

PROGRAMA DE GESTIÓN DE LA INTEGRIDAD DE CAÑERÍAS ENROLLABLES

¹A. Pellicano, ²P. Montemartini, ³M. Toscano.

¹ Sintec S.A. – Av. Colón 3083 8º Piso - Mar del Plata – Bs. As. – Argentina
apellicano@sintecsa.com.ar

² INTEMA - Instituto de Investigaciones en Ciencia y Tecnología de Materiales - UNMDP
CONICET – Av. Colón 10850 - Mar del Plata – Bs. As. – Argentina
pmontema@fi.mdp.edu.ar

³ Phoenix Global Resources – Av. L.N. Alem 855 – Bs. As. – Argentina
m.toscano@phoenixgr.com

Sinopsis

El objetivo de este documento consiste en presentar los lineamientos mínimos requeridos para la implementación de un Sistema de Gestión de Integridad de Cañerías Enrollables de polietileno de alta densidad (PEAD), que permita garantizar la operación segura de las cañerías, el cumplimiento de la normativa vigente y la satisfacción de las expectativas corporativas. Estas cañerías flexibles presentan tres capas, una interna (liner) que provee la resistencia química a las sustancias transportadas, una capa intermedia que brinda la resistencia mecánica, y una capa exterior que protege de agentes externos. Un programa de gestión de la integridad de las tuberías es un conjunto de políticas, procesos y procedimientos documentados para gestionar el riesgo de las tuberías.

Para garantizar la integridad de estas cañerías es necesario llevar a cabo un proceso sistemático de identificación de amenazas, caracterizar los posibles modos de falla involucrados, realizar una evaluación de los riesgos asociados, establecer los requisitos de prueba y los ensayos a realizar tanto en el campo como en laboratorio, definir las prácticas de inspección requeridas, determinar las prácticas de inspección de las etapas de acoplamiento y ajuste final, desarrollar las metodologías de reparación requeridas y detallar la documentación que es necesario preservar para realizar los estudios de integridad presentes y futuros. Asimismo, debe incluir una serie de actividades que permitan evaluar la performance del programa y la retroalimentación en función de los resultados obtenidos para asegurar la optimización continua de todo el proceso.

Palabras clave: gestión de integridad, polietileno de alta densidad, análisis de riesgos.

1. Introducción

El objetivo de este documento consiste en presentar el Sistema de Gestión de Integridad de Cañerías Enrollables, diseñado para proveer los medios para gestionar la operación segura de las cañerías, el cumplimiento de la normativa vigente y la satisfacción de las expectativas corporativas.

Las cañerías enrollables de polietileno de alta densidad (PEAD) son tubos flexibles que presentan tres capas, una interna (liner) que provee la resistencia química a las sustancias transportadas, una

capa intermedia que brinda la resistencia mecánica, y una capa exterior que protege de agentes externos (Figura 1).

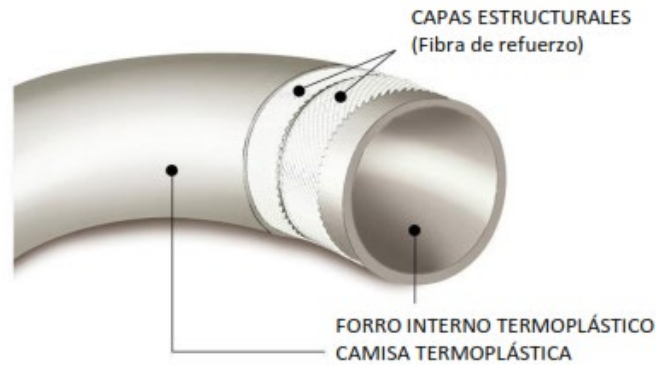


Figura 1. Representación esquemática de las capas.

Las cañerías enrollables más comúnmente utilizadas alcanzan hasta las 6 pulgadas de diámetro nominal y se disponen en tres versiones: Tubería de conducción FlexPipe (FPLP), Tubería de conducción para Alta Temperatura FlexPipe (FPLP HT) y Tubería de conducción FlexCord (FCLP) con clasificaciones ANSI 150, 300, 600, 800 y 900. Las primeras tienen refuerzos con filamentos de fibra de vidrio, mientras que las FlexCord tienen refuerzos con cables de acero galvanizado.

2. Proceso de Gestión de la Integridad

El Proceso de Gestión de la Integridad está integrado por una serie de etapas que buscan asegurar una precisa identificación de los mecanismos de daño y el control efectivo de los diferentes iniciadores potencialmente que pueden comprometer la integridad de las cañerías (Figura 2).

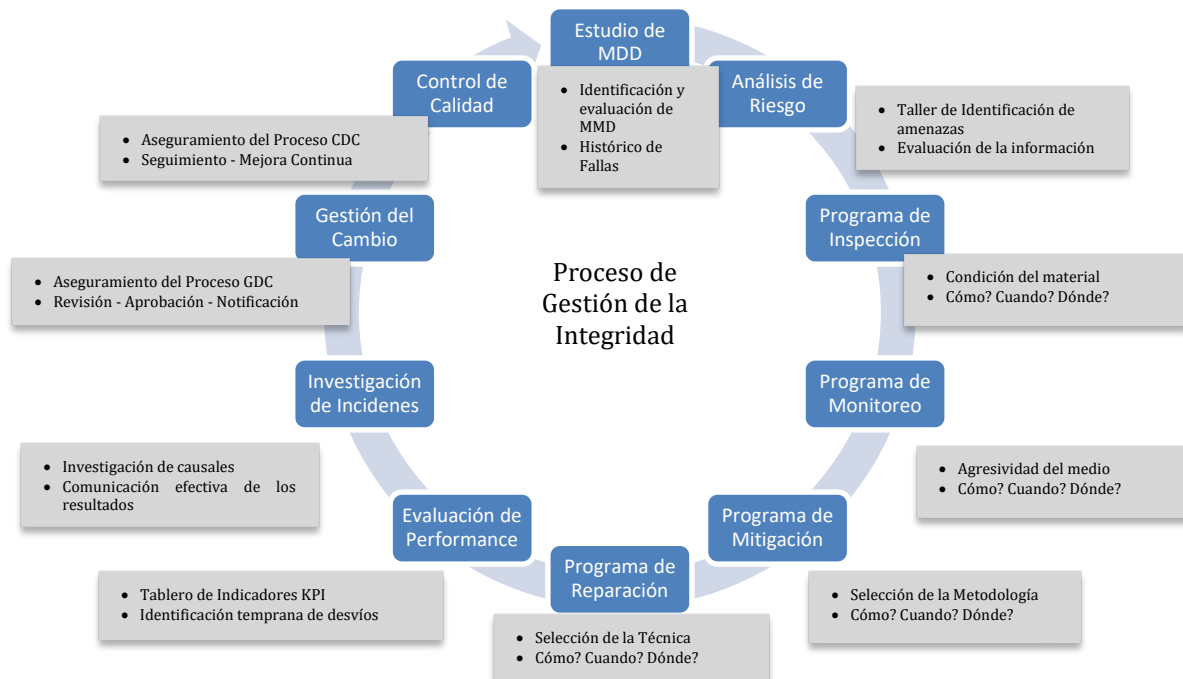


Figura 2: Proceso de Gestión de Integridad de cañerías

3. Integración de la Información

Los operadores deben desarrollar e implementar procedimientos para:

- a) Identificar los tipos de datos necesarios para respaldar la gestión de la integridad;
- b) Identificar la ubicación de los datos dentro de la organización;
- c) Entregar la información identificada del titular de los datos al grupo responsable de la integración y análisis de los datos;
- d) Difundir los datos integrados y el conocimiento generado a las partes responsables de identificar y gestionar las amenazas a la integridad.

La práctica recomendada 1160 de la API, Gestión de la integridad de los sistemas para tuberías de líquidos peligrosos, proporciona detalles adicionales sobre los tipos de datos que se deben integrar en un programa de gestión de la integridad.

En el caso de los sistemas de tuberías enrollables, esto incluye elementos como:

- i. Atributos de la tubería, como el fabricante de la tubería, el tamaño, el rating, la fecha de instalación, los accesorios (válvulas, accesorios, etc.), los accesorios de campo, los cruces y cualquier equipo de mitigación de la corrosión;
- ii. Factores de construcción como el derecho de paso (tipo de suelo, profundidad de enterramiento, etc.), inspecciones, pesos de tuberías;
- iii. Parámetros e historial de funcionamiento, como historiales de presión, rangos de temperatura, líquidos transportados, inspecciones e informes de fugas;
- iv. Historial de evaluación de integridad, como pruebas hidrostáticas, cortes de reparación, resultados de cupones de prueba y cualquier otro método de monitoreo.

4. Identificación de Amenazas

La gestión de la integridad de un sistema de tuberías enrollables comienza con una consideración sistemática e integral de las posibles amenazas a la integridad. Estas amenazas describen un posible proceso por el cual un sistema de tuberías enrollables podría fallar. La identificación de los modos de falla relevantes debe basarse en un conocimiento detallado del comportamiento de la tubería enrollable. Se recomienda llevar a cabo un taller de identificación de amenazas con el objeto de calificar cualitativamente cada amenaza potencialmente presente en el sistema y enunciar el cronograma con las tareas a realizar y el responsable de cada actividad establecida.

La Tabla 1 identifica las posibles amenazas a la integridad de tuberías enrollables. Cada tipo de defecto, modo de falla y mecanismo está identificado y se detallan los métodos de inspección y detección asociados.

5. Extracción de Testigos

La extracción y prueba periódica de testigos o cupones proporcionan un medio para evaluar el rendimiento a largo plazo de la tubería enrollable. Para la recuperación de testigos utilizados a posteriori para su evaluación en laboratorio se deben seguir los lineamientos establecidos en el “Reporte Cañerías Enrollables - Ingeniería de Testigos Rev A”.

Las ubicaciones de los testigos de prueba deben seleccionarse de manera de reflejar las condiciones de servicio más exigentes en términos de carga, deformación y condiciones ambientales internas o externas. Dichas ubicaciones pueden incluir una o más de las siguientes premisas:

- a) Cerca de bocas de pozo u otras áreas de temperatura elevada;
- b) Inmediatamente aguas abajo de las estaciones de bombeo/compresor;
- c) Cuando se sepa que se produce la separación de fluidos.

Si se sabe que la erosión es un problema dentro de la tubería, los testigos de prueba deben diseñarse para reflejar el radio de curvatura mínimo permitido para la tubería en servicio.

Tabla 1. Amenazas potenciales a la integridad de las cañerías enrollables

Capa Tubería	Defecto / Modo Falla / Mecanismo	Inspección / Detección
Liner	Fisura o Agujero	• Detección visual durante la producción u otros métodos de control de calidad, como las pruebas de aceptación en fábrica. • Pruebas hidráulicas de campo y/o programa de pruebas de fugas • Mantenimiento de registros y evaluaciones de compatibilidad química • Detección de fugas por fibra óptica (empotrada o en zanja)
	Ruptura	• Detección de fugas por fibra óptica (empotrada o en zanja) • Sistemas informáticos de detección de fugas en tuberías
	Colapso	• Herramientas de inspección geométrica y de flotación libre • Monitoreo de caudal o presión • Pigging • Monitoreo de anillos
	Fragilización por envejec./ degradación química.	• Prueba de cupones • Carretes testigos
	Ampollado	• Herramientas de inspección de geometría • Inspección
	Erosión del Liner	• Control de la velocidad • Control de la producción de arena • Carretes testigos
Capa de Refuerzo	Rotura del Refuerzo Metálico	• Monitoreo de H₂S • Pruebas hidráulicas • Carretes/cupones testigos • Monitoreo de anillos
	Rotura del Refuerzo No Metálico	• Pruebas hidráulicas periódicas • Carretes/cupones testigos
	Aplastamiento u Ovalización.	• Inspección visual durante o después de la instalación • Herramientas de inspección geométrica y de flotación libre
	Fisuración de la matriz adherida	• Inspección visual durante la instalación o el funcionamiento • Seguimiento del movimiento de la tubería
	Tubería retorcida.	• Inspección visual durante o después de la instalación
Cobertura Externa	Agujero, desgarró, rotura o grieta.	• Inspección visual durante y después de la instalación

6. Detalle de los Estudios

A continuación se enumeran los ensayos a realizar y un breve detalle de cada técnica:

- Inspección Visual.
- Dureza Superficial.
- Ensayo de Tracción.
- Espectroscopía Infrarroja.
- Calorimetría Diferencial de Barrido.
- Tiempo de Inducción de la Oxidación.
- Prueba Hidrostática.

5.1 Inspección Visual

La inspección visual es un Ensayo No Destructivo (END) que consiste en efectuar una revisión a simple vista de la muestra bajo estudio para establecer la presencia de defectos, fisuras, orificios y cualquier otro elemento que pudiera condicionar la integridad del elemento bajo estudio. La inspección visual puede clasificarse en dos tipos: directa o indirecta.

La inspección visual directa se realiza sin ningún accesorio para la observación y se utiliza la capacidad visual del inspector bajo determinadas condiciones de iluminación y orientación.

La inspección visual indirecta se realiza mediante equipos (Boroscopios o Videoendoscopios) y se realiza en aquellas situaciones o condiciones donde no llega el ojo humano. Se emplean para poder analizar componentes internos sin necesidad de destruir la muestra.

5.2 Dureza Superficial (SHORE D - norma ASTM D2240-03)

La dureza es la medida de la resistencia de un material plástico a la compresión e indentación. Como se suele describir, la dureza es una propiedad compuesta que combina conceptos de resistencia a la penetración, rayado, etc. La mayoría de las pruebas de dureza para plásticos se basan en la resistencia a la penetración de un indente en la superficie de un plástico bajo una carga constante. La medición de la dureza por los indentadores es una acción compleja porque hay un efecto de recuperación elástico. Las escalas de dureza Shore A y Shore D son comunes; la escala A se usa para materiales más blandos y la escala D para materiales más duros.

5.3 Ensayo de Tracción (norma ASTM D638-10L)

El ensayo de tracción en plásticos según la norma ASTM D638 proporciona las principales características mecánicas del material, como la deformación, el módulo de tracción, la resistencia a la tracción, el punto de fluencia y el punto de rotura. Para la realización de los ensayos existen distintos tipos de probeta. La probeta tipo IV (ver Figura 3) se utiliza cuando se busca una comparación entre polímeros blandos y otros más rígidos. En la Figura 4 se muestra un ensayo característico.

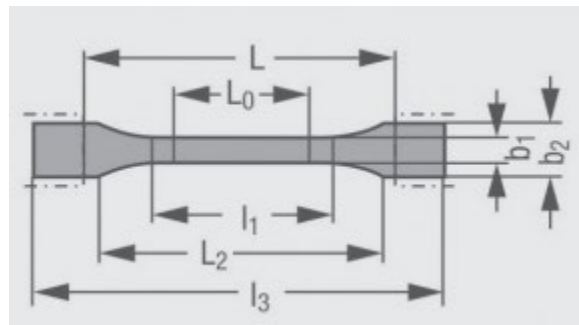


Figura 3. Dimensión de la probeta

L0: Longitud de medición

L: Longitud de sujeción

l1: Longitud de la parte estrecha paralela/Diámetro interior

l2: Distancia entre secciones anchas, paralelas

l3: Longitud total/ diámetro exterior

b2: Ancho de probeta en área de los extremos

b1: Ancho de probeta en área de longitud de medición

h: Espesor de probeta

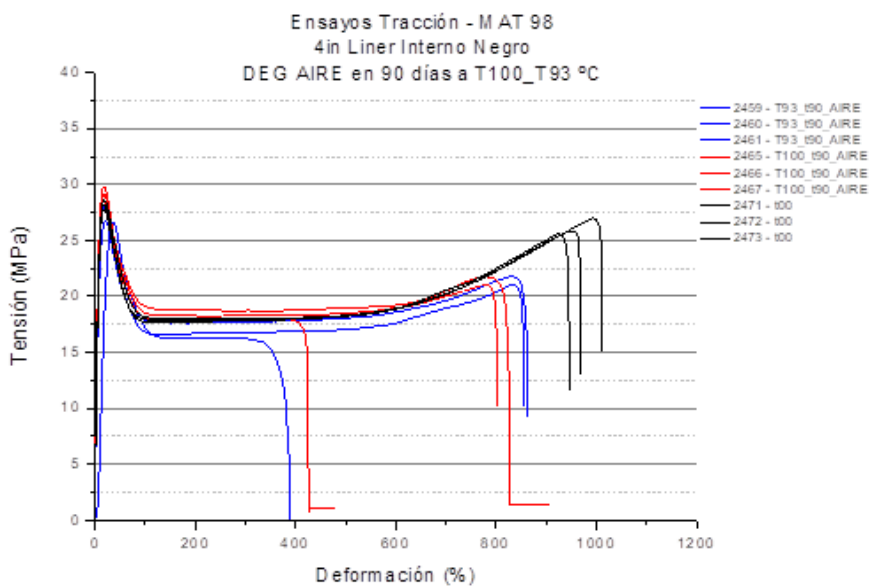


Figura 4. Ensayo de Tracción

5.4 Espectroscopía Infrarroja (norma ASTM E1252-10)

El análisis de una muestra por Espectroscopía Infrarroja (FTIR) permite la obtención de un espectro de reflexión (Figura 5) de las bandas de los grupos funcionales de las sustancias presentes, por lo cual es posible realizar una identificación de los materiales, para detectar contaminantes comunes, subproductos de la degradación y aditivos. En la Tabla 2 se muestran los resultados de la espectroscopía infrarroja realizada sobre una muestra de PEAD.

Tabla 2. Identificación de Picos y Asignación de Grupos Funcionales

IR frecuencia (cm ⁻¹)	Grupo Funcional
1262, 1542, 1745, 3643	----
2955, 2957, 2960	CH
2846, 2849, 2852, 2913, 2916, 2919	CH
1592, 1595, 1598	C=C
1433, 1436, 1439, 1462, 1465, 1471, 1485	CH ₂
803, 873, 1097, 1026, 1118, 1124, 1127, 1150, 1153, 1230, 1235	=CH
720, 723	CH ₂

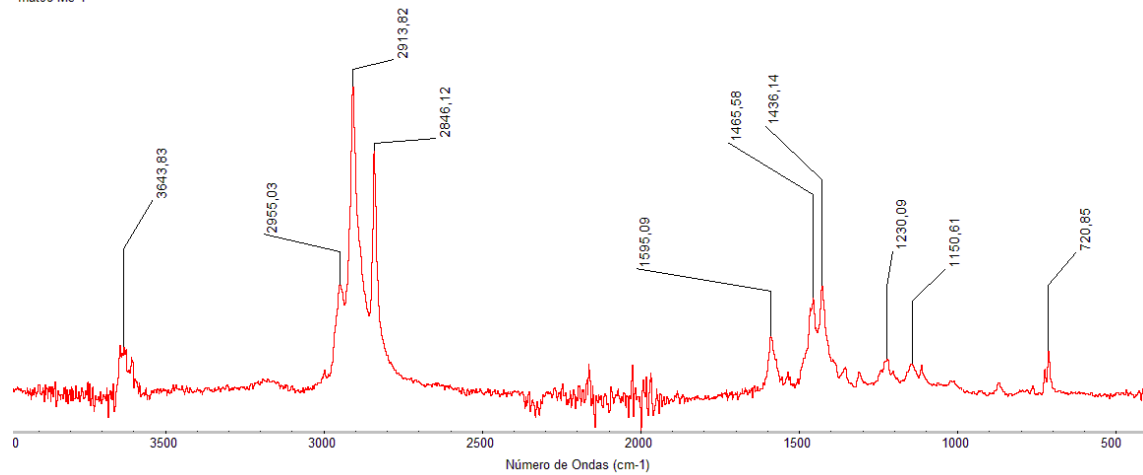


Figura 5. Espectro representativo del material

5.5 Calorimetría Diferencial de Barrido (norma ASTM D 3418-15)

La calorimetría diferencial de barrido (DSC, “Differential Scanning Calorimetry”) es la técnica más frecuente de análisis térmico. El DSC mide los cambios de entalpía en muestras debidos a modificaciones en sus propiedades químicas y físicas en función del tiempo o la temperatura.

Mediante la realización de un barrido dinámico en condiciones estándar (desde 0 °C hasta 220 °C a 10 °C/min utilizando nitrógeno como gas de barrido) se determina la temperatura y el calor de fusión del material (ver Figura 5).

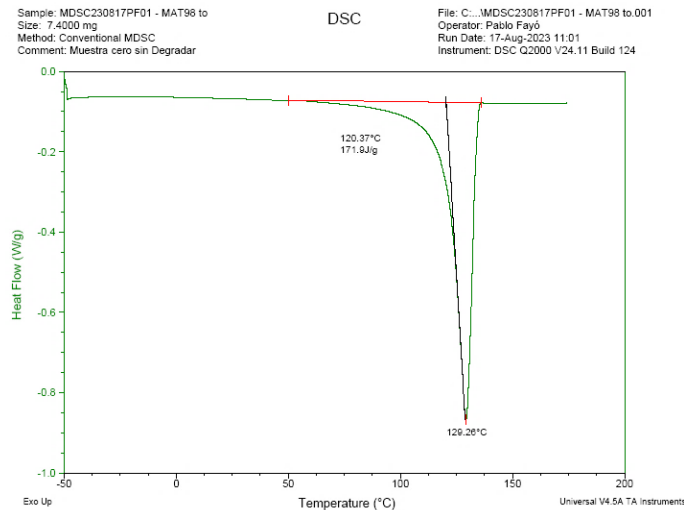


Figura 6. Calorimetría Modulada del material (liner).

5.6 Tiempo de Inducción de la Oxidación (OIT - norma ASTM D 3895-03)

Como la oxidación es un proceso que hace que los materiales se deterioren con el tiempo es necesario proceder a la cuantificación de este proceso. Los valores del tiempo de inducción de la oxidación (OIT) se obtienen por calorimetría diferencial de barrido (DSC) siguiendo lo establecido en la norma ASTM D 3895-03.

El primer paso es seleccionar la Isoterma del ensayo donde se pueda ver la Oxidación más claramente. Para esto se deben realizar barridos isotérmicos a diferentes temperaturas (220 – 230 – 240 – 250 – 260 °C) utilizando oxígeno como gas de barrido.

El tiempo de inducción se determina como el tiempo transcurrido desde el inicio de la isoterma hasta la aparición del proceso exotérmico asociado a la degradación.

En la Figura 7 se presenta un termograma a título de ejemplo.

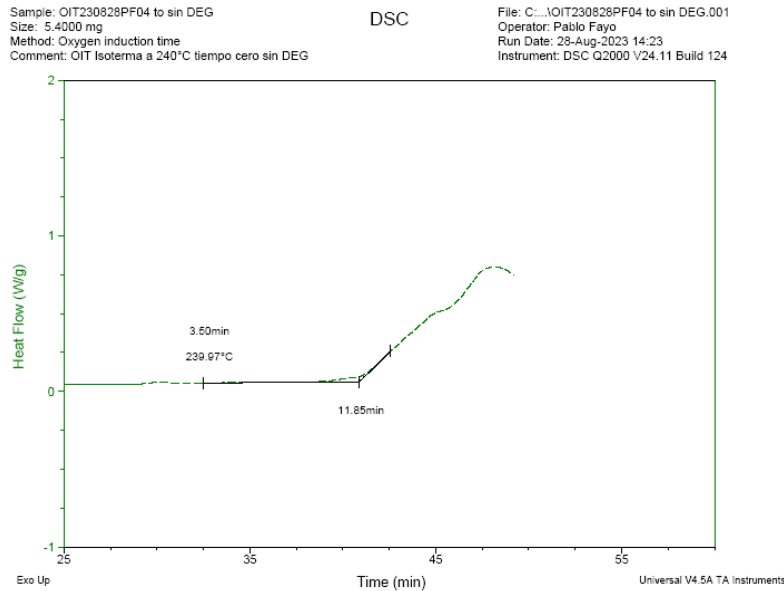


Figura 7. Calorimetría Isotérmica a 240 °C del material.

7. Manual de Calidad del Proveedor

La normativa internacional, API 15S y API 17J por ejemplo, establecen que los fabricantes de tubulares deben asegurar las propiedades de los materiales con los que se construyen sus productos, incluyendo su comportamiento frente a los fluidos transportados.

Es fundamental en este sentido requerir al proveedor el Manual de Calidad con los ensayos realizados en fábrica, los valores obtenidos y los límites establecidos en cada caso, lo que habilitará para una comparación con los resultados obtenidos en laboratorio con los testigos y la detección temprana de desvíos que puedan comprometer la performance en servicio de los materiales.

8. Conclusiones

En función de lo expuesto se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- El aseguramiento de la integridad de estas cañerías requiere realizar una serie de actividades que se deben abordar en forma interdisciplinaria entre todos los sectores involucrados con el objeto de generar sentido de pertenencia y el compromiso de toda la compañía.
- Las actividades deben incluir un proceso de identificación de las distintas amenazas que pueden afectar la integridad de estas cañerías, caracterizando la secuencia de falla y evaluando los riesgos asociados.
- Asimismo se deben los ensayos a realizar tanto en el campo como en laboratorio, definiendo los criterios y límites específicos para cada estudio.

- Se debe definir las prácticas de inspección de las etapas iniciales de transporte, acoplamiento y ajuste de todo el sistema.
- Se deben desarrollar las metodologías de reparación requeridas y detallar la documentación que es necesario preservar para realizar los estudios de integridad presentes y futuros.
- Asimismo, deben desarrollar indicadores de funcionamiento que permitan evaluar la performance del programa y la retroalimentación en función de los resultados obtenidos para asegurar la optimización continua de todo el proceso.

9. Bibliografía

1. API 1160: Managing System Integrity for Hazardous Liquid Pipelines.
2. API RP 15S: Recommended Practice for the Qualification of Spoolable Reinforced Plastic Line Pipe.
3. API RP 15SA: Integrity Management of Spoolable Reinforced Line Pipe.
4. ASTM F2619/F2619M: Standard Specification for High-Density Polyethylene (PE) Line Pipe.

Breve CV



Nombre: Adolfo Pellicano
Profesión: Ingeniero Químico,
egresado de la Fac. de Ingeniería Mar del Plata.
Ing. SSR en Integridad & Corrosión
Empresa: SINTEC S.A.
Cargo: Presidente

Trayectoria

El ingeniero Adolfo Pellicano es socio fundador de la firma Sintec SA, empresa consultora especializada en la prestación de servicios de ingeniería, gestión de la integridad, corrosión y análisis de riesgo, principalmente orientado para la industria del petróleo y del gas. El ingeniero Pellicano ha realizado estudios y trabajos de investigación en corrosión tanto en el plano nacional como internacional. A la fecha ha dirigido y participado en un gran número de proyectos asociados a la implementación de sistemas de gestión de integridad en yacimientos de petróleo y gas, desarrollo de análisis de riesgo e integridad de ductos e instalaciones, programas de evaluación de fallas y selección de materiales, y ha dictado una serie de cursos técnicos relacionados con la corrosión, las metodologías de monitoreo y mitigación de la corrosión, y la implementación de análisis de riesgo en instalaciones industriales.