

ANÁLISIS DE FALLA: UNA HERRAMIENTA PARA EL GERENCIAMIENTO DEL RIESGO

**Fabian Benedetto; Sandro Nicolino, Daniel Ghidina
Siderca-Tenaris**

Abstract

Asegurar la integridad de las tuberías y los equipos es una signatura que cada vez cobra mayor importancia y criticidad, en ese sentido los análisis realizados sobre las muestras son una gran herramienta para utilizar en forma conjunta con los "chanchos" inteligentes.

Estos análisis aportan valiosa información sobre el tipo de falla y las características de las mismas. Por lo general, los análisis se llevan a cabo en muestras provenientes de alguna falla, pero también pueden ser realizados sobre muestras extraídas para ser reemplazadas, o bien sobre testigos o cupones.

El resultado de estos análisis permite evaluar con mayor exactitud los resultados obtenidos durante el "pigging", datos tales como: morfología de la corrosión, evaluación de los productos de corrosión, evaluación del estado del coating, etc.

1- Introducción

De la definición de riesgo de falla, como el producto entre la probabilidad de ocurrencia de una falla y las consecuencias de la misma:

$$\text{Riesgo} = \text{Probabilidad de falla} \times \text{Consecuencias de la falla}$$

Las compañías operadoras tienen conocimiento que las consecuencias de una falla impactarán en mayor o menor medida sobre el medio ambiente, sobre las personas y sobre el negocio, afectando el producto o las instalaciones de la misma.

El rol del análisis de falla será entonces encontrar la causa del componente fallado, entendiendo el cómo y porque de la falla, evitando de esta manera la recurrencia de la misma en condiciones similares de operación.

En este trabajo se presentaran las herramientas utilizadas para conducir el análisis de falla de la manera más adecuada, como una herramienta para el gerenciamiento del riesgo y la toma de decisiones futuras.

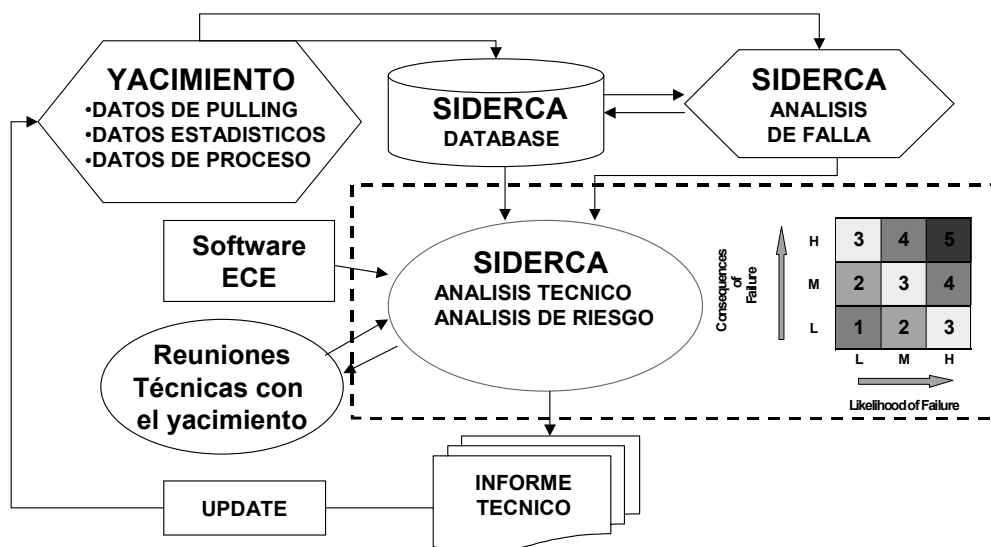
2-Desarrollo

Como conducir el análisis de falla?

El análisis de falla es un campo complejo por lo que requerirá una tarea multidisciplinaria entre la *recolección de datos en el campo (investigación in situ)*, la administración de esos datos en una *base de datos* y el *análisis en los laboratorios (investigación ex situ)*, permitiendo de esta forma abordar el problema desde varios ángulos y arribar a conclusiones consensuadas con el usuario.

A continuación se ejemplifica en forma de diagrama de flujo como SIDERCA lleva a cabo los análisis de falla en forma conjunta con las operadoras de Argentina.

Desarrollo del Programa de Asistencia al Yacimiento



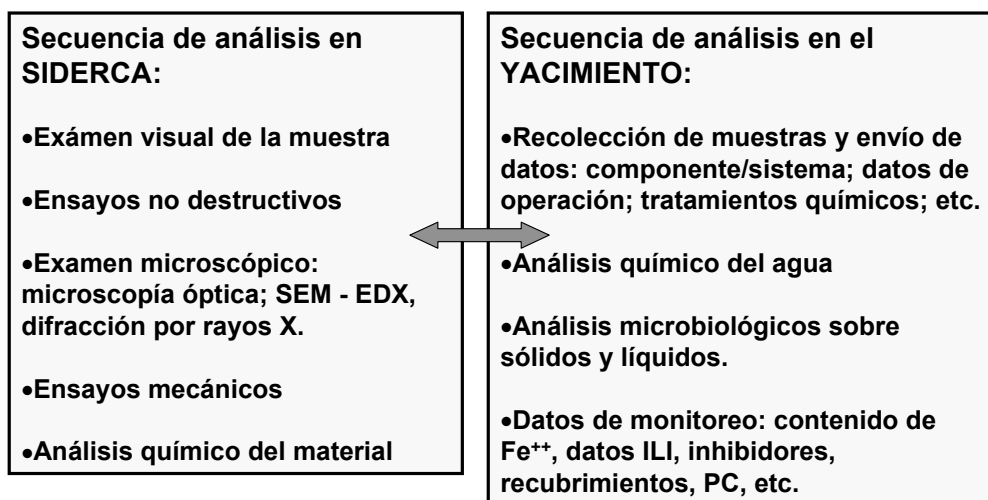
Recolección de datos en el campo (investigación in situ)

Esta tarea requerirá del esfuerzo mancomunado tanto del personal de campo (usuario) como del especialista que administra el análisis de falla. Los pasos a seguir en esta etapa variarán según cada investigación particular, y las posibilidades físicas y temporales de cada caso:

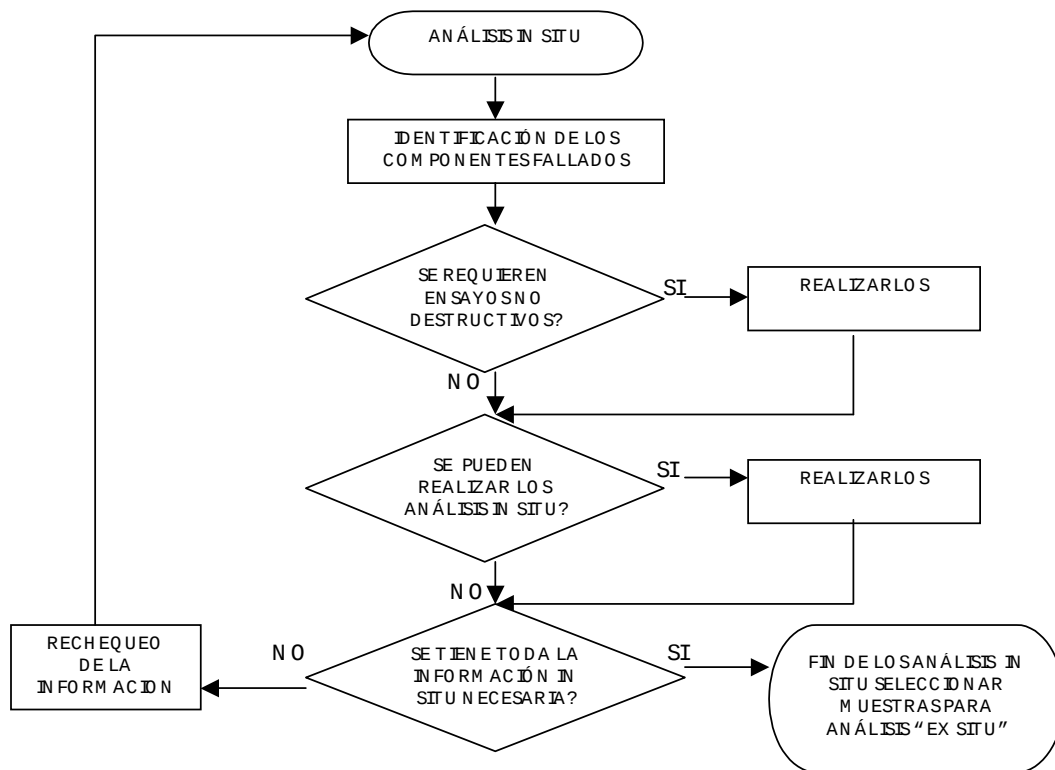
- **Observación visual preliminar del componente fallado “in situ”:** Esta etapa permitirá una macro observación de la escena y las circunstancias donde se produjo la falla, permitiendo adquirir información sobre la interacción del elemento fallado y el ambiente circundante.
- **Selección e identificación de las piezas falladas para análisis:** Una clara identificación de las piezas falladas y su disposición en la zona de falla permitirá una correcta trazabilidad de cada componente a los laboratorios remotos (análisis ex situ)

- **Conservación de las piezas en su estado natural luego de la falla:** La correcta preservación de las piezas falladas, sin limpieza abrasiva, solventes o ataque con ácidos sobre su superficie, evitará la pérdida de evidencia fundamental para el análisis “ex situ”, como por ejemplo los depósitos de corrosión o scaling adheridos a la pared del componente fallado, que aportan información sobre los agentes agresivos que actuaron sobre el elemento fallado.
- **Planificación de los ensayos a realizar en el campo:** En este paso se solicitará al usuario el relevo de la información que deberá realizarse “in situ” ya que el tiempo y la disposición física juega un rol fundamental en la medición de ciertos parámetros como ser los análisis físico-químicos del electrolito (conducido o producido), concentración de gases, análisis bacteriológicos, etc. Se podría establecer en forma de resumen los ensayos “in situ” vs los ensayos “ex situ” cuyos datos servirán a las conclusiones del análisis de falla:

Desarrollo del programa de análisis de Falla



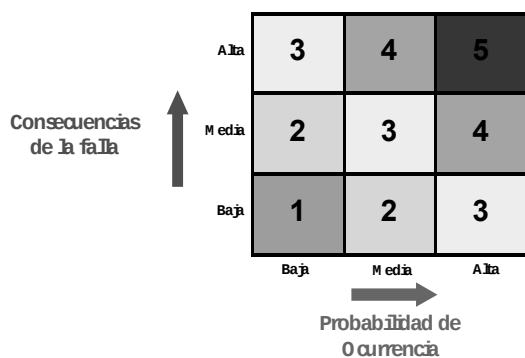
En función de lo expuesto se podría plantear en reuniones técnicas con el personal de campo un diagrama de flujo que serviría como lista de chequeo de los pasos que se deben dar en el análisis “in situ “ :



Administración de la base de datos

La generación de una buena base de datos con información confiable y actualizada, servirá como una herramienta importante para nutrir al análisis de falla así como para hacer seguimientos de parámetros en sistemas o elementos semejantes al que generó la falla. Dentro de las posibilidades funcionales de la base de datos estará la de poder incluir modelos de riesgo sencillos como los matriciales, o complejos como los modelos probabilísticos.

Ejemplo de un modelo de riesgo matricial

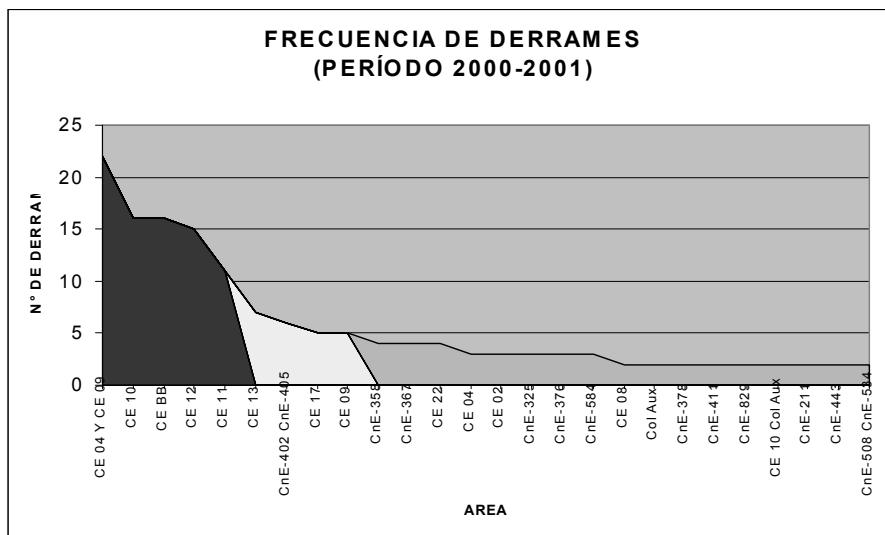


Entre los elementos a incluir en una base de datos se detallan:

- Fecha de fabricación
- Fecha de instalación

- Fecha de falla
- Historial de pérdidas y roturas
- Ubicación en el sistema, diagramas de proceso.
- Dimensiones del elemento
- Propiedades mecánicas y químicas
- Datos de prueba hidráulica
- Datos de proceso (presión, temperatura, caudal, etc)
- Tipo de protección (revestimiento, protección catódica, etc)
- Análisis físico-químico del electrolito
- Análisis bacteriológico del electrolito
- Tratamientos con productos químicos(Inhibidores, bactericidas, etc.)
- Datos de monitoreo (corrosión externa, corrosión interna, biopelículas)

La administración de estos datos permitirán correlacionarlos de diferentes formas para una mejor visualización de la problemática, como ser histogramas, gráficos de puntos, gráficos de nivel de riesgo:

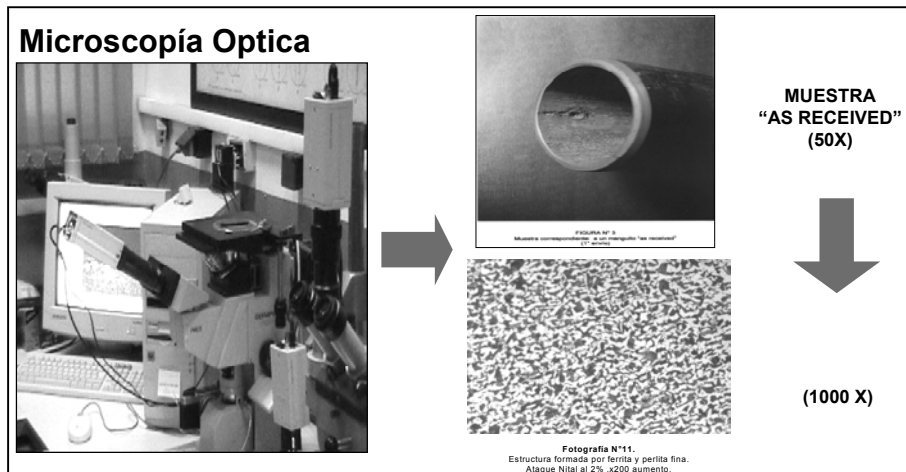


Análisis en laboratorios remotos (investigación ex situ)

En cierta etapa de la investigación convendrá utilizar técnicas especiales que solo se pueden llevar a cabo en laboratorios remotos a la escena de la falla. Es en esta etapa donde la correcta separación de las partes para su estudio, su identificación y la preservación de la evidencia en dichas muestras realizadas en el campo toma un rol fundamental para este tipo de análisis “ex situ”.

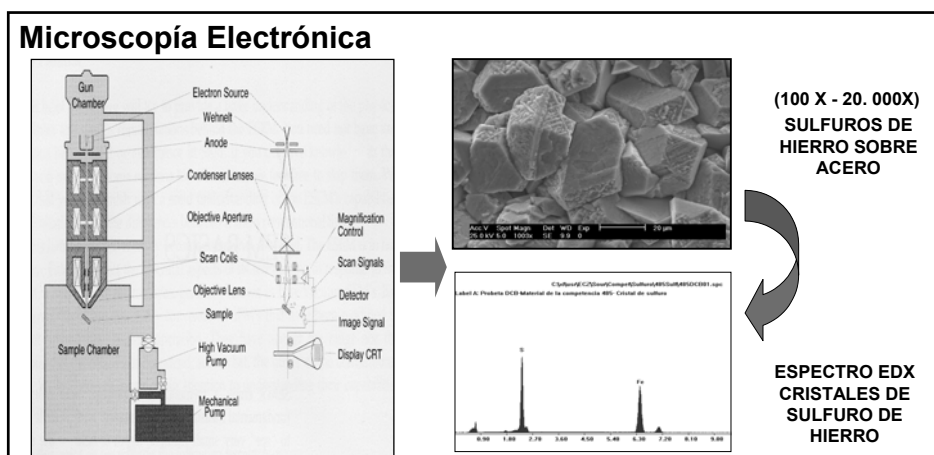
A continuación se describen algunas de las técnicas y equipamientos más utilizadas en el desarrollo de los análisis de fallas en laboratorios remotos:

- **Observación por microscopía óptica:** Por medio de esta técnica se pueden estudiar pequeñas superficies de materiales simplemente pulidas o atacadas con ciertos ácidos para revelar su microestructura a una magnificación entre 50X y 1000X.



*Banco de microscopía óptica utilizado en SIDERCA desde
Que se recepciona la muestra del campo hasta el análisis de su microestructura*

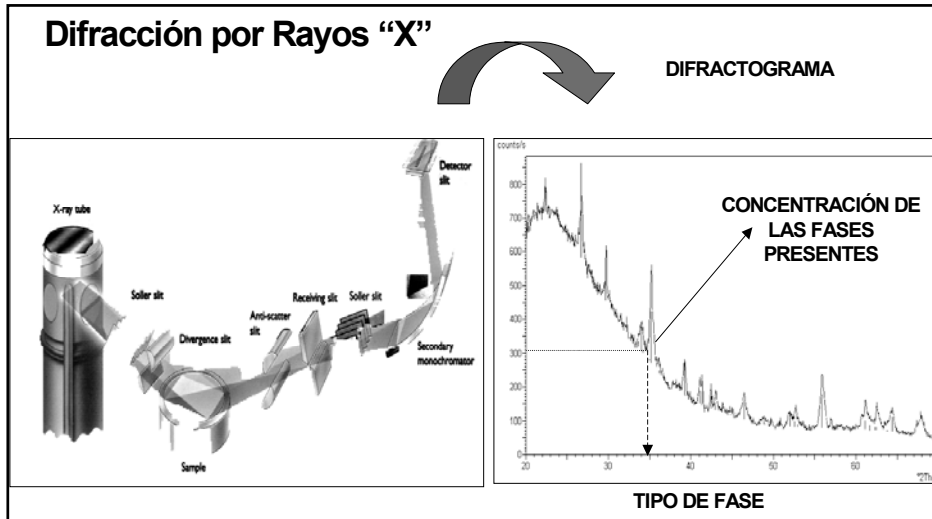
- **Observación por microscopio electrónica:** Por medio de la microscopía electrónica (SEM y TEM) se puede analizar con mayor magnificación y profundidad de campo la relación entre la falla y la microestructura del material, las piezas deberán ser conductoras y se podrá alcanzar aumentos de entre 100X y 20000X.



*Microscopio electrónico utilizado en SIDERCA
Utilizado para ver la relación entre la microestructura y la falla*

Análisis químico: Los análisis químicos volumétricos convencionales (gravimetría, colorimetría, electroquímicos) como los más sofisticados como dispersión por rayos

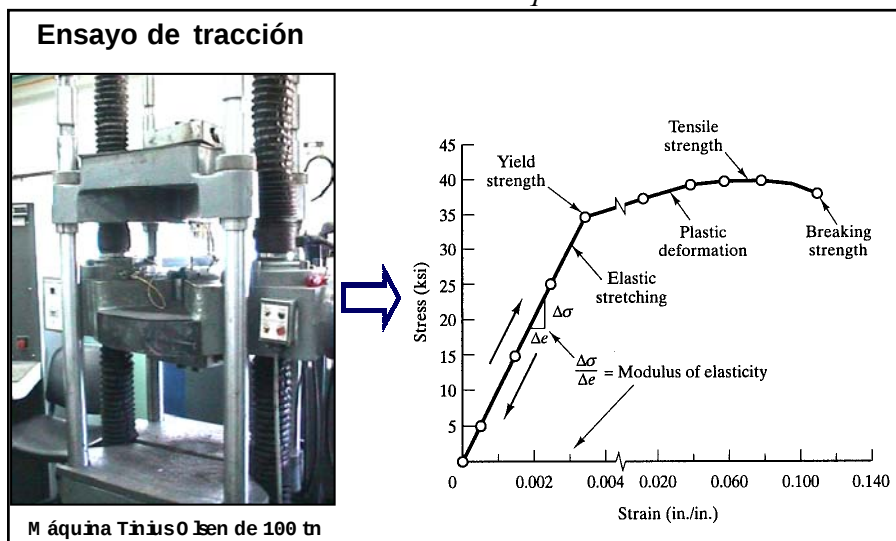
X(EDX), difracción por rayos X(DRX), espectrometría, etc. permitirá no solo caracterizar la composición química del material base sino también los productos de corrosión, scaling o material no metálico incluido en el acero.



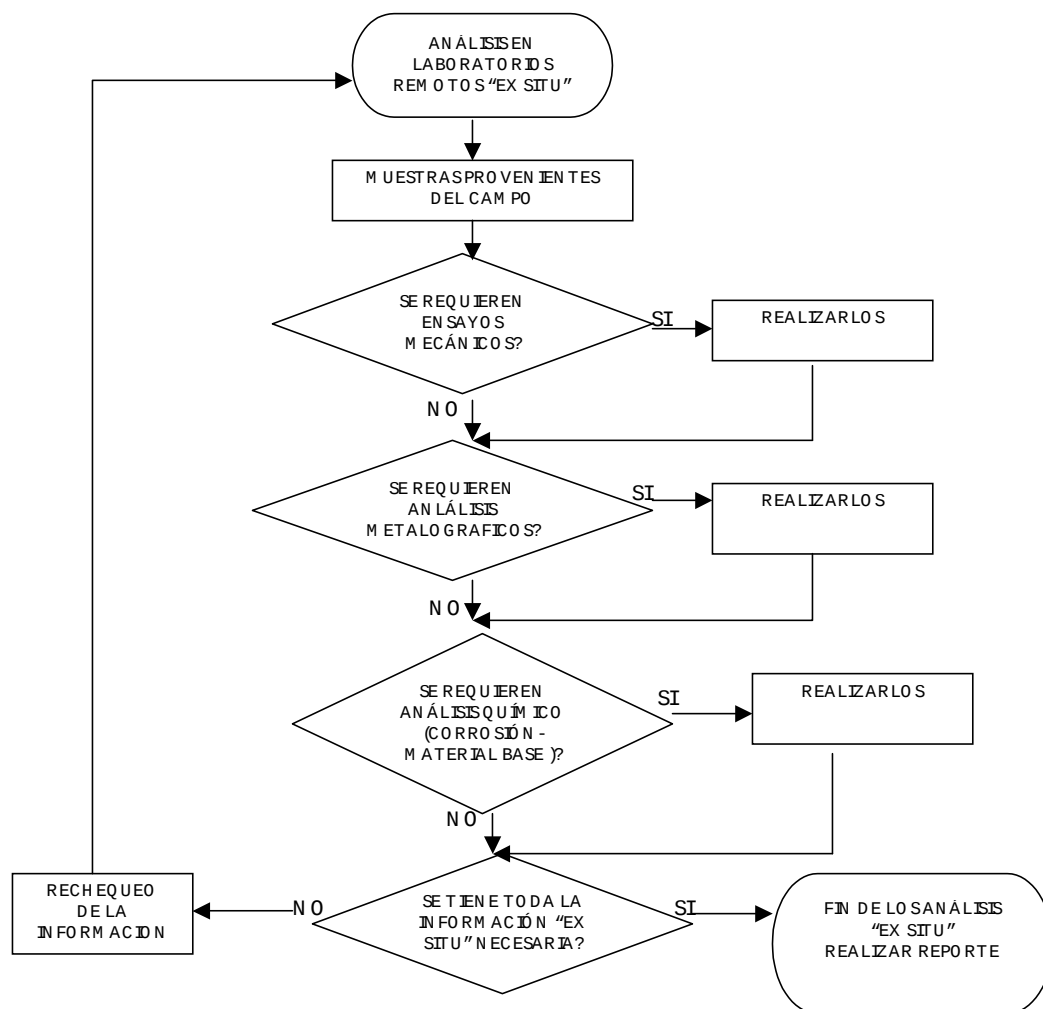
Análisis de difracción por rayos X (DRX)

- **Análisis de propiedades mecánicas:** Ensayos de resistencia a la tracción (ensayo de tracción) ensayo de resistencia al impacto (ensayo de tenacidad), ensayo de resistencia a la deformación plástica permanente (ensayo de dureza) y ensayos fractomecánicos como ser resistencia a la fatiga, permitirán caracterizar la performance del material en condiciones similares:

Maquina de tracción de 100Tn



De la misma forma que los análisis “in situ” también se podría plantear un diagrama que serviría como lista de chequeo de los pasos que se deben dar en el análisis “ex situ”



Elaboración del informe técnico final

En lo posible, antes de escribir el informe final, se deberán tener con el usuario una serie de reuniones técnicas para discutir conclusiones parciales, información recabada en el campo, posibilidad de implementar las recomendaciones sugeridas a raíz del análisis.

Finalmente se deberá conocer a quién deberá ir dirigido el informe técnico para adecuar el lenguaje del mismo:

- ✓ Operadores
- ✓ Inspectores
- ✓ Ingeniería
- ✓ Gerencia

✓ Accionistas

A continuación se describe La mínima información que deberá tener la estructura del informe:

- **Carátula informativa:** Se deberá titular el informe e identificar con un número trazable al evento de manera tal que el mismo pueda ser también incorporado en la base de datos. También se deberá armar una lista de distribución de los lectores que recibirán el informe.
- **Objetivos:** En forma concisa se plasmará el/los objetivos que movilizaron el análisis de falla, describiendo la procedencia del elemento fallado.
- **Desarrollo de los pasos realizados en el análisis “in situ” y “ex situ”:** Se describirán los pasos seguidos tanto en el campo como en los laboratorios remotos con el propósito que los mismos guíen al lector sobre la metodología utilizada y los resultados que se obtuvieron para alcanzar las conclusiones.
- **Conclusiones :** Se enumerarán las conclusiones alcanzadas solo por los datos obtenidos en los análisis “in situ” y “ex situ”, evitando expresiones de deseos que puedan oscurecer las mismas. Se pondrán en primer lugar las conclusiones más relevantes.
- **Recomendaciones:** Las recomendaciones podrán incluir mejoras en el diseño, utilización de materiales diferentes al original, cambios en el proceso, etc, con el propósito de evitar idénticas fallas en elementos o sistemas similares. Es importante que estos cambios propuestos sean evaluados por el usuario previamente a su implementación ya que los mismos pueden tener incidencia sobre componentes adyacentes en el sistema operativo .
- **Anexo:** Se incluirán en el anexo tablas, fotografías, datos del proceso y toda información que haya nutrido al análisis.

Una vez finalizado el informe técnico servirá de up-date al usuario para extrapolar dichas conclusiones a sistemas con similares características, que se encuentren dentro de una matriz de riesgo en un estado próximo a alcanzar la criticidad del elemento o el sistema donde se produjo la falla.

Si el informe se puede digitalizar, podrá incorporarse a la base de datos con un link al historial del elemento o sistema fallado.

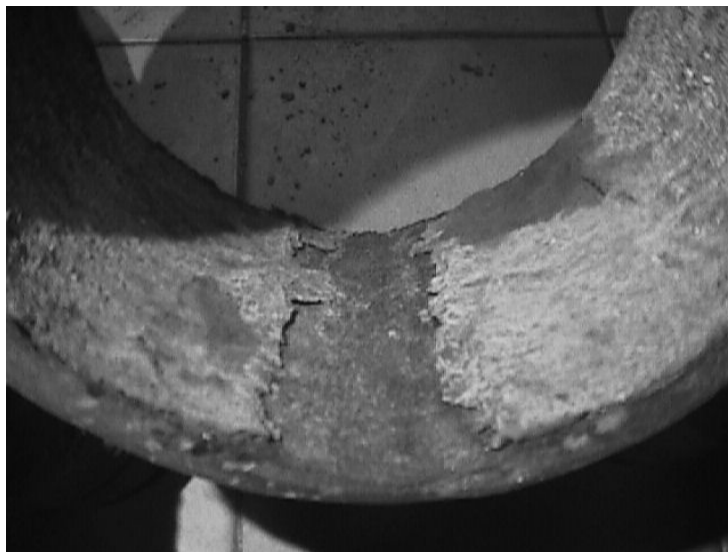
Evaluación macroscópica de una falla

Muchas veces la observación visual aporta información relevante sobre las causas de falla, sobre todo cuando no se disponen de medios para poder llevar a cabo un análisis en profundidad con tecnología que permita obtener resultados cuantitativos, como el proceso anteriormente mencionado.

Se puede hacer una primer evaluación visual, con todo el recaudo necesario para no incurrir en conclusiones erróneas del problema, que pueden costar a la compañía gastos de dinero innecesarios para evitar la recurrencia del problema.

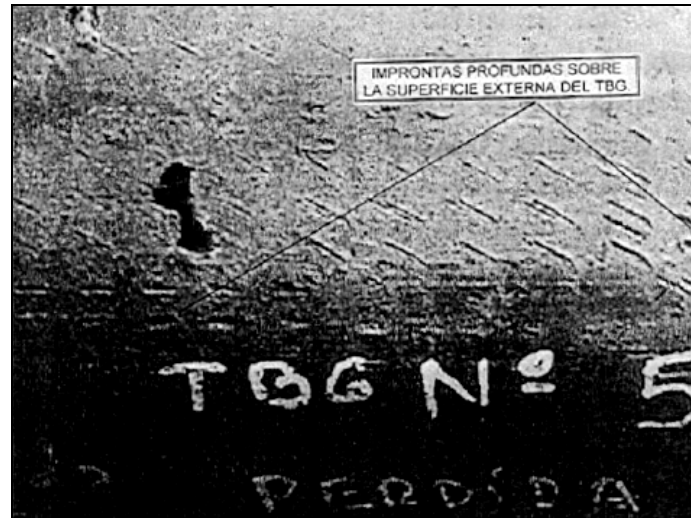
Entre las fallas de fácil identificación visual podemos señalar:

Fallas asociadas a problemas corrosivos: Mayormente se encuentran debajo de depósitos de corrosión, que ocupan un gran volumen, estos depósitos pueden ser rojizos (sí son óxidos o hidróxidos de hierro) o oscuros en el caso de sulfuros. Si la morfología de estos depósitos es del tipo gelatinosa puede deberse a problemas bacterianos (biopelículas).



**Ataque corrosivo localizado bajo de depósitos
Line Pipe ϕ 10", sin revestimiento interno**

Fallas asociadas a problemas mecánicos: La mayoría de estas fallas muestran arañones de herramientas, material deformado plásticamente, golpes etc. Estas marcas sirven como concentradores de tensión donde puede originarse la falla.



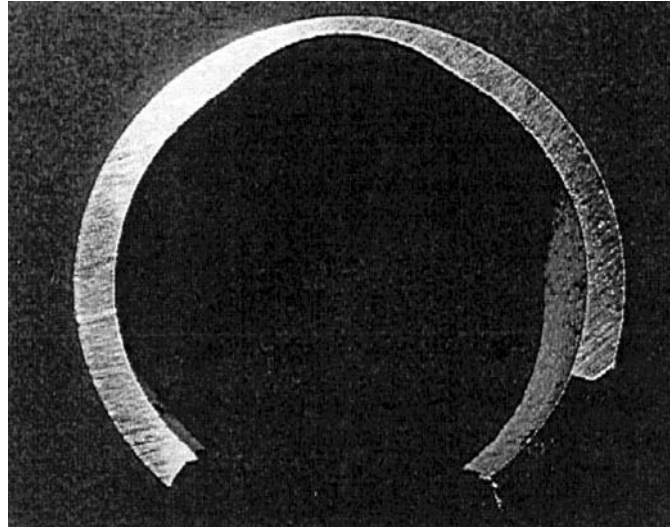
Improntas de una mordaza en la superficie externa de un tbg ϕ 2 7/8"

Fallas asociadas a engrane de roscas: Los engranes en las roscas se generan por excesiva tensión de contacto entre filetes, los cuales aparecen deformados o barridos, presentando microsoldaduras debido al arrastre:



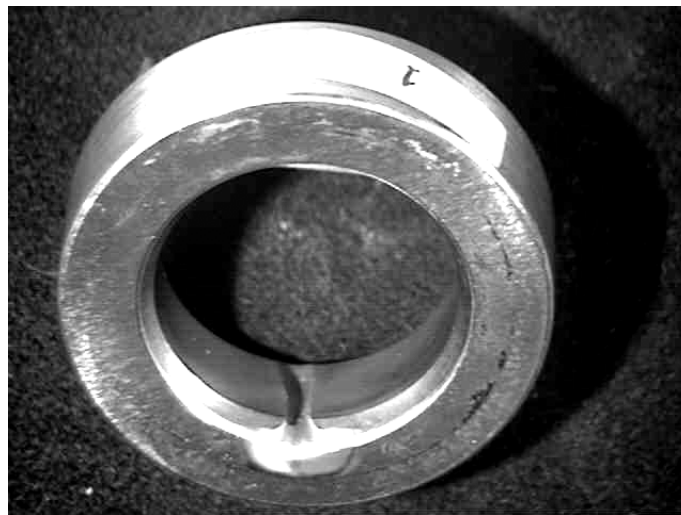
Filetes de la rosca de un tbg con signos de engrane importante

Fallas asociadas a problemas de rozamiento entre elementos: Estas fallas son características de sistemas dinámicos como ser el rozamiento entre el tbg y las varillas de bombeo. Se identifican porque el diámetro de la varilla queda copiado en la pared interna del tbg.



Rozamiento generado por la sarta de bombeo contra la Pared interna del tbg.

Fallas debido a procesos erosivos por escape de fluidos: Estas fallas se identifican por la textura de pulido que se observa en las zonas donde el fluido se abrió camino.



Canal generado por el pasaje de fluido en el asiento de una bomba de bolilla

3-Conclusiones

- El análisis de falla es una herramienta importante en el conocimiento del problema real para poder cuantificar el riesgo sobre otros elementos o sistemas similares, con condiciones operativas también similares.
- La administración de una base de datos confiable aportará una mejor visión de los parámetros que intervinieron en la falla. También se podrá anexar a un sistema de gerenciamiento de riesgo.
- El trabajo sinérgico entre los laboratorios y la asistencia técnica de SIDERCA con el personal del campo permite un diagnóstico efectivo del problema y los cursos de acción a seguir