

INTEGRIDAD DE CAÑERÍAS INTERNAS EN ESTACIONES DE BOMBEO

Sanchez, David Andrés – Oldelval – David.sanchez@oldelval.com

1. Sinopsis

Históricamente, en las cañerías de estaciones de bombeo, la principal dificultad a la hora de evaluar la integridad ha sido la imposibilidad de correr herramientas de inspección interna en los ductos en servicio. Debido a la limitación para inspeccionar la totalidad de la superficie de las cañerías, tanto aéreas como soterradas, debemos recurrir a metodologías que permitan seleccionar los sitios más susceptibles a las amenazas identificadas en nuestro sistema, las cuales son: defectos de fabricación en accesorios y cañerías, defectos de montaje en soldaduras, corrosión externa en interfaces tierra-aire y en cañerías soterradas, corrosión interna en cañerías con bajo factor de servicio, y corrosión por crevice en los intersticios entre cañerías y soportes con aislación dieléctrica defectuosa.

Para asegurar la integridad de las cañerías y equipos estáticos en estaciones de bombeo, tomamos como punto de partida la metodología ICDA/ECDA (Internal corrosion direct assessment/External corrosion direct assessment). Esto incluye la siguiente recopilación de información: antecedentes de fallas y presiones, análisis de riesgo RBI (Risk based inspection): grupos de tuberías, lazos de corrosión, condiciones de presión, velocidad de flujo y geometría del flujo; mediciones indirectas de fallas de recubrimiento: ACVG/DCVG (Alternating current voltaje gradient/direct current voltaje gradient), verificaciones directas (excavación, acondicionamiento de superficie, END, reparación, cambio de tramo y recoating). Toda esta información se integra en una base de datos que facilita la determinación del nivel de riesgo asociado a las instalaciones.

Con el fin de brindar confiabilidad al sistema de oleoducto durante la ejecución y puesta en marcha de proyectos complementarios de gran envergadura, como así también en proyectos de modernización del sistema y reversiones de flujo, se realizaron alrededor de 200 intervenciones de verificación directa. Estos sitios, específicamente seleccionados mediante el cruce de la información antes mencionada, se distribuyeron en 17 estaciones de bombeo del sistema de oleoductos.

Como resultado de las intervenciones, se realizaron reemplazos equivalentes a 30 caños de 12 metros y se colocaron alrededor de 50 camisas de refuerzo tipo B de 1,2 metros. En los casos donde se detectó pérdida crítica de espesor, se procedió a la colocación de refuerzos en frío con materiales compuestos, para no afectar el bombeo ni los caudales programados con los clientes, y así planificar las reparaciones con la menor afectación posible.

Este trabajo expone la reducción del riesgo cualitativo y cuantitativo lograda en las cañerías no piggeables (no aptas para inspección interna mediante herramientas de inspección en línea) del sistema de ductos, como resultado de una estrategia de verificación directa basada en metodologías reconocidas. Esta mejora fue posible gracias a la sinergia generada entre los distintos sectores de la compañía, que trabajaron de manera coordinada para asegurar la integridad y la seguridad de los procesos en las instalaciones

2. Introducción

La integridad de cañerías internas en estaciones de bombeo constituye un desafío particular dentro de los sistemas de transporte de hidrocarburos, debido a la combinación de condiciones operativas complejas, cañerías con geometrías no aptas para inspección interna mediante herramientas de inspección en línea (no piggiable) y la coexistencia de múltiples mecanismos de daño. A diferencia de los tramos de ductos lineales, las instalaciones de superficie presentan una mayor densidad de accesorios, cambios de dirección y sección, derivaciones, soportes y transiciones aéreo-soterradas, lo que incrementa la probabilidad de daños producidos por las amenazas asociados tanto al diseño y montaje como a los procesos de degradación en servicio.



IMAGEN 1 – RAMAL CAÑERÍAS INGRESO A PLANTA

2.2 Análisis de ingeniería: Programa de gestión de verificaciones directas

La metodología se basa en la retroalimentación de la base de datos y la mejora continua y comienza con la elaboración del plan, en este contexto, la gestión de integridad requiere la aplicación de metodologías sistémicas que permitan identificar, evaluar y mitigar los riesgos asociados a la pérdida de contención. Las metodologías de Gestión de Integridad, tales como ICDA y ECDA, complementadas con análisis de Riesgo Basado en Inspección (RBI), constituyen herramientas fundamentales para abordar instalaciones donde la inspección interna no es viable. Estas metodologías se apoyan en el conocimiento integral del proceso, del producto transportado, del historial operativo de las instalaciones y de los mantenimientos realizados a cañerías y equipos estáticos, permitiendo priorizar acciones de inspección y en función del riesgo.



IMAGEN 2 – CORROSIÓN EXTERNA



IMAGEN 3 – INDICACIONES DE FABRICACIÓN

El conocimiento del proceso y del producto transportado es un pilar esencial para la evaluación de la integridad. Las condiciones de operación, tales como presión, temperatura, régimen de caudal, velocidad y características fisicoquímicas del fluido, influyen directamente en la activación y severidad de los distintos mecanismos de daño. Asimismo, la historia de operación de cada estación de bombeo y la experiencia de los operadores —incluyendo la filosofía operativa, los diagramas de proceso, el layout de instalaciones, los antecedentes de mantenimiento y reparación, y los registros de fallas— aporta información clave para la identificación de zonas críticas. A esto se suma el conocimiento de las condiciones del suelo según la ubicación de las cañerías soterradas, considerando variables como resistividad, humedad, agresividad química y presencia de interferencias, factores determinantes en los procesos de corrosión externa.



ILUSTRACIÓN 4 – DESTAPE CAÑERÍA



IMAGEN 5 – CORROSIÓN EN CAÑERÍA SOTERRADA



IMAGEN 6 – DETALLE DE INDICACIÓN

En base a esta información, se diseñó un plan de alrededor de 200 intervenciones de verificación directa. **Hacer** estos trabajos de campo, nos aporta datos muy valiosos para predecir los sitios de mayor probabilidad de falla y mediante retroalimentación del análisis RBI (Risk Based Inspection) inicial, denominado análisis cualitativo, se comienza a elaborar un análisis semicuantitativo inicial. Dado que la inspección directa de la totalidad de las cañerías no es técnica ni económicamente viable, la estrategia de evaluación se apoya en estudios indirectos orientados a detectar y caracterizar condiciones anómalas. Entre estas técnicas se destacan los estudios de geo detección, que permiten verificar trazas, profundidades y configuraciones reales de las instalaciones, y las técnicas de evaluación del estado del recubrimiento y del sistema de protección catódica, tales como CIPS y mediciones DCVG/ACVG. Estas herramientas permiten identificar zonas con posibles fallas de recubrimiento y priorizar sitios para inspección directa. la principal limitación de estas técnicas en las instalaciones analizadas, se encuentra en el gran volumen de interferencias entre las cañerías de interés con otras estructuras como pueden ser: puesta a tierras, cañeros de instrumentación y eléctricos, anclajes de hormigón, etc.



IMAGEN 7 - GEO DETECCIÓN ANTES DE COMENZAR A EXCAVAR



IMAGEN 8 – EXCAVACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO SUPERFICIE

Las verificaciones directas se realizan tanto en cañerías aéreas como soterradas, y constituyen la instancia clave para confirmar los mecanismos de daño predominantes principalmente en cañerías soterradas. Estas actividades incluyen excavación, acondicionamiento de superficie e inspección mediante END, tales como ultrasonido convencional (UT), Phased Array (PAUT), escáner 3D, inspección visual (IVE) e inspección mediante partículas magnetizables (IPM). La información obtenida permite caracterizar defectos de fabricación y montaje, evaluar la corrosión externa e interna, y detectar otros mecanismos de daño. El análisis de la integridad estructural se realiza conforme a los criterios establecidos en el procedimiento interno, que cumple con los estándares de códigos y normas reconocidas, tales como API 570, ASME B31.G modificado y criterios de RSTRENG



IMAGEN 9 – NUBE DE POROS

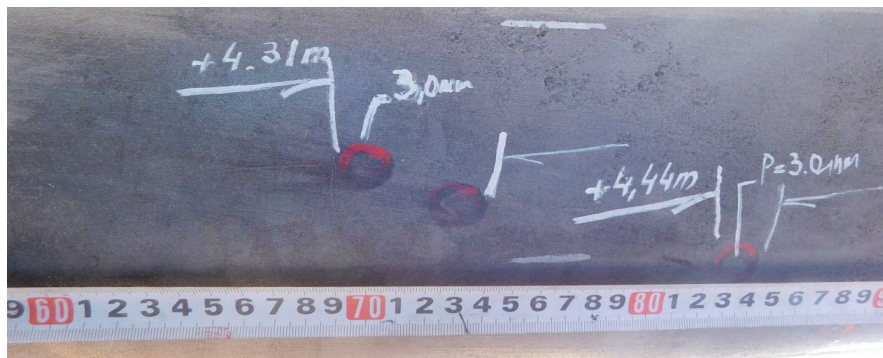


IMAGEN 10 – CORROSIÓN INTERNA

Finalmente, para retroalimentar la base de datos con información **chequeada** y **actuar** para tomar nuevas acciones, toda la información generada a partir de los estudios indirectos y directos se integra en una base de datos centralizada, que constituye la columna vertebral del sistema de gestión de integridad. Esta base de datos permite consolidar antecedentes operativos, resultados de inspección, reparaciones ejecutadas y condiciones actuales de las instalaciones, facilitando el análisis de tendencias y la toma de decisiones.

Sobre esta base, se desarrolla el análisis de Riesgo Basado en Inspección, considerando la probabilidad de falla asociada a los distintos mecanismos de daño y las consecuencias potenciales

de una pérdida de contención. El análisis de datos y la cuantificación del riesgo permiten jerarquizar los tramos y componentes más críticos, optimizando la asignación de recursos y la planificación de intervenciones. La retroalimentación continua de la base de datos, a partir de los resultados de las inspecciones y reparaciones, asegura la mejora permanente del modelo de riesgo y del desempeño del sistema de integridad.

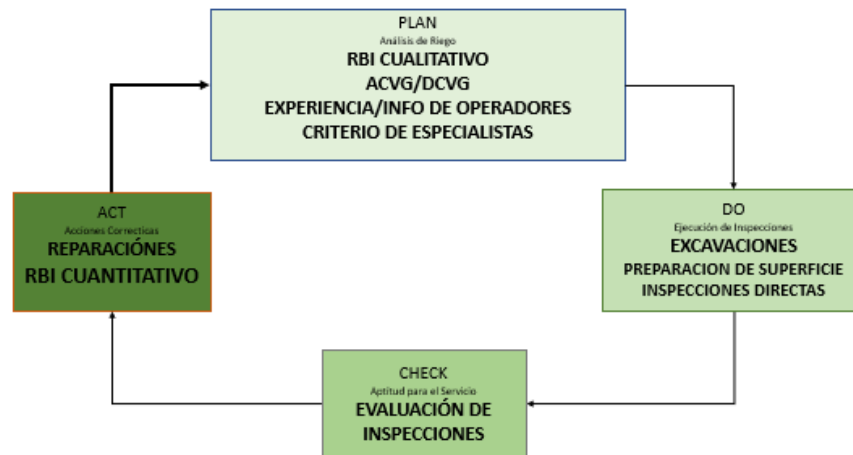


ILUSTRACIÓN 11: RESUMEN TAREAS ADAPTADAS AL CÍRCULO DE DEMING (PLAN-DO-CHECK- ACT)

Dentro de las estaciones de bombeo, los principales mecanismos que afectan la integridad de las cañerías internas de planta incluyen: defectos de fabricación y montaje, corrosión externa asociada a fallas de recubrimiento e interferencias con otras estructuras, corrosión interna vinculada a bajos factores de servicio y otros mecanismos específicos derivados de la interacción entre cañerías, soportes/aislamiento, interfase tierra-aire de cañerías soterradas, vibraciones en cañerías asociadas a equipos rotantes y desvíos de las condiciones de operación normales. La correcta identificación y gestión de estos mecanismos resulta fundamental para garantizar la confiabilidad operativa y la seguridad de las instalaciones.

3. Desarrollo

Las intervenciones de verificación directa desarrolladas en este trabajo se enmarcan en un contexto de ampliación de la capacidad de transporte del sistema de oleoductos y de nuevas solicitudes históricas impuestas a las cañerías existentes. Proyectos de incremento de caudal, cambios en la filosofía operativa y reversiones de flujo generan condiciones distintas a las originalmente consideradas en el diseño, lo que obliga a reevaluar la integridad de las instalaciones, en particular en cañerías internas de estaciones de bombeo que son no piggeables y que concentran una alta densidad de componentes críticos.

Estas nuevas solicitudes incrementan la probabilidad de activación de mecanismos de daño preexistentes. En este escenario, la verificación directa se convierte en una herramienta clave para confirmar el estado real de las instalaciones y garantizar la continuidad operativa del sistema.

3.1 Planificación de tareas y su programación

La planificación de las tareas de verificación directa se realizó de manera estructurada, integrando los requerimientos técnicos con los procesos de gestión de la compañía. Cada intervención fue imputada en el sistema de gestión SAP, lo que permitió registrar el activo a inspeccionar, el tipo de intervención, los recursos necesarios y las fechas programadas. Esta etapa incluyó la programación de las tareas y la coordinación de los recursos internos y externos, asegurando la disponibilidad de personal, equipos de inspección, materiales para reparación y cambio de tramo y permisos operativos necesarios para la ejecución segura de los trabajos.

La correcta planificación resultó fundamental para minimizar interferencias con la operación normal de las estaciones de bombeo y para optimizar el uso de los recursos disponibles, especialmente en instalaciones críticas con restricciones operativas. El resultado de esta planificación se reflejó en la no afectación a los caudales comprometidos con los clientes.

En primer lugar se elaboraron las hojas de excavación correspondientes, donde se identificó de manera precisa el sitio del activo a inspeccionar y se incluyó información adicional. Esta documentación incluyó información del tramo de cañería, denominación, diámetro, material, presión de operación, amenazas asociadas y antecedentes relevantes. Previo al destape, se realizaron tareas de geodetección para confirmar la traza real de la cañería, la profundidad y la presencia de interferencias, reduciendo el riesgo durante la excavación y asegurando la correcta ubicación del punto a inspeccionar.

3.2 Relevamiento de información e inspecciones

El destape se ejecutó siguiendo procedimientos controlados, permitiendo el acceso seguro a la cañería soterrada y la evaluación inicial de las condiciones del recubrimiento y del entorno.

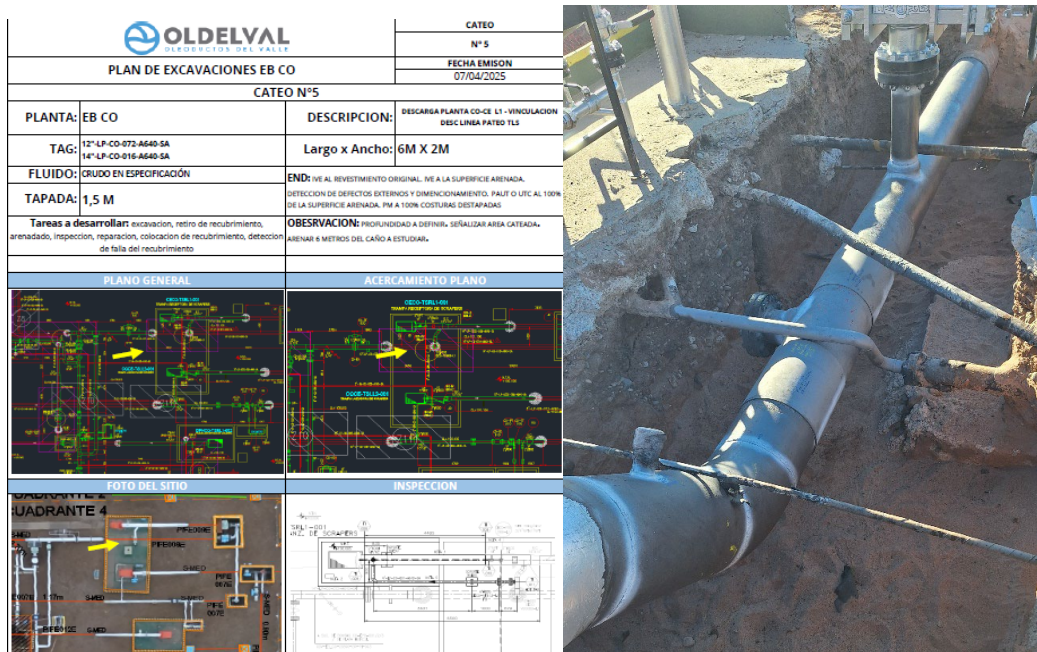


IMAGEN 12 – HOJA DE EXCAVACIÓN – SITIO DE EXCAVACIÓN

Una vez expuesta la cañería, se procedió al acondicionamiento de superficie, eliminando recubrimientos, productos de corrosión y contaminantes, con el objetivo de asegurar la confiabilidad de los ensayos no destructivos. Las técnicas de inspección aplicadas incluyeron UT, PAUT, SCAN3D, IVE, IPM, RX. La información fue colectada por técnicos en END formados según los requerimientos de IRAM-ISO 9712 nivel 2 en todas las técnicas.

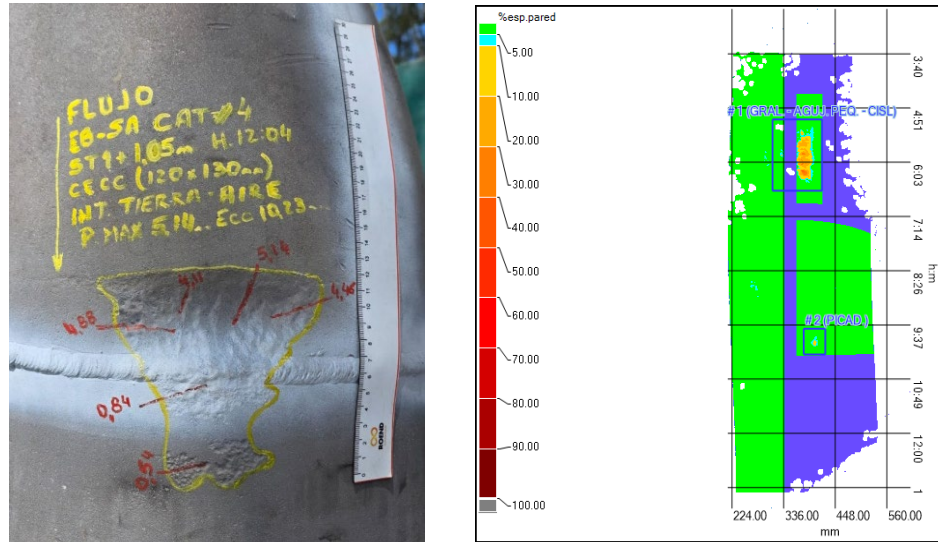


IMAGEN 13 – INDICACIÓN Y SCAN3D GENERAL

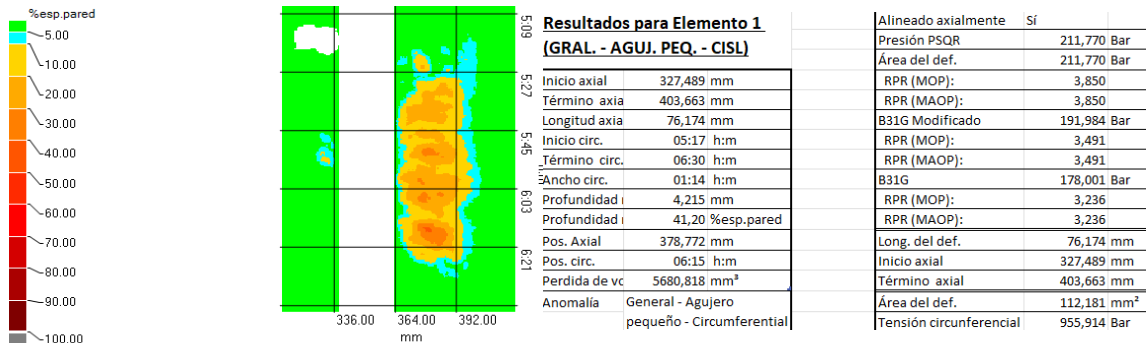


IMAGEN 14 – DETALLE SCAN 3D – CALCULO PRESIÓN DE FALLA

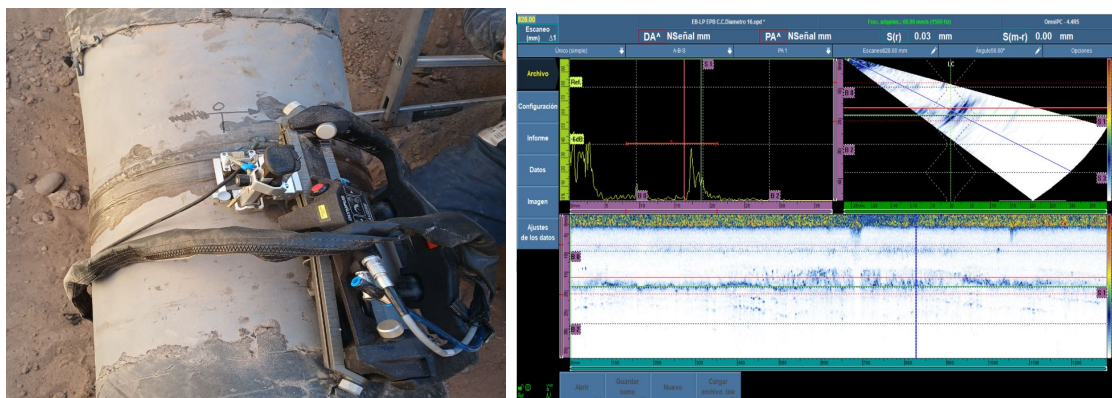


IMAGEN 15 – PAUT: INDICACIONES EN SOLDADURA

3.3 Análisis de ingeniería y definiciones de acciones correctivas

Los resultados de los ensayos permitieron caracterizar defectos volumétricos, planos y geométricos. A partir de esta información y empleando el procedimiento interno, se realizó el cálculo de la presión de falla y se determinó el alcance de la reparación optima: provisoria, permanente o cambio de tramo.

Con base en la evaluación de integridad, se definió la estrategia de reparación más adecuada para cada caso. Las alternativas incluyeron la instalación de camisas de refuerzo metálicas tipo A o tipo B, la aplicación de reparaciones provisorias mediante materiales compuestos en situaciones de criticidad operativa, y el reemplazo de tramos completos cuando las condiciones así lo requirieron. La selección de la reparación consideró no solo la severidad del defecto, sino también las restricciones operativas, la continuidad del servicio y la planificación de reparaciones definitivas a futuro. Los materiales que se retiran de cambios de tramos posteriormente se los somete a análisis de falla para determinar las amenazas activas minuciosamente.



IMAGEN 14 – PERDIDA DE CONTENCIÓN Y COLOCACIÓN DE REPARACIÓN PROVISORIA



IMAGEN 15 – RETIRO DE REPARACIÓN PROVISORIA Y CAMBIO DE TRAMO

3.4 Acondicionamiento de instalaciones intervenidas

Finalizadas las tareas de inspección y reparación, se procedió al acondicionamiento de la zona de excavación, incluyendo mejoras civiles destinadas a restituir y, en algunos casos, optimizar las condiciones originales del sitio. Estas actividades comprendieron el reacondicionamiento del lecho de apoyo, la mejora de drenajes, la protección mecánica de la cañería y la restitución del terreno, contribuyendo a la mitigación de futuros mecanismos de daño, especialmente asociados a corrosión externa.



IMAGEN 16 – OBRAS CIVILES POST INTERVENCIÓN

3.5 incorporación de información en base de datos

Toda la información generada durante las intervenciones fue incorporada a la base de datos del sistema de gestión de integridad, incluyendo resultados de ensayos, reparaciones ejecutadas, fotografías, cálculos de integridad y observaciones relevantes. Esta retroalimentación permitió actualizar el análisis de riesgo RBI, ajustar las probabilidades de falla y mejorar la priorización de

futuras inspecciones, cerrando el ciclo de gestión de integridad y fortaleciendo la toma de decisiones basada en datos.



IMAGEN 17 – TABLERO DE CONTROL DE RIESGO 2022



IMAGEN 18 – TABLERO CONTROL RIESGO 2026

4. Conclusiones

El desarrollo de intervenciones de verificación directa en cañerías internas de estaciones de bombeo permitió evaluar de manera objetiva el estado de integridad de instalaciones no piggeables sometidas a nuevas solicitudes operativas, en el marco de ampliaciones de capacidad de transporte y cambios en la filosofía de operación del sistema. La cantidad de intervenciones

ejecutadas, en relación con el número efectivo de reparaciones requeridas, resultó un indicador representativo del nivel de riesgo asociado a las instalaciones y de la efectividad de la metodología de selección de sitios aplicada.

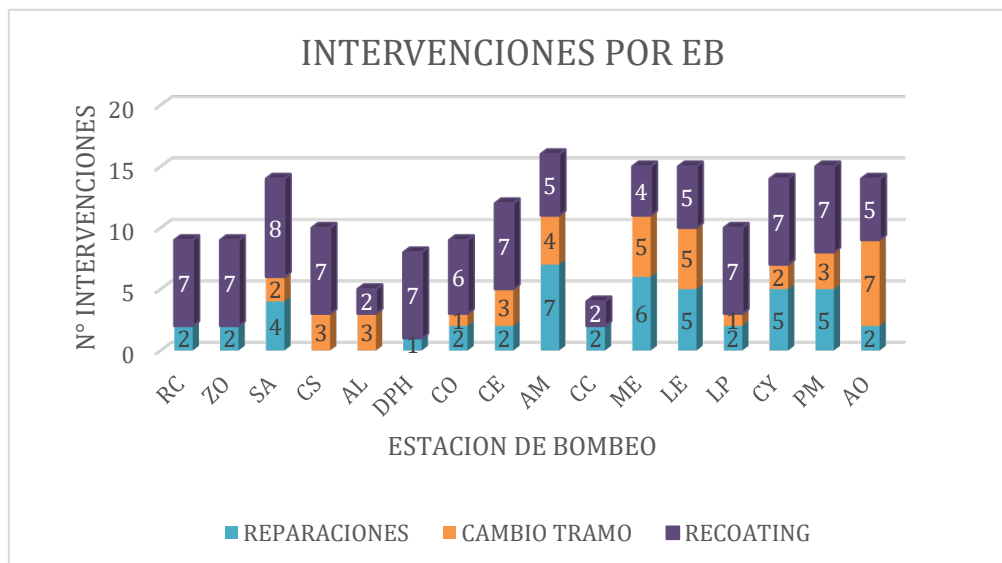


IMAGEN 20: REPARACIONES, CAMBIOS DE TRAMOS Y RECOATING SEGÚN ESTACIÓN DE BOMBEO.

El análisis comparativo entre intervenciones realizadas y reparaciones ejecutadas evidenció que una estrategia de verificación directa basada en metodologías ICDA/ECDA y análisis de riesgo RBI permite focalizar los esfuerzos en los sitios realmente críticos, evitando intervenciones innecesarias y optimizando el uso de recursos. En este sentido, un elevado número de verificaciones con una proporción controlada de reparaciones refleja un adecuado conocimiento del sistema y una gestión preventiva del riesgo.

En la imagen 20, según las indicaciones relevadas, se procedió de diferentes maneras: reparaciones permanentes con camisas de refuerzo tipo B, reparaciones provisionales con camisas de refuerzo tipo A o con materiales compuestos. En el caso de no encontrar indicaciones relevantes durante la verificación, la intervención se clasifica como recoating.

Los tipos de indicaciones detectados durante las inspecciones constituyeron una fuente clave de información para la evaluación de la probabilidad de falla de las cañerías. La identificación de defectos de fabricación y montaje, corrosión externa localizada, corrosión interna asociada a bajo factor de servicio y otros mecanismos, permitió caracterizar las amenazas predominantes en las estaciones de bombeo. Este conocimiento resulta fundamental para estimar la probabilidad de ocurrencia de fallas, ya que cada tipo de amenaza presenta comportamientos y velocidades de crecimiento diferentes. Como resultado de las verificaciones directas se obtuvo una muestra de 97 indicaciones relevantes, se clasificaron según su recurrencia y se obtuvieron los porcentajes que se muestran en la imagen 21.

Conocer la naturaleza, severidad y distribución de los defectos detectados permite no solo evaluar el estado actual de las instalaciones, sino también predecir su evolución en el tiempo y anticipar escenarios de falla, fortaleciendo el análisis de riesgo y la planificación de inspecciones futuras.

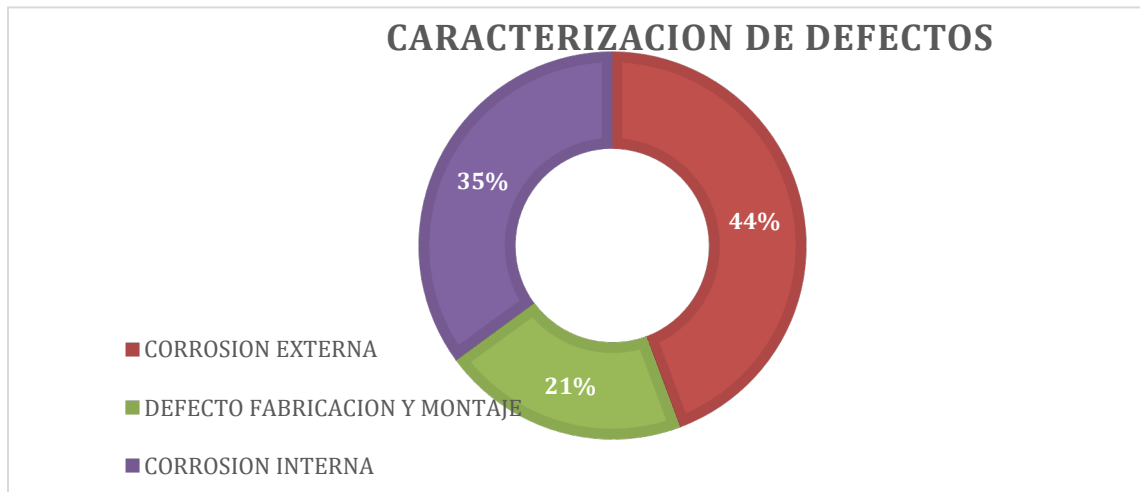


IMAGEN 21 – PORCENTAJE DE TIPOS DE DEFECTOS

Las intervenciones que requirieron reparaciones mayores estuvieron principalmente asociadas a sectores donde existía un menor conocimiento previo del estado de las instalaciones, ya sea por falta de antecedentes de inspección o por cambios operativos significativos respecto de las condiciones originales de diseño. Este resultado pone de manifiesto la importancia de contar con información histórica confiable y actualizada como base para la gestión de integridad, y confirma que el desconocimiento del estado real de las cañerías incrementa la probabilidad de intervenciones correctivas de mayor impacto.

La implementación sistemática de verificaciones directas permitió reducir progresivamente este nivel de incertidumbre, migrando desde un enfoque reactivo hacia una gestión proactiva del riesgo.

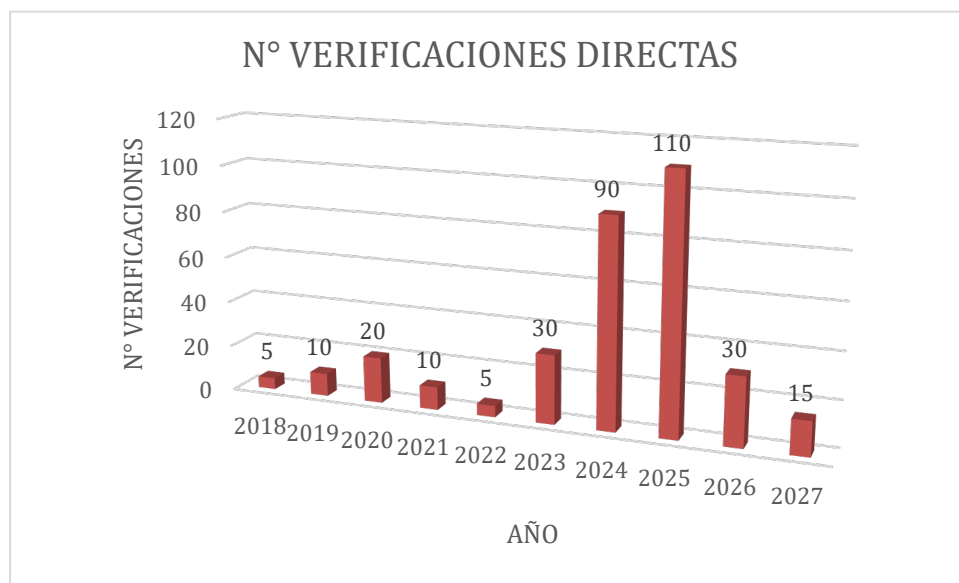


IMAGEN 22 – TENDENCIA ESTIMADA PARA EJECUCIÓN DE VERIFICACIONES DIRECTAS.

Asimismo, el trabajo desarrollado fortaleció el know-how de la organización en intervenciones sobre cañerías soterradas, tanto en escenarios planificados como ante la ocurrencia de incidentes. La experiencia adquirida en tareas de geo detección, excavación, inspección mediante ensayos no destructivos de última tecnología, evaluación de integridad y ejecución de reparaciones más apropiada, permitió estandarizar criterios técnicos y operativos, mejorando los tiempos de respuesta y la calidad de las decisiones frente a eventos no deseados.

Finalmente, la retroalimentación continua de la base de datos del sistema de gestión de integridad, incorporando los resultados de las inspecciones y reparaciones, consolidó un proceso de mejora continua. Esta integración de datos permitió ajustar los análisis de riesgo RBI, refinar la priorización de sitios críticos y fortalecer la confiabilidad operativa del sistema de oleoductos, demostrando que una estrategia de verificación directa basada en metodologías reconocidas constituye una herramienta efectiva para la gestión de integridad de cañerías internas en estaciones de bombeo.

5. Bibliografía

ECDA (Corrosión Externa): NACE SP0502-2010
ICDA (Corrosión Interna): NACE SP0208-2008
API 580 – RISK BASED INSPECTION
API 570 – PIPING INSPECTOR
API 1104 – WELDING OF PIPELINES AND RELATED FACILITIES
IRAM/ISO 9712 – CALIFICACION Y CERTIFICACION DEL PERSONAL EN
PROCEDIMIENTOS INTERNOS DE OLDELVAL.

6. CV Autor

David Andrés Sanchez

Ingeniero en Petróleo – Oleoductos del Valle S.A.

Plottier, Neuquén | David.Sanchez@oldelval.com | Sanchez.DavidA@outlook.com

Ingeniero en Petróleo, egresado de la Universidad Nacional del Comahue. Actualmente se desempeña como Referente de Integridad de Equipos Estáticos en Estaciones de Bombeo (cañerías internas no piggeables, recipientes sometidos a presión: filtros de petróleo, calentadores de petróleo, calentadores de gas, pulmones de gas, tanques aéreos de almacenamiento de petróleo y otros activos).

Posee amplios conocimientos en inspección de activos y ensayos no destructivos IRAM-ISO 9712.