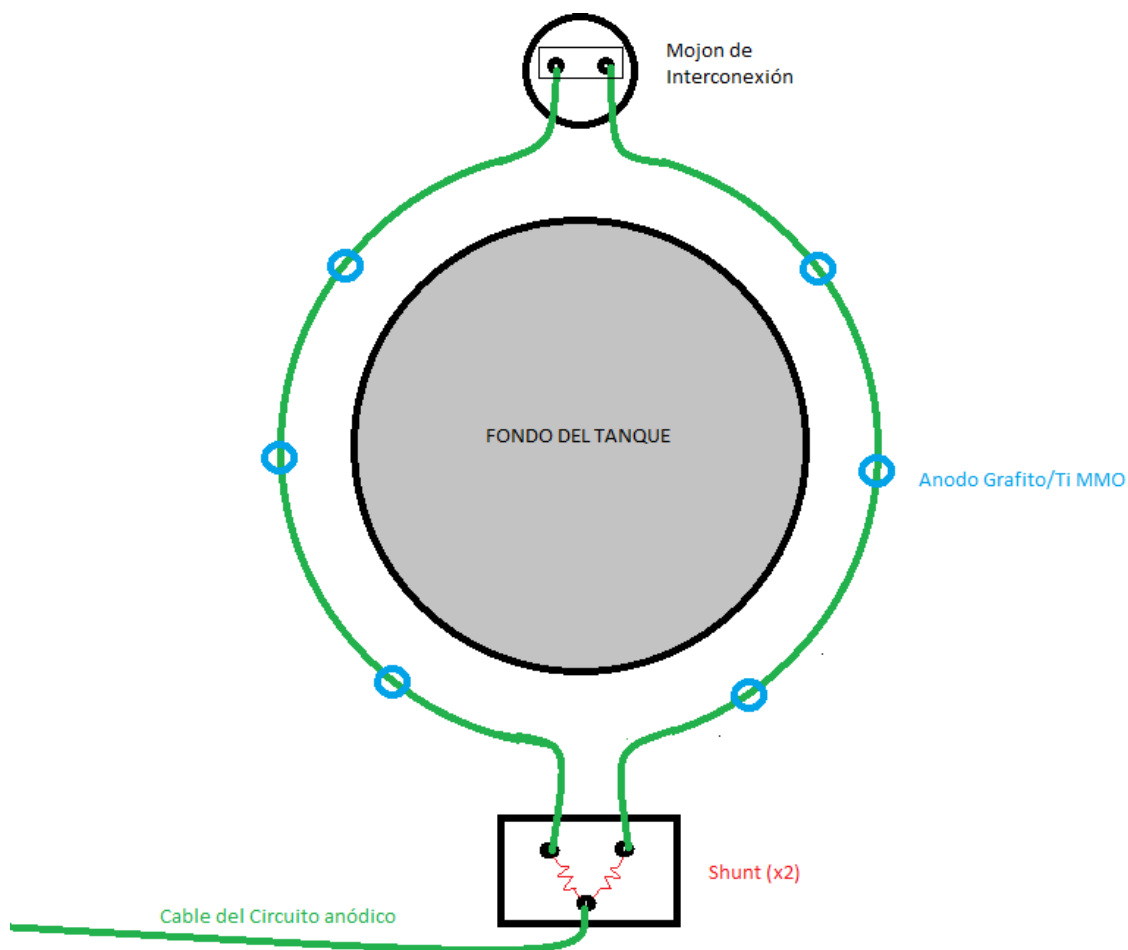


Fig. 2 - Esquema de instalación del circuito anódico



Fig. 3 - Instalación del sistema de Protección Catódica Distribuido.

De esta manera se provee una manera de desconectar un hemidispensor y verificar el potencial OFF en el lado del hemidispensor fuera de servicio, bajando la corriente a la mitad. El procedimiento de relevamiento deberá escribirse con los siguientes puntos mínimos:

- 1- Verificar que el equipo está en funcionamiento.
- 2- Apagar el equipo y no encenderlo hasta cumplir los puntos 3 y 4.
- 3- Desconectar el mojón de interconexión.

- 4- Desconectar un hemidispersor desde la caja de distribución anódica que tiene ambos shunt (50mv-50A).
- 5- Volver a encender el equipo.
- 6- Bajar la regulación del módulo/s correspondiente al tanque a estudiar a la mitad del valor actual y hacerlo ciclar en una relación 4 ON / 1 OFF.
- 7- Releva los potenciales de la mitad del tanque correspondiente al hemidispersor desconectado.
- 8- Repetir el procedimiento para la otra mitad del tanque (recordar apagar el equipo cada vez que haya que realizar una conexión o desconexión del circuito anódico).
- 9- Apagar el equipo y volver a conectar el hemidispersor en el mojon de distribución anódica y el mojon de interconexión.
- 10- Encender el equipo y regular como estaba previo al punto 2.

Este relevamiento, se realizó la verificación del sistema a un año de su puesta en servicio. Reflejando los siguientes resultados:

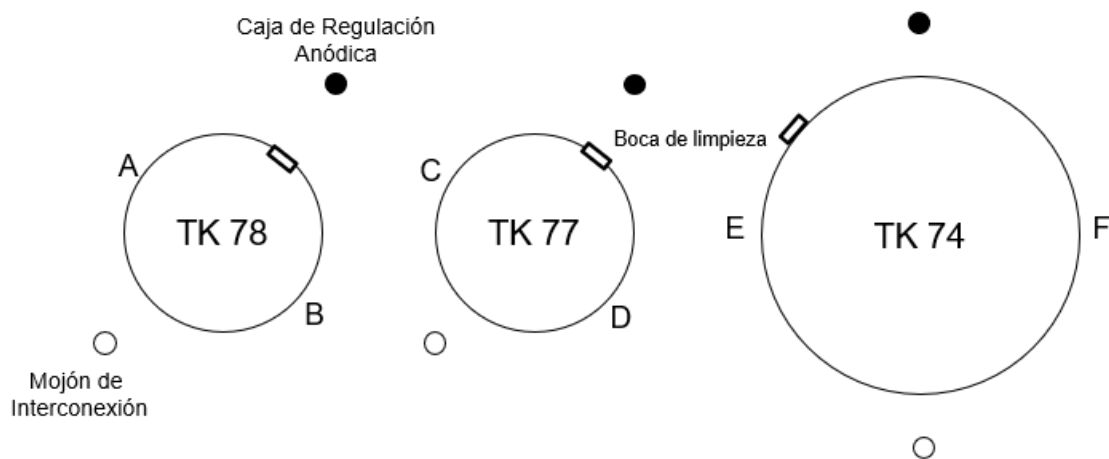


Fig.4 - Localización de puntos de medición de potencial en tanques

Tanque	Diámetro (m)	Amperaje (A)	Densidad de corriente	Punto	Potencial ON (mV)	Potencial OFF (mV)
78	12,30	10	84 mA/m ²	A	-2580	-930
				B	-2750	-1010
77	12,30	10	84 mA/m ²	C	-1930	-950
				D	-2450	-1060
74	20,91	20	58 mA/m ²	E	-2550	-1100
				F	-1535	-1140

Luego, se desancló un hemicircuito y se relevan los potenciales en el lado opuesto del dispersor en servicio:

Tanque	Amperaje (A)	Punto	Potencial ON (mV)	Potencial OFF (mV)
78	5	B	-2293	-970
77	5	D	-1300	-880
74	10	E	-1100	-951

API 651¹ y la NACE SP0193² indican que la densidad de corriente para lograr la protección debería ser entre 1 y 2 mA/pie² (21,5 mA/m²) pero el cálculo no lo refleja de esa manera, siendo en el peor caso 4 veces más a lo establecido en la norma. La causa más factible está relacionada a la pérdida de corriente en las puestas a tierra de cobre y en las cañerías de proceso (no se encuentran aisladas).

Es remarcable la variedad de potenciales ON en un mismo tanque, esto ocurre porque la medición puede o no coincidir con la posición de un ánodo de protección, por lo que debe considerarse el OFF para tomar en cuenta la efectividad del sistema y la coherencia de los potenciales tomados.

La resistividad promedio en la planta a la que pertenecen los tanques se encuentra por debajo de los 1000 ohm.cm, lo cual lo marca como un suelo agresivo y de fácil circulación de la corriente de protección.

Adicionalmente se ve una caída en la densidad de corriente necesaria en los tanques 77 y 78, comparado con el tanque 74, que tiene doble fondo con platea completa de concreto.



Fig. 5 -Toma de potencial en punto B con regulación al 50% de la corriente habitual.



Fig. 6 - Caja de Distribución anódica, entrada a tanque.



Fig. 7 - Mojón de interconexión anódica, empalme de dispersores.



Fig. 8 tanque 74, con doble fondo realizado en 2023

Pese a tener una platea de hormigón que data de 1995, pese a que ha sido cambiado 2023, posee una fundación de platea completa de 200 mm de altura realizada en el momento del cambio de piso con H30.

Esto podría marcar un aspecto fundamental: los tanques que se construyen con plateas de hormigón completa siguen siendo susceptibles a los procesos corrosivos externos.

Esto puede explicarse por dos motivos fundamentales; la forma de falla del concreto, que se da por fisuración y en segundo lugar que la resistividad del concreto no es tan alta como imaginamos previamente.

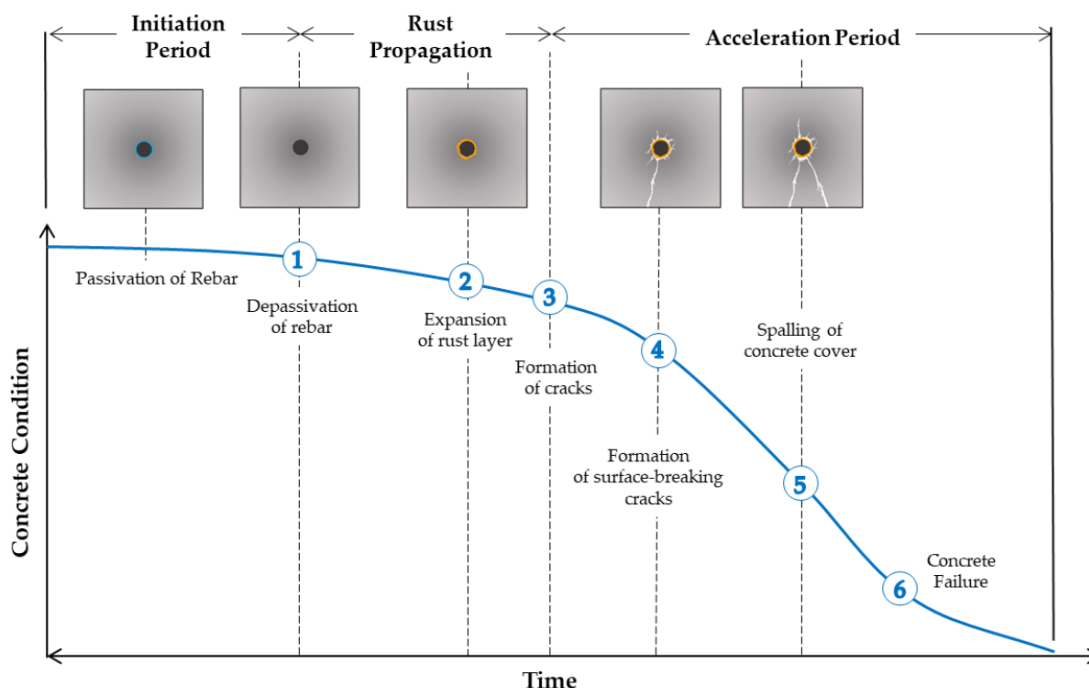


Fig. 9 - Etapas de deterioro del concreto.

Se puede apreciar como a medida que transcurre el tiempo y se forman óxidos en el alma metálica, al aumentar estos óxidos su volumen (en el orden del 600%), se generan fisuras, las cuales se propagan a través de la pieza de cemento y permiten el ingreso de electrolito, lo que empeora el proceso, pero a su vez permite que la humedad llegue a la interfaz con el fondo del tanque.

Con respecto a la resistividad del concreto existen muchas variables, como la porosidad, el contenido de humedad, la cantidad de cloruros que pueden llegar a estar presentes en el ambiente al que está sometido. Existen, por tanto, muchos valores para tomar como referencia, pero puede fijarse un rango de 2500 ohm.cm a 12000 ohm.cm^{1,8}. Lo cual implica que es un electrolito en el que pueden ocurrir procesos corrosivos y por tanto, es susceptible de ser protegido con un sistema de protección catódica.

Otras de las alternativas constructivas, que consiste en el tuneo dirigido para colocar un electrodo de referencia permanente en el fondo del tanque, fue analizada técnico económicamente. En un universo de 14 tanques implicaba un costo de 20% del presupuesto total.

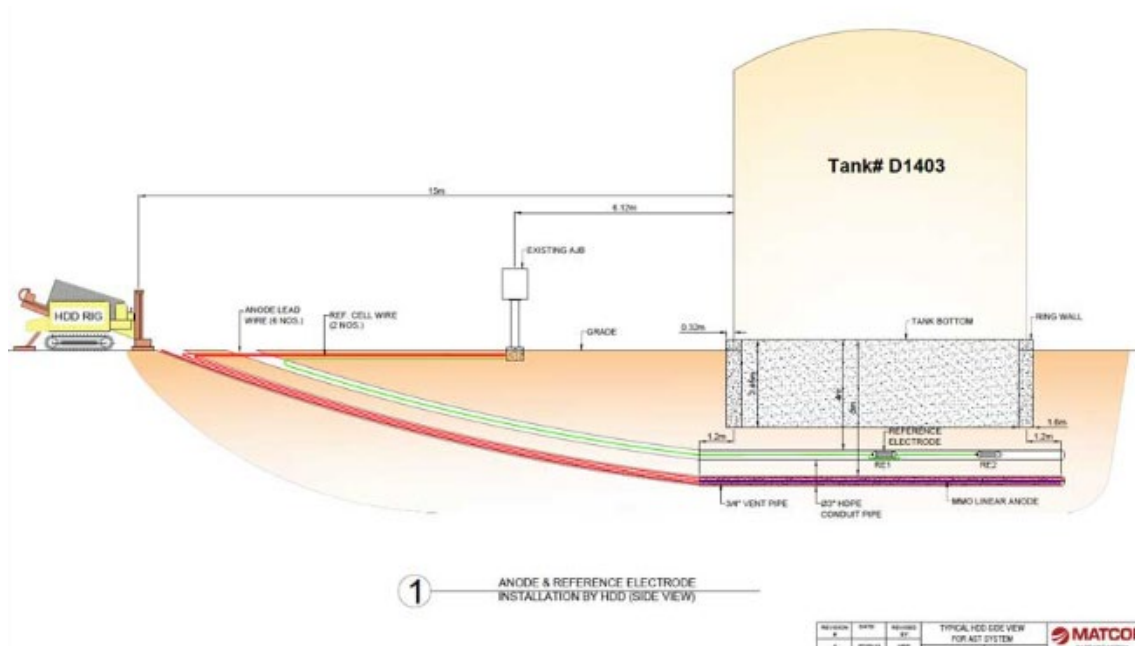


Fig. 10 - Ejemplificación de tuneleo direccional para colocación de electrodos de referencia en el centro del tanque.⁹

También puede realizarse el tendido de un tubo de PVC para que puedan insertarse electrodos tipo lápiz para realizar la medición cada vez que sea necesario. En algunos casos esta opción puede tener un valor al no sufrir envenenamiento por los componentes del suelo, como puede ocurrir en los electrodos permanentes⁷.

Otra de las características constructivas que pueden considerarse técnicamente la representa la implantación de dispersores superficiales o profundos respetando la distancia remota, lo cual trae como inconveniente en caso de que la planta esté asociada a un ducto, separado eléctricamente por junta aislante o monolítica, deberá contemplarse la posibilidad de interferencia entre ambos sistemas. De todas maneras, este sistema tiene la posibilidad de tener una distribución de corriente más uniforme, con lo cual, se podría considerar que el centro del tanque recibe la misma densidad de corriente que el resto del tanque. Esto siempre y cuando no existan en la planta en cuestión geomembranas, las mismas pueden limitar no solo la utilización de dispersores en suelo remoto y las perforaciones dirigidas, sino también el espacio disponible para hacer las perforaciones distribuidas.

4. Conclusiones

Si bien existen distintos métodos constructivos a la hora del diseño e implementación de los sistemas de protección catódica en tanques existentes, todos deben considerar las limitaciones espaciales, de proceso, el tipo de suelo sobre el que se apoya el tanque, entre otros, para su correcto diseño.

El desafío radica en cómo asegurar la correcta protección del punto que recibirá menor densidad de corriente (el centro del tanque), por lo que se propone un método constructivo económico que con un procedimiento adecuado permite inferir si el punto en cuestión estará protegido a un costo bajo comparado a otras alternativas.

Otra condición asociada al desarrollo de este trabajo es que los tanques con doble fondo o con platea completa de hormigón tienen potencial de transmitir la corriente electrolítica, por lo que se realizarán pruebas complementarias para determinar si es necesario que se protejan con un sistema de corriente impresa.

Finalmente, de un repaso bibliográfico, se releva que al menos en este caso real, la densidad de corriente necesaria para proteger el tanque está muy por encima de lo sugerido por las normas API571 y NACE 0193, esto posiblemente dado por las pérdidas de corriente relacionadas a puestas a tierra y deficiente aislación eléctrica del tanque.

5. Bibliografía

1. Tuutti, K. (1982). Corrosion of steel in concrete. [Doctoral Thesis (monograph), Division of Building Materials]. Swedish Cement and Concrete Research Institute, Stockholm.
2. Cosoli et al (2020). Electrical Resistivity and electrical impedance measurement un mortar and concrete elemens: A systematic review.
3. C. Andrade y R.D´Andrea (2010). La resistividad eléctrica como parámetro de control del hormigón y de su durabilidad. Revista de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción.
4. K. Robles et al (2022). Electrical resistivity measurements for nondestructive evaluation of chloride - induced deterioration of reinforced concrete.
5. American Petroleum Institute (2014). API Standard 651: Cathodic Protection of aboveground Petroleum Storage Tanks
6. Nacional Association of Corrosion Engineers. (2016) NACE SP0193 External Cathodic Protection of On.Grade Metallic storage Tanks
7. Wyatt (2013) Permanent Buired Rederence electrodes: Technical note on significant inaccuracies and medium term trials.
8. W. J. Santos, S. L. D. C. Brasil, J. A. F. Santiago & J. C. F. Telles (2018): A new solution technique for cathodic protection systems with homogeneous region by the boundary element method, European Journal of Computational Mechanics
9. MATCOR, Inc. (2020, January 15). Replaceable anode system success: A first for critical Middle East tank assets. MATCOR. <https://www.matcor.com/replaceable-anode-system-success-a-first-for-critical-middle-east-tank-assets/>

6. Breve CV de los autores

Iyaiz Federico

Título y lugar de estudio:

Técnico Electrónico recibido de la Escuela ET N° 6 "Albert Thomas" en 2004.

En curso Ing, Mecánica (me encuentro cursando el 3° año de la carrera).

Trayectoria:

Desde 2014 que trabajo en el sector de Corrosión y Protección Catódica, los primeros 5 años me desarrolle como inspector de Obras de Protección Catódico y los últimos 5 como analista del departamento de Integridad

Cargo actual en la empresa: Analista de Inspección Operativa - YPF

Barragan Martin:Título y lugar de estudio:

Ingeniero en materiales - Universidad Nacional de La Plata

Trayectoria:

Mayo 2015 – Agosto 2019: Departamento de mecánica, FI – UNLP. Colaborador alumno del proyecto relacionado al desarrollo y procesamiento de aleaciones base cobre y base aluminio para la fabricación de cámaras de combustión, toberas y tanques de combustible de lanzadores espaciales en el marco del convenio VENG S.A – Facultad de Ingeniería para el proyecto del “Tronador II”.

Julio 2016 – 2020: Laboratorio LEMIT. Tareas metalúrgicas relacionadas fundición, soldadura, ensayos mecánicos y análisis de fallas a cargo del Ing. José Luis Sarutti.

Agosto 2017 – Diciembre 2017: Beca de asistencia a la investigación otorgada por la Facultad de Ingeniería (UNLP).

Abril 2018 – Agosto 2019: Beca de asistencia a la investigación otorgada por la Facultad de Ingeniería (UNLP).

Julio 2019 – Julio 2020: Pasantía otorgada por la CIC en el centro de investigación LEMIT. Tópico de investigación: Desarrollo de un proceso de fabricación y evaluación del comportamiento de discos de freno de alta performance.

Agosto 2019 – Septiembre 2022: Inspección operativa en petroquímica la plata para la empresa ITEMS. Inspector en las áreas de PAO y Aromáticos. Participación de las paradas de planta de las áreas Vacío B, Topping C, CLAB, PAO, Aromáticos y CCR.

Septiembre 2022 – Septiembre 2023: Programa de jóvenes profesionales de YPF.

Septiembre 2023 – Actualidad: Inspección operativa protección catódica logística YPF.

Cargo actual en la empresa: Analista de Inspección Operativa - YPF

Cianciosi PabloTítulo y lugar de estudio:

Ingeniero Químico UTN FRLP

NACE CP2 y 3, Internal Corrosion Basic y Advance, CIP 1, Corrosion Basics

Trayectoria:

2010-2021 Analista de Inspección Operativa

2021-2023 Coordinador Administrativo Legal y Técnico.

2023 al presente: Ingeniero de Integridad y Corrosión

2014 al presente: Profesor Asociado de Materiales no Metálicos UTN FRLP

2017 al presente: Profesor de Curso Protección Anticorrosiva nivel 2 IAPG

2024: Instructor en Masterclass de Integridad en curso de Seguridad de Procesos
Academia CSF

Cargo actual en la empresa: Ingeniero de Integridad y Corrosión – YPF

Iris Gonzalez

Título y lugar de estudio:

Ingeniera Civil UTN Regional La Plata

Trayectoria:

Ingeniera de proyecto - especialista en obra civil - 17 años de experiencia. Obra de puerto, Aeroplanta, obra de tanques, estación de bombeo, etc.

Cargo actual en la empresa: Ingeniero de proyecto – Mecánica- Ingeniería YPF