



Paper Number: 2025-001

Indicadores Clave de Desempeño (KPI) para la Evaluación del Estado de Control de la Corrosión en la tubería de Transferencia Yuca - Culebra, Bloque 61.

Alex Danilo Herrera Salazar.
Ep. Petroecuador, Ecuador.

1. Introducción.

El Campo Auca es un área petrolera de la Provincia de Orellana, Ecuador, que se encuentra en el Bloque 61 de la Amazonia Ecuatoriana, es uno de los Campos Petroleros más productivos de EP Petroecuador. El Activo Auca está integrado por los Campos Cononaco, Rumiyacu, Tortuga, Chonta, Auca Sur, Auca Central, Culebra, Yulebra, Anaconda, Pitalala, según el reporte diario de producción del 1 de enero del 2025, el campo Auca produjo 73,001,81 BPPD (Barriles de petróleo por día).



Figura 1. Trayectoria de la tubería de transferencia Yuca Culebra (16 Km de longitud).

La tubería de transferencia de crudo Yuca - Culebra perteneciente al Campo Auca, inicia su trazado en las bombas de transferencia de Estación Yuca y empata a la tubería de transferencia Auca - Sacha (dentro de la Estación Culebra), su trayectoria puede observarse en la Figura 1. Este ducto está construido con tubería API 5L Grado B de 8 pulgadas de diámetro y posee una longitud de 16 kilómetros.

La tubería de transferencia Yuca – Culebra en su trayecto atraviesa ríos, pantanos, zonas boscosas, comunidades indígenas y sectores poblados por colonos y en la actualidad el ducto transporta aproximadamente 15,000 barriles de petróleo diarios (BPPD).

De ahí la importancia de realizar la evaluación del estado de control de la corrosión de la tubería de transferencia Yuca Culebra, para precautelar mediante el mantenimiento preventivo la transferencia de producción de petróleo generada en los Campos Yuca, Yulebra, Anaconda y Culebra, reduciendo el riesgo de derrame en las áreas de operación, que pudieran acarrear consecuencias ambientales, sociales y económicas.

2. Contexto de Control de Corrosión.

En la Tabla 1 se describe las especificaciones técnicas de la tubería de Transferencia Yuca – Culebra.

Tabla 1. Datos técnicos tubería de transferencia Yuca Culebra.

TUBERIA DE TRANSFERENCIA YUCA CULEBRA ESPECIFICACIONES DE DUCTOS								
Item	Producto Transportado	Ubicación	Tag	Diámetro (in)	Longitud (Km)	Espesor de pared (in)	Material	Recubrimiento Externo
1	Crudo	Transferencia de Yuca - Culebra	8"-OL-600225-AA1	8	16,8	0,322	API 5L GRB	CINTA DE POLIETILENO

Ubicación	Tag	Año de Instalación	Temperatura de Operación (°F)	Presión de Operación (psi)	Lanzador	Recibidor
Transferencia de Yuca - Culebra	8"-OL-600225-AA1	2010	129	600	NO	NO

Los resultados y la justificación para asignar las puntuaciones de los KPI para el contexto de control de la corrosión se muestran en la Tabla 2 y la justificación de las puntuaciones de los KPI se describe en las siguientes secciones.

Tabla 2. Resumen de KPI para el contexto de control de la corrosión.

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

KPI 1: Segmentación de la infraestructura.

Para la segmentación de la tubería asignada se toman los valores en función de la segmentación realizada en el informe de inspección UT de la tubería de transferencia Yuca Culebra, donde la segmentación fue realizada por tramos, según las recomendaciones del código de Inspección de tuberías API 570 (Anexo 1). En el informe de inspección realizado en el año 2021 se puede identificar que los tramos poseen longitudes menores a 1 km.

KPI 1= 1

KPI 2: Riesgo de corrosión.

Se asigna un valor alto a este indicador, debido a que la tubería de transferencia Yuca Culebra no posee recubrimiento interno y está expuesta a varios mecanismos de corrosión (erosión / corrosión, corrosión galvánica, cavitación, corrosión microbiana, corrosión bajo depósito, corrosión atmosférica, corrosión por suelos entre otras).

KPI 2= 5

KPI 3: Ubicación de la infraestructura.

Se asigna un valor medio a este indicador porque la tubería cruza por una zona con baja población, pero existen cruces con ríos, fuentes de agua y fincas (figura 1).

KPI 3= 3

KPI 4: Cuantificación del riesgo.

Este KPI se estima mediante la multiplicación de los KPI 2 y KPI 3.

KPI 4= 3

KPI 5: Vida útil de la infraestructura.

Esta puntuación KPI 5 se tomó de acuerdo al informe de inspección, donde el tramo 35, abscisa 1+768 posee un espesor de 0,195" y una vida útil de 7 años (Tabla 3), evaluada de acuerdo al código de inspección de tuberías API 570.

Tabla 3. Datos de medición de espesor, informe de inspección del año 2021.

TRAMO N°	ELEMENTO INSPECCIONADO	NPS (in)	SECCIÓN	LONG. TRAMO (m)	ABSCISA (m)	NODOS	ESPESORES MEDIDOS (in)				Espesor min. Tubo (in)	ESPESOR NOMINAL (in)	LÍMITE DE RETIRO (in)	VELOCIDAD DE CORROSIÓN (in/año)	CORROSIÓN ESTIMADA HASTA PROX. INSP. (in/año)	VIDA REMANENTE (años)	% DE DESGASTE	MAWP (PSI)					
							12H (A)	3H (B)	6H (C)	9H (D)													
35	TUBO	8	1	12	1+768	509																	
						510	0,302	0,301	0,299	0,298	0,298	0,322	0,110	0,0024	0,0120	>15	7%	1601					
						511	0,298	0,303	0,311	0,305	0,298	0,322	0,110	0,0024	0,0120	>15	7%	1601					
						512	0,297	0,306	0,309	0,318	0,297	0,322	0,110	0,0025	0,0125	>15	8%	1589					
						513	0,307	0,303	0,308	0,311	0,303	0,322	0,110	0,0019	0,0095	>15	6%	1680					
						514	0,300	0,296	0,245	0,307	0,245	0,322	0,110	0,0077	0,0385	>15	24%	982					
						515	0,292	0,299	0,195	0,287	0,195	0,322	0,110	0,0127	0,0635	7	39%	397					
						516	0,303	0,297	0,240	0,297	0,240	0,322	0,110	0,0082	0,0410	>15	25%	923					
						517	0,297	0,295	0,294	0,306	0,294	0,322	0,110	0,0028	0,0140	>15	9%	1554					
						518	0,293	0,296	0,291	0,296	0,291	0,322	0,110	0,0031	0,0155	>15	10%	1519					
						519	0,304	0,307	0,295	0,309	0,295	0,322	0,110	0,0027	0,0135	>15	8%	1566					
						520	0,293	0,296	0,303	0,305	0,293	0,322	0,110	0,0029	0,0145	>15	9%	1543					
						521	SUELDA																
						522	0,316	0,309	0,290	0,289	0,289	0,322	0,110	0,0033	0,0185	>15	10%	1496					

KPI 5= 3

3. Corrosión Interna – Modelo.

Los resultados y la justificación para asignar las puntuaciones de los KPI para el modelo de corrosión interna se muestran en la Tabla 4 y la justificación de las puntuaciones de los KPI se describe en las siguientes secciones.

Tabla 4. Resumen KPI para el modelo de control de corrosión interna.

KPI	YCP-CLB	Remarks:
6 IC	3	0-1: Material selection based on corrosion 2-3: Material adequate with corrosion control 4-5: Unknown suitability of material
7 IC	5	0-1: Proper corrosion allowance 2-3: Corrosion allowance with corrosion control 4-5: Improper corrosion allowance
9 IC	5	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
10 IC	3	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
11 IC	3	0-1: Proper knowledge of corrosion mechanisms 2-3: Some knowledge of corrosion mechanisms 4-5: Improper knowledge of corrosion mechanisms
12	1	0-1: Corrosion rate based on model 2-3: No basis for selection of corrosion rate 4-5: Unknown corrosion rate
14 IC	5	0-1: Corrosion professional involved in all stages 2-3: Corrosion professional involved in some stages 4-5: Corrosion professional not involved
39	5	0-1: Corrosion rate reduced after maintenance activities 2-3: Corrosion rate maintained after maintenance activities 4-5: Corrosion rate increased after maintenance activities
40	5	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

KPI 6: Material de construcción.

Se asigna un valor medio a este KPI, debido a que la tubería está construida con tubería API 5L Grado B y sin recubrimiento.

KPI 6= 3

KPI 7: Tolerancia por corrosión.

Se asigna el valor más alto a este KPI, debido a que no se dispone del Dossier de Calidad y no existe registros o datos de la tolerancia de corrosión asignados a la tubería de transferencia Yuca Culebra.

KPI 7= 5

KPI 9: Efecto de las condiciones adversas en el sector upstream sobre el sector actual.

Se asigna el valor más alto a este KPI, porque la tubería de transferencia Yuca – Culebra se ve directamente afectada por las operaciones aguas arriba. El funcionamiento de los equipos de bombeo, la presión de operación, la velocidad del flujo y la variación en los caudales pueden acelerar la corrosión interna.

BS&W (Sedimento Básico y Agua) menor a 1%.

KPI 9= 5.

KPI 10: Efecto de la condición alterada en el sector actual sobre el sector aguas abajo.

Se asigna un valor medio a este KPI, porque existe un plan de comunicación junto con equipos para proporcionar información e identificar una potencial de perturbación de las condiciones de la operación aguas abajo.

KPI 10= 3

KPI 11: Mecanismos de corrosión.

Se asigna un valor medio a este KPI porque algunos de los mecanismos de corrosión como corrosión bajo deposito, corrosión por microorganismos y corrosión galvánica han sido considerados y los más dominantes determinados, además de ser registrados en los informes de inspección y reparación de la tubería de transferencia Yuca - Culebra.

KPI 11= 3

KPI 12: Tasa máxima de corrosión (superficie interna).

Se asigna un valor bajo a este KPI, porque el valor de la velocidad de corrosión promedio de 2.1 mpy (0.053 mm/año) fue determinado mediante el análisis de los datos de corrosión interna registrados en el Informe de Inspección de la tubería (Anexo 1).

KPI 12= 1

KPI 14: Accesorios (superficie interna).

Se asigna un valor alto a este KPI, debido a que no existe un registro de que, los Profesionales de corrosión se involucraron durante la fase de ingeniería y construcción de la tubería de transferencia Yuca – Culebra.

KPI 14= 5

KPI 39: Tasa de corrosión interna después de las actividades de mantenimiento.

Se asigna un valor alto a este KPI, debido a que no se tiene registro de Mantenimientos realizados en la tubería de transferencia Yuca Culebra que reduzcan la corrosión interna.

KPI 39= 5

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

Se asigna un valor alto a este KPI porque la tubería de transferencia Yuca Culebra no dispone de lanzador y receptor, por lo que no es factible realizar el mantenimiento de la tubería. Tampoco es factible verificar la velocidad de corrosión luego del mantenimiento.

KPI 40= 5

4. Corrosión Interna – Mitigación.

Los resultados y la justificación para asignar las puntuaciones a los KPI de mitigación de la corrosión interna se muestran en la Tabla 5 y la justificación de las puntuaciones de los KPI se describe en las siguientes secciones.

Tabla 5. Resumen de KPI para mitigación de corrosión interna.

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

KPI 16: Mitigación para controlar la corrosión interna.

En la tubería de transferencia Yuca – Culebra se realiza el control de corrosión mediante la inyección de inhibidores de corrosión, toma de muestras de fluido para el conteo de hierro y el monitoreo de espesores, pero no se realiza una comparación de los datos obtenidos entre los métodos.

KPI 16= 5

KPI 17: Estrategias de mitigación para controlar la corrosión interna.

La tubería de transferencia Yuca Culebra no dispone de lanzador y receptor por lo que no es factible realizar el mantenimiento; no existe estrategia de mitigación estandarizada a las condiciones operativas de la infraestructura.

KPI 17= 5

KPI 18: Tasa de corrosión mitigada para la corrosión interna.

No se han establecido las tasas de corrosión mitigadas para la corrosión interna para la tubería de transferencia Yuca Culebra, sin embargo, se conoce la tasa de corrosión del KPI 12, velocidad de corrosión promedio 2.1 mpy (0.053 mm/año); Anexo 1, Informe de Inspección de la tubería.

KPI 18: 1

KPI 19: Eficacia de la mitigación de la corrosión interna.

La eficacia de la mitigación de la corrosión interna, se controla mediante monitoreo de corrosión en la tubería para determinar la velocidad de corrosión, pero no existe un control directo de la tasa de corrosión de la tubería.

KPI 19= 3

5. Corrosión Interna – Monitoreo.

Los resultados y la justificación para asignar los puntajes a los KPI para el monitoreo de corrosión interna se muestran en la Tabla 6 y la justificación de los puntajes de los KPI se describe en las siguientes secciones.

Tabla 6. Resumen de KPI para el monitoreo de la corrosión interna.

KPI	YCP-CLB	Remarks:
24	1	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
25	5	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
26	5	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%
27	2	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%
32 IC	1	0-1: Frequency of inspection based on RBI 2-3: Frequency of inspection based on engineering processes 4-5: More than then 10 without inspection
33	1	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%

KPI 24: Técnicas de monitoreo de corrosión interna.

Se utilizan puntos de monitoreo de espesor para la medición de espesores por UT, identificando tramos de tuberías que requerían cambio (piernas muertas: la medición de espesores en los puntos de monitoreo de las piernas muertas indicaron alta velocidad de corrosión).

KPI 24= 1

KPI 25: Número de sondas de monitoreo de corrosión interna.

Se asigna un valor alto a este KPI porque, se utilizan puntos de monitoreo en tramos de tubería para la medición de espesores de corrosión interna (medición de espesores por UT) según las recomendaciones del código de inspección de tuberías API 570.

KPI 25= 5

KPI 26: Tasas de corrosión interna a partir del monitoreo.

Se asigna un valor alto a este KPI, porque la velocidad de corrosión es solo determinada mediante la medición de espesores por ultrasonido y los registros de monitoreo e inspección de la tubería.

KPI 26= 5

KPI 27: Precisión del monitoreo de la corrosión interna.

Se asigna un valor bajo a este indicador porque en la tubería de transferencia Yuca Culebra existen suficientes puntos de monitoreo de espesor para obtener datos con precisión.

KPI 27= 2

KPI 32: Frecuencia de las inspecciones de corrosión interna.

Se asigna un valor bajo a este KPI porque la Frecuencia de inspección está establecida de acuerdo a prácticas de ingeniería y procesos documentados de acuerdo a las recomendaciones del código API 570.

KPI 32= 1

KPI 33: Comparación entre la inspección y el monitoreo de la corrosión interna.

Se asigna un valor bajo a este KPI, porque en la tubería de Transferencia Yuca Culebra se realiza la inspección e identificación de los puntos de monitoreo, que nos permiten realizar una comparación y dar seguimiento a los datos obtenidos.

KPI 33= 1

6. Corrosión Externa – Mitigación.

Los resultados y la justificación para asignar los puntajes a los KPI para el monitoreo de corrosión interna se muestran en la Tabla 7 y la justificación de los puntajes de los KPI se describe en las siguientes secciones.

Tabla 7. Resumen de KPI para mitigación de corrosión externa.

KPI	YCP-CLB	Remarks:
20	5	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
21	3	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
22	5	0-1: Mitigated corrosion rate based on baseline 2-3: No basis for selection of mitigated corrosion rate 4-5: Unknown mitigated corrosion rate
23	3	0-1: 99% Availability of mitigation practices 2-3: 95-99% Availability of mitigation practices 4-5: Less than 95% Availability of mitigation practices

KPI 20: Selección de medidas de mitigación para controlar la corrosión externa.

Se asigna un valor alto a este KPI porque en los tramos enterrados la tubería de transferencia Yuca Culebra posee cinta anticorrosiva de polietileno y no posee sistema de protección catódica.

KPI 20= 5

KPI 21: Implementación de medidas de mitigación para controlar la corrosión externa.

En la tubería de transferencia Yuca Culebra la estrategia de mitigación está estandarizada por método de prueba y error, bajo las condiciones operativas se ha comprobado su efectividad.

KPI 21= 3

KPI 22: Objetivo de corrosión externa mitigada.

Se asigna un valor alto a este KPI porque no se ha establecido la velocidad de corrosión externa máxima anticipada en la tubería de Transferencia Yuca – Culebra.

KPI 22= 5

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

Se asigna un valor medio a este indicador porque en la tubería de transferencia Yuca Culebra se realiza la mitigación de corrosión mediante el análisis de datos del informe de inspección de la tubería (evaluación de corrosión externa según los criterios del Código ASME B31G y la reparación se realiza según la evaluación).

KPI 23= 3

7. Corrosión Externa – Modelo.

Los resultados y la justificación para asignar las puntuaciones de los KPI para el modelo de corrosión externa se muestran en la Tabla 8 y la justificación de las puntuaciones de los KPI se describe en las siguientes secciones.

Tabla 8. Resumen de KPI para el modelo de corrosión externa.

KPI	YCP-CLB	Remarks:
6 EC	3	0-1: Material selection based on corrosion 2-3: Material adequate with corrosion control 4-5: Unknown suitability of material
7 EC	5	0-1: Proper corrosion allowance 2-3: Corrosion allowance with corrosion control 4-5: Improper corrosion allowance
9 EC	1	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
10 EC	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
11 EC	5	0-1: Proper knowledge of corrosion mechanisms 2-3: Some knowledge of corrosion mechanisms 4-5: Improper knowledge of corrosion mechanisms
13	5	0-1: Corrosion rate based on model 2-3: No basis for selection of corrosion rate 4-5: Unknown corrosion rate
14 EC	5	0-1: Corrosion professional involved in all stages 2-3: Corrosion professional involved in some stages 4-5: Corrosion professional not involved
41	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
42	1	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

KPI 6: Material de construcción.

Se asigna un valor medio a este KPI porque la tubería está construida con tubos API 5L Grado B sin recubrimiento externo.

KPI 6= 3

KPI 7: Tolerancia por corrosión.

Se asigna un valor alto a este KPI porque no se dispone del Dossier o datos de la tolerancia de corrosión externa de la tubería de transferencia Yuca Culebra.

KPI 7= 5

KPI 9 y 10: Condición alterada aguas arriba y aguas abajo.

Se asigna un valor bajo a este KPI porque la corrosión externa de la tubería de transferencia Yuca – Culebra no se ve directamente afectada por las operaciones de los equipos de bombeo y la presión de operación.

KPI 9= 1

KPI 10= 1

KPI 11: Mecanismos de corrosión.

Se asigna un valor alto a este indicador porque la tubería de transferencia Yuca – Culebra no posee protección catódica y tiene cinta de protección corrosiva de polietileno en los tramos enterrados, además de verse afectada por corrosión por suelos, corrosión atmosférica, corrosión bajo depósito y corrosión galvánica.

KPI 11= 5.

KPI 13: Tasa máxima de corrosión (superficie externa).

Se asigna el valor alto a este KPI porque según la práctica estándar de NACE ECDA, se espera que la tasa de corrosión de un acero sin protección en el suelo sea de 16 mpy (0,4 mm/año).

KPI 13= 5.

KPI 14: Accesorios (superficie externa).

Se asigna un valor alto a este KPI, debido a que no existe un registro de que los Profesionales de corrosión se involucraron durante la fase de ingeniería y construcción de la tubería de transferencia Yuca – Culebra.

KPI 14= 5

KPI 41: Tasa de corrosión externa después de las actividades de mantenimiento.

Se asigna un valor medio a este KPI porque en la tubería de transferencia Yuca Culebra las actividades de mantenimiento para la corrosión externa incluyeron la reparación del recubrimiento en las zonas con indicaciones severas. Sin embargo, no se ha medido la velocidad de corrosión y no se puede establecer una comparación.

KPI 41= 3

KPI 42: Reducción de la tasa de corrosión externa después de las actividades de mantenimiento.

Se asigna un valor bajo a este KPI ya que en la tubería de transferencia Yuca Culebra la velocidad de corrosión después de actividades de mantenimiento es menor que la velocidad de corrosión antes de las actividades de mantenimiento.

KPI 42= 1

8. Corrosión Externa – Monitoreo.

Los resultados y la justificación para asignar los puntajes a los KPI para el monitoreo de corrosión externa se muestran en la Tabla 9 y la justificación de los puntajes de los KPI se describe en las siguientes secciones.

Tabla 9. Resumen de KPI para el monitoreo de la corrosión externa.

KPI	YCP-CLB	Remarks:
28	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
29	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
30	5	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%
31	5	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%
32 EC	1	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
34	5	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%

KPI 28: Técnicas de monitoreo de corrosión externa.

Se asigna un valor medio en este indicador porque en la tubería de transferencia Yuca Culebra se realiza la inspección visual en la interfaz para determinar el estado de recubrimiento y el estado de la tubería, pero no se utiliza una técnica adecuada de monitoreo para la corrosión por debajo de los recubrimientos de protección instalados en las tuberías.

KPI 28= 3

KPI 29: Número de sondas de monitoreo de corrosión externa por unidad de área.

Se asigna un valor medio en este indicador porque en la tubería de transferencia Yuca Culebra se ha identificado puntos de monitoreo de corrosión externa, ubicados en área críticas de la tubería de transferencia Yuca Culebra.

KPI 29= 3

KPI 30: Tasas de corrosión externa a partir del monitoreo.

Se asigna un valor alto en este KPI por que en la tubería de transferencia Yuca Culebra, las tasas de corrosión no han sido determinadas con los datos de obtenidos mediante las técnicas de monitoreo.

KPI 30= 5

KPI 31: Precisión del monitoreo de la corrosión externa.

Se asigna un valor alto en este KPI porque en la tubería de transferencia Yuca Culebra existen puntos de monitoreo de corrosión externa, pero no se evalúa la velocidad de corrosión.

KPI 31=5

KPI 32 Frecuencia de las inspecciones de corrosión externa.

Se asigna un valor bajo en este KPI porque en la tubería de transferencia Yuca Culebra, la Frecuencia de inspección está establecida mediante prácticas de ingeniería y procesos documentados de acuerdo a las recomendaciones del código API 570 (medición de espesores mediante inspección visual de la tubería).

KPI 32= 1

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

Se asigna un valor alto en este KPI porque en la tubería de transferencia Yuca Culebra se inspecciona la tubería, pero no se calcula la velocidad de corrosión.

KPI 34= 5

9. Mediciones.

Los resultados y la justificación para asignar las puntuaciones de los KPI para las mediciones se muestran en la Tabla 10 y la justificación de las puntuaciones de los KPI se describe en las siguientes secciones.

Tabla 10. Resumen de KPI para mediciones.

KPI	YCP-CLB	Remarks:
35	3	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
36	1	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

KPI 35: Datos de Medición.

Se asigna un valor medio a este indicador porque en la tubería de Transferencia Yuca Culebra los datos requeridos para decidir sobre condiciones de corrosión del segmento están disponibles, pero no se pueden aplicar directamente para el control de corrosión.

KPI 35= 3

KPI 36: Validación de los datos medidos.

Se asigna un valor bajo a este KPI por que en la Tubería de transferencia Yuca Culebra se realiza un monitoreo de los puntos críticos para validar los datos medidos mediante ultrasonido, se realiza un registro y calcula la velocidad de corrosión.

KPI 36= 1

10. Mantenimiento.

Los resultados y la justificación para asignar las puntuaciones a los KPI de Mantenimiento se muestran en la Tabla 11 y la justificación de las puntuaciones de los KPI se describe en las siguientes secciones.

Tabla 11. Resumen de KPI para Mantenimiento.

KPI	YCP-CLB	Remarks:
8	1	0-1: Operating conditions within range 2-3: 10% Outside proper operating conditions 4-5: Frequent inadequate operating conditions
15	5	0-1: Proper commissioning and baseline established 2-3: Proper commissioning but non baseline established 4-5: Improper commissioning
37	1	0-1: Preventive maintenance based on risk before ALARP 2-3: Preventive maintenance based on higher risk levels 4-5: Corrective maintenance
38	5	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
43	3	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
44	1	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
45	3	0-1: Automatic collection and storage of corrosion data 2-3: Data measured and manually stored 4-5: Not adequate management of data
46	1	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

KPI 8: Condiciones normales de funcionamiento.

Se asigna un valor bajo a este KPI porque en la tubería de transferencia Yuca Culebra las condiciones operativas se mantienen normales dentro del rango operativo establecido por el proyecto.

KPI 8= 1

KPI 15: Puesta en servicio.

Se asigna un valor alto a este KPI porque para la tubería de transferencia Yuca Culebra no existe evidencia documentada de que, la prueba hidrostática de la infraestructura se realizó de manera adecuada y que la infraestructura se puso en servicio de manera adecuada.

KPI 15= 5

KPI 37: Procedimientos para el programa de mantenimiento.

El tipo de mantenimiento en la tubería de transferencia Yuca Culebra es preventivo, establecido en base a experiencia, cuando el riesgo se mueve de bajo a la etapa ALARP y el mantenimiento es programado a tiempo.

KPI 37= 1

KPI 38: Actividades de mantenimiento.

Se asigna un valor alto a este KPI porque el plan de mantenimiento de la tubería Yuca Culebra tiene que ser modificado de acuerdo a las condiciones operativas.

KPI 38= 5

KPI 43: Capacidad de la fuerza laboral.

Se asigna un valor medio en este KPI porque para la tubería de transferencia Yuca Culebra el número de trabajadores es justo para realizar el trabajo y el personal involucrado tiene educación adecuada y entrenamiento formal para realizar las tareas.

KPI 43= 3

KPI 44: Experiencia y conocimiento de la fuerza laboral.

Se asigna un valor bajo a este KPI porque el Personal clave para el manejo de corrosión externa e interna tiene al menos cinco años de experiencia, con conocimiento en trabajos similares.

KPI 44= 1

KPI 45: Datos a base de datos.

Se asigna un valor medio a este KPI porque los datos de las diferentes actividades, mediciones son manualmente y sistemáticamente transferidas a la base de datos con intervención humana y coordinación central para transferencia de datos.

KPI 45= 3

KPI 46: Datos de la base de datos.

Datos verificados de manera adecuada, almacenados sistemáticamente, y enviados proactivamente a las personas adecuadas o las personas adecuadas que pueden recuperar los datos en el formato requerido.

KPI 46= 1

11. Gerenciamiento (Módulo 14).

Los resultados y la justificación para la asignación de las puntuaciones de los KPI de Gestión se muestran en la Tabla 12 y la justificación de las puntuaciones de los KPI se describe en las siguientes secciones.

Tabla 12. Resumen de KPI para la gestión.

KPI	YCP-CLB	Remarks:
47	3	0-1: Proper internal communication 2-3: Some internal communication 4-5: Improper internal communications
48	3	0-1: Proper external communication 2-3: Some external communication 4-5: Improper external communications
49	3	0-1: Annual revision of KPIs 2-3: Revision of KPIs every 2-5 years 4-5: Not established schedule for KPIs revision
50	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

KPI 47: Estrategia de comunicación interna.

Se asigna un valor medio a este KPI porque la estrategia de comunicación interna entre algunas entidades se ha establecido, y la comunicación con otros solo se hace cuando se requiere.

KPI 47= 3

KPI 48: Estrategia de comunicación externa.

Se asigna un valor medio a este KPI porque la estrategia de comunicación externa se encuentra establecida, pero la comunicación con otros se realiza solo cuando se requiere.

KPI 48= 3

KPI 49: Revisión de la gestión de la corrosión.

Se asigna un valor medio a este KPI porque las actividades de control de corrosión son revisadas entre cada 2 a 5 años.

KPI 49= 3

KPI 50: Frecuencia de fallos.

Se asigna un valor bajo en este KPI por que en la tubería de transferencia Yuca Culebra existe cero fallas o incidentes por corrosión durante el período de revisión del segmento.

KPI 50= 1

12. Resumen del Estatus de los KPIs y Estatus de la Infraestructura.

Los resultados de la aplicación de los cincuenta KPI se muestran en la siguiente figura.

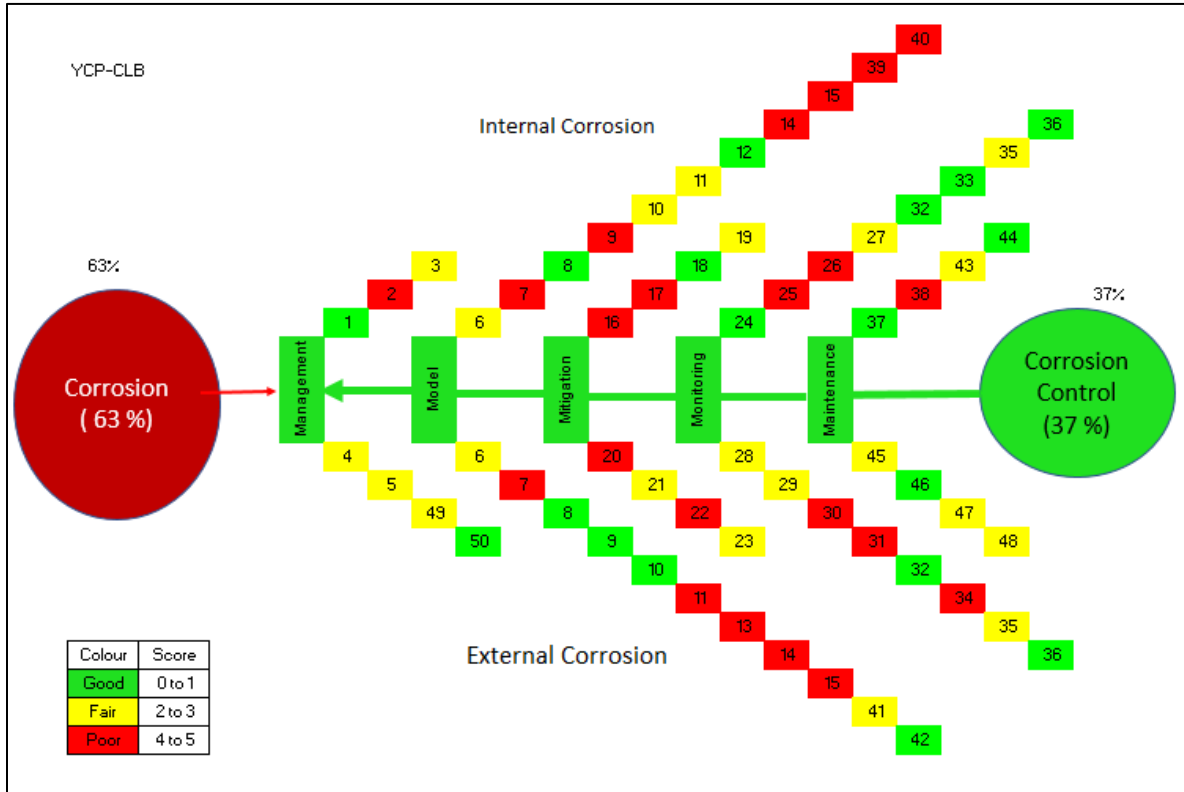


Figura 2. Panel de estado de KPI Tubería de transferencia Yuca Culebra.

13. Conclusiones.

- El puntaje de corrosión, según la evaluación de 50 KPI para la tubería de Transferencia Yuca Culebra es del 63% y el puntaje de control de corrosión es de 37%.
- Mediante el análisis de KPI se determina que la estrategia de control de corrosión en el diseño de las tuberías es la más débil por lo que se debería involucrar a los profesionales de control de corrosión desde la fase de ingeniería conceptual en nuevos proyectos de construcción de tuberías.
- Mediante este análisis se ha identificado que existe deficiencia en el almacenamiento de datos relacionado con la construcción y puesta en servicio de las facilidades.
- En el análisis se evidencia que existe un monitoreo de corrosión externa, pero no se evalúa la velocidad de la corrosión.

- La metodología 5-M nos permite determinar que estrategias mejorar para el control de corrosión de las tuberías.
- Esta metodología nos permite llevar un proceso de mejora continua en el Gerenciamiento de Ductos en EP Petroecuador.

14. Recomendaciones.

- **Fortalecimiento en el diseño y control de corrosión desde la etapa conceptual**

Involucrar a los profesionales de control de corrosión desde la fase de **Ingeniería Conceptual** para garantizar la selección adecuada de materiales, recubrimientos protectores y estrategias de mitigación.

Implementar un sistema de revisión cruzada en la etapa de diseño para integrar prácticas de ingeniería que minimicen la corrosión.

- **Optimización de la estrategia de monitoreo de corrosión.**

Evaluar la velocidad de corrosión, complementando el monitoreo externo con técnicas avanzadas como análisis electroquímicos y simulaciones predictivas.

Ampliar el monitoreo de espesor a los tramos enterrados mediante inspección directa y estudios geotécnicos para identificar factores de corrosión relacionados con el entorno.

- **Mejora en la recopilación y gestión de datos**

Crear una base de datos digital centralizada para almacenar toda la información relacionada con la construcción, puesta en servicio y mantenimientos realizados en las tuberías.

- **Adopción y mejora continua mediante la metodología 5-M**

Evaluar y ajustar las estrategias de corrosión aplicadas según los factores identificados en la metodología 5-M (Materiales, Métodos, Mano de obra, Medición y Medio ambiente).

Diseñar un programa de capacitación periódica para el personal en técnicas de control de corrosión, basadas en estándares API y mejores prácticas de la industria.

Implementar inspecciones más frecuentes basadas en riesgo (RBI) para priorizar las áreas críticas con mayor susceptibilidad.

15. Agradecimientos.

El autor agradece a la Empresa EP Petroecuador y al Instructor del Curso Ing. Carlos Melo, por financiamiento y las facilidades prestadas para realizar el análisis de datos en el presente trabajo.

16. Referencias.

- Ep Petroecuador, Reporte diario de Producción del Campo Auca, Ecuador, 2025.
- Ep Petroecuador, Informe de inspección de la tubería Yuca Culebra, Ecuador, 2021.