Revista ALCONPAT
www.revistaalconpat.org
eISSN 2007-6835
Revista de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción

Efectos de la atmósfera extremadamente agresiva en las estructuras y equipos de las plataformas marinas en fase de desmantelamiento.

L. S. Araujo[1]*, E. C. Mounzer[1]
*Autor de Contacto: ls_araujo@id.uff.br
DOI: https://doi.org/10.21041/ra.v15i3.723

Recibido: 07/03/2024 | Correcciones recibidas: 01/06/2025 | Aceptado: 18/08/2025 | Publicado: 01/09/2025

RESUMEN

El objetivo de este trabajo era investigar la influencia de una atmósfera extremadamente agresiva sobre las estructuras metálicas y los equipos de una plataforma en fase de desmantelamiento. La metodología incluyó investigación bibliográfica, recopilación de datos sobre accidentes causados por la corrosión, selección previa de los emplazamientos, inspección visual, y curación de los datos recopilados. Los resultados mostraron graves daños en estructuras, equipos y accesorios causados por la intensa agresividad del entorno. Las limitaciones afectaron al acceso a la información sobre accidentes e incidentes relacionados con procesos corrosivos en este entorno. Este trabajo es original en la medida en que abarca los efectos de una atmósfera extremadamente agresiva en el entorno de estudio. La conclusión es que la corrosión en plataformas en tales condiciones plantea graves riesgos de colapso estructural, así como daños potenciales para los trabajadores y el medio ambiente.
Palabras clave: integridad estructural; corrosión; degradación; estructuras; desmantelamiento.

Citar como: Araujo, L. S., Mounzer, E. C. (2025), " *Efectos de la atmósfera extremadamente agresiva en las estructuras y equipos de las plataformas marinas en fase de desmantelamiento.*", Revista ALCONPAT, 15 (3), pp. 413 – 431, DOI: https://doi.org/10.21041/ra.v15i3.723

[1] Departamento de Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal Fluminense, Niterói, Brasil.

Contribución de cada autor
En este trabajo, las contribuciones del autor L. S. Araujo están relacionadas con la producción textual (100 %) y la curaduría de los datos (100 %). Las contribuciones del autor E. C. Mounzer están relacionadas con la validación de la investigación y la supervisión. Las demás actividades relacionadas con la investigación fueron compartidas entre los autores, de acuerdo con los porcentajes indicados: planificación de la investigación (L. S. Araujo - 50 %, E. C. Mounzer 50 %); investigación bibliográfica (L. S. Araujo - 70 %, E. C. Mounzer - 30 %); metodología (L. S. Araujo - 50 %, E. C. Mounzer - 50 %); Discusión de los resultados (L. S. Araujo - 70 %, E. C. Mounzer - 30 %); Conclusión (L. S. Araujo - 70 %, E. C. Mounzer - 30 %).

Licencia Creative Commons
Los derechos de autor (2025) son propiedad de los autores. Este trabajo es un artículo de acceso abierto publicado bajo los términos y condiciones de una licencia internacional Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).

Discusiones y correcciones posteriores a la publicación
Cualquier discusión, incluyendo la réplica de los autores, se publicará en el segundo número del año 2026 siempre y cuando la información se reciba antes del cierre del primer número del año 2026.

© 2025 ALCONPAT Internacional

Effects of the extremely aggressive atmosphere on structures and equipment of offshore platforms undergoing decommissioning.

ABSTRACT

The aim of this work was to investigate the influence of an extremely aggressive atmosphere on the metallic structures and equipment of a platform undergoing decommissioning. The methodology included bibliographical research, data collection on accidents caused by corrosion; prior selection of sites; visual inspection; and curation of the data collected. The results showed severe damage to structures, equipment and accessories caused by the intense aggressiveness of the environment. The limitations involved access to information on accidents and incidents related to corrosive processes in this environment. This work is original because it covers the effects of an extremely aggressive atmosphere in the studied environment. The conclusion is that corrosion on platforms in such conditions poses serious risks of structural collapse, as well as potential harm to workers and the environment.

Keywords: structural integrity; corrosion; degradation; structures; decommissioning.

Efeitos da atmosfera extremamente agressiva em estruturas e equipamentos de plataformas offshore em descomissionamento.

RESUMO

Este trabalho objetivou investigar a influência de uma atmosfera extremamente agressiva em estruturas metálicas e equipamentos de uma plataforma em descomissionamento. A metodologia incluiu pesquisa bibliográfica, levantamento de dados sobre acidentes causados por corrosão; seleção prévia de locais; inspeção visual; e curadoria dos dados coletados. Os resultados evidenciaram danos severos a estruturas, equipamentos e acessórios, causados pela intensa agressividade do ambiente. As limitações envolveram o acesso a informações sobre acidentes e incidentes relacionados a processos corrosivos nesse ambiente. Este trabalho é original por abarcar os efeitos de uma atmosfera extremamente agressiva no ambiente de estudo. Assim, conclui-se que a corrosão em plataformas tais condições apresenta graves riscos de colapso estrutural, além de potencial dano aos trabalhadores e ao meio ambiente.

Palavras-chave: integridade estrutural; corrosão; degradação; estruturas; descomissionamento.

Información Legal
Revista ALCONPAT es una publicación cuatrimestral de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción, Internacional, A. C., Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310, Tel. +52 1 983 419 8241, alconpat.int@gmail.com, Página Web: www.alconpat.org
Reserva de derechos al uso exclusivo No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derecho de Autor. Editor responsable: Dr. Pedro Castro Borges. Responsable de la última actualización de este número, Unidad de Informática ALCONPAT, Ing. Elizabeth Sabido Maldonado.
Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor.
La reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación se realiza en apego al código COPE y a la licencia CC BY 4.0 de la Revista ALCONPAT.

1. INTRODUCCIÓN

Brasil atraviesa actualmente un momento de gran transformación en la industria del petróleo y el gas natural. Con el descubrimiento de grandes yacimientos en aguas ultraprofundas, la industria petrolera nacional ha invertido en nuevas tecnologías para hacer viable la producción comercial en estos yacimientos. De manera relevante, también se ha buscado la revitalización de los campos petrolíferos denominados maduros, como está ocurriendo con una de las importantes cuencas sedimentarias brasileñas: la Cuenca de Campos, ubicada en el estado de Río de Janeiro (RJ). Los proyectos de revitalización de campos maduros de exploración de petróleo y gas natural en la Cuenca de Campos cuentan con inversiones de más de 18 millones de dólares previstas para los próximos cuatro años y, por ello, requieren el empleo de unidades de exploración y producción con tecnologías más avanzadas para las demandas de los nuevos proyectos. Sin embargo, para que las nuevas unidades de gran tamaño inicien su proceso productivo en campos maduros, es necesario retirar las unidades con menor eficiencia (Agencia Petrobras, 2023).

La Cuenca de Campos, pionera en la actividad de exploración y producción en aguas profundas brasileñas, cuenta con sistemas de exploración y producción de petróleo y gas natural con más de 30 años de producción. La consecuencia de ello es la obsolescencia de la tecnología y el incumplimiento de las nuevas demandas de exploración y producción en aguas cada vez más profundas, debido a las limitaciones tecnológicas. Además, algunas plataformas tienen una vida útil mucho mayor en comparación con su tiempo de exploración y producción, ya que pasaron de ser unidades flotantes a plataformas de petróleo y gas natural mediante el proceso de conversión del casco. Ante esto, los problemas patológicos surgen más rápidamente en comparación con las unidades que no se construyeron a partir de cascos de embarcaciones con historial de operaciones. Algunos de los problemas patológicos causados por el envejecimiento son: integridad estructural, reducción del espesor de los sistemas (casco, mamparos en tanques de carga y lastre, estructuras de tanques de colisión, submarinos, calderas y otros) y perforaciones en tuberías o tanques (Costa, 2019; Misra, 2016).

Todos estos problemas causados por el proceso de envejecimiento de las unidades marítimas, junto con la extrema agresividad del entorno marítimo y la caída de la producción de petróleo y gas natural en los yacimientos petrolíferos, pueden ser determinantes para que el operador decida desmantelar su sistema de exploración y producción. Para da Silva & Mainier (2009), la justificación del proceso de desmantelamiento de unidades marítimas en campos maduros, de forma individual o combinada, tiene su precedente en la baja capacidad de producción de las unidades obsoletas, la caída de la productividad del pozo y los costes de producción. El desmantelamiento de sistemas de petróleo y gas natural offshore puede entenderse como un conjunto de actividades orientadas al abandono de un pozo o al cierre de una unidad de exploración, producción o almacenamiento de petróleo y gas, tal y como está previsto para las unidades: P-07, P-08, P-09, P-12, P-15, P-18, P-19, P-20, P-25, P-26, P-32, P-33, P-35, P-37 y P-47, cuya curva de producción, de enero de 2020 a diciembre de 2022, se presenta en la Figura 1 (Agencia Nacional de Petróleo, Gas Natural e Biocombustiveis 2023; M'Pusa, 2017).

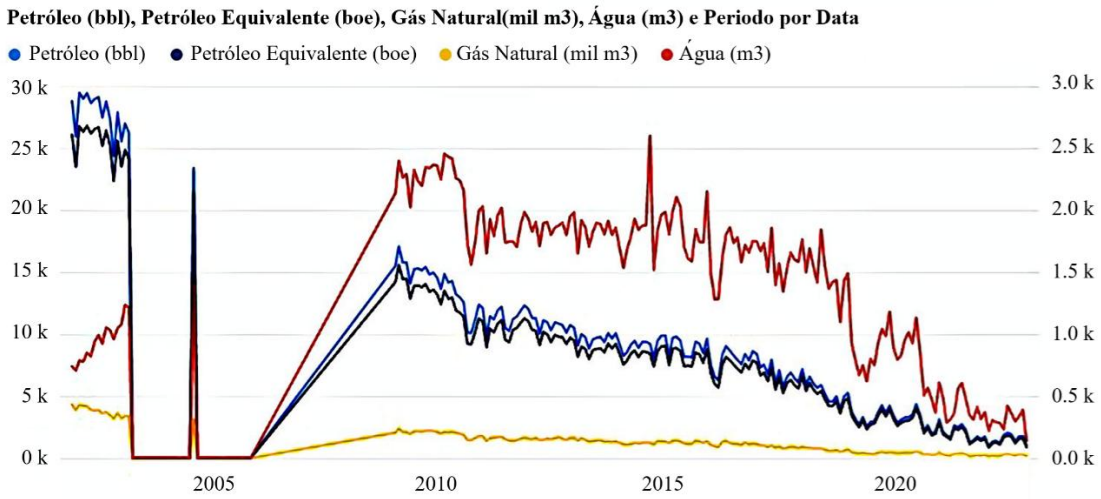

Figura 1. Descenso de la producción en las plataformas petrolíferas de la cuenca de Campos con desmantelamiento aprobado.

En la región de la Cuenca de Campos existe interés en mantener la continuidad de la exploración y la producción en los campos maduros, mediante la instalación de unidades de producción de petróleo y gas natural más modernas. Para ello, con el fin de que se instalen las nuevas unidades, es necesario desmantelar los sistemas antiguos y menos ventajosos desde el punto de vista económico o que se han quedado obsoletos. Hasta finales de 2022 se habían presentado 96 Programas de Desmantelamiento de Instalaciones (PDI) al organismo público del Gobierno brasileño responsable de promover la regulación, la contratación y la supervisión de las actividades económicas que forman parte de la industria petrolera (Agencia Brasileña del Petróleo, Gas Natural y Biocombustibles, ANP), de los cuales el 25 % pertenecen a la cuenca de Campos. Los PDI son programas que incorporan la información, los procedimientos y los estudios necesarios para la planificación y ejecución de las actividades de desmantelamiento, entre los programas presentados se encuentran los que figuran como análisis temporalmente suspendido (suspendido) y aquellos cuyo análisis ha sido definitivamente suspendido (cerrado). En este último caso, el operador debe presentar un nuevo PDI a la ANP (Agencia Nacional de Petróleo, Gas Natural e Biocombustiveis, 2023; Agencia Petrobras, 2023).

Históricamente, la decisión de desmantelar plataformas de petróleo y gas natural en aguas poco profundas tiene su precedente en las plataformas instaladas en el Golfo de México, Figura 2, región bajo la jurisdicción de los Estados Unidos de América. Según Almeida et al., (2017), la mayor parte de las plataformas del Golfo de México ya han sido desmanteladas; en el período comprendido entre principios de 2002 y enero de 2016, la *Bureau of Safety and Environmental Enforcement* (BSEE) recibió 2.601 solicitudes de licencia para el desmantelamiento de plataformas de petróleo y gas natural en el Golfo de México. De ese total, se produjeron más de 1.000 desmantelamientos de unidades en el período comprendido entre 2010 y 2014, con unos costes de alrededor de 9 millones de dólares estadounidenses; sin embargo, hasta julio de 2019, de las 7.209 unidades petroleras instaladas en el Golfo de México bajo la jurisdicción de los Estados Unidos de América, solo 1.852 plataformas de petróleo y gas siguen produciendo (Oudenot et al., 2017). No muy lejos de allí, las unidades de exploración y producción instaladas en el Mar del Norte, en comparación con las unidades arrendadas en el Golfo de México, según Herrera Anchustegui et al. (2021) y Stacey & Livsey (2016), de las 1.357 unidades que estaban operando en el Mar del Norte con una edad media de 25 años de producción, se espera que hasta el año 2050 se desmantelen alrededor de 470 plataformas, 5.000 pozos, 10.000 km de oleoductos y 40.000 bloques de hormigón, motivado por la caída del precio del barril de petróleo en 2014 y el envejecimiento de las unidades de exploración y producción.

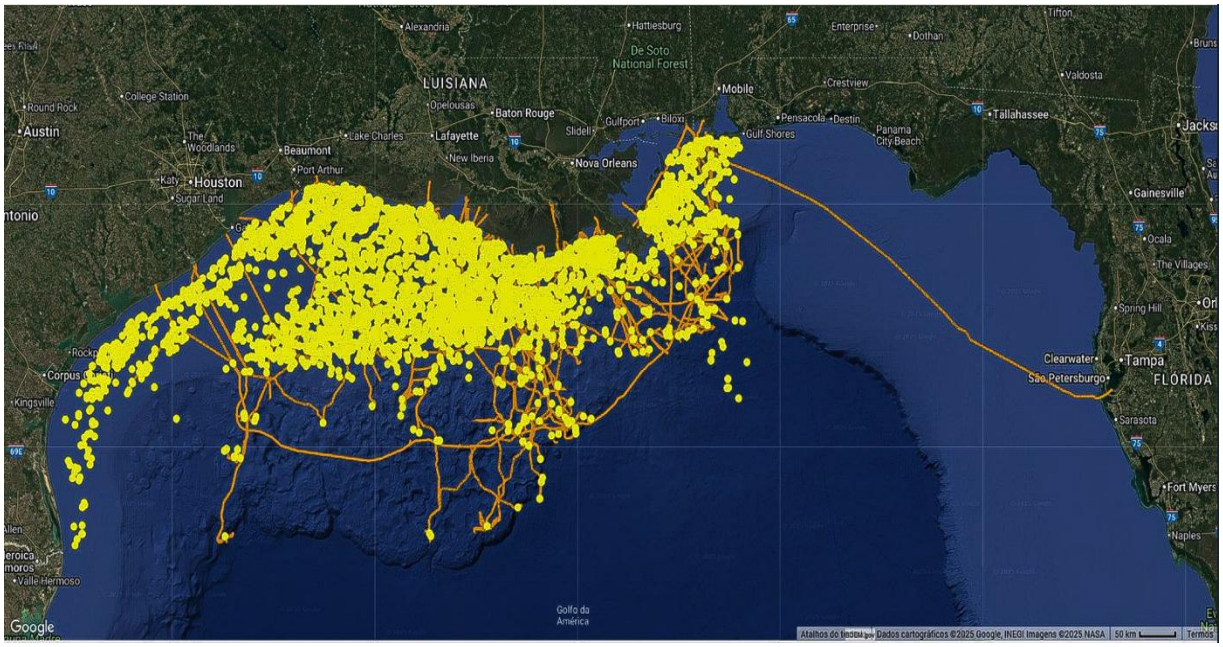

Figura 2. Unidades de producción de petróleo y gas natural en funcionamiento en el Golfo de México. Fuente: https://monitor.skytruth.org (2024)

Las actividades para el desmantelamiento de los sistemas de exploración y producción de petróleo y gas son un proceso complejo, cuya complejidad no solo se debe al cumplimiento de los requisitos de las entidades gubernamentales (la Marina de Brasil, el IBAMA y la ANP, por ejemplo), sino también a la falta de experiencia nacional en este proceso, lo que hace que estas unidades permanezcan mucho más tiempo en su ubicación de lo deseado (de Souza K. A et al., 2021). Una de las consecuencias de esto, sumada a los cambios en las prioridades de inversión, es la degradación por procesos corrosivos que provocan la pérdida de contención, el colapso, el debilitamiento y la deformación de las estructuras. Esto, además de imponer cambios en la distribución de los esfuerzos, también puede ser determinante para la ocurrencia de eventos indeseables, como accidentes e incidentes que involucran a personas o equipos.

1.1 Aceros para la construcción naval

Para garantizar la durabilidad de las estructuras navales, los aceros para la construcción naval, a diferencia de los aceros de uso general, que solo tienen garantía de su composición química, Según Usiminas (2020), el acero naval destinado a la construcción de anillos y bloques requiere garantías de propiedades mecánicas en entornos con un alto grado de agresividad, de acuerdo con los pertenecientes a la categoría de corrosividad CX de la Norma Internacional 12944-2 (2017). Otra particularidad del acero naval es que, además de estar regulado por la norma ASTM International A131/A131M (2019), también debe estar certificado por las principales entidades clasificadoras internas, tales como:

- American Bureau of Shipping (ABS);
- Bureau Veritas (BV);
- Det Norske Veritas (DNV);
- Germanischer Lloyd (GL);
- Lloyd's Register of Shipping (LR);
- Nippon Kaiji Kyokai (NK);

Las sociedades clasificadoras también tienen la función de establecer especificaciones mínimas para los aceros navales de aplicaciones estructurales, que son de cumplimiento obligatorio para el armador. Así, para que se cumplan los requisitos, se controlan los procesos de fabricación, tratamiento térmico y método de desoxigenación. Estos controles también se extienden a la

composición química del material y a los valores mínimos de tensión de rotura, tensión de fluencia, alargamiento y resistencia al impacto; además, es necesario que la pieza metálica presente una buena resistencia a la fractura y una buena soldabilidad (de Brito & Gordo, 2004).

Las propiedades físicas, químicas y mecánicas inherentes a los aceros con aplicaciones estructurales permiten dividirlos en dos grupos, según cita Misra (2016): los aceros comunes no aleados y los aceros de alta resistencia. El primer grupo se designa con los grados A, B, C, D y E, que se distinguen entre sí por la composición química y la microestructura del material, aunque tienen los mismos valores para las tensiones de rotura, fluencia y deformación después de la rotura. Otro parámetro para distinguir los grados de los aceros navales es la capacidad de absorción de energía en presencia de muescas, que varía en función del contenido de magnesio, el método de desoxidación y refinamiento de los granos, y el tratamiento térmico aplicado

Para las clases de aceros de alta resistencia, la distinción de las clases de aceros comunes no aleados, cuyo límite mínimo de fluencia es de alrededor de 235 MPa, se produce por la existencia de tres límites de fluencia, como se muestra en la Tabla 1, y por la temperatura de impacto. Esta última varía de - 40 ºC a 20 ºC, para los aceros comunes no aleados, y de - 60 ºC a 0 ºC, para los aceros de alta resistencia

Tabla 1. Tensión de fluencia para aceros de alta resistencia y temperatura de impacto.

AH / **DH** / **EH** / **FH**		**32**	**36**	**40**
Tensión de fluencia		315 MPa	350 MPa	390 MPa
Temperatura de impacto en grados Celsius				
- 60	- 40	-20	0	20
Grado del acero				
-	CS, E	D	B	A
FH	EH	DH	AH	-

Adaptado de Misra (2016)

De este modo, con el fin de garantizar la durabilidad del proyecto, la elección del grado de acero que se empleará en las diversas estructuras que componen una embarcación, es sugerida por de Brito y Gordo (2004), que los criterios adoptados deben considerar el lugar de instalación o la función y el espesor de la pieza. A modo de ejemplo, el acero al carbono común para la construcción naval puede emplearse en la fabricación de la viga del barco y sus elementos transversales, en la caseta y en los pisos internos. Por su parte, los aceros de alta resistencia son adecuados para aplicaciones en refuerzos locales de pórticos para el asentamiento de lanzas de grúa, para el soporte del *flare* y los soportes de las guías de amarre de la embarcación, por ejemplo (Misra, 2016).

1.2 Corrosión en el entorno marítimo

Los entornos marítimos bajo la jurisdicción del Gobierno brasileño son lugares típicos de clima templado, clasificados como extremadamente agresivos de acuerdo con la Norma Internacional 9223 (2012), con pérdidas de masa que varían de 1500 g/m^2 a 5500 g/m^2 (acero de bajo carbono) y de 200 g/m^2 a 700 g/m^2 (zinc). Las pérdidas de espesor oscilan entre 60 µm y 180 µm (acero con bajo contenido en carbono) y entre 8,4 µm y 25 µm (zinc), en todos los casos, tras el primer año de exposición. El proceso corrosivo es una forma en que el material vuelve a su estado natural, descrito por Gentil (2017) como reacciones químicas heterogéneas o electroquímicas que se producen entre la superficie del material metálico, en general, y el medio corrosivo. Las formas en

que se produce este fenómeno pueden clasificarse según su morfología, causas o mecanismos, factores mecánicos, medio corrosivo y ubicación del ataque.

Morfológicamente, los procesos corrosivos pueden presentarse, en el entorno marítimo, alrededor del cordón de soldadura, de forma generalizada, en grietas y alveolos, de forma más habitual. En los procesos que implican soldadura, Zeemann (2013) describe que existe una preferencia del proceso de corrosión por establecerse en las regiones soldadas, debido a la aparición de efectos galvánicos, tensión residual y superficies (grietas). En el primer caso, la aparición se debe a la diferencia en la composición química entre el metal base y el metal de la soldadura, asociada a la presencia de un medio acuoso (o por la acumulación de precipitaciones - electrolito), lo que potencia la corrosión localizada, principalmente la intergranular. En los casos que implican tensiones residuales, estas, al ser mayores en la zona de la soldadura, favorecen los mecanismos de corrosión por tensión, corrosión por fatiga y fragilización por hidrógeno. Por último, los efectos superficiales pueden dar lugar al proceso de corrosión localizada, que se justifica por las discontinuidades superficiales en la zona de la soldadura, cuando no se mecaniza adecuadamente.

Cuando el proceso corrosivo se produce de forma generalizada, según describe Pannoni (2015), se aprecia una pérdida uniforme de masa en toda la superficie metálica, que puede producirse por medios electroquímicos o químicos (por vía húmeda o seca). La alta concentración de cloruros y sulfuros en forma de sales presentes en los océanos se transporta a la atmósfera y se sedimenta sobre las superficies metálicas expuestas en entornos marinos. Teniendo en cuenta la elevada humedad en entornos marinos, esto se vuelve extremadamente agresivo, ya que existe una gran probabilidad de que el agua presente en la atmósfera reaccione con las sales depositadas en las superficies de las estructuras metálicas marinas. Ante esto, consideraciones importantes en el dimensionamiento estructural, como por ejemplo la elección del material, la prevención y el tratamiento de la corrosión atmosférica, están asociadas a la mayor parte de los problemas que implican la corrosión metálica, por exposición externa de estructuras primarias y secundarias en plataformas *offshore* (Gentil, 2017).

En la corrosión alveolar, Figura 3, se caracteriza la superficie por la formación de cavidades de pequeño diámetro y gran profundidad, lo que puede provocar agujeros en la pieza (Ballesteros et al., 2009). Es común en materiales que forman películas semiprotectoras o con deposición de electrolito (agua de mar en suspensión), o incluso con favorecimiento de la aireación diferencial, que consiste en un tipo de corrosión provocada por la diferencia de concentración de oxígeno en el electrolito; es decir, cuanto mayor sea la concentración, más catódica será la región (ABRACO, 2017).

Figura 3. Corrosión alveolar.

Cuando la degradación del material comienza en las grietas, se forma una pila de concentración similar al proceso de corrosión galvánica. En este caso, se producirá una diferencia de concentración de iones o gases disueltos en la solución electrolítica entre dos regiones de una misma pieza metálica, con deterioro de la región donde existe menor concentración de iones o gases disueltos (Callister & Rethwisch, 2020). Las grietas son aberturas con un grosor de milésimas de un (01) centímetro, propicias para la entrada y el estancamiento del electrolito. El estancamiento se produce entre las regiones de las aberturas de la pieza metálica, que también sirve de depósito para la suciedad o los productos de la corrosión, proporcionando las condiciones para que el oxígeno disuelto se agote de forma localizada, iniciando el proceso de oxidación del metal en esa región. Esto es posible debido al movimiento de los electrones de la reacción electroquímica hacia las regiones adyacentes del metal, donde se reducirán. La Figura 4 muestra la ocurrencia de este proceso en una conexión roscada a lo largo de una línea de combate contra incendios.

Figura 4. Corrosión en la junta roscada de una línea contra incendios.

En equipos en los que los gases producidos se liberan a la atmósfera a altas temperaturas, puede producirse el proceso conocido como corrosión por calor. La corrosión por calor es un proceso acelerado de deterioro del material, cuando su superficie se encuentra a altas temperaturas, en presencia de sales contaminantes. En estructuras metálicas sobrecalentadas, es causada por la acción combinada de la oxidación del metal y la reacción del óxido formado con sales (como sodio y potasio) presentes en el aire o depositadas en las zonas calientes de ese equipo. Estas sales darán lugar a una sal fundida que, al licuarse, destruye la capa protectora de óxidos; y en los casos en que se produzca la combinación de estas sales con el gas sulfuroso procedente de la quema de combustibles fósiles, se formarán compuestos más complejos y agresivos (Biava, 2019; Rijeza, 2020).

Una de las formas de combatir los efectos nocivos de la corrosión en las unidades marítimas es mediante equipos de mantenimiento o campañas de mantenimiento. Las campañas de mantenimiento son grandes volúmenes de obras realizadas por una unidad flotante de mantenimiento de seguridad, con inversiones que pueden alcanzar los 220 millones de dólares estadounidenses y cuyo objetivo es garantizar y restablecer la integridad de las plataformas de exploración y producción de petróleo y gas natural para garantizar la seguridad de las personas, la navegación y la protección del medio ambiente. Sin embargo, en el proceso de desmantelamiento, estas campañas dejan de realizarse y se reduce el personal de mantenimiento de la plataforma, lo que perjudica la gestión de los efectos de la degradación de las instalaciones y los equipos, que se

agravan a medida que la unidad permanece más tiempo en el emplazamiento sin producir (Agencia Nacional de Petróleo, Gas Natural e Biocombustiveis, 2020; Agencia Petrobras, 2022).
Cabe destacar que la integridad de los buques y plataformas marítimas es uno de los pilares necesarios para garantizar las actividades, ya sea en fase de operación o de desmantelamiento, y su ausencia es motivo de preocupación para los operadores de yacimientos petrolíferos, en lo que respecta a cuestiones de seguridad de la instalación y del proceso, en los ámbitos social, económico y medioambiental. Además, los problemas relacionados con la integridad mecánica de la unidad marítima pueden provocar retrasos en el calendario de actividades relacionadas con el desmantelamiento, o incluso impedir temporalmente la salida de la ubicación (Animah et al., 2016; Palkar & Markeset, 2012).

2. METODOLOGÍA

A continuación se presenta un estudio de caso de una plataforma petrolífera en proceso de desmantelamiento, situada en la cuenca de Campos, en el sureste de Brasil. La metodología aplicada a su desarrollo buscó, a través de una revisión bibliográfica, presentar al lector los tipos de corrosión que se producen en este entorno y variables como los recursos humanos, la priorización de las actividades relacionadas con el desmantelamiento de la unidad offshore y los retrasos en el calendario de salida de la ubicación, que producen escenarios de corrosión severa de estructuras, equipos y accesorios.

2.1 Investigación bibliográfica

La revisión bibliográfica consideró trabajos publicados sobre la industria de la construcción naval y los procesos de corrosión, con el objetivo de recopilar información o conocimientos previos sobre el problema de la corrosión en plataformas marítimas en proceso de desmantelamiento. Con el objetivo de aportar al lector una exploración actualizada del tema, se optó por investigar trabajos publicados en el período de 2017 a 2023; sin embargo, debido a la relevancia de determinadas obras más antiguas para la investigación, también se tuvieron en cuenta en este trabajo.

2.2 Recopilación de datos

La recopilación de datos relacionados con el tema se llevó a cabo junto con los organismos de control brasileños, así como la adquisición de registros fotográficos que permitieran una mayor comprensión por parte del lector. Los datos solicitados sobre la ocurrencia de eventos (accidentes, incidentes, registros de no conformidades y otros) datan del período comprendido entre enero de 2015 y diciembre de 2021, se solicitaron a través del portal de Acceso a la Información del Gobierno Federal Brasileño y se dirigieron a los operadores de campos de exploración y producción, a la Marina de Brasil y a la ANP. Sin embargo, en virtud de la Ley de Acceso a la Información brasileña, algunas solicitudes no fueron atendidas.

2.3 Adquisición y tratamiento de datos

Los datos relativos a los accidentes relacionados con el colapso de estructuras por corrosión se obtuvieron a través del Sindicato de Petroleros del Norte Fluminense de Río de Janeiro (SINDIPETRO NF). El sindicato se mostró como una opción para la adquisición de datos, dada la obligación legal del empleador de comunicar a la representación sindical de los trabajadores la ocurrencia de accidentes. Los registros recopilados fueron los de comunicación de accidentes de trabajo (CAT) ocurridos entre enero de 2015 y diciembre de 2021, cuyo objetivo era identificar sucesos cuyo factor generador estuviera relacionado con la corrosión de estructuras, equipos o accesorios. Tras analizar los sucesos, no fue posible distinguir los accidentes cuya causa contribuyente fue la corrosión de estructuras, equipos y accesorios de aquellos en los que esta causa no estaba presente. Por lo tanto, los datos obtenidos no se utilizaron en esta investigación.

Finalmente, entre finales del segundo semestre de 2021 y el primero de 2022, se adquirieron registros de imágenes mediante inspección visual en una plataforma *offshore* en desmantelamiento, que reflejan el problema de la corrosión en unidades *offshore* en desmantelamiento, con un tiempo medio de producción de 25 años, haciendo una analogía con las referencias aportadas en esta investigación. La selección previa de los lugares inspeccionados tuvo en cuenta la proximidad al costado, la popa y la proa de la plataforma *offshore*, que son regiones cercanas a la línea de flotación. Se prestó especial atención a los lugares de acumulación de polvo y humedad, así como a las estructuras con cargas concentradas y metales distintos en contacto, por ser lugares propicios para el desarrollo de la corrosión. También se consideró para la inspección la sala de máquinas, ya que contiene emisiones fungicidas procedentes de la quema de combustibles fósiles, vapores de productos químicos, humedad y sales captadas por el sistema de ventilación o procedentes de fugas en las tuberías de agua salada que atraviesan el interior del recinto.
Finalmente, la elección de la inspección en una plataforma *offshore* en la cuenca de Campos tuvo en cuenta el mayor número de procesos de desmantelamiento a nivel de Brasil y el hecho de que la mayor parte de sus sistemas productivos tienen más de 25 años de antigüedad. Además, para este trabajo se consideró una unidad *offshore* que presentaba retrasos en el cumplimiento del calendario de actividades destinadas a viabilizar la retirada de la ubicación, lo que resultó en su permanencia en la zona de operación durante un período más largo de lo previsto, con una reducción de las actividades de conservación y mantenimiento, tanto de mano de obra propia como contratada.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección se presentan registros de daños causados por procesos corrosivos en una plataforma en fase de desmantelamiento, así como propuestas para la recuperación de la estructura o la preservación de su integridad. Sin embargo, es importante destacar que, al tratarse de un sistema *offshore* en fase de desmantelamiento, el interés en la integridad de las estructuras y los sistemas críticos de seguridad, como el anillo contra incendios, se centra en la seguridad de las personas, las instalaciones y el medio ambiente. Así, los daños registrados están relacionados con los enlaces de la estructura, el colapso y el debilitamiento estructurales y las deformaciones que comprometen o pueden comprometer la integridad del sistema.

3.1 Colapso estructural

Los sistemas de iluminación de una unidad tienen la función de garantizar una buena visibilidad en lugares protegidos o durante la noche. Para garantizar la continuidad de los servicios necesarios para el desmantelamiento, deben mantenerse íntegros y en buen estado de funcionamiento, al menos hasta el destino final de la plataforma *offshore*, a diferencia de lo que ocurre en la Figura 5. En ambos casos se produjo corrosión de la chapa plana unida a la estructura, base del poste metálico, lo que provocó una pérdida de masa grave en la base de los postes (A1 y B), como se detalla en «A2». Además, en «A1», en el área resaltada en rojo, se puede observar un proceso de corrosión acentuada en la unión entre el soporte de un equipo y el poste metálico.
Dada su importancia para la continuidad de las actividades y para la recuperación de la estructura, se debe realizar una limpieza de las áreas afectadas por la corrosión (incluido el piso) mediante un tratamiento mecánico (uso de un desincrustador neumático, popularmente conocido como agujero neumático, o lijadora), sustitución de las chapas planas de la base y pintura. Es importante que los cordones de soldadura de la base reciban un acabado que no propicie la acumulación de electrolitos y sólidos.

Figura 5. Colapsos por corrosión de la base de postes de iluminación metálicos.

A continuación, en la Figura 6, en la zona de recepción de los elevadores, situada cerca de los límites físicos de la unidad marítima, en «A» se observa el debilitamiento por corrosión del soporte cilíndrico de una línea de petróleo fuera de servicio, lo que provoca su rotura y hace que las bridas (detalle A1 y A2) asuman el soporte del tramo de la línea. En «B», los ataques fueron más significativos en las regiones del cordón de soldadura de los carretes, que tienden a acumular suciedad y electrolito, comprometiendo completamente la capacidad de carga de la línea, que tuvo que ser apuntalada con perfiles tubulares. Teniendo en cuenta que en ambos casos no hay interés en recuperar la estructura, ya fuera de servicio, el riesgo de colapso estructural puede mitigarse cortándola y retirándola.

Figura 6. Daños en líneas y accesorios.

3.2 Deformaciones

El anillo contra incendios, Figura 7, es responsable del flujo forzado de agua para combatir incendios en sistemas fijos, como diluvio, hidrantes, cañones manuales y automáticos. En el tramo del anillo contra incendios sobre la cubierta principal de la unidad marítima, cerca del costado de la plataforma, se produjo un pandeo lateral y una torsión del perfil en «U» (registros B y C), que soporta la generatriz inferior del tramo. Aunque el perfil está pintado, se aprecia la corrosión en la zona de doblado de la abrazadera (registro B) soldada al suelo de la embarcación, donde se concentran las tensiones. En el detalle que se muestra en «C» se observa una zona de grieta en el perfil metálico, con la rotura producida en el extremo derecho del perfil en «U».
Para evitar la sobrecarga del soporte por la redistribución de cargas, justo en el desplazamiento del tramo de la línea que da lugar a un aumento de la tensión, el elemento estructural defectuoso puede sustituirse por otro soporte no metálico, fijado con resina epoxi, por ejemplo.

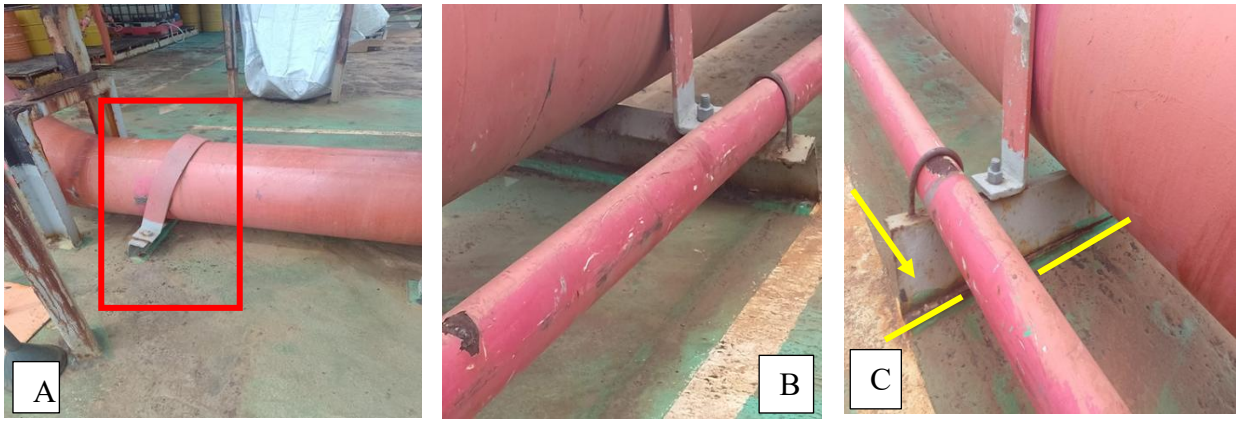

Figura 7. Deformación y grieta en perfil metálico.

En el tramo del anillo contra incendios comprendido dentro de la sala de máquinas (lugar sujeto a emisiones fungicidas de gases (CO, CO2 y H2) de los equipos, altas temperaturas y humedad), aunque aún no se han producido daños en los registros «A» y «B» de la Figura 8, la deformación de la escuadra que soporta parte del tramo del anillo contra incendios impone un esfuerzo de flexión en el tornillo de unión entre la abrazadera y la escuadra, donde se observa la mayor pérdida de masa en la lengüeta en contacto con la generatriz inferior de la tubería. Es importante destacar que las acciones a las que está sometida la estructura no se deben únicamente al peso propio del tramo del anillo y a la columna de agua en su interior: hay que tener en cuenta las fuerzas generadas por la transferencia de masa del fluido y las vibraciones transmitidas por el funcionamiento de las bombas contra incendios, cuando el sistema entra en funcionamiento.
Dada la posibilidad de que ya se haya producido la formación de la rótula plástica del ángulo que soporta el tramo destacado del anillo y la verificación de la pérdida de masa, es viable la ejecución de un apuntalamiento o suspensión del *spool* con el uso de polipastos, para que se sustituya el ángulo inferior. Las escuadras verticales y la abrazadera deben recibir un tratamiento mecánico con una lijadora neumática o una lijadora y pintura para protección contra la corrosión, al igual que la nueva que se instalará. Los tornillos de la conexión deben sustituirse y debe aplicarse una banda de material polimérico en la parte interna de la abrazadera, así como en la lengüeta de la escuadra que está en contacto con la generatriz inferior del *spool*.

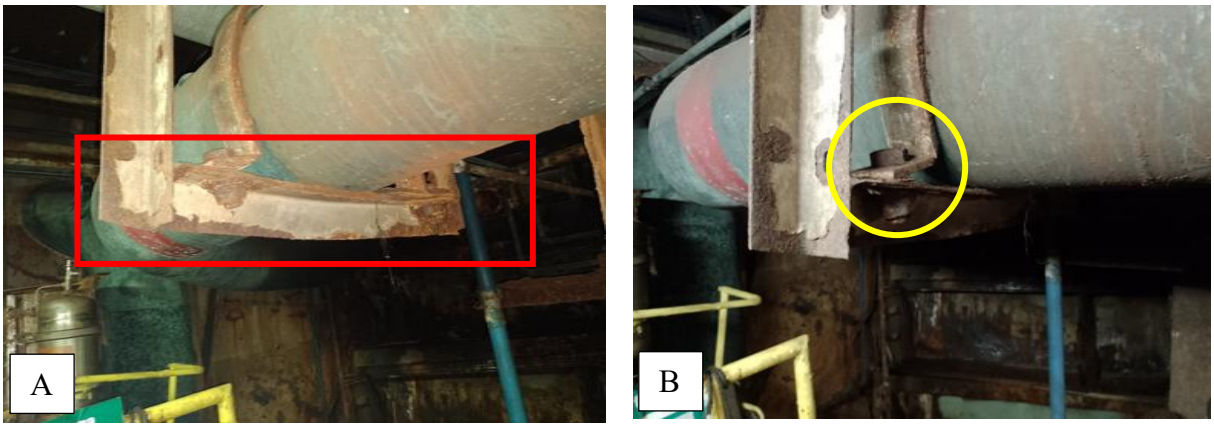

Figura 8. Flexión en tornillo y deformación del ángulo que soporta el *spool*.

Para cerrar el tema de las deformaciones, en la Figura 9 se observa la cinta transportadora de una línea de descarga, responsable de su acomodación y traslado, cargada con su propio peso, el peso del carro (A1, flecha naranja) y el peso de la manguera de descarga, señalada por las flechas amarillas en «A» y «B». La estructura presenta puntos de corrosión en toda su extensión, siendo el

tramo indicado en B el que presenta daños más graves. Esto se debe a que la carga concentrada, junto con la pérdida de masa excesiva cerca de la zona de apoyo, favoreció el fenómeno de *crippling* de la estructura, que puede interpretarse como una falla localizada causada por el «aplastamiento» del alma.

En este caso, el desmantelamiento de la unidad marítima se encuentra en la etapa de limpieza, inspección y reparación de los tanques de carga, cuando sea necesario. Ante esto, se han cerrado las operaciones de descarga. Por lo tanto, teniendo en cuenta la reducción de la mano de obra disponible y las expectativas de retirada de la plataforma del emplazamiento, se recomienda retirar la manguera de descarga, los rodillos de la cinta transportadora y el carro, con el fin de reducir la carga en la estructura. En cuanto al *clippling* de la estructura, se puede retirar el tramo de la cinta transportadora desde la columna aguas abajo hasta la columna aguas arriba, tomando como referencia la columna defectuosa, lo que reducirá el consumo de horas de trabajo para la planificación y ejecución de la actividad.

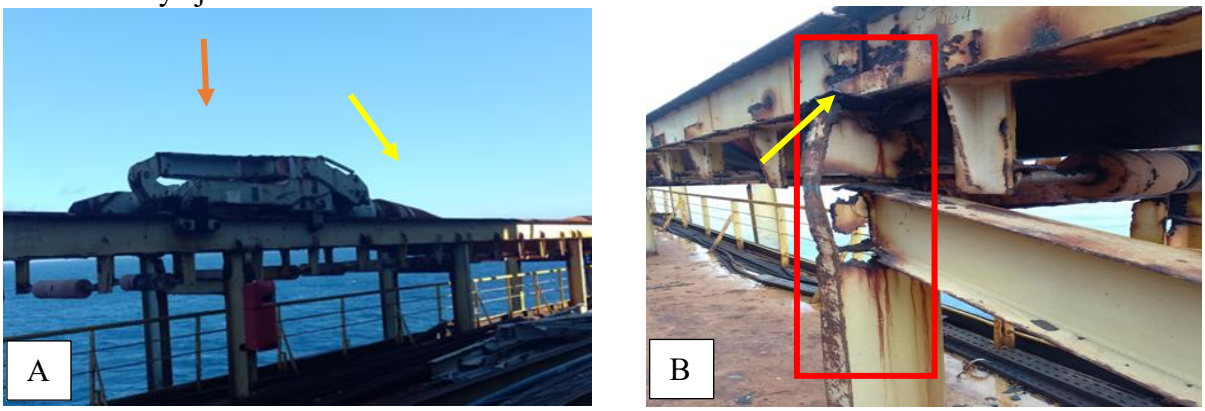

Figura 9. Daño en la columna de la cinta transportadora de una línea de descarga.

3.3 Degradación de los enlaces estructurales

Las uniones en estructuras metálicas son zonas que merecen especial atención en entornos extremadamente agresivos. Se trata de zonas que, cuando se diseñan de forma anómala, es decir, sin acabado o con aberturas que impiden la acumulación de sólidos y agua en las grietas, son lugares propicios para la aparición de corrosión. En la Figura 10, la estructura en celosía recibe las cargas de parte del piso de un módulo de producción y los equipos que se encuentran sobre él. En el primer detalle destacado, A, la parte superior de la barra vertical, a diferencia de la configuración original, sigue teniendo restricción de desplazamiento solo en dirección vertical. En «B», nodo de la base de la estructura resaltado, la pérdida de masa debido al avanzado proceso corrosivo resultó en la pérdida de la unión en el extremo inferior de la diagonal, permitiendo los desplazamientos propuestos por las flechas dibujadas en «B». Para mitigar el problema, se utilizaron perfiles tubulares para impedir desplazamientos en la estructura.

Con el fin de prevenir el colapso global de la estructura, es necesario realizar el diseño del servicio para: cortar los segmentos con pérdida de masa; tratar mecánicamente la región de la base superior y otros puntos necesarios; sustituir y soldar los segmentos retirados, prestando atención a los acabados en el cordón de soldadura que favorezcan el drenaje del agua; pintar y aplicar un revestimiento hidrofóbico en los nudos de la celosía.

Figura 10. Degradación de las uniones soldadas y alteraciones en los enlaces de las estructuras.

Al igual que en la Figura 10, en la estructura espacial situada en el centro de la plataforma *offshore*, Figura 11, cubierta superior, se observa la degradación casi total del nudo a gran altura de la estructura espacial, formada por perfiles soldados. Una de las funciones de esta estructura, formada por perfiles en «H» unidos por soldadura, es recibir las cargas transmitidas por los equipos sobre los suelos de rejilla. En este caso también se instalaron perfiles tubulares para impedir el desplazamiento del nudo. Para eliminar el riesgo de colapso global de la estructura y la posibilidad de daños a las personas y los equipos, así como al medio ambiente, se puede aplicar el mismo proceso sugerido en la Figura 10.

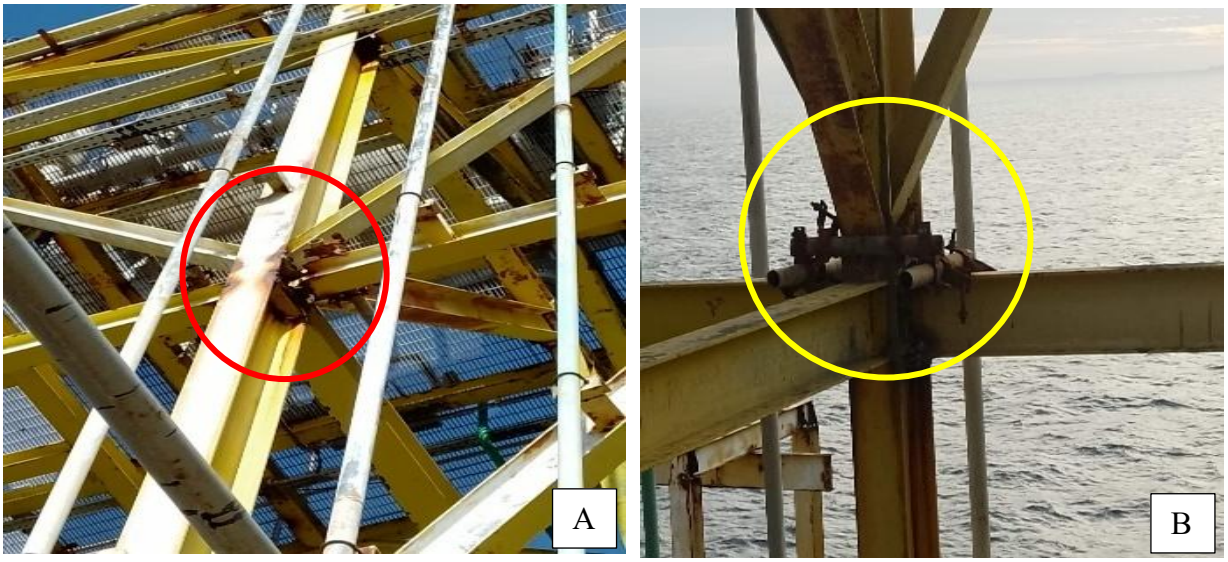

Figura 11. Fallo local en el nodo de la estructura espacial por pérdida excesiva de masa, causada por un proceso corrosivo.

3.4 Daños em las chapas del piso, las rejillas y las vigas

Las chapas destinadas a los pisos de las plataformas en desmantelamiento también están sujetas al proceso corrosivo, como se observa en la Figura 12. Como solución paliativa, se colocaron planchas metálicas sueltas sobre el piso, lo que no impide el avance del proceso corrosivo generalizado y la pérdida de masa, responsables de la apertura de grietas en la chapa del piso del módulo. Esta situación puede convertirse en una verdadera trampa para el usuario, que, sin conocer la extensión de los daños en la estructura, verá reducida su percepción de los riesgos debido a la falsa sensación de seguridad que le transmite. Por lo tanto, es esencial evaluar la extensión de los

daños causados por la corrosión generalizada, retirando y sustituyendo las áreas con una pérdida significativa de resistencia mecánica, además de realizar el tratamiento mecánico y el pintado.
Cabe destacar que el revestimiento con planchas de aluminio del piso del módulo, sin haber realizado el tratamiento adecuado, dificultará la visualización del avance del proceso corrosivo y, en consecuencia, la evaluación satisfactoria de la seguridad estructural del piso y las estructuras conectadas a él.

Figura 12. Efectos de la corrosión en suelos y vigas metálicas.

La Figura 13 también muestra problemas relacionados con el piso de la estructura, pero esta vez relacionados con los pisos de rejilla. En el primer registro, A, se produjo la degradación total de las alas y parte del alma de la viga continua totalmente encastrada, que recibe las cargas transmitidas por el piso de rejilla. Debido a los daños causados por la corrosión en la zona de la soldadura, solo parte de la zona del alma permanece encastrada en el pórtico. En el segundo, B, se produjo la degradación de la soldadura entre una de las vigas del rellano y la viga adyacente. Con ello, los extremos de los perfiles, donde se rompió la unión (las partes solo están apoyadas), pasan a comportarse como «libres», lo que permite desplazamientos verticales y transversales, tal y como se detalla en «B». Como efecto secundario, puede producirse una torsión en la rejilla del rellano y los peldaños, lo que genera esfuerzos de tracción en las abrazaderas de fijación de las barandillas del piso del rellano y torsión en los tornillos de la unión entre las vigas y los peldaños.
Mientras que el registro «B» requerirá la eliminación del tramo afectado, tratamiento mecánico, sustitución de la parte eliminada y pintura; en «B» es posible adoptar un refuerzo estructural, tras el tratamiento adecuado de la corrosión, mediante el pegado o soldadura de chapas planas y/o ángulos en el alma y/o mesa de las vigas, de acuerdo con el análisis realizado por el proyectista, tomando las precauciones necesarias en el acabado para evitar la acumulación de agua en las intersecciones de las estructuras.

Figura 13. Rotura por corrosión en la intersección viga-columna (A) y viga-viga (B).

3.5 Punción en estructura con corrosión

Algunos daños en estructuras metálicas se producen fuera del campo de visión de los usuarios de las instalaciones, ya que se encuentran en lugares de difícil acceso o a gran altura, como es el caso del «sombrero de bruja» sobre la abertura de descarga de gases calientes de una turbomáquina offshore, como se muestra en la Figura 14. En el caso en cuestión, los gases calientes producidos por la combustión de combustible fósil del turbocompresor desencadenaron el proceso de corrosión en caliente en la descarga del equipo, lo que provocó una corrosión generalizada y una reducción de la resistencia mecánica del material. La consecuencia de ello fue la perforación de la cubierta (B), que tuvo que ser retirada (C) para que las cargas de viento no la lanzaran sobre las personas y los equipos de la plataforma petrolífera.

Aunque la evaluación de la integridad de elementos como el «sombrero de bruja» se ve dificultada por su ubicación, existe la posibilidad de utilizar drones con cámaras para visualizar y evaluar los daños en estructuras como esta.

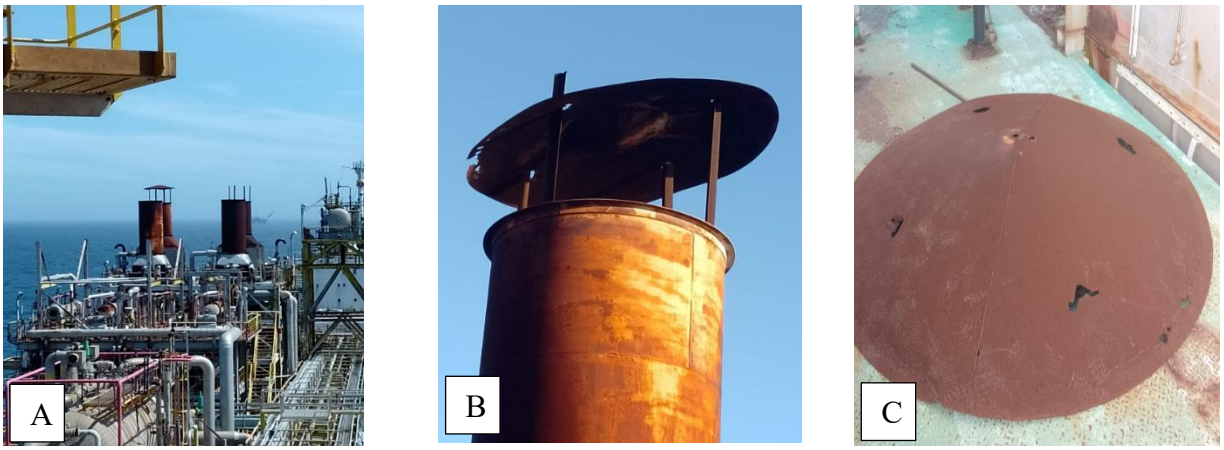

Figura 14. Perforación de la carcasa metálica.

4. CONCLUSIONES

El desmantelamiento de una unidad offshore es una actividad compleja que requiere la interacción de diversas áreas de la ingeniería y suscita cierta preocupación entre los operadores de los campos de exploración y producción. Esta preocupación no se debe solo a los altos costos que implica el proceso, sino también a los retrasos en el calendario, las cuestiones medioambientales, la integridad estructural y la seguridad industrial. En este trabajo se abordó la cuestión de la pérdida de integridad

estructural o fallos, siendo en ambos casos el resultado de procesos de corrosión, en un entorno extremadamente agresivo, en plataformas de exploración y producción de petróleo y gas natural, lo que da lugar a colapsos estructurales, deformaciones, pérdidas de enlaces en la estructura y la aparición de esfuerzos no considerados en el funcionamiento normal de las estructuras, lo que puede acarrear graves problemas en la rutina de la unidad offshore.

En las inspecciones visuales realizadas en piezas, accesorios y estructuras, se constató la gravedad del proceso de corrosión en un entorno extremadamente agresivo, intensificado por la fase de desmantelamiento de la unidad *offshore.* Como consecuencia, surgen riesgos de colapso de las estructuras y la posibilidad de daños a los trabajadores y al medio ambiente, que deben controlarse para evitar las consecuencias derivadas de los accidentes laborales. Estos incidentes pueden generar retrasos en el calendario de desmantelamiento de la unidad marítima debido a pendientes impuestas por entidades fiscalizadoras, embargos o interdicciones, además de procesos judiciales relacionados con acciones de indemnización y reparación de la integridad física de los trabajadores. Por último, teniendo en cuenta la importancia de proteger la integridad de los trabajadores y de prevenir la ocurrencia de accidentes e incidentes en la plataforma *offshore* en desmantelamiento, es fundamental mantener acciones orientadas al control de los procesos corrosivos, la recuperación de estructuras o, cuando sea necesario, su remoción, siempre que estas no generen impactos negativos en las actividades esenciales para el desmantelamiento. Así, para evitar la ocurrencia de eventos indeseables en estas unidades, es indispensable la formación y el mantenimiento de equipos especializados en el análisis de riesgos asociados a los procesos corrosivos, así como la implementación de medidas de control que actúen como barreras para eliminar o minimizar los riesgos inherentes a estos escenarios accidentales. Estas acciones son cruciales para prevenir daños a la salud de los trabajadores, al medio ambiente y al patrimonio de la empresa, además de salvaguardar su imagen ante los inversores y las autoridades competentes.

5. REFERENCIAS

ABRACO (2017). *Corrosão - uma abordagem geral*. Revista Corrosão & Proteção. http://paginapessoal.utfpr.edu.br/israel/teoria/Teoria%20-%20Corrosao.pdf

Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (2023). *Painel dinâmico: produção de petróleo e gás natural.* Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiNzVmNzI1MzQtNTY1NC00ZGVhLTk5N2ItNzBkMDNhY2IxZTIxIiwidCI6IjQ0OTlmNGZmLTI0YTYtNGI0Mi1iN2VmLTEyNGFmY2FkYzkxMyJ9

Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (2020). *Relatório de Investigação: Investigação do Acidente na FPSO Cidade do Rio de Janeiro*. https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/exploracao-e-producao-de-oleo-e-gas/seguranca-operacional/incidentes/relatorios-de-investigacao-de-incidentes-1/relatorioinvestigaoFPRJfinal.pdf

Agência Petrobras (2023). *Petrobras vai investir US$ 18 bilhões na Bacia de Campos até 2027 Agência Petrobras*. https://agencia.petrobras.com.br/pt/negocio/petrobras-vai-investir-us-18-bilhoes-na-bacia-de-campos-ate-2027-10-08-2023/

Agência Petrobras (2022). *Plataformas da Bacia de Campos passam por serviços de manutenção com uso de Hotéis flutuantes*. Agência Petrobras. https://agencia.petrobras.com.br/pt/institucional/plataformas-da-bacia-de-campos-passam-por-servicos-de-manutencao-com-uso-de-hoteis-flutuantes-08-08-2022/

Almeida, E., Colomer, M., Vitto, W. A., Nunes, L., Botelho Tavares, F., Costa, F., Filgueiras, R. (2017). *Regulação do Descomissionamento e seus Impactos para a Competitividade do Upstream no Brasil*.

Animah, I., Shafiee, M., Simms, N. (2016). Techno-economic feasibility assessment of life extension decision for safety critical assets. *In Risk, Reliability and Safety: Innovating Theory and Practice* (pp. 1248–1255). CRC Press. https://doi.org/10.1201/9781315374987-188

ASTM International. (2019). *ASTM A131/A131M Standard Specification for Structural Steel for Ships* (ASTM International, Ed.). ASTM International. https://doi.org/DOI:10.1520/A0131_A0131M-19

Ballesteros, A. F., Bott, I. de S., Ponciano, J. A. C. (2009). *Avaliação da resistência de juntas soldadas circunferenciais de aço api x-80 à corrosão sob tensão e susceptibilidade à fragilização por hidrogênio*. ABM Proceedings, 2099–2110. https://doi.org/10.5151/2594-5327-14975

Biava, G. (2019). *Estudo da resistência à corrosão a baixa e alta temperatura de revestimentos PVD depositados em uma superliga de níquel,* Masters Thesis, Universidade Tecnológica Federal do Paraná]. http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/4715

Callister, W. D. Jr., Rethwisch, D. G. (2020). *Ciência e engenharia de materiais - uma introdução.* (10th ed., Vol. 1). LTC.

Costa, W. M. da. (2019). A Petrobrás e a indústria de petróleo no Brasil: geopolítica e estratégia nacional de desenvolvimento. *Confins*, *39*. https://doi.org/10.4000/confins.17645

da Silva, R. S. L., Mainier, F. B. (2009). O descomissionamento aplicado às instalações offshore de produção de petróleo sob a visão crítica ambiental. *VI Simpósio de Excelência Em Gestão e Tecnologia - SEGeT*, 1–12.

de Brito, G., Gordo, J. M. (2004). *Tecnologia de Construção Naval: materiais metálicos*, Apostila de Aula. Universidade de Lisboa.

de Souza K. A, da Silva L. C., Pedrosa, L. F., Barbosa, L. C. M., Costa, N. O., Loureiro, T. Y. C., de Souza Jacques, T. M. (2021). Descomissionamento offshore no Brasil: oportunidades, desafios & soluções. *Cadernos FGV Energia*, *8*(11). https://fgvenergia.fgv.br/publicacao/descomissionamento-offshore-no-brasil

Gentil, V. (2017). *Corrosão*. Rio de Janeiro, RJ: LTC Editora

Herrera Anchustegui, I., Eskeland, G. S., Skjeret, F., Melnychenko, M., Lødøen, J., Brown, H. H., Lund, L. E. C. (2021). *Understanding decommissioning of offshore infrastructures: A legal and economic appetizer.* SSRN Electronic Journal. pp. 05-07 https://doi.org/10.2139/ssrn.3882821

International Standard. (2012). ISO 9223 (EN): *Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Classification, determination and estimation*. International Organization for Standardization.

International Standard. (2017, November). ISO 12944-2 [Second edition]: *Paints and varnishes - Corrosion protection of steel structures by protective paint systems - Part 2: Classification of environments Peintures et vernis — Anticorrosion des structures en acier par systèmes de peinture - Partie 2: Classification des environnements*. International Organization for Standardization.

Misra, S. C. (2016). *Design principles of ships and marine structures* (Vol. 1). CRC Press.

M'Pusa, J. B. (2017). *Descomissionamento de plataformas marítimas: estudo comparativo dos casos Reino Unido e Brasil*, Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal Fluminense. https://app.uff.br/riuff/handle/1/4098

Oudenot, E., Whittaker, P., Vasquez, M. (2017). Oudenot, E., Whittaker, P., & Vasquez, M. (2017). *The North Sea's $100 billion decommissioning challenge*. https://web-assets.bcg.com/img-src/BCG-The-North-Seas-%24100-Billion-DecommissioningChallenge-Mar-2017_tcm9-149950.pdf

Palkar, S., Markeset, T. (2012). *Extending the Service Life Span of Ageing Oil and Gas Offshore Production Facilities*. pp. 213–221. https://doi.org/10.1007/978-3-642-33980-6_25

Pannoni, F. D. (2015). *Princípios da proteção de estruturas metálicas em situação de corrosão e incêndio.* (6th ed.). Gerdau.

Rijeza. (2020, October). C*orrosão e oxidação em alta temperatura*. Rijeza Metalurgia. https://rijeza.com.br/wpcontent/uploads/2020/10/1530721009oxidacao_e_corrosao_em_altas_temperaturas.pdf

Stacey, K., & Livsey, A. (2016, June 13). *O petróleo do Mar do Norte: a desativação de 38 mil milhões de euros*. Diário de Notícias. https://www.dn.pt/dinheiro/o-petroleo-do-mar-do-norte-a-desativacaode-38-mil-milhoes-de-euros-5224750.html

Usiminas. (2020). *Chapas Grossas*. Catálogo Técnico Usiminas. https://www.usiminas.com/wp-content/uploads/2020/01/CAT.-CHAPAS-GROSSAS-PORT_v3-1.pdf

Zeemann, A. (2013). *Corrosão em Juntas Soldadas*. http://www.infosolda.com.br/artigos/metsol08.pdf