

Mayo 2026

No tenemos un problema de corrosión offshore. Tenemos un problema de estrategia.

Reflexiones desde la experiencia en eólica offshore

Key Topics

No es una charla técnica al uso. Es más bien una reflexión basada en lo que vemos en proyectos reales.”



- Inversión millonaria en protección
- Diseño conservador extremo
- Baja validación real en campo



Invertimos mucho en protección anticorrosivas,,,,,, pero

necesitamos todo lo que hacemos?

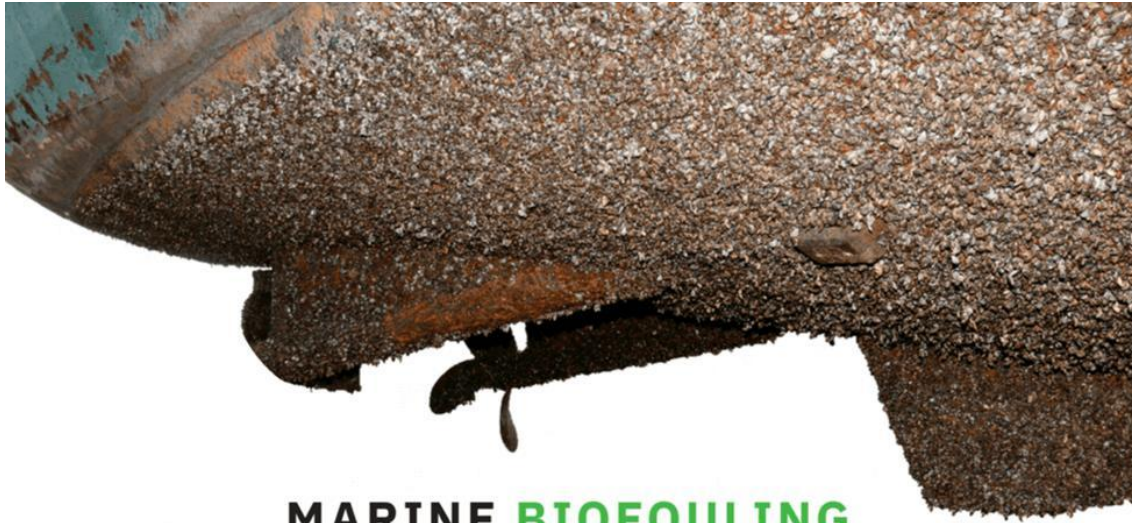
➤ **Corrosion** es un proceso natural en el que los metales se degradan al interactuar con su entorno para alcanzar un estado de energía más bajo.

- Coating + ánodos → estándar
- Redundancia por defecto
- Normativa como base de decisión

Diseñamos para cubrir todos los escenarios... pero no para entender cuál es el real



Qué está fallando?



MARINE BIOFOULING



- Ánodos → fouling / contacto limitado
- Coating → fallos de aplicación
- Interiores → condensación / humedad / moho

De:

- proteger por si acaso

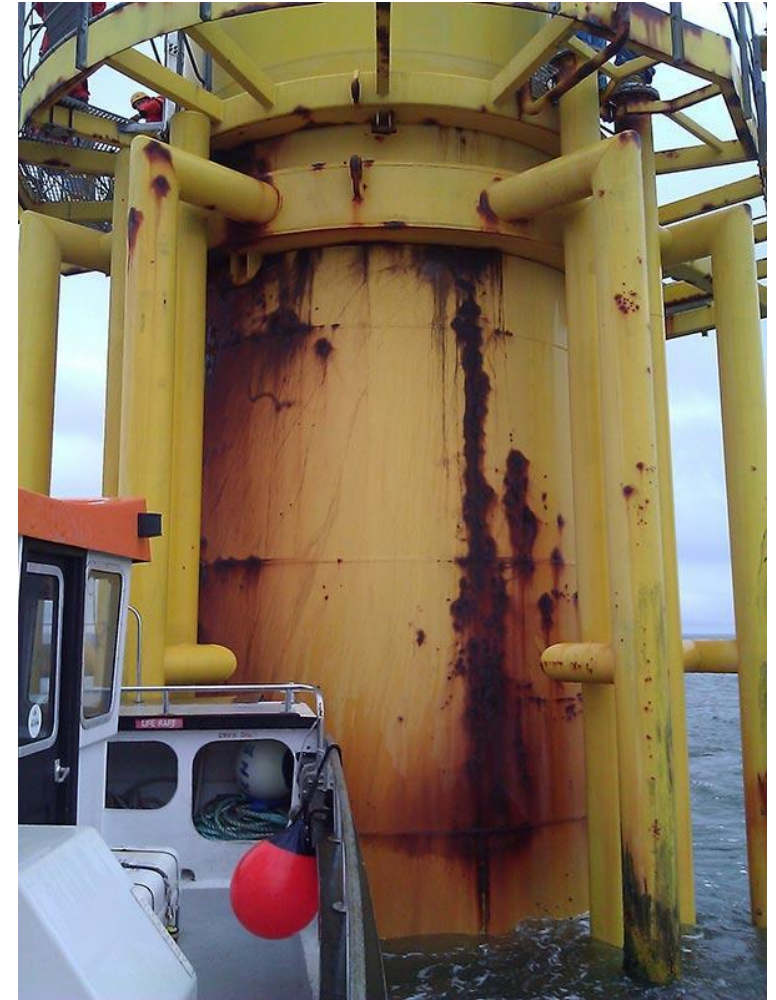
A:

- diseñar para que funcione



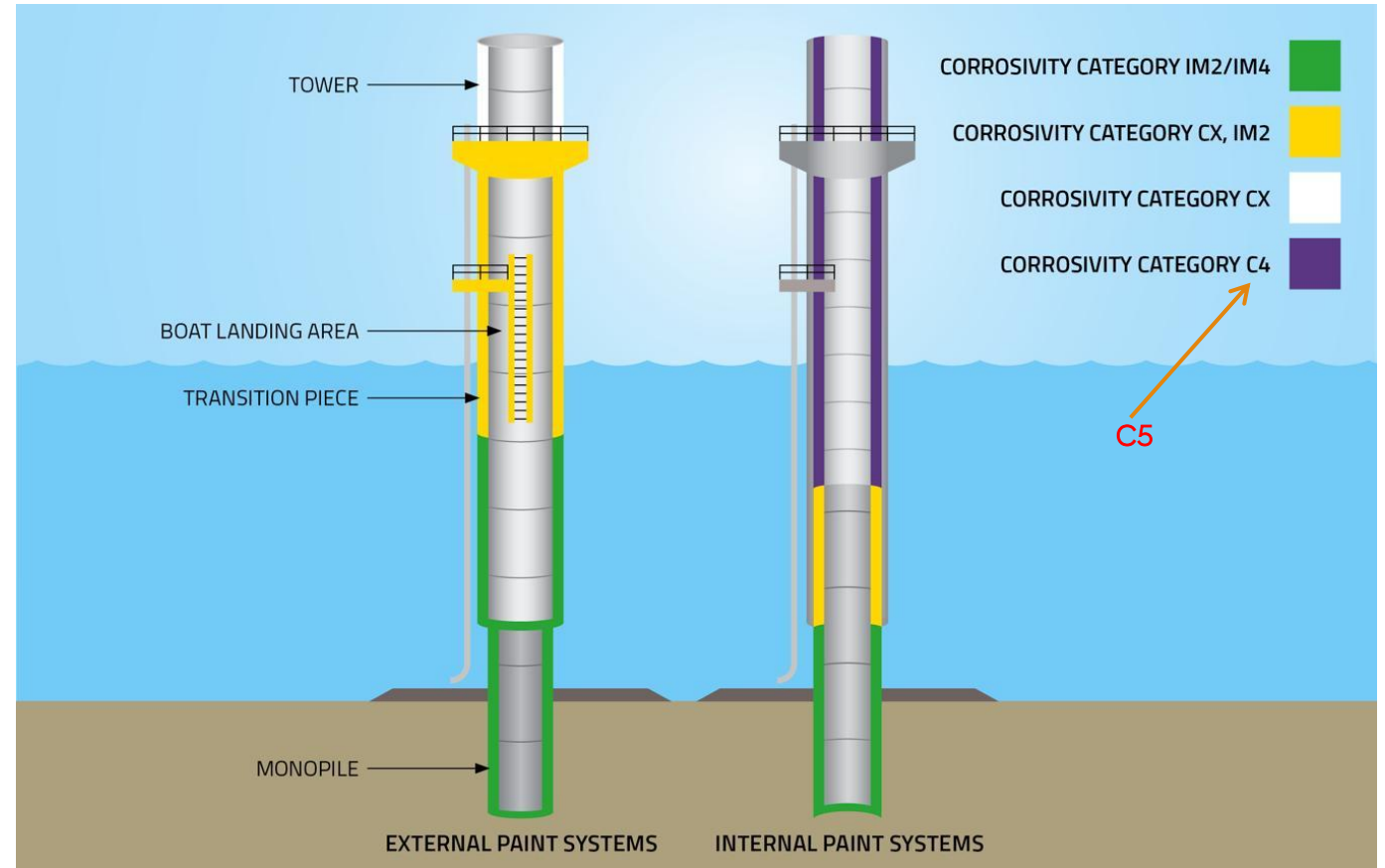
Ejemplos:

- control térmico
- anti-condensación
- reducción de fricción
- materiales funcionales



Propuestas a discutir:

- Coating como sistema principal
- CP como respaldo
- ICCP preinstalado (no activo)
- Monitorización

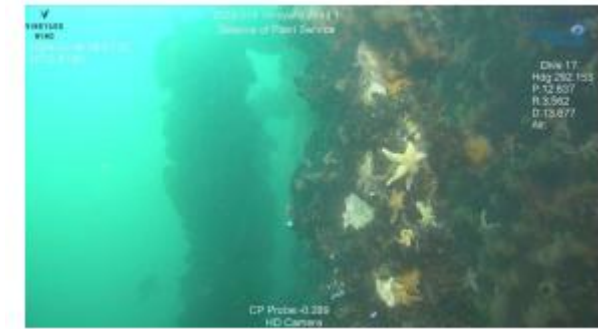


Impacto del Fouling

Ejemplo de crecimiento biologicomarino observado en estructuras offshore.

APPROXIMATE MARINE GROWTH THICKNESS READINGS (MM)					
Stab #:	Depth	ROV Hdg = 180° WTG: North	ROV Hdg = 270° WTG: East	ROV Hdg = 360° WTG: South	ROV Hdg = 090° WTG: West
1	3 M	-	-	-	-
2	5 M	40	90	50	50
3	7 M	50	50	40	50
4	9 M	20	20	40	40
5	11 M	30	-	40	90
6	13 M	40	-	40	60
7	15 M	60	-	80	50
8	17 M	20	20	20	20
9	19 M	20	20	20	20
10	21 M	90	60	40	80
11	23 M	30	40	50	30
12	25 M	20	30	30	30
13	27 M	20	30	40	-
14	29 M	20	20	20	30
15	31 M	10	10	10	10
16	33 M	10	10	10	10
17	35 M	10	10	10	10
18	Bottom	10	10	10	10

Real measurements after <6 months installation and reduces anode efficiency



Comment:

GVI of MP anodes showing dense population of mussels.



Comments:

CVI of MP Anode Cage showing dense population of mussels.

- Menos CAPEX
- Menos OPEX
- Menos complejidad
- Más sostenibilidad

Informacion Extra

El uso de ánodos está regulado por normas como DNV-RP-B401 e ISO 15589-2.

El potencial del acero se reduce por debajo del umbral de corrosión activa para permitir el paso de corriente de protección.

Material	Potential vs Ag/AgCl	Key Insight
Aluminum Anode	-1.05 V to -1.10 V	Must be 200–300 mV more negative than steel
Carbon Steel	-0.60 V to -0.70 V	Natural unprotected potential

- La superficie total expuesta del ánodo determina la densidad de corriente máxima admisible.
- La eficiencia teórica del ánodo oscila entre el 85 % y el 95 %, dependiendo de su composición.

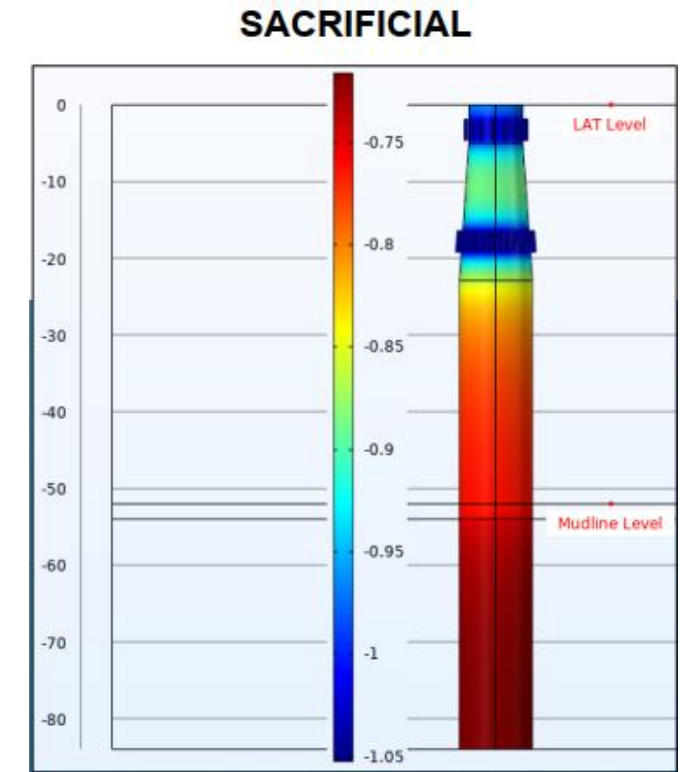


Cálculo de la masa del ánodo

Parameter	Unit	Description
Exposed area to protect	m ²	Surface of the structure in contact with the environment
Design current density	mA/m ²	Required protection level per unit area
Anode surface in contact with seawater	m ²	Area actively exposed to generate protective current

Sistemas SACP en estructuras offshore

- La eficacia puede verse condicionada por la geometría de la estructura, el estado del recubrimiento y la continuidad eléctrica.
- El crecimiento marino puede reducir parcialmente la superficie efectiva expuesta del ánodo.
- En estructuras recubiertas, la demanda real de corriente depende del nivel de daño o degradación del coating.
- La inspección y verificación del rendimiento puede ser compleja en zonas permanentemente sumergidas.
- La monitorización puede ayudar a optimizar el diseño, validar hipótesis y reducir incertidumbres durante la vida útil.



Estas consideraciones no invalidan el uso de SACP, pero muestran la oportunidad de complementar el diseño tradicional con monitorización, validación en campo y estrategias de protección más adaptadas al comportamiento real de la estructura.

Aspectos específicos en anodos de las Piezas de Transición (TP)

Aspectos observados:

- Las conexiones mediante bridas y tornillería pueden introducir incertidumbres en la continuidad eléctrica.
- La presencia de materiales no conductores, como grout u hormigón, puede limitar la eficacia de la protección en determinadas zonas.
- La zona realmente protegida por los ánodos puede depender del contacto eléctrico, la exposición al agua de mar y la geometría de la estructura.

Recomendaciones: Remove anodes in TP areas.

- Evaluar caso por caso la necesidad real de ánodos en zonas de TP.
- Considerar el sistema de pintura como barrera principal de protección.
- Valorar monitorización o soluciones de respaldo cuando exista incertidumbre técnica.

La posible reducción o eliminación de ánodos en determinadas debe de estudiarse mediante validación técnica, comportamiento real en servicio y criterios de diseño específicos de cada proyecto.

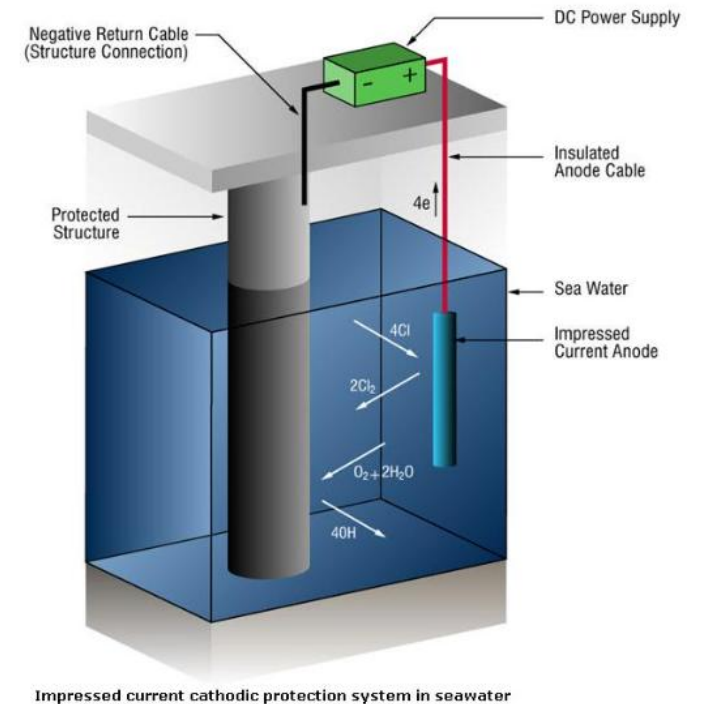


ICCP – Consideraciones de diseño y operación

Aspectos a tener en cuenta:

- Requiere alimentación eléctrica y sistemas de control durante toda su vida operativa.
- El rendimiento depende de una correcta distribución de corriente y del estado del recubrimiento asociado.
- Un ajuste inadecuado de los parámetros de protección puede afectar al comportamiento de algunos materiales o recubrimientos.
- La instalación incorpora componentes adicionales (rectificadores, sensores, cableado y ánodos) que requieren seguimiento y mantenimiento.
- La monitorización periódica es fundamental para verificar el correcto funcionamiento del sistema.

ICCP es una tecnología ampliamente implantada y contrastada en el sector offshore. Su aplicación debe evaluarse conjuntamente con el sistema de recubrimiento, la estrategia de monitorización y los requisitos específicos de cada proyecto para garantizar una protección eficaz a largo plazo.



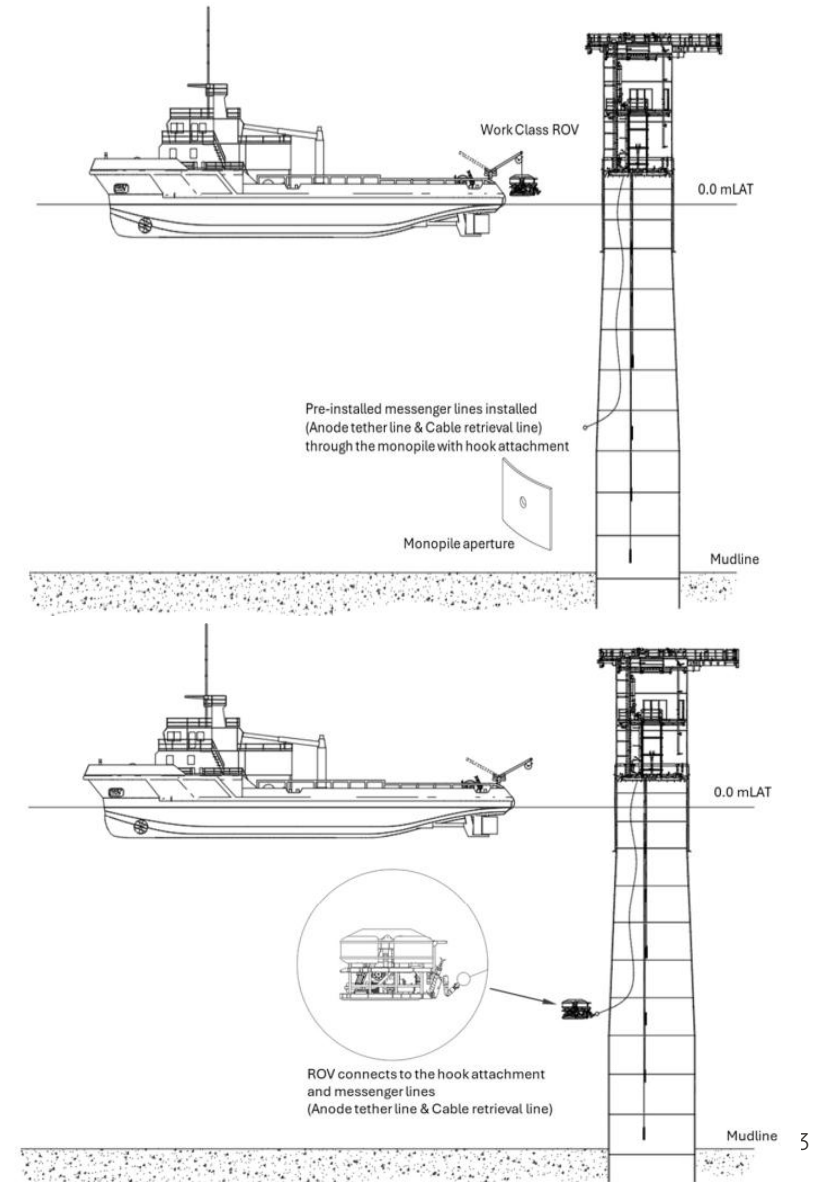
Alternativa 1 Coating de larga duracion

Alternativa 1: Coating de larga duración + preparación para futura protección

- Mantener el sistema de pintura de 30 años como protección principal.
- Diseñar la estructura dejando preparada una posible conexión futura a ICCP, solo si fuese necesario.
- Basar la decisión en inspecciones, monitorización y comportamiento real en servicio.
- Si el coating funciona correctamente, la necesidad de protección adicional debería ser muy baja.

Posible ventaja:

Menos complejidad inicial, menor CAPEX y posibilidad de actuar más adelante solo si los datos lo justifican.



Alternativa 2: Impromacion rica en Zn como anodo distribuido

Proposal

- Aplicar una imprimación rica en zinc como primera capa del sistema.
- Mantener las capas intermedias y de acabado habituales.
- El zinc puede aportar protección local cuando se produce un daño puntual en el recubrimiento.
- No requiere alimentación eléctrica ni equipos adicionales.

The cost and benefits of this Alternative would be similar to that of Alternative 1 since only one of the layers of paint is being replaced, which has a similar thickness and cost.

Alternativa 2: Imprimación rica en zinc

- Actúa como una protección sacrificial distribuida.
- Protege localmente si aparece un daño en el coating.
- Es compatible con sistemas de pintura convencionales.

Alternativa 3: Imprimación con polímeros conductores, PANi

- Favorece la pasivación del acero en pequeños defectos.
- Reduce la dependencia de ánodos externos.
- Necesita más validación en condiciones offshore reales.

Próximos pasos:

Ensayos, pilotos y comparación con soluciones tradicionales.

Recomendación:

- Implementar el recubrimiento actual de 30 años como base.
- Prepararse para la futura instalación de ICCP solo como medida de contingencia, según los resultados del monitoreo.
- Introducir aplicaciones piloto de imprimaciones de ánodo distribuido o sistemas de PANi para validar su rendimiento y potencial de adopción a largo plazo.
- Introducir un sistema de monitoreo de corrosión (10% de los puestos).

Sistemas Duplex: Alternativa valida a la proteccion Catodica?

- **Que es un sistema duplex?**

Sistema de pintura = □ ***Sacrificial layer (e.g., Zn-rich primer or TS)***

+

□ ***Barrier protection (e.g., epoxy, PU)***

- **Como funciona?:**

Si la capa externa de pintura se daña la capa de zinc protege localmente al acero expuesto .

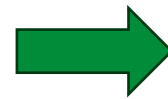


Benefits

- ✓ Self-healing of minor damages
- ✓ Improved performance in splash zones and monopiles
- ✓ May allow **removal or reduction** of GACP/ICCP systems
- ✓ Less weight and maintenance offshore
- ✓ Cost **reduction in long term**

Challenges

- Standardization of Zn-rich systems as primers (ISO 12944-5, §7.1.2)
- Need for **pull-off and salt spray data** (ISO 4624, ISO 9227)
- Pre-qualification procedures.

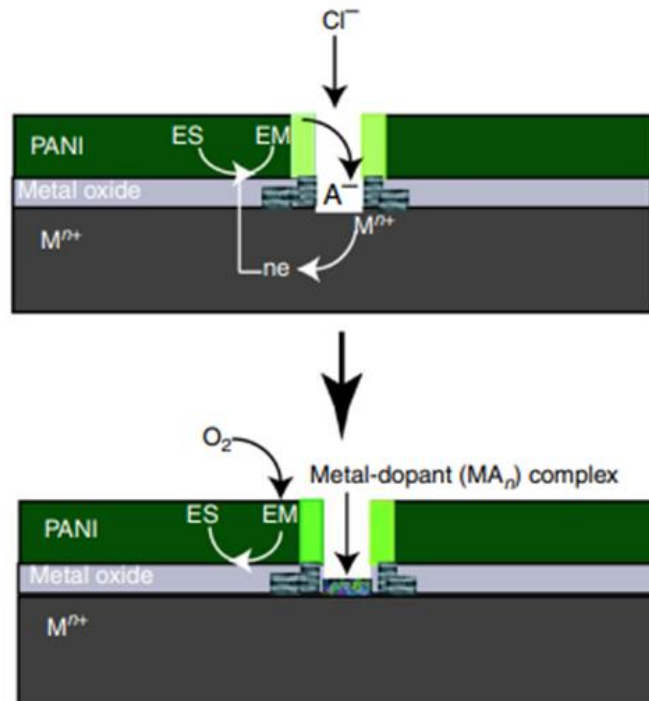


Alternativa 3: Imprimacion con Polimeros conductores(PAni)

Proposal

- Aplicar una imprimación basada en polímeros conductores.
- Su objetivo es favorecer la pasivación del acero en pequeños defectos del coating.
- No utiliza metales de sacrificio.
- Puede integrarse con sistemas de pintura convencionales.

Tecnología interesante desde el punto de vista ambiental y de mantenimiento.



Inhibitor mechanism for a metal coated by a CP layer doped with an ion A^- (PAni) with act as corrosion inhibitor