

Paper Number: 2021-04

Indicadores clave de desempeño (Key Performance Indicators¹) de Control de Corrosión: Ductos de recolección del Bloque 31

Alberto Janeta Melo

Petroamazonas EP

Departamento de Mantenimiento Bloque 12-Bloque31

Abstract

The whole paper is in Spanish. Only abstract is in English

Based on the application of the 5-M methodology and on the application of 50 Key Performance Indicator (KPI) scores in the ducts of Block 31 pipelines, it is observed that there are several opportunities for improvement in the control of internal and external corrosion.

External corrosion has been controlled in the two pipelines, indirect and direct (partially) examination tasks have been carried out and the cathodic protection systems have functioned adequately. Additional direct examination tasks must be scheduled and the ECDA NACE SP0502 process completed.

Internal corrosion has a greater opportunity for improvement, for several reasons, the most important of which is to reactivate the internal cleaning runs of the ducts. Indirect measurements of corrosion parameters show the need for internal cleaning and other inspection techniques or integrity evaluation such as running with smart pigs or the application of the Direct Internal Corrosion Evaluation Methodology MP-ICDA according to NACE SP0116. At the same time, it is necessary to assess the effectiveness of the chemical treatment.

This evaluation methodology accurately shows the areas where internal and external corrosion control must be improved, highlighting the high and low points of the management that is carried out.

Introducción.

Petroamazonas EP, en el oriente ecuatoriano, opera los Bloques 12, 31 y 43 de producción petrolera entre otros, los Bloques son unidades operativas según la división de los organismos de control del Ecuador, referirse a la Figura 1.

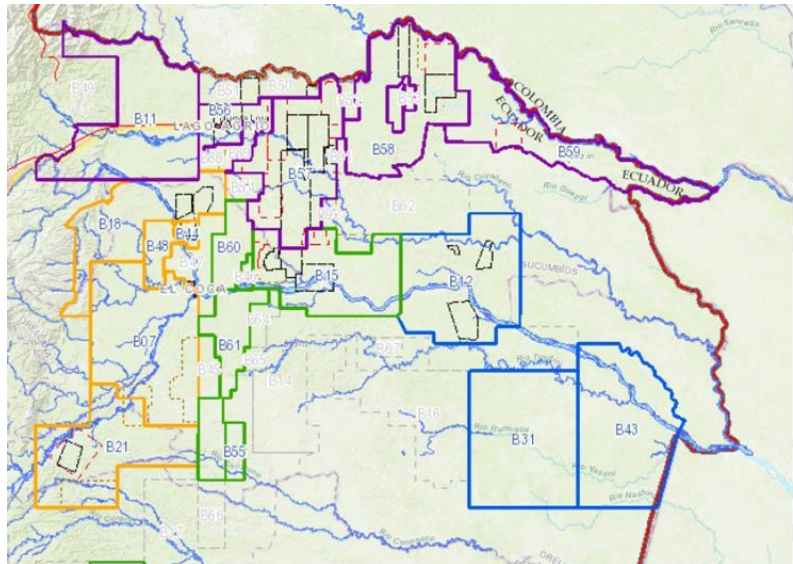
La producción de los Bloques 12, 31 y 43 es dirigida mediante una compleja red de ductos de recolección hacia la planta de procesos y generación eléctrica Edén Production Facilities (EPF).

Actualmente la producción diaria de petróleo de Petroamazonas EP es de 435.000 BPD² promedio. Los Bloques 12, 31 y 43 aportan 110.000 BPD promedio en total; divididos de la siguiente forma: el Bloque 12 aporta 32.000 BPD, el Bloque 31 aporta 6.000 BPD y el Bloque 43 aporta 72.000 BPD en promedio.

El presente reporte se concentra en analizar el estado de la corrosión en los ductos de recolección del Bloque 31 mediante la Metodología de los 50 KPI publicado en 2015 por Sankara Pavavinasam en el libro Aim Corrosion Management: Perfect Key Performance Indicators.

En el Bloque 31 existen dos plataformas productoras: Apaika y Nenke. Un ducto de recolección de 18 pulgadas de diámetro transporta el fluido de las dos plataformas hasta la Estación Central de Bombeo (ECB), donde se suma la producción del Bloque 43 y se bombea hacia EPF mediante un

ducto de 24 pulgadas de diámetro. En la tabla a continuación se muestran los datos de construcción y operación de los ductos 18"-APAIKA-ECB y 24"-ECB-EPF.



² BPD son las siglas de Barriles Por Día de Petróleo.

Identificación	Producto	Recubrimiento Interno	Recubrimiento Externo	Diámetro (in)	Espesor de pared (in)	Longitud (km)	Año de instalación	Temperatura de operación (F)	Presión de operación (psi)
Apaika-ECB	Multifásico	No	Si	18	0.406	24.00	2013	166	462
ECB-EPF	Multifásico	No	Si	24	0.500	32.50	2013	152	350

Tabla 1. Ductos de recolección del Bloque 31 de Petroamazonas EP.

Los ductos mencionados se encuentran en áreas medioambientales altamente sensibles, sobre todo el caso del ducto 18"-APAIIKA-ECB que se encuentra dentro del Parque Nacional Yasuní (Figura 2), que es el área protegida continental más grande del Ecuador y es territorio de múltiples grupos étnicos.

Los dos ductos se encuentran cercanos y cruzan sus trayectorias con cuerpos de agua que alimentan a los ríos Tiputini y Napo, que son fuente de recursos alimenticios y tienen una capacidad de transportar aguas contaminadas a alta velocidad que difícilmente podrían ser controladas en caso de un derrame.

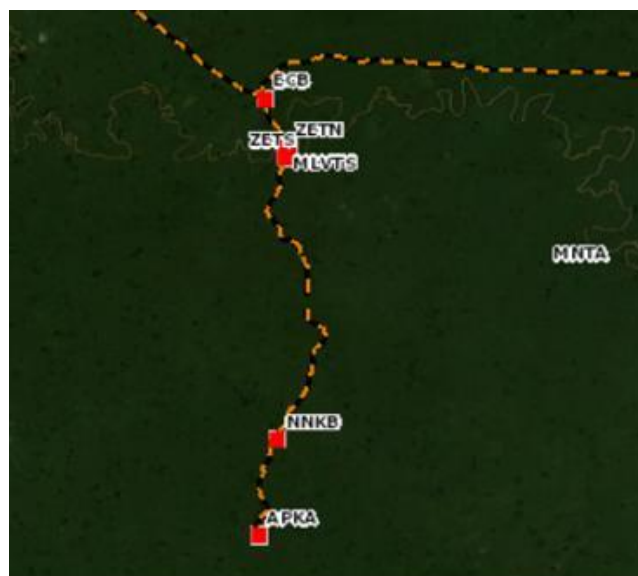


Figura 2. Trayectoria del ducto 18"-APAIIKA-ECB.

Durante las primeras operaciones de limpieza interna de estos ductos se evidenció el efecto de los bajos caudales y el alto contenido de sólidos.

La tercera fase de operación inició entre los años 2015 y 2016 cuando se incrementó la producción del Bloque 31 desde las plataformas Apaika y Nenke. Adicionalmente, a partir de ese momento las tareas de limpieza interna se redujeron hasta ser nulas debido al atascamiento de una herramienta de limpieza en el ducto Apaika a ECB en marzo de 2016.

La cuarta fase de operación ha afectado únicamente al ducto 24"-ECB-EPF por el inicio e incremento constante de la producción del Bloque 43 que se suma a la producción del Bloque 31 en ECB, el contexto operacional completo actual de los ductos de recolección del Bloque 31 se muestra en la Figura 4.

Finalmente se debe mencionar que las tareas de limpieza interna se han suspendido en los ductos y que el monitoreo de variables indirectas de corrosión interna muestran una alta probabilidad de existencia de la amenaza de falla por corrosión interna.

Aplicación de la metodología de los 50 KPI a los ductos de recolección del Bloque 31 operador por Petroamazonas EP.

1. Contexto del Control de Corrosión KPI 1-5.

KPI 1. Segmentación de la infraestructura.

Al momento se han desarrollado estudios de inspección indirecta como parte de un estudio ECDA (External Corrosion Direct Assessment según NACE SP0502), los ductos no han sido segmentados aún para completar el estudio bajo criterios de corrosión externa ni bajo criterios de corrosión interna.

KPI 2. Riesgo de Corrosión.

Los dos ductos en estudio transportan fluido multifásico (petróleo, agua y gas), no disponen de recubrimiento interno y la limpieza interna mediante herramientas no ha sido regular ni se ha medido su efectividad, en el caso de corrosión externa se han mantenido monitoreos rutinarios de efectividad de protección catódica y el recubrimiento utilizado ha sido adecuado según las inspecciones realizadas, se debe completar el estudio ECDA.

La corrosión interna es el principal riesgo de falla.

KPI 3. Localización de la infraestructura.

Los ductos en análisis se encuentran en los Bloques 12 y 31 del Oriente de Ecuador, atraviesan áreas sensibles, 22 kilómetros del ducto Apaika-ECB se encuentran dentro del Parque Nacional Yasuni, una de las áreas con mayor concentración de biodiversidad del planeta. Basado en el Código CFR de Estados Unidos de América, “Code of Federal Regulations (CFR) Title 49, Part 195.6, se puede considerar que estos ductos atraviesan Áreas inusualmente sensibles, adicionalmente las trayectorias de estos ductos circulan cercanos a grandes ríos como el Tiputini y Río Napo y sus afluentes que son fuentes de agua dulce y alimento de poblaciones asentadas a lo largo de las orillas de los mismos, el ducto 18”-APK-ECB cruza el río Tiputini mediante un paso subfluvial.

KPI 4. Cuantificación del riesgo.

No se dispone de una cuantificación del riesgo precisa, determinada bajo una metodología predeterminada o que sea parte de una política de la empresa, pero se estima a través de los KPIs 2 y 3.

KPI 5. Vida de la infraestructura.

Se calcula mediante los datos de construcción del ductos. La operación del ducto Apaika-ECB es una año más antigua.

TABLA 2. Control de Corrosión KPI 1-5.

2. Modelo de Corrosión Interna. KPI 6-7, 9-12, 14, 39 y 40.

	KPI	APK-ECB	ECB - EPF	Remarks:
1	1	4	4	0-1: Segment less than 1 km 2-3: Segment greater than 1 km 4-5: Variable segmentation or non
2	2	4	4	0-1: Low or no corrosion risk 2-3: Secondary corrosion risk 4-5: Main corrosion risk
3	3	5	5	0-1: Low consequence of failure 2-3: Medium consequence of failure 4-5: High consequence of failure
4	4	5	5	0-1: Overall corrosion risk low 2-3: Overall corrosion risk medium 4-5: Overall corrosion risk high
5	5	2	2	0-1: Life between 1-5 years 2-3: Life between 5-10 years 4-5: Life more than 10 years

Los resultados de los puntajes para el Modelo de Corrosión interna se encuentran en la Tabla N. 3, la explicación de los puntajes se detalla a continuación.

KPI 6. Material de construcción.

Las tuberías utilizadas para los ductos son de material API 5L X65, al respecto de los materiales de construcción de estos ductos lo más importante que se debe indicar es que no disponen de recubrimiento interno, pero se ha considerado un sobre espesor de corrosión permisible, que aunque podría prevenir casos de corrosión generalizada poco puede prevenir en caso de corrosión localizada, como medida preventiva de mitigación debería implementarse un programa de limpieza interna mediante herramientas completado con tratamientos químicos (inhibidor de corrosión y biocidas)

KPI 7. Corrosión permisible.

Al no contar con recubrimiento interno, el uso de un sobre espesor de corrosión permisible es una salvaguarda importante en estos ductos aunque cómo se ha detallado en el KPI 6 este debe ser utilizado en conjunto con un plan exhaustivo de limpieza interna.

KPI 9 y KPI 10. Perturbaciones aguas arriba y aguas abajo.

Los ductos del Bloque 31 aguas arriba están afectados por equipos de bombeo multifásico dispuestos en la plataforma Apaika para el ducto Apaika-ECB y en ECB para el ducto ECB-EPF, sin embargo, a partir del año 2016 las condiciones de bombeo fueron radicalmente modificadas mediante la instalación de equipos de fondo de gran capacidad en las plataformas Apaika y Nenke que son las plataformas aportantes del ducto Apaika-ECB. Aguas abajo la entrega de fluido puede verse afectada por el cierre de inesperado de las válvulas de seguridad de la Planta de Procesamiento EPF o en la estación de bombeo ECB por emergencia operativa lo que conllevaría una sobre presión en los ductos.

El ducto ECB-EPF aguas arriba está sujeto a los cambios en la producción del Bloque 43, constantemente se han estado arrancando pozos nuevos por lo que la composición del fluido de producción cambia de forma muy dinámica, y desestabiliza el tratamiento químico para control de corrosión, el patrón y velocidad de flujo.

KPI 11. Mecanismos de corrosión.

El mecanismo de daño más importante que amenaza a estos ductos es la corrosión interna por la corrosividad del fluido que transportan, existe un análisis previo de una muestra del fluido analizado como parte del proyecto ICDA (Internal Corrosion Direct Assessment según NACE SP0116) de los ductos del Bloque 12 que indica esto. Este mecanismo de daño se ve potenciado por la falta de recubrimiento interno y por la aplicación parcial del plan de limpieza interna. Esta

amenaza es controlada en parte mediante el uso de un sobre espesor de corrosión en la tubería utilizada, sin embargo, esta salvaguarda no detiene los procesos corrosivos, es decir, estos ductos están sujetos a un modo de falla que depende del tiempo de exposición.

KPI 12. Máxima velocidad de corrosión (superficie interna).

La velocidad de corrosión no ha sido determinada específicamente en estos ductos como un parámetro máximo permitido, sin embargo se realiza el monitoreo mediante cupones en cada uno de los pozos productores de las plataformas aportantes y existe una referencia del fluido similar en otras tuberías de nuestra operación.

Por otra parte no existen cupones de corrosión u otros dispositivos que indiquen la velocidad de corrosión en puntos intermedios de la trayectoria de los ductos, ni se toman en cuenta otros factores como la decantación y acumulación de sólidos o agua dentro de los ductos.

En el caso del Ducto ECB-EPF las condiciones son variables debido al aporte de la producción del Bloque 43, lo que implica el análisis de una cantidad creciente de pozos aportantes.

KPI 14. Accesorios (superficie interna).

Es desconocido si se tomaron en cuenta factores de corrosión en la selección de los accesorios de los ductos en estudio.

KPI 39. Velocidad de corrosión interna después de las actividades de mantenimiento.

Aunque no son práctica común existen registros que han sido analizados para conocer la variación de la velocidad de corrosión después de las actividades de mantenimiento. No se realiza rutinariamente. En marzo de 2016 cuando se realizaron las actividades para extraer un PIG de limpieza atascado en el ducto 18"-APK-ECB se pudo observar aproximadamente 0,5 m³ de arena delante de la herramienta de limpieza.

KPI 40. Reducción de la velocidad de corrosión interna después de las actividades de mantenimiento.

No existen registros preciosos comparativos entre las velocidades de corrosión antes y después de las tareas de limpieza interna, pero existen medidas indirectas como el contenido de H₂S, partículas de hierro y Manganese. No existen un plan de limpieza que se cumpla con precisión o bajo la guía de resultados anteriores o posteriores.

TABLA 3. Modelo de Corrosión Interna. KPI 6-7, 9-12, 14, 39 y 40.

	KPI	APK- ECB	ECB - EPF	Remarks:
8	6 IC	4	4	0-1: Material selection based on corrosion 2-3: Material adequate with corrosion control 4-5: Unknown suitability of material
9	7 IC	3	3	0-1: Proper corrosion allowance 2-3: Corrosion allowance with corrosion control 4-5: Improper corrosion allowance
14	9 IC	3	4	0-1: Plan to control of upstream segments implemented 2-3: Plan to control upset upstream not implemented 4-5: No plan to control upset upstream
15	10 IC	3	4	0-1: Plan to control of downstream segments implemented 2-3: Plan to control upset downstream not implemented 4-5: No plan to control upset downstream
16	11 IC	3	3	0-1: Proper knowledge of corrosion mechanisms 2-3: Some knowledge of corrosion mechanisms 4-5: Improper knowledge of corrosion mechanisms
17	12	3	4	0-1: Corrosion rate based on model 2-3: No basis for selection of corrosion rate 4-5: Unknown corrosion rate
20	14 IC	3	3	0-1: Corrosion professional involved in all stages 2-3: Corrosion professional involved in some stages 4-5: Corrosion professional not involved
46	39	4	4	0-1: Corrosion rate reduced after maintenance activities 2-3: Corrosion rate maintained after maintenance activities 4-5: Corrosion rate increased after maintenance activities
47	40	4	4	0-1: Corrosion rate within 10% of expected 2-3: Corrosion rate less than 10% of expected 4-5: Corrosion rate is more than 10% of expected

3. Mitigación de la Corrosión interna. KPI 16-19.

KPI 16. Mitigación para el control de la corrosión interna.

El diseño de estos ductos no tomó en cuenta el uso de recubrimiento interno, como salvaguarda se utilizó un sobre espesor de seguridad que en caso de corrosión localizada no sería un método de mitigación altamente efectivo.

El análisis del fluido en el proyecto ICDA bajo NACE SP 0116 del Bloque 12 entregó datos de la corrosividad del fluido de la posibilidad de falla por fisuramiento por H₂S (SSC Sulphide Stress Cracking), lo que no fue tomado en cuenta en el diseño original de los ductos puesto que no se trató térmicamente las soldaduras para aliviar los esfuerzos.

Otro de los factores importantes en este análisis es que el no usar recubrimiento internos requiere de la limpieza interna mediante herramientas de limpieza (Pipe Internal Gauge o PIG por sus siglas en inglés), lo que no se cumple; y la limpieza interna debe ser usada en conjunto con el tratamiento químico para reducir el riesgo de afectación por gases que puedan facilitar la fisuración.

KPI 17. Estrategias de mitigación para el control de la corrosión interna.

Los ductos del Bloque 31 inicialmente tuvieron facilidades adecuadas y requeridas para la limpieza interna con herramientas, sin embargo, los requerimientos operativos provocaron que la plataforma de producción Nenke se conecte directamente el ducto Apaika-ECB mediante dos hot-taps, que fueron determinantes en el cambio de las condiciones para que los ductos sean “no piggables” actualmente.

En este orden, otro aspecto importante es la falta de control de los parámetros de corrosión interna antes y después de las corridas de herramientas de limpieza interna y la falta de aplicación bajo un programa que asocie el tratamiento químico.

KPI 18. Velocidad de corrosión interna mitigada.

Unicamente se realizan mediciones indirectas no asociadas a las corridas de limpieza.

KPI 19. Eficacia de la mitigación de corrosión interna.

Las mediciones que se realizan son indirectas, se monitorean cupones de corrosión para determinar la efectividad del tratamiento químico pero no directamente para determinar la velocidad de corrosión, no se programan corridas de limpieza interna en base a los datos de monitoreo de corrosión interna ni se ha comprobado que las herramientas utilizadas sean las más adecuadas.

Se han realizado mediciones de espesores por ultrasonido en varios puntos de los dos ductos incluyendo cordones de soldadura, sin embargo, no se han podido localizar pérdidas de espesores por corrosión interna en los mismos, dejando una alta incertidumbre debido a que las locaciones no fueron seleccionadas bajo una metodología definida por lo que la muestra no es representativa del estado de la integridad de los ductos.

TABLA 4. Mitigación de la Corrosión interna. KPI 16-19.

	KPI	APK-ECB	ECB - EPF	Remarks:
22	16	4	4	0-1: No mitigation required based on design 2-3: Mitigation required based on design 4-5: Mitigation required based on current operating conditions
23	17	4	4	0-1: No mitigation required or properly implemented 2-3: Mitigation implemented for current operating conditions 4-5: Mitigation improper for current operating conditions
24	18	4	4	0-1: Mitigated corrosion rate based on baseline 2-3: No basis for selection of mitigated corrosion rate 4-5: Unknown mitigated corrosion rate
25	19	4	4	0-1: 99% Availability of mitigation practices 2-3: 95-99% Availability of mitigation practices 4-5: Less than 95% Availability of mitigation practices

4. Monitoreo de Corrosión interna. KPI 24-27, 32 y 33.

KPI 24. Técnicas de monitoreo de corrosión interna.

Se utilizan varias técnicas de monitoreo de corrosión interna, pero no son complementarias entre sí ni se ha podido validar su efectividad. La medición de espesores por ultrasonido ha mostrado información que no se ha podido validar conforme a los datos indirectos de monitoreo de corrosión interna como el contenido de H₂S y PTB (Pounds per Thousand of Barrels) de sólidos.

KPI 25. Cantidad de probetas de corrosión interna.

Existen probetas (cupones de corrosión) en varios puntos de la tuberías pero no existen probetas o sistemas de monitoreo en puntos críticos. El ducto ECB-EPF tiene el aporte de la producción del Bloque

KPI 26. Monitoreo de velocidades de corrosión interna.

Fecha	Locación/Pozo	mpy	Corrosión
May 19	APK-002 M1	0.38	Baja
May 19	APK-003 M1	0.45	Baja
May 19	APK-005 M1	0.35	Baja
May 19	APK-006 M1	0.50	Baja
May 19	APK-008 M1	0.37	Baja
May 19	APK-009 M1	0.74	Baja
May 19	APK-010 M1	0.42	Baja
May 19	APK-011 M1	0.59	Baja
May 19	APK-013 M1	0.68	Baja
May 19	APK-014 M1	0.40	Baja
May 19	NKB-004 M1	0.36	Baja
May 19	NKB-005 M1	0.36	Baja
May 19	NKB-007 M1	0.91	Baja
Jan 19	Salida Apaika	0.03	Baja
Mar 18	Salida ECB	0.08	Baja
Mar 18	Llegada B43	0.16	Baja

Tabla de datos 1. Muestra de monitoreo de cupones de corrosión interna del

Se utilizan cupones de monitoreo de corrosión en los inicios y llegadas de las tuberías y en cada pozo aportante de las plataformas Apaika y Nenke.

Se realizan mediciones de H_2S , CO_2 , PTB de sólidos y Ca^{++} en las salidas y llegadas de los ductos, se realiza tratamiento químicos continuo en respuesta al monitoreo pero no se realiza limpieza interna, el tratamiento químico no es efectivo sin limpieza interna. Ver las Tablas de

Fecha	SALIDA APKA	SALIDA NNKB	LLEGADA B31 A ECB	LLEGADA B-43 A ECB	SALIDA ECB A EPF
	$H_2S(gas)$	$H_2S(gas)$	$H_2S(gas)$	$H_2S(gas)$	$H_2S(gas)$
23-Jun-19	200	60	360	210	300

Fecha	SALIDA APKA	SALIDA NNKB	LLEGADA B31 A ECB	LLEGADA B-43 A ECB	SALIDA ECB A EPF
	$H_2S(gas)$	$H_2S(gas)$	$H_2S(gas)$	$H_2S(gas)$	$H_2S(gas)$
29-Jun-19	200	60	310	800	650

Fecha	SALIDA APKA	SALIDA NNKB	LLEGADA B31 A ECB	LLEGADA B-43 A ECB
	% $CO_2(gas)$	% $CO_2(gas)$	% $CO_2(gas)$	% $CO_2(gas)$
23-Jun-19	12	20	10	10

Fecha	SALIDA APKA	SALIDA NNKB	LLEGADA B-43 A ECB
	$CO_2(agua)mg/l$	$CO_2(agua)mg/l$	$CO_2(agua)mg/l$
23-Jun-19	260	340	320

Fecha	SALIDA APKA	SALIDA NNKB	LLEGADA B-43 A ECB	SALIDA ECB A EPF
	Sólidos (PTB)	Sólidos (PTB)	Sólidos (PTB)	Sólidos (PTB)
29-Jun-19	3.3	4.2	3.6	2.8

Fecha	SALIDA APKA	SALIDA NNKB	LLEGADA B-43 A ECB	SALIDA ECB A EPF
	Fe(mg/L)	Fe(mg/L)	Fe(mg/L)	Fe(mg/L)
23-Jun-19	2.13	2.09	2.43	3.62

Fecha	SALIDA APKA	SALIDA NNKB	LLEGADA B-43 A ECB	SALIDA ECB A EPF
	Mn(mg/L)	Mn(mg/L)	Mn(mg/L)	Mn(mg/L)
23-Jun-19	0.428	0.03	0.180	0.145

Tabla de datos 2. Datos de monitoreo de corrosión interna del Bloque 31.

datos 1 y 2.

KPI 27. Precisión del monitoreo de corrosión interna.

No existe un control de la precisión de las mediciones de velocidad de la corrosión interna.

KPI 32. Frecuencia de inspección de corrosión interna.

No existe una frecuencia determinada de inspección mediante Examinación Directa debido a que no se ha podido aplicar técnica detección como ILI o ICDA para determinar la ubicación de los puntos más susceptibles de corrosión interna, se ha realizado Examinación Directa en función de la posición y altimetría de los ductos sin lograr localizarse pérdidas de espesor por corrosión interna en ninguna de las dos tuberías, ver Figuras 4 y 5. La inspección si bien se ha realizado inclusive en cordones de soldadura, esta no ha sido realizada con equipo arreglo de fases ni haz angular, únicamente se ha utilizado haz recto lo que limita los resultados

de la inspección debido a que no se tiene información de la zonas más cerca ni del cordón de

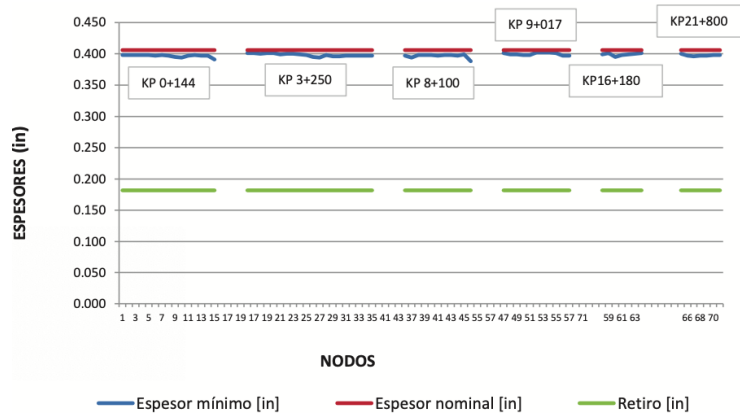


Figura 5. Muestra los resultados de las mediciones de espesor mediante ultrasonido en los puntos de excavación y Examinación Directa, se observa que no se han encontrado pérdidas de espesor por encima de la tolerancia de fabricación, la incertidumbre de la inspección se podría disminuir únicamente si se puede dar seguimiento periódico.

soldadura.

En marzo de 2016 una herramienta de limpieza interna se atascó dentro del ducto Apaika-Nenke-ECB (Fotografías 1 y 2), en la extracción de la herramienta atacada se cortó la tubería y se extrajo una muestra con un cordón de soldadura que fue analizado mediante inspección visual sin detectarse pérdida de espesor, sin embargo, es importante mencionar que el atascamiento se produjo por una gran cantidad de sólidos dentro del ducto.

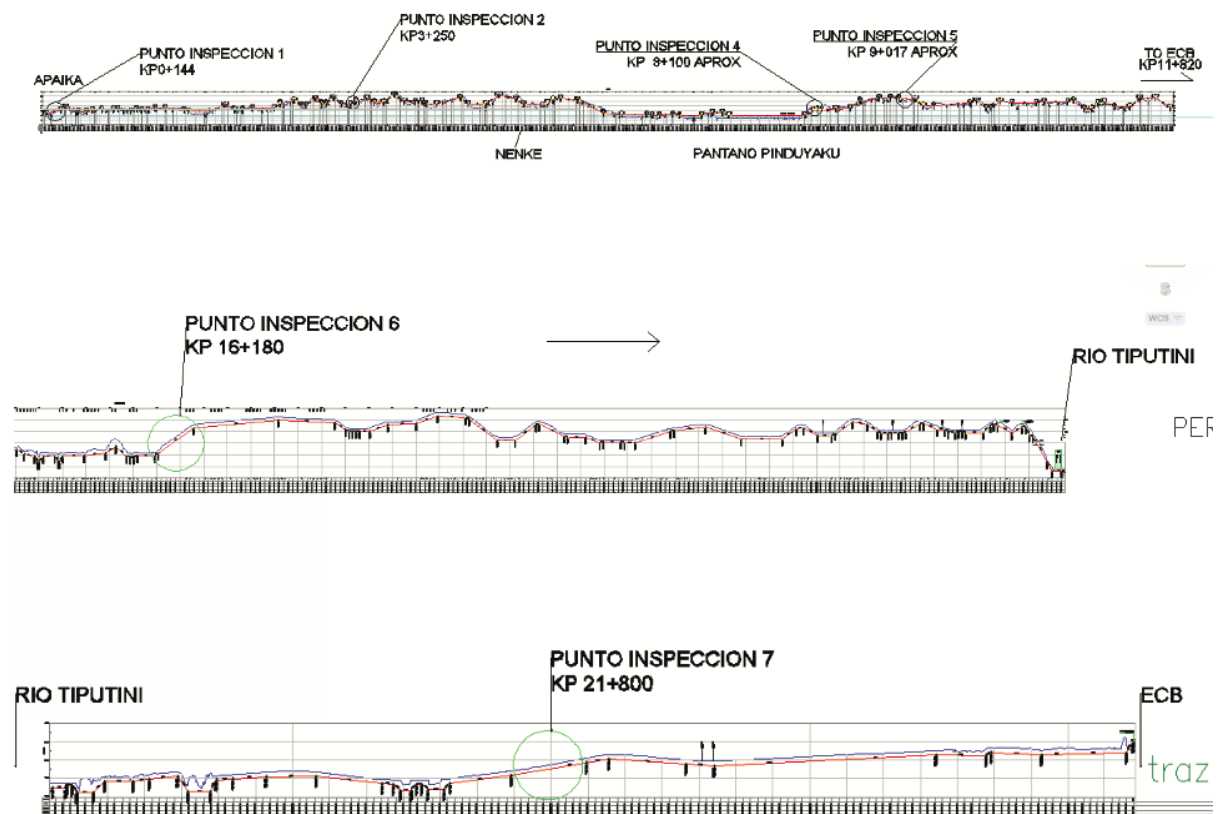


Figura 6. Puntos de Examinación Directa mediante ultrasonido en el ducto Apaika-ECB, en estos puntos inspeccionados no se detectaron pérdidas de espesor por corrosión interna. Los puntos de inspección ha sido seleccionados en función de la topografía por lo que el nivel de incertidumbre en la inspección es alta.



*Fotografías 1 y 2.
Cantidad de
sólidos
encontrados
dentro del ducto
Apaika-ECB y
extracción de
PIG de limpieza
interna atascado*

KPI 33. Comparación entre inspección y monitoreo de corrosión interna.

Se realiza la comparación entre las velocidades de corrosión reportadas por los cupones y los valores obtenidos de Examinación Directa, así como la relación con los datos indirectos de corrosión interna como variaciones entrada-salida de H_2S , CO_2 , PTB de arena, sin embargo, estos datos no son concluyentes debido a que los datos de inspección indican que no existen pérdidas de espesor pero los datos indirectos indican que existe una alta probabilidad de



*Fotografía 3. Area de inspección
periódica en la unión de la
plataforma Nenke, no se han
detectado pérdidas de espesor
por corrosión interna en esta
sección, la inspección está
limitada al uso de ultrasonido
con haz recto.*

corrosión localizada.

TABLA 5. Monitoreo de Corrosión interna. KPI 24-27, 32 y 33.

	KPI	APK-ECB	ECB - EPF	Remarks:
30	24	3	3	0-1: Two or more complimentary monitoring techniques 2-3: One monitoring technique proven to be effective 4-5: No monitoring or ineffective (not proven) monitoring
31	25	3	4	0-1: Probes in all critical locations an non-critical 2-3: Probes in most of the critical locations 4-5: Probes in some of the critical locations
32	26	4	4	0-1: Corrosion rates from two monitoring within 10% 2-3: Corrosion rates from two monitoring within 11-25% 4-5: Corrosion rates from two monitoring within > 25%
33	27	4	4	0-1: Mitigated corrosion rates from two monitoring within 10% 2-3: Mitigated corrosion rates from two monitoring within 11-25% 4-5: Mitigated corrosion rates from two monitoring within > 25%
40	33	4	4	0-1: Corrosion rate from monitoring and inspection within 10% 2-3: Corrosion rate from monitoring and inspection within 11-25% 4-5: Corrosion rate from monitoring and inspection within >25%

5. Mitigación de Corrosión Externa. KPI 20-23.

KPI 20. Selección de las técnicas de mitigación de la corrosión externa.

Las técnicas de mitigación de corrosión externa aplicadas han sido mayormente adecuadas, los dos ductos de recolección del Bloque 31 cuentan con recubrimiento compatible con protección catódica en el cuerpo de la tubería y también en los cordones de soldadura, el estado de este recubrimiento ha sido controlado mediante inspecciones indirectas desde la construcción de los ductos.

De igual forma los ductos han contado con protección catódica desde el inicio de su operación, ocasionalmente se han detectado potenciales de protección catódica por debajo de los criterios que han sido corregidos mediante monitoreos trimestrales. En cuanto a corrosión externa una consideración adicional que se debe toar en cuenta es instalación de recubrimiento de concreto en determinados tramos de cruces de vía y zonas pantanosas. Ver información en las Figuras 7 y 8.

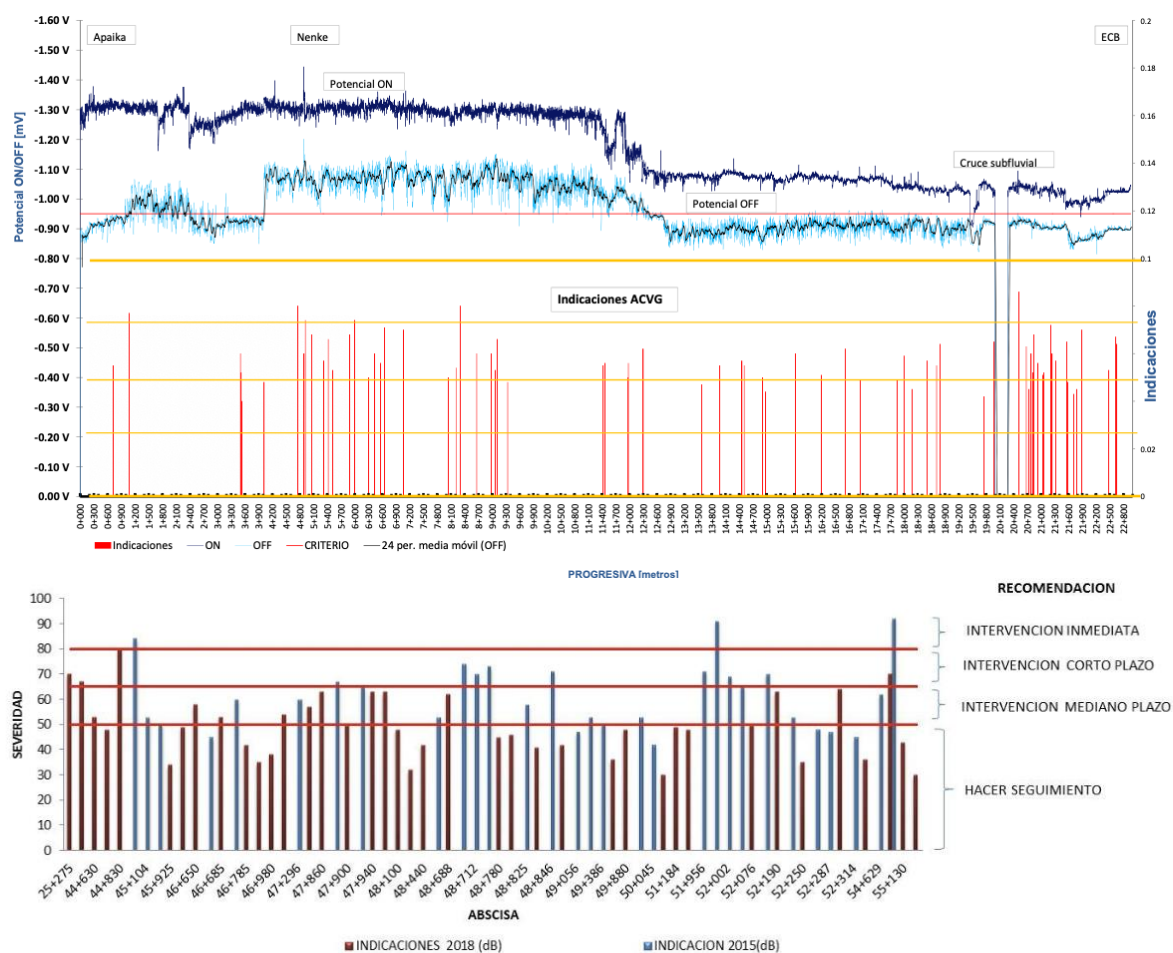
KPI 21. Implementación de mitigación para el control de la corrosión externa.

Se han realizado tareas de Examinación Indirecta mediante CIS y ACVG que han sido adecuadas pero no completas, se debería completar un proceso de aplicación de Evaluación Directa de Corrosión Externa según NACE SP0502 con la información existente.

KPI 22. Corrosión externa mitigada esperada.

En condiciones normales de operación con sistemas de protección catódica calibrados y con recubrimientos compatibles la velocidad de corrosión externa esperada debe ser menor a

0,001 pulgadas por año (1 mpy o 0,0254 mm por año)³, sin embargo no existe un criterio



Figuras 7 y 8. Muestran los resultados parciales de las inspecciones indirectas de corrosión externa que se han realizado los ductos del Bloque 31 sobre estos resultados se ha realizado seguimiento y Examinación Directa.

establecido por Petroamazonas EP como una velocidad máxima esperada.

KPI 23. Eficacia de la mitigación de la corrosión externa.

El sistema de protección catódica de estos ductos está vinculado a tres rectificadores de tecnología switching, con capacidad de monitoreo remoto. El sistema ha presentado inconvenientes sobre todo por fallas de alimentación de energía a los rectificadores pero se ha restablecido en poco tiempo y actualmente se han presentado fallas propias del equipo que se solucionan de igual forma a corto tiempo. Los rectificadores han sido controlados entre septiembre 2013 y marzo de 2018 mediante

³ Valor referencial tomado de NACE SP0169-2013 "Control de la corrosión externa en sistemas de tuberías metálicas enterradas o sumergidas".

monitoreos trimestrales esta frecuencia fue reducida a dos meses, lo que reducirá el tiempo que los ductos puedan estar desprotegidos por falla de los rectificadores.

Otra afectación a los sistemas de protección catódica se ha presentado debido a una falla en el diseño de los aislamiento eléctricos en las válvulas intermedias de los ductos, el diseño no contempló la necesidad de aislar los sistemas hidráulicos y eléctricos de las válvulas por lo que la corriente de protección catódica se fuga hacia los sistemas de

puesta a tierra dejando desprotegidas las tuberías y generando un aumento del consumo de corriente. El inconveniente ha sido corregido pero no es el diseño preferente para este tipo de instalación lo que hace propenso al sistema de protección catódica a fallas y a provocar periodos en los que los ductos se encuentren desprotegidos hasta detectar el daño en los aislamientos colocados en conexiones eléctricas y de control de las válvulas intermedias.



Fotografías 4 y 5. Examinación Directa de las indicaciones del estado del recubrimiento externo, se observan las reparaciones realizadas y se confirmó que no existió pérdida de espesor de la

TABLA 6. Mitigación de Corrosión Externa. KPI 20-23.

	KPI	APK-ECB	ECB - EPF	Remarks:
26	20	1	1	0-1: Proper mitigation strategies from design stage 2-3: Proper mitigation strategies based on current knowledge 4-5: Mitigation strategies based on outdated knowledge
27	21	2	2	0-1: Corrosion control and baseline from first year 2-3: Corrosion control from first year but baseline not 4-5: Corrosion control implemented but unknown baseline
28	22	4	4	0-1: Mitigated corrosion rate based on baseline 2-3: No basis for selection of mitigated corrosion rate 4-5: Unknown mitigated corrosion rate
29	23	2	2	0-1: 99% Availability of mitigation practices 2-3: 95-99% Availability of mitigation practices 4-5: Less than 95% Availability of mitigation practices

6. Modelo de la Corrosión Externa. KPI 6-7, 9-11, 13-14, 41 y 42.

KPI 6. Material de construcción.

El material es adecuado corresponde a tuberías de acero al carbono API 5L grado X65, los dos ductos cuentan con recubrimiento externo educado y fue comprobado en su aplicación mediante técnicas directas (holiday detector) y mediante técnicas indirectas después de tapado (ACVG, Alternating Current Voltage Gradient). El recubrimiento en juntas de soldadura es epóxico de características similares al de los tubos.

KPI 7. Corrosión permitida.

Las tuberías de estos ductos tienen un sobre espesor de corrosión debido a que no cuentan con recubrimiento interno, el sobre espesor también permite una mayor seguridad en cuanto a corrosión externa si el recubrimiento fallara.

KPI 9 y KPI 10. Perturbación aguas arriba y aguas abajo.

La única perturbación que se podría presentar a la corrosión externa es el incremento de la temperatura aguas arriba debido a variaciones de producción.

KPI 11. Mecanismos de corrosión.

El principal mecanismo de corrosión es la corrosión localizada que puede producirse en la parte externa de la tubería cuando existe una falla de recubrimiento y la protección catódica no ha sido capaz de polarizar el área.

Se debe tomar en cuenta que podrían producirse condiciones de desventaja frente a la corrosión externa localizada en los puntos cercanos a las válvulas con aislamiento eléctrico inadecuado y en los tramos de tubería revestida con concreto.

KPI 13. Velocidad máxima de corrosión (superficie externa).

De acuerdo con el estándar de NACE ECDA SP0502-2010 la velocidad de corrosión máxima del acero en el suelo esperada es de 16 mpy (0.4 mm por año), en la operación de Petroamazonas esta condición no ha sido confirmada y no existe un estándar que indique el valor permitido.

KPI 14. Accesorios (superficie externa).

Los accesorios que se encuentran expuestos a corrosión externa se encuentran protegidos al mismo nivel que el resto de los ductos.

KPI 41. Velocidad de corrosión externa después de las actividades de mantenimiento.

Se realizan actividades de evaluación mediante NACE ECDA SP0502 para controlar los procesos de corrosión externa. Como se observa en las Fotografías 4 y 5. La velocidad de corrosión externa en los puntos inspeccionados es cero, sería recomendable la instalación de cupones de corrosión que permitan el monitoreo periódico considerando que es una mejor práctica ajustar el criterio de protección a cada tipo de suelo y que los criterios laicados fueron desarrollados para suelos específicos de otras ubicaciones.

KPI 42. Reducción de la velocidad de corrosión después de las actividades de mantenimiento.

No se registra la reducción de la velocidad de corrosión.

TABLA 7. Modelo de la Corrosión Externa. KPI 6-7, 9-11, 13-14, 41 y 42.

	KPI	APK-ECB	ECB - EPF	Remarks:
6	6 EC	2	2	0-1: Material selection based on corrosion 2-3: Material adequate with corrosion control 4-5: Unknown suitability of material
7	7 EC	3	3	0-1: Proper corrosion allowance 2-3: Corrosion allowance with corrosion control 4-5: Improper corrosion allowance
11	9 EC	3	3	0-1: Plan to control of upstream segments implemented 2-3: Plan to control upset upstream not implemented 4-5: No plan to control upset upstream
12	10 EC	1	1	0-1: Plan to control of downstream segments implemented 2-3: Plan to control upset downstream not implemented 4-5: No plan to control upset downstream
13	11 EC	3	3	0-1: Proper knowledge of corrosion mechanisms 2-3: Some knowledge of corrosion mechanisms 4-5: Improper knowledge of corrosion mechanisms
18	13	4	4	0-1: Corrosion rate based on model 2-3: No basis for selection of corrosion rate 4-5: Unknown corrosion rate
19	14 EC	2	2	0-1: Corrosion professional involved in all stages 2-3: Corrosion professional involved in some stages 4-5: Corrosion professional not involved
48	41	3	3	0-1: Corrosion rate reduced after maintenance activities 2-3: Corrosion rate maintained after maintenance activities 4-5: Corrosion rate increased after maintenance activities
49	42	3	3	0-1: Corrosion rate within 10% of expected 2-3: Corrosion rate less than 10% of expected 4-5: Corrosion rate is more than 10% of expected

7. Monitoreo de Corrosión Externa. KPI 28-32 y 34.

KPI 28. Técnicas de monitoreo de corrosión externa.

El monitoreo de corrosión externa se concentra en el seguimiento del cumplimiento de los criterios de protección catódica, se ha usado técnicas de Inspección Indirecta según NACE ECDA SP0502 para verificar la existencia de daños de recubrimiento y la correcta polarización de la protección catódica.

KPI 29. Cantidad de puntos de monitoreo de corrosión externa por unidad de área.

En los ductos de Recolección del Bloque 31 existen puntos de control de protección catódica cada kilómetro y en cruces especiales.

KPI 30. Velocidad de corrosión externa de monitoreo.

La velocidad de corrosión externa no es monitoreada.

KPI 31. Precisión del monitoreo de corrosión externa.

No se realiza.

KPI 32. Frecuencia de inspección de corrosión externa.

La corrosión externa no ha sido inspeccionada de forma rutinaria existen estudios iniciales NACE ECDA SP0502 y se ha realizado controles en tramos específicos pero no existe una frecuencia determina en base a resultados.

KPI 34. Comparación entre la inspección y monitoreo de corrosión externa.

No se han realizado la comparación entre la inspección y monitoreo de corrosión externa, únicamente se dan seguimiento a las indicaciones resultantes de la evaluación directa NACE ECDA.

TABLA 8. Monitoreo de Corrosión Externa. KPI 28-32 y 34.

	KPI	APK-ECB	ECB - EPF	Remarks:
34	28	3	3	0-1: Two or more complimentary monitoring techniques 2-3: One monitoring technique proven to be effective 4-5: No monitoring or ineffective (not proven) monitoring
35	29	3	3	0-1: Probes in all critical locations an non-critical 2-3: Probes in most of the critical locations 4-5: Probes in some of the critical locations
36	30	4	4	0-1: Corrosion rates from two monitoring within 10% 2-3: Corrosion rates from two monitoring within 11-25% 4-5: Corrosion rates from two monitoring within > 25%
37	31	4	4	0-1: Mitigated corrosion rates from two monitoring within 10% 2-3: Mitigated corrosion rates from two monitoring within 11-25% 4-5: Mitigated corrosion rates from two monitoring within > 25%
38	32 EC	2	2	0-1: Frequency of inspection based on RBI 2-3: Frequency of inspection based on engineering processes 4-5: More than 10 years without inspection
41	34	4	4	0-1: Corrosion rate from monitoring and inspection within 10% 2-3: Corrosion rate from monitoring and inspection within 11-25% 4-5: Corrosion rate from monitoring and inspection within >25%

8. Mediciones. KPI 35 y 36.

KPI 35. Mediciones.

No existen mediciones de velocidad de corrosión realizadas en estos ductos.

KPI 36. Validación de los datos de mediciones.

No existen mediciones realizadas para analizar.

TABLA 9. Mediciones. KPI 35 y 36.

	KPI	APK-ECB	ECB - EPF	Remarks:
42	35	4	4	0-1: All corrosion related data is available and usable 2-3: All corrosion related data is available but not usable 4-5: Not all the corrosion related data is available
43	36	4	4	0-1: Data validated according to documented procedure 2-3: Data not properly validated but used for corrosion rate 4-5: Data not properly validated and used to guide corrosion rate

9. Mantenimiento. KPI 8, 15, 37-38, 43-46.

KPI 8. Condiciones normales de operación.

En el ducto Apaika-ECB las condiciones normales de operación son estables, en el ducto ECB-EPF las condiciones de operación son variables debido al incremento de la producción del Bloque 43 que es transportado mediante este ducto hacia la Planta de Proceso EPF.

KPI 15. Comisionamiento.

Los ductos del Bloque 31 tuvieron, según sus documentación de construcción, una adecuada prueba hidrostática pero no se realizaron inspecciones mediante herramienta en línea (ILI), en el caso de corrosión externa si se realizaron estudios de estado del recubrimiento y del sistema de protección catódica (CIS) en etapa temprana de su instalación.

KPI 37. Procedimiento para el cronograma de mantenimiento.

Unicamente se realizan inspecciones en base al tiempo de la ultima inspección y en la severidad o densidad de indicaciones de fallas de recubrimiento; y en casos especiales de conexiones como el hoy tap de Nenke. No se han determinado zonas de alto riesgo para este ducto aunque se inspecciona en base a la mayor probabilidad de falla de una indicación.

KPI 38. Actividades de mantenimiento.

Existen actividades de mantenimiento que están planificadas pero no han sido desarrolladas por restricciones operativas o falta de presupuesto, como: 1. Limpieza interna, 2. ILI, 3. NACE ICDA SP0116, 4. NACE ECDA SP0502.

KPI 43. Capacidad de la fuerza laboral.

Existe fuerza laboral suficiente pero no recursos técnico para cubrir el control y la mitigación de las corrosión interna y externa. No existe personal ubicado directamente en el campo donde se ubica parte de estos ductos.

KPI 44. Experiencia y conocimiento de la fuerza laboral.

Parte de la fuerza laboral tiene experiencia reciente en el área, se requiere capacitación para implementación de un plan estructurado de control de la corrosión.

KPI 45. Información para la base de datos.

No se tiene un plan estructurado de control de la corrosión que permita el registro en una base de datos. Para el control de los sistemas de protección catódica existió hasta 2016 una software pero la licencia actualmente no está disponible, sin embargo, existe una base de datos.

KPI 46. Información de la base de datos.

No existe información de corrosión interna, en el caso de corrosión interna la información no está estructurada pero permite su análisis.

TABLA 10. Mantenimiento. KPI 8, 15, 37-38, 43-46.

	KPI	APK-ECB	ECB - EPF	Remarks:
10	8	3	3	0-1: Operating conditions within range 2-3: 10% Outside proper operating conditions 4-5: Frequent inadequate operating conditions
21	15	3	3	0-1: Proper commissioning and baseline established 2-3: Proper commissioning but non baseline established 4-5: Improper commissioning
44	37	4	4	0-1: Preventive maintenance based on risk before ALARP 2-3: Preventive maintenance based on higher risk levels 4-5: Corrective maintenance
45	38	3	3	0-1: All maintenance activities are adequately planned 2-3: Some delays for the implementation of maintenance activities 4-5: Frequent changes to maintenance activities
50	43	4	4	0-1: Corrosion personnel enough and with proper training 2-3: Corrosion personnel is enough and some training 4-5: Insufficient corrosion personnel and training
51	44	2	2	0-1: All personnel have more than five years of experience 2-3: Only key personnel have more than 5 years of experience 4-5: Unknown experience of corrosion personnel
52	45	4	4	0-1: Automatic collection and storage of corrosion data 2-3: Data measured and manually stored 4-5: Not adequate management of data

	KPI	APK-ECB	ECB - EPF	Remarks:
53	46	4	4	0-1: Data verified, stored and proactively used 2-3: Data verified and stored but not used proactively 4-5: Not adequate management of data

10. Gerenciamiento. KPI 47-50.

KPI 47. Estrategia de comunicación interna.

Existe un canal de comunicación pero no está claramente definido, existen unidades administrativas paralelas. Los controles mediante indicadores de cumplimiento de inspección de ductos no están definidos bajo criterios de reducción o aumento del riesgo.

KPI 48. Estrategia de comunicación externa.

Existe un área de comunicación externa pero no es usual que se relacione con el área de corrosión.

KPI 49. Revisión del gerenciamiento de la información.

No está vinculada a la información de corrosión en la operación.

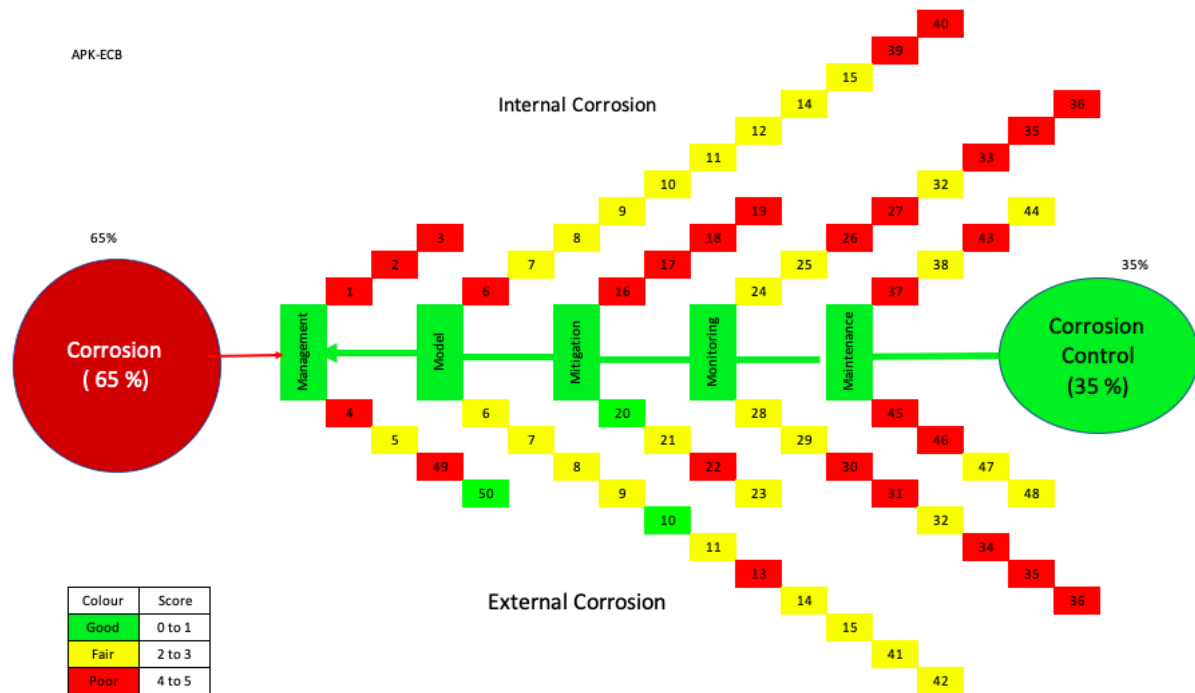
KPI 50. Frecuencia de falla.

En estas tuberías no se han registrado fallas por corrosión.

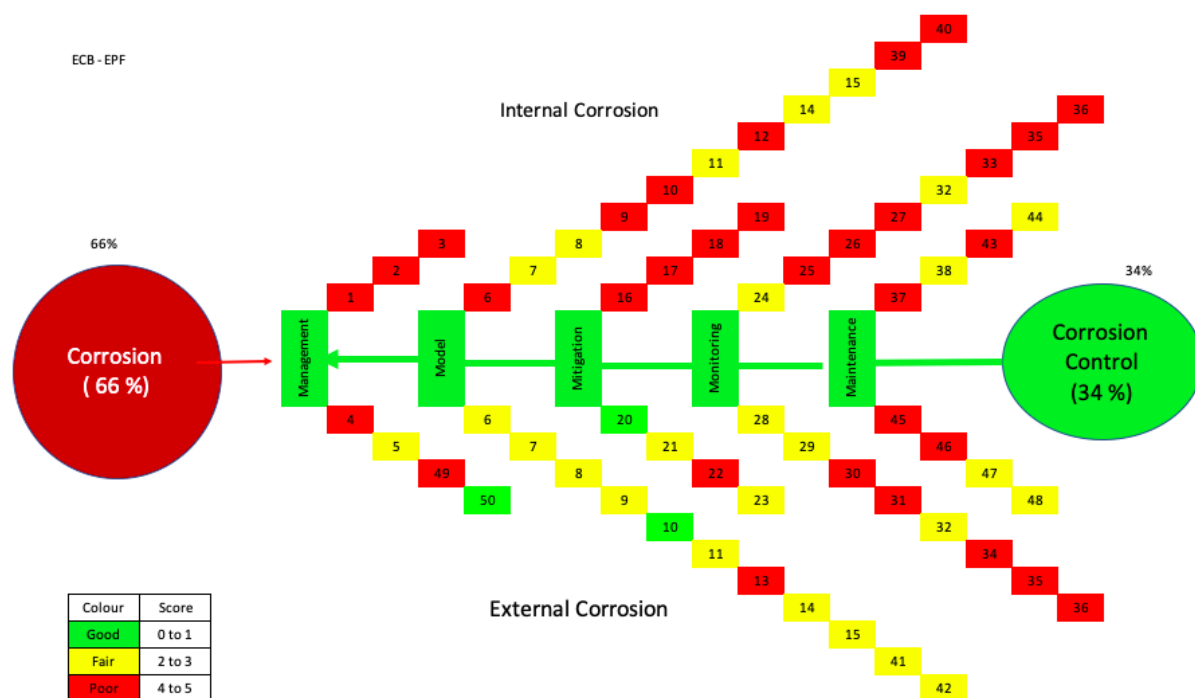
	KPI	APK-ECB	ECB - EPF	Remarks:
54	47	2	2	0-1: Proper internal communication 2-3: Some internal communication 4-5: Improper internal communications
55	48	3	3	0-1: Proper external communication 2-3: Some external communication 4-5: Improper external communications
56	49	4	4	0-1: Annual revision of KPIs 2-3: Revision of KPIs every 2-5 years 4-5: Not established schedule for KPIs revision
57	50	1	1	0-1: Zero failures between KPIs reviews 2-3: Less than 5 failures between KPIs reviews 4-5: More than 5 failres between KPIs reviews

TABLA 11. Gerenciamiento. KPI 47-50. 12.

RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE KPI A LOS DUCTOS DEL BLOQUE 31.



KPIs del ducto 18"-APAIKA-ECB.



KPIs del ducto 24"-ECB-EPF

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ~ Basado en los puntajes obtenidos se observa que existen varias oportunidades de mejora en el control de corrosión interna y externa de los ductos de recolección del Bloque 31.
- ~ La corrosión externa ha sido controlada en los dos ductos, se han realizado tareas de examinación indirecta y directa (parcialmente) y los sistemas de protección catódica han funcionado adecuadamente. Se deben programar tareas adicionales de examinación directa y culminar el proceso ECDA NACE SP0502.
- ~ La corrosión interna tiene una mayor oportunidad de mejora, por varias razones, la más importante es reactivar las corridas de limpieza interna de los ductos. Las mediciones indirectas de los parámetros de corrosión muestran la necesidad de limpieza interna y de otras técnicas de inspección o evaluación de integridad como la corrida con smart pigs o la aplicación de la Metodología de Evaluación Directa de Corrosión Interna MP-ICDA según NACE SP0116. Paralelamente es necesario realizar la valoración de la efectividad del tratamiento químico.
- ~ Esta metodología de evaluación muestra con precisión las áreas dónde se deben mejorar el control de corrosión interna y externa, evidenciando los puntos altos y bajos de la gestión que se realiza.

Referencias.

- [1] Petroamazonas EP, biblioteca digital de proyectos del Bloque 31.
- [2] C. M. González, S. Arumugam, and P. Teevens, "MP-ICDA Analysis on Block 12 and Block 15 Gathering Pipelines on Petroamazonas EP in Ecuador," in *Proceedings of the CORROSION 2016*. NACE International, 2016.
- [3] NACE/ANSI, "ANSI/NACESP0502-2010. Standard Practice. Pipeline External Corrosion Direct Assessment Methodology," Houston, TX, 2010.
- [4] S. Pavavinasam, *Corrosion control in the oil and gas industry*. Elsevier, 2013.
- [5] S. Pavavinasam, *Aim Corrosion Management: Perfect Key Performance Indicators*, 2015.
- [6] <http://areasprotegidas.ambiente.gob.ec/es/areas-protegidas/parque-nacional-yasun%C3%AD>