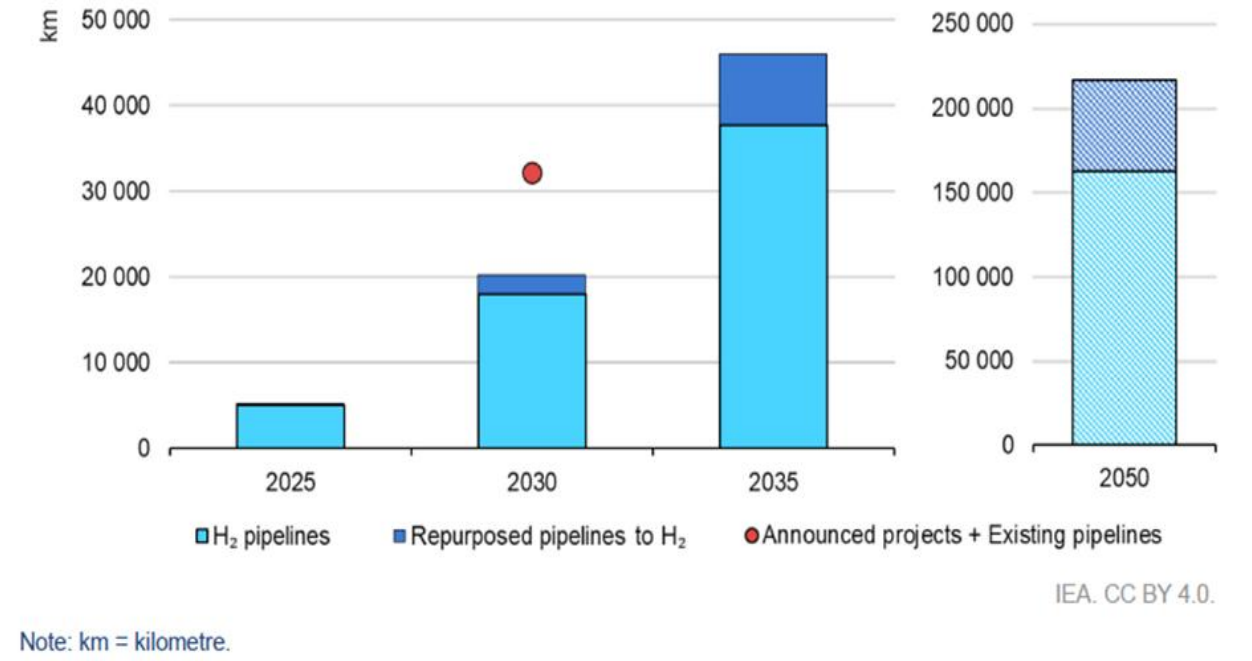
DESAFIOS EN LA GESTIÓN DE INTEGRIDAD DE ACTIVOS DE PRODUCCIÓN Y TRANSPORTE DE HIDRÓGENO

ROSEN GROUP.

www.rosen-group.com

Andrés Molina Villamil

¿ESTADO DEL ARTE ACTIVOS A HIDRÓGENO?



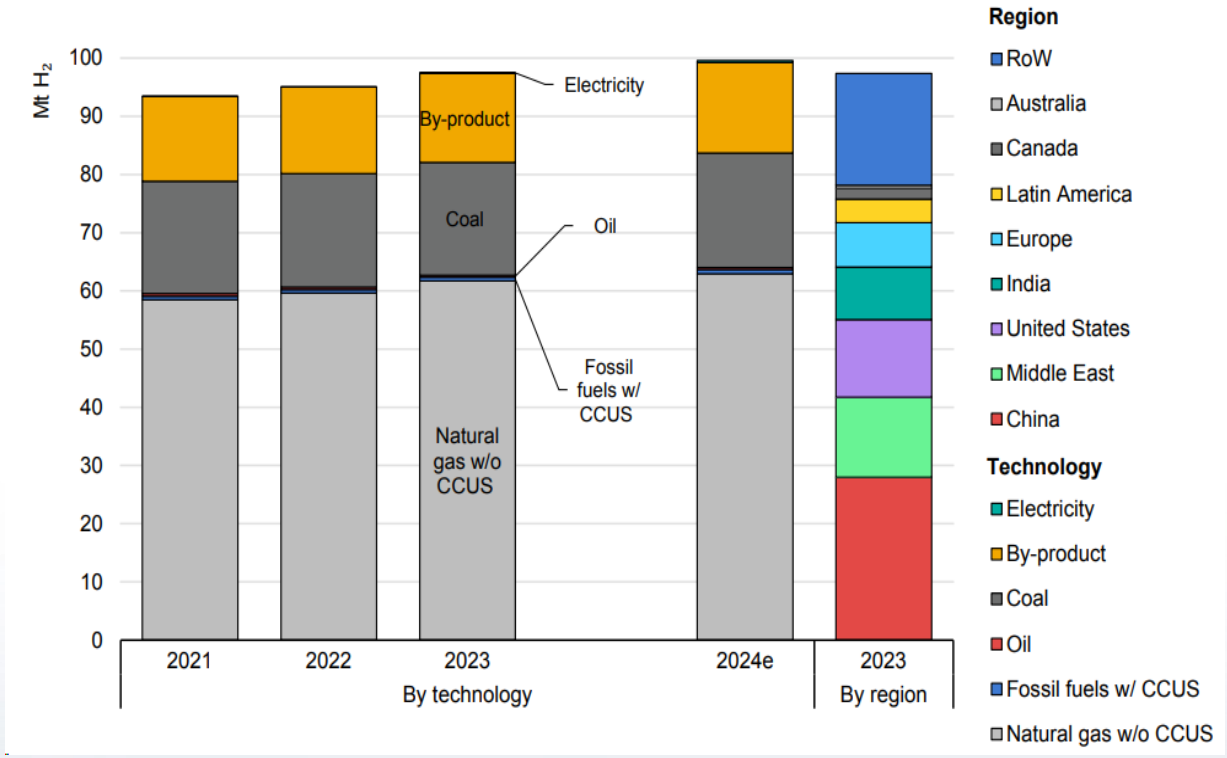


Fig . sources, IEA (2024), Global Hydrogen Review 2024, (Fig 3.1)

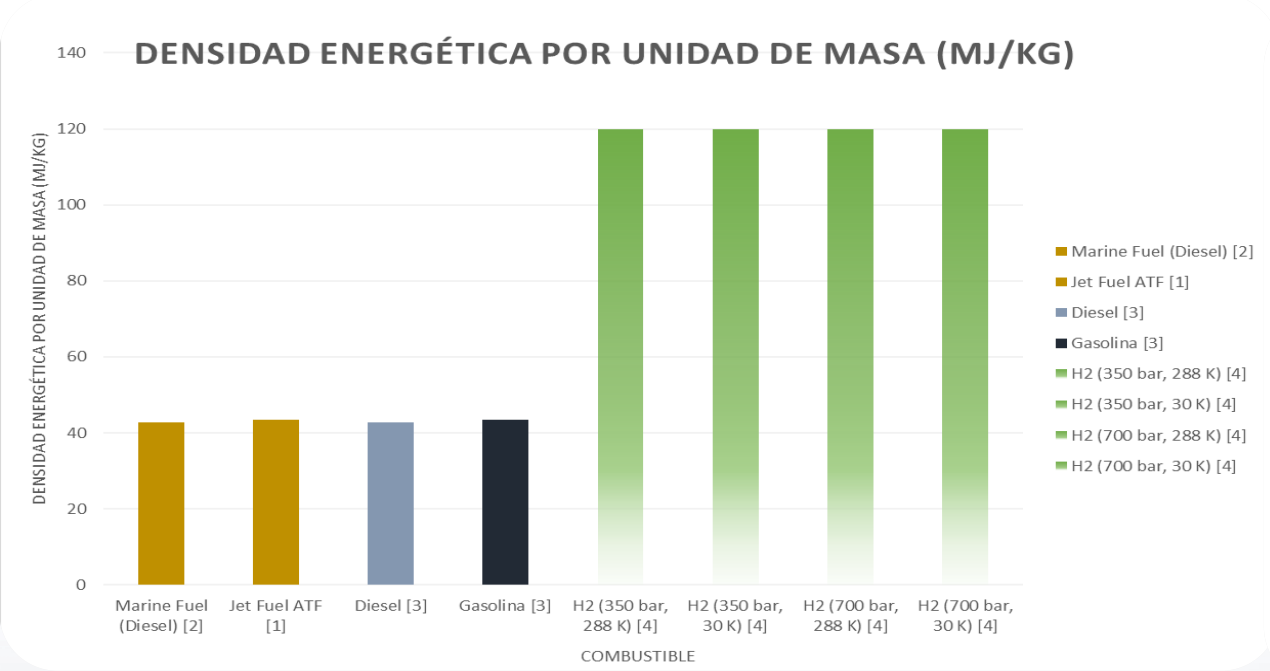
TIPOS DE PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO

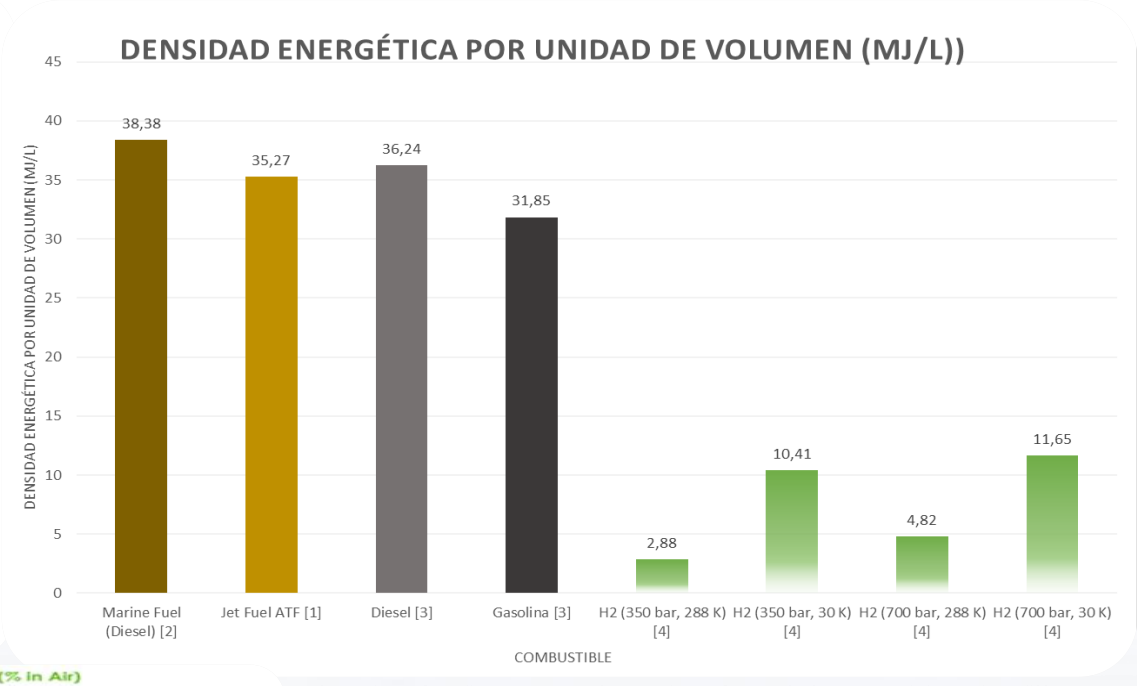
	Terminology	Technology	Feedstock/ Electricity source	GHG footprint*
PRODUCTION VIA ELECTRICITY	Green Hydrogen	Electrolysis	Wind | Solar | Hydro Geothermal | Tidal	Minimal
	Purple/Pink Hydrogen		Nuclear	
	Yellow Hydrogen		Mixed-origin grid energy	Medium
PRODUCTION VIA FOSSIL FUELS	Blue Hydrogen	Natural gas reforming + CCUS Gasification + CCUS	Natural gas | coal	Low
	Turquoise Hydrogen	Pyrolysis	Natural gas	Solid carbon (by-product)
	Grey Hydrogen	Natural gas reforming		Medium
	Brown Hydrogen	Gasification	Brown coal (lignite)	High
	Black Hydrogen		Black coal	

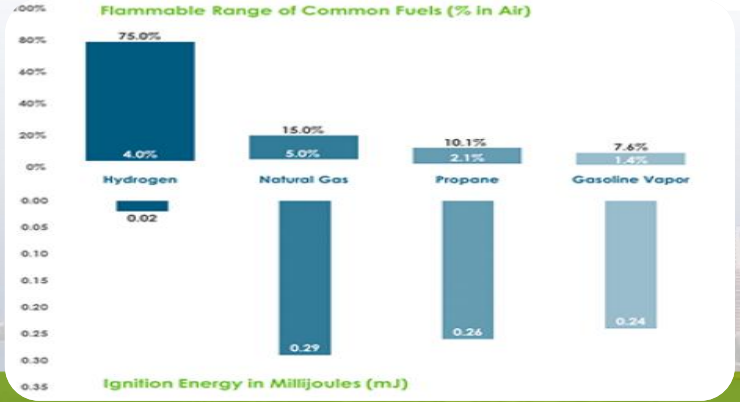
Source: MDPI - How Green Are the National Hydrogen Strategies?

This document is the property of ROSEN Swiss AG who will safeguard its rights according to the civil and penal provisions of law. No part of this document may be reproduced or disclosed to any other party without the prior permission of ROSEN.

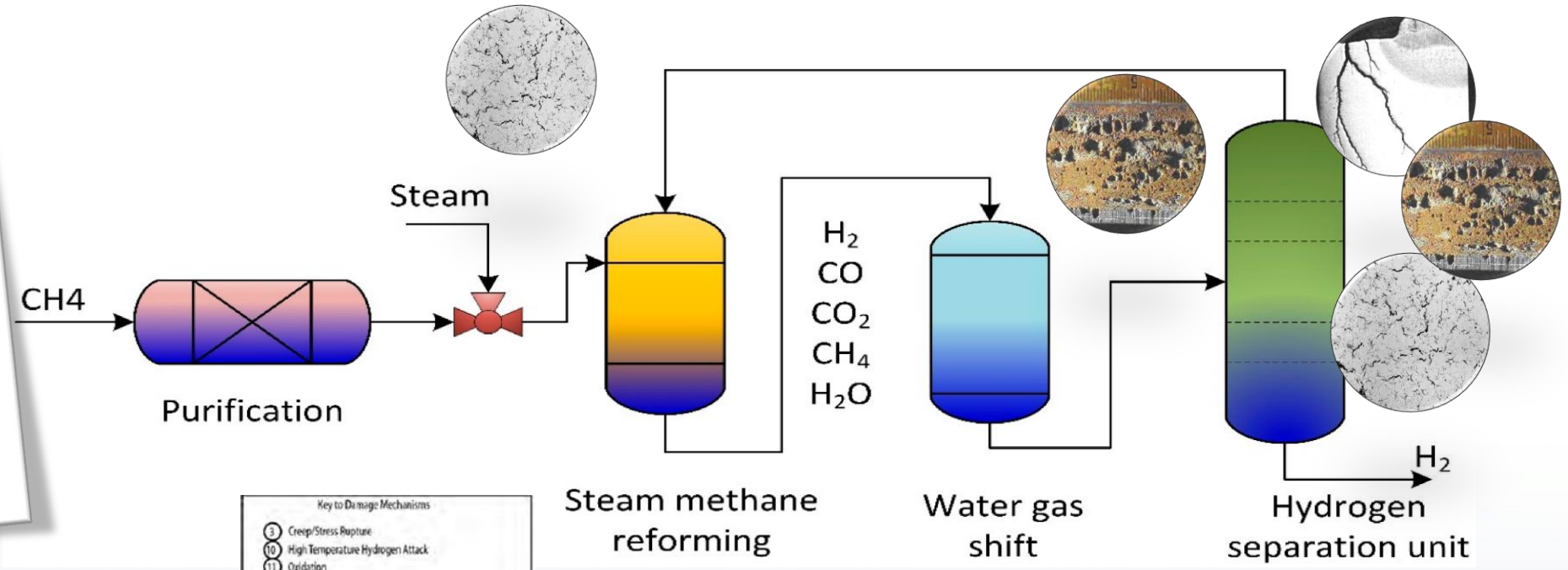
¿POR QUÉ HIDRÓGENO?





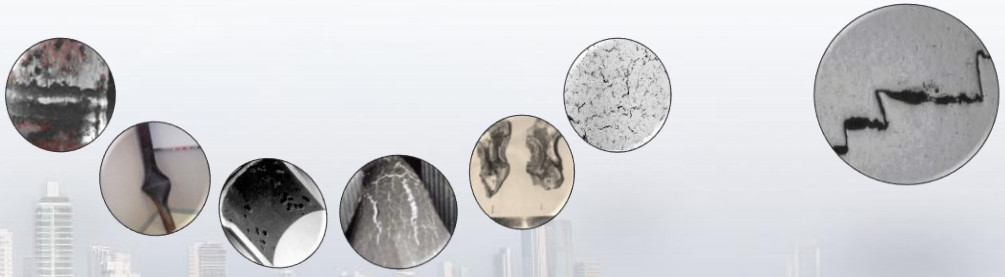


STEAM METHANE REFORMING-SMR



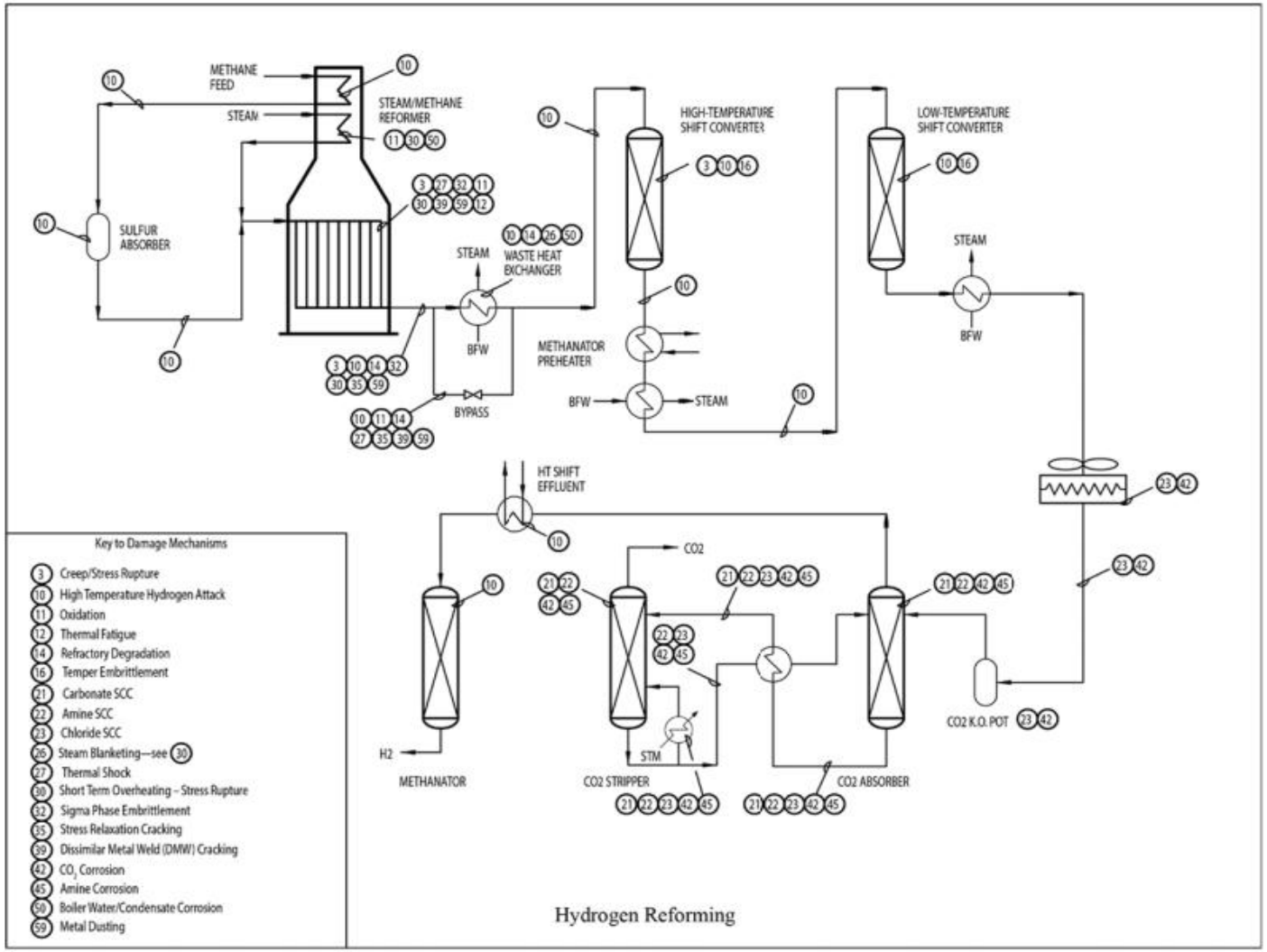
Key to Damage Mechanisms

3	Creep/Stress Rupture
10	High Temperature Hydrogen Attack
11	Oxidation
12	Thermal Fatigue
14	Refractory Degradation
16	Temper Embrittlement
21	Carbonate SCC
22	Amine SCC
23	Chloride SCC
26	Steam Blanketing—see 30
27	Thermal Shock
30	Short Term Overheating - Stress Rupture
32	Sigma Phase Embrittlement
35	Stress Relaxation Cracking
39	Dissimilar Metal Weld (DMW) Cracking
42	CO_2 Corrosion
45	Amine Corrosion
50	Boiler Water/Condensate Corrosion
59	Metal Dusting



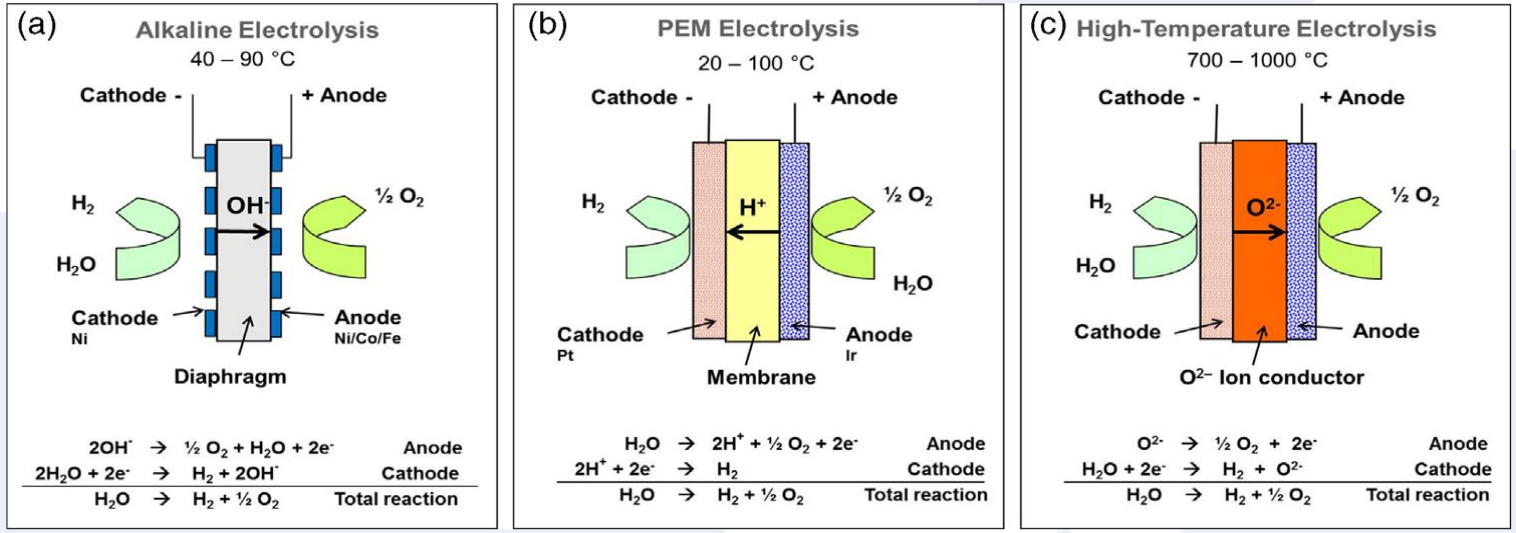
STEAM METHANE REFORMING-SMR

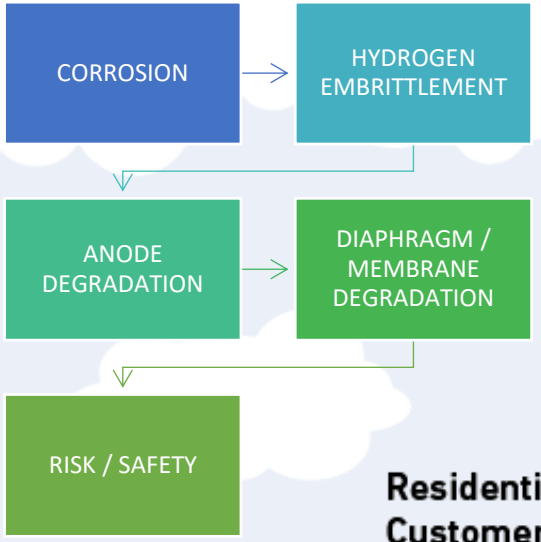
Figure 4-14—Hydrogen Reforming

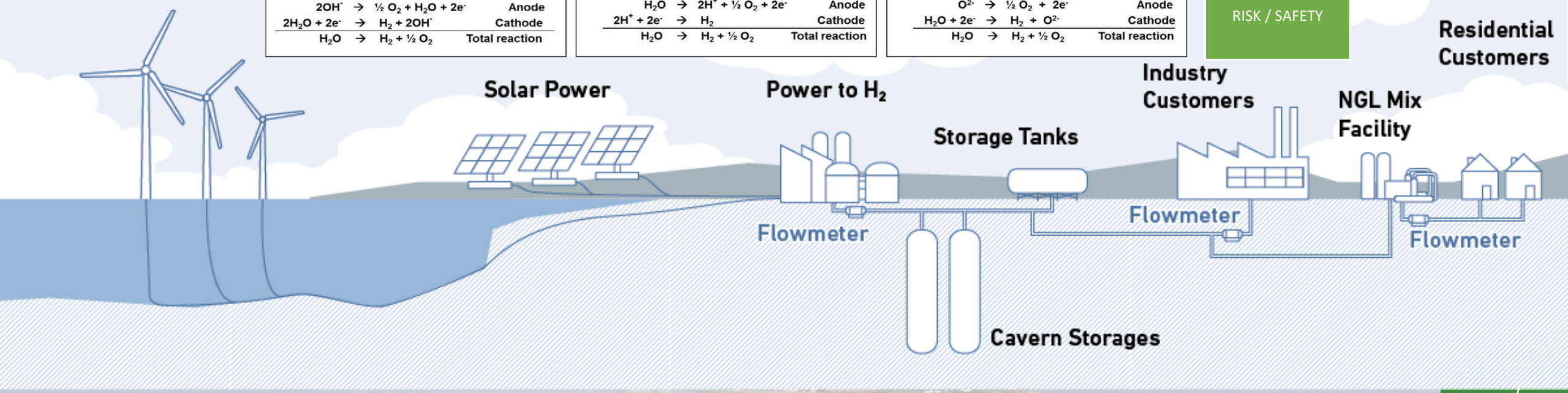


- Ampollamiento por hidrógeno
- Agrietamiento inducido por hidrógeno **(HIC)**
- Agrietamiento inducido por hidrógeno orientado al esfuerzo **(SOHIC)**
- Agrietamiento por corrosión bajo tensión **(SCC)**

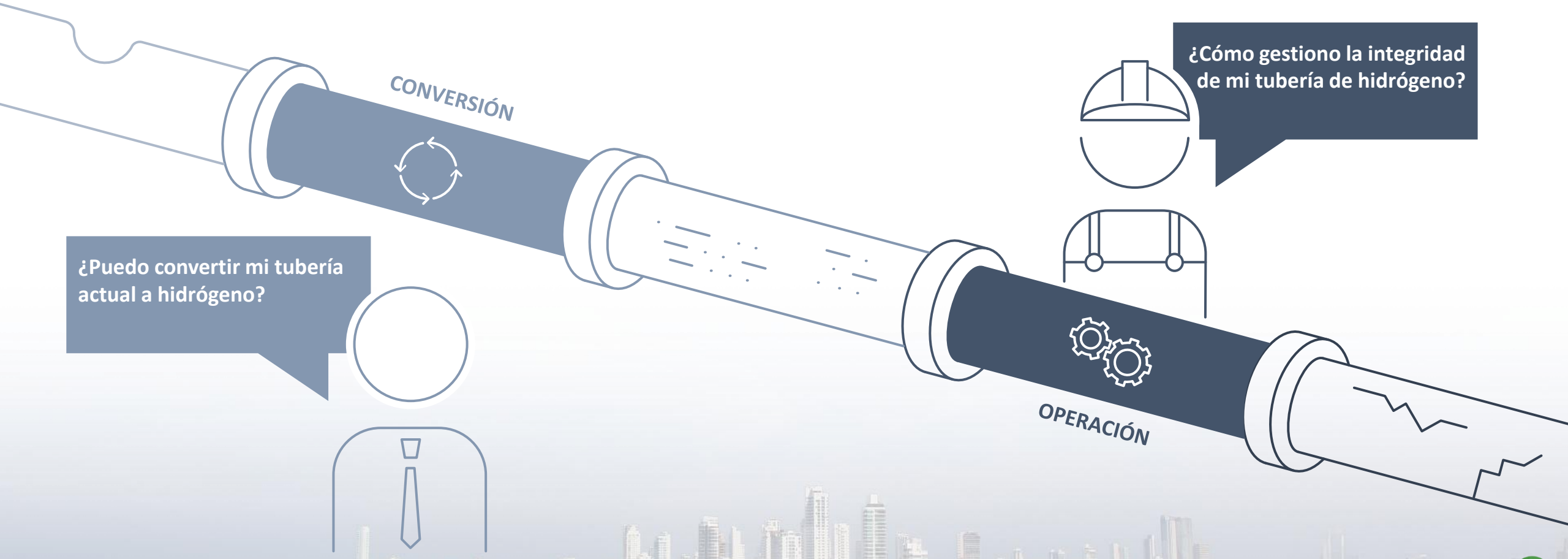
HIDRÓGENO VERDE







LOS OPERADORES DE DUCTOS AHORA ENFRENTAN NUEVOS DESAFÍOS



Problemas comunes de integridad en tuberías de hidrógeno

Mecanismos de daño estándar y específicos del hidrógeno

Mecanismos de daño estándar

- Corrosión interna y externa
- Agrietamiento por corrosión bajo tensión
- Fatiga
- Daños mecánicos

Degradación de las propiedades mecánicas

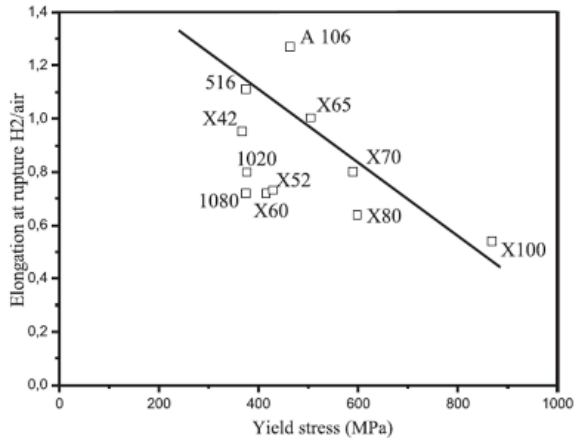
- Fragilización por hidrógeno
- Aumento de la tasa de crecimiento de grietas por fatiga
- Disminución de la soldabilidad

Agrietamiento por Hidrógeno

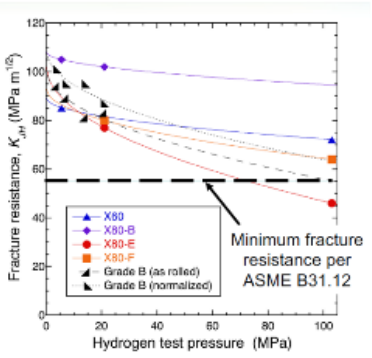
- Agrietamiento por hidrógeno (corrosión bajo tensión)
- Ataque por hidrógeno a alta temperatura
- Agrietamiento inducido por hidrógeno
- Agrietamiento por corrosión bajo tensión por sulfuros
- Formación de hidruros

EFECTOS DEL HIDRÓGENO SOBRE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

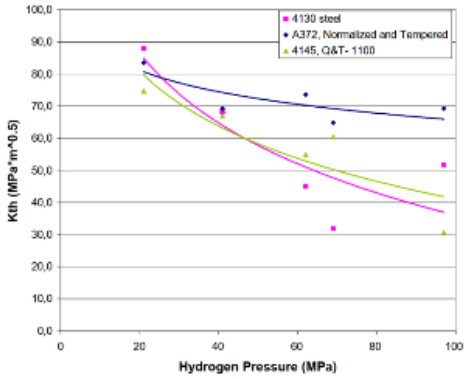
Property	Effect of Hydrogen
Strength	↔ (?)
Ductility	↓
Fracture Toughness	↓
Fatigue Crack Growth Rate	↑



From Boukort et al., Hydrogen Embrittlement Effect on the Structural Integrity of an API 5L X52 Steel Pipeline, International Journal of Hydrogen Energy, 2018

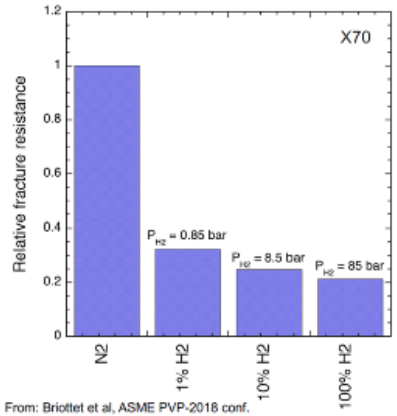


From: San Marchi et al. ASME PVP-1011 conf.

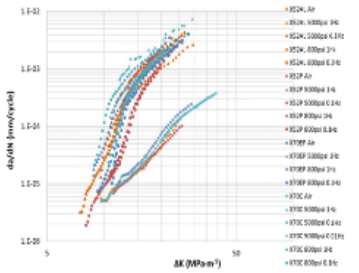


From: Barthelemy, Effects of Purity and Pressure on the Hydrogen Embrittlement of Steels and Other Metallic Materials,

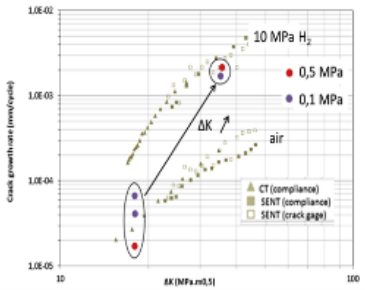
http://conference.ing.unipi.it/icfs2009/images/stories/papers/149.pdf



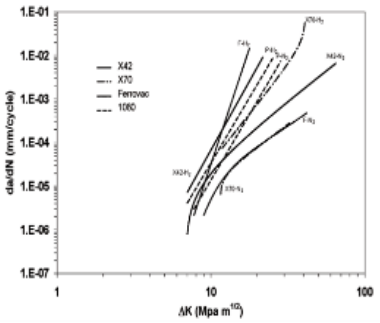
From: Briottet et al, ASME PVP-2018 conf.



From: Chen et al., Performance Evaluation of High-Pressure Gaseous Hydrogen Transportation, CRFS Report 2013

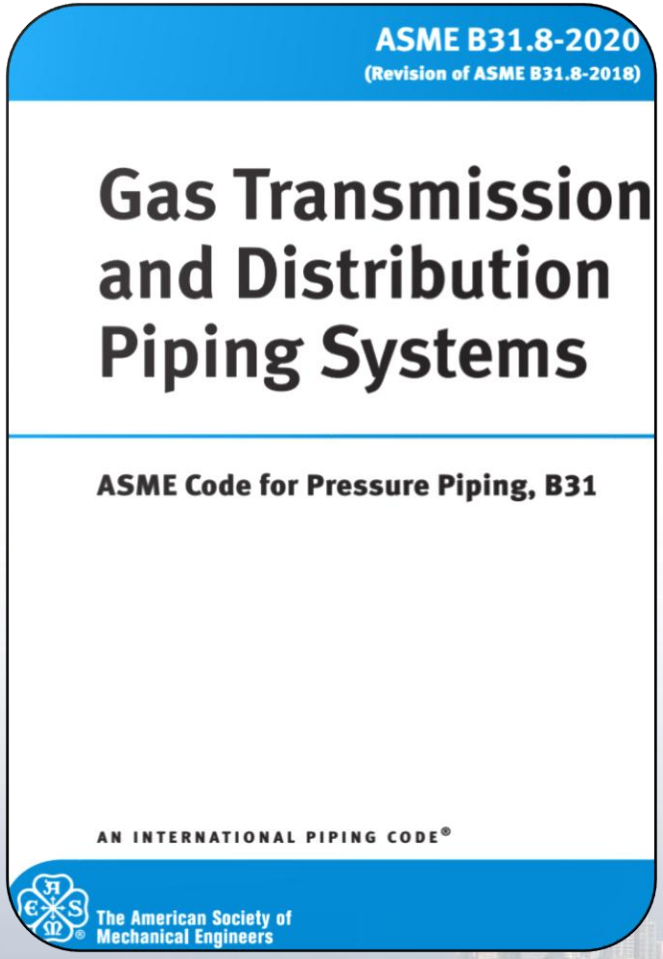


From Briottet et al., Fatigue Crack Initiation and Growth in a CrMo Steel Under Hydrogen Pressure, International Journal of Hydrogen Energy, 2015

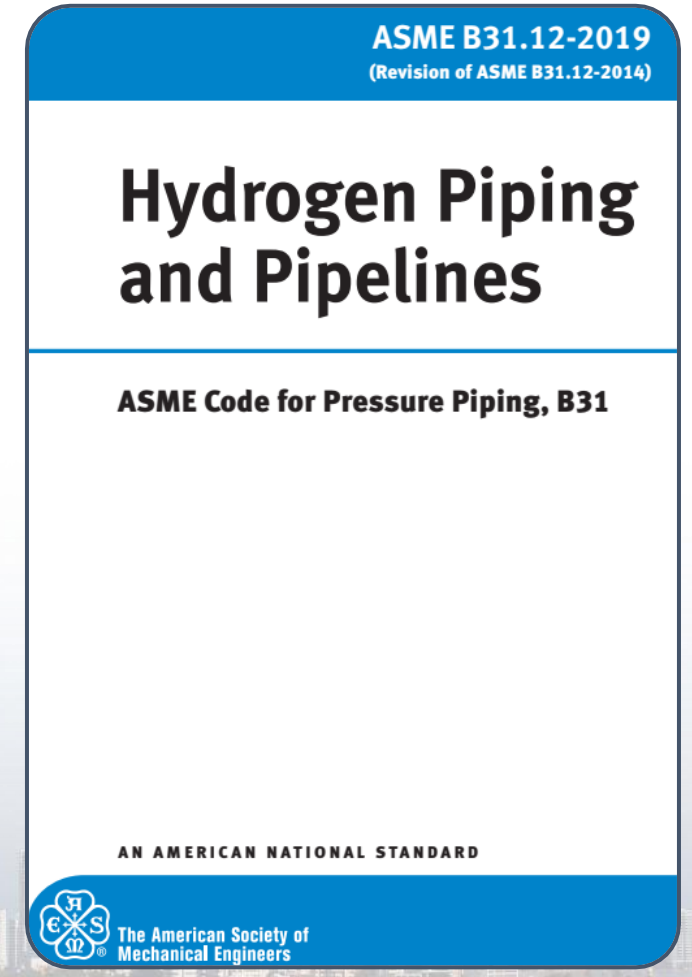


From Nanninga et al., A review of Fatigue Crack Growth for Pipeline Steels Exposed to Hydrogen, NIST Journal, 2010.

REVISIÓN DE DISEÑO B31.8 VS. B31.12



≠



- Los códigos son **diferentes.**
- Los ductos diseñados y operados según las especificaciones de gas natural **probablemente no cumplan** con todos los requisitos de las especificaciones de hidrógeno.
- Se requiere un **enfoque de aptitud para para el propósito (FFP)** Incluyendo **estudios de ingeniería critica (ECA)** al reutilizar ductos existentes para transporte de H2.

This document is the property of ROSEN Swiss AG who will safeguard its rights according to the civil and penal provisions of law. No part of this document may be reproduced or disclosed to any other party without the prior permission of ROSEN.

CONCEPTOS Y OBJETIVOS PARA LA REUTILIZACIÓN

1. ¡CADA DUCTO ES DIFERENTE!

Diferentes procesos de fabricación, construcción, operación, estado, etc.

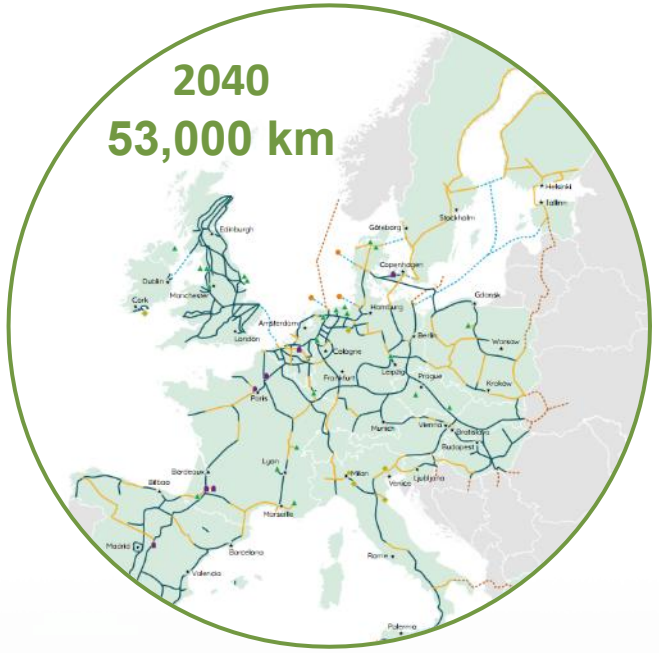
2. EL PROCESO DE CONVERSIÓN, ASÍ COMO LA INTEGRIDAD FUTURA, DEBEN ABORDARSE DE FORMA INTEGRAL.

Misma filosofía que el gas natural, pero con un ajuste preciso de todos los elementos.

3. SE REQUIERE DEMOSTRAR QUE LOS DUCTOS SE MANTENDRAN APTOS PARA EL SERVICIO EN H_2 (¿CAPACIDAD?).

4. EL PROCESO REQUIERE LA DOCUMENTACIÓN DE LOS APORTES DE INGENIERÍA PARA DAR INFORMACIÓN A LA TOMA DE DECISIONES PARA:

Determinar la idoneidad para la conversión, o: Desarrollar medidas prácticas de rehabilitación económica y mitigación para lograr una conversión segura.



Infraestructura madura que se extenderá en todas direcciones para 2040

La red troncal propuesta tendrá una longitud total de **53.000 km,** compuesta aproximadamente por un **69 %** de infraestructura existente modernizada y un **31 %** de nuevos gasoductos de hidrógeno.

Se estima que la inversión total oscilará entre 43.000 y 81.000 millones de euros.

ASOCIACIONES Y COLABORACIONES QUE FOMENTAN EL INTERCAMBIO DE CONOCIMIENTOS

Nuestro objetivo: animar a la industria de los oleoductos a estar preparada para el hidrógeno

ROSEN fomenta un intercambio constante de conocimientos con operadores y expertos para preparar directrices de ingeniería y procedimientos prácticos para la transición hacia el hidrógeno y hacia un futuro seguro y sostenible.

AquaVentus

EPRG

European Clean Hydrogen Alliance

GETH2

HYREADY

MENA Hydrogen Alliance
An initiative of Dii Desert Energy

INICIATIVAS DE ROSEN & LA INDUSTRIA

ROSEN desarrolló diferentes guías industriales para la reutilización del H2

PRCI
LEADING PIPELINE RESEARCH

Catalog No. PR337-23115-R01

Consensus Engineering Requirements for Pipelines in Hydrogen and Hydrogen Blend Service

JEFI 04-11

Contract PR337-23115

Prepared for the

Emerging Fuels Institute

Of

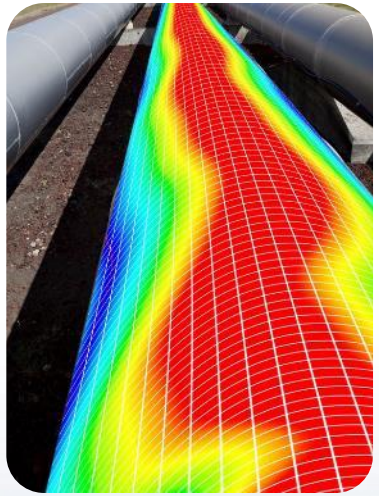
Pipeline Research Council International, Inc.

Prepared by:

ROSEN

UNA INTEGRACIÓN ÚNICA DE COMPETENCIAS PARA CADA DISCIPLINA DE GESTIÓN DE LA INTEGRIDAD DE DUCTOS DE H2

Requisitos operativos de una red de hidrógeno



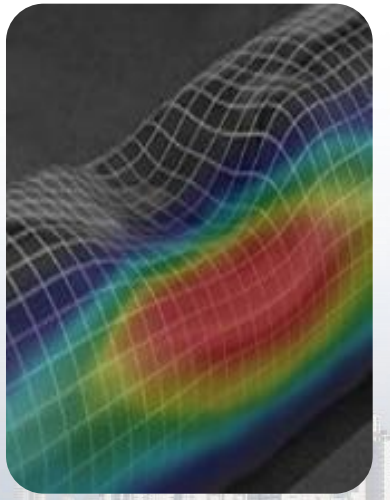
Flow Rate

Pressure

Evaluación de riesgos y Consecuencias.

Efectos del hidrógeno en las propiedades de los materiales

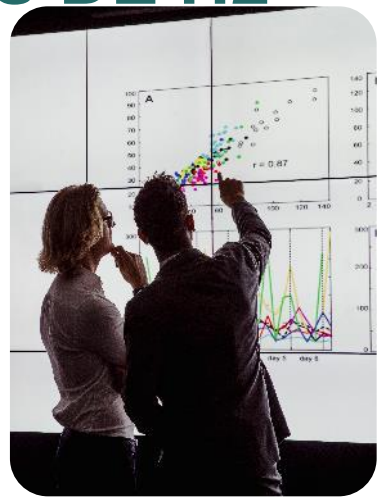
Tenacidad, ductilidad y resistencia a la fatiga



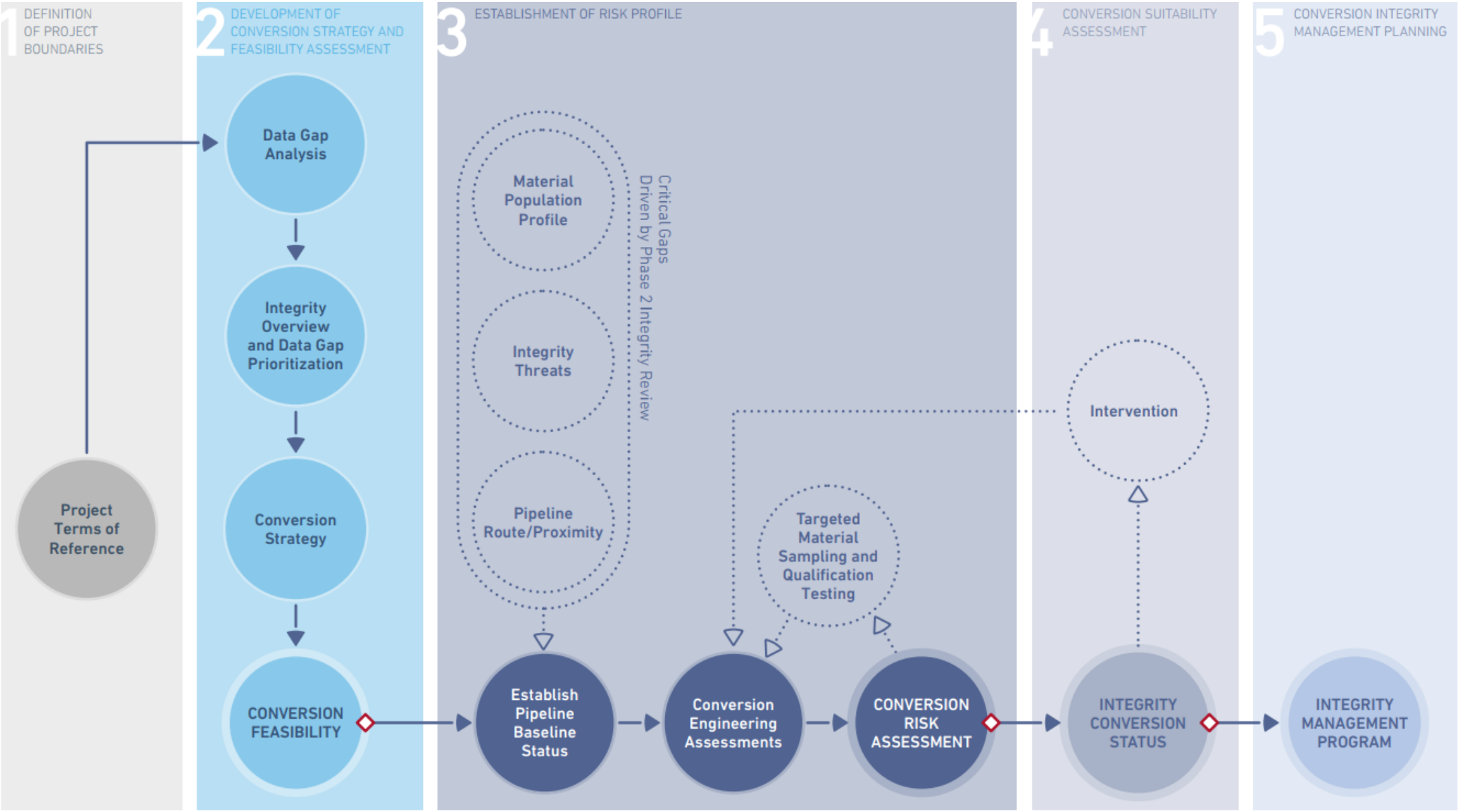
Loading

Material Specification

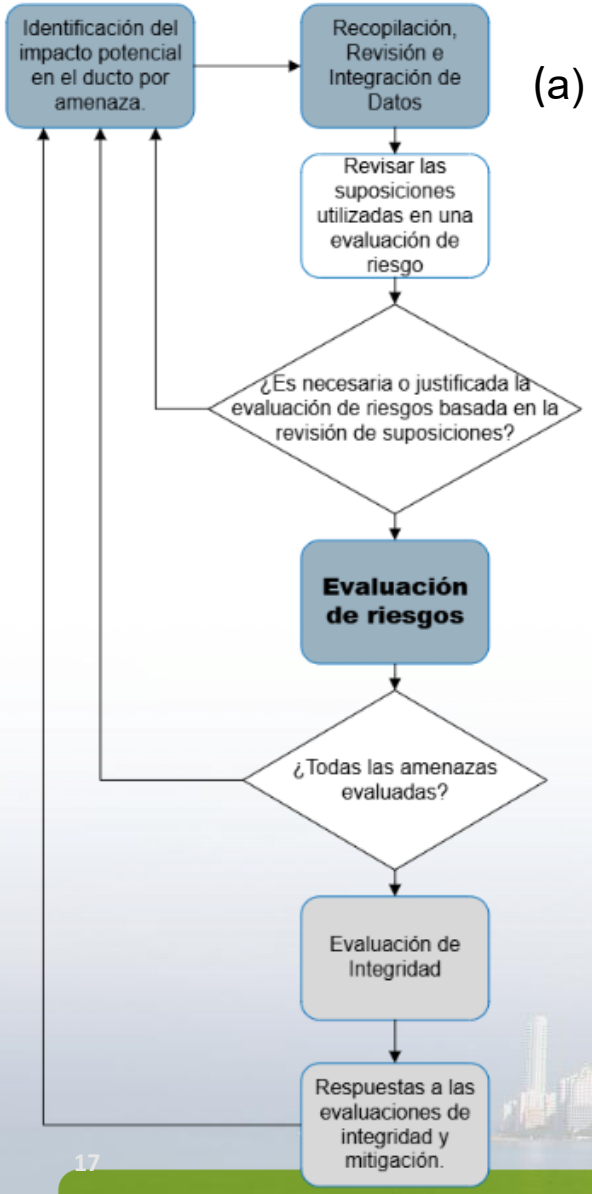
Impacto del hidrógeno en los factores de seguridad implícitos



PIMS específicos de hidrógeno


1 DEFINITION OF PROJECT BOUNDARIES
2 DEVELOPMENT OF CONVERSION STRATEGY AND FEASIBILITY ASSESSMENT
3 ESTABLISHMENT OF RISK PROFILE
4 CONVERSION SUITABILITY ASSESSMENT
5 CONVERSION INTEGRITY MANAGEMENT PLANNING
Project Terms of Reference
Data Gap Analysis
Integrity Overview and Data Gap Prioritization
Conversion Strategy
CONVERSION FEASIBILITY
Material Population Profile
Integrity Threats
Pipeline Route/Proximity
Critical Gaps Driven by Phase 2 Integrity Review
Establish Pipeline Baseline Status
Conversion Engineering Assessments
Targeted Material Sampling and Qualification Testing
CONVERSION RISK ASSESSMENT
Intervention
INTEGRITY CONVERSION STATUS
INTEGRITY MANAGEMENT PROGRAM

AMENAZAS A LA INTEGRIDAD DE TUBERÍA DE HIDRÓGENO



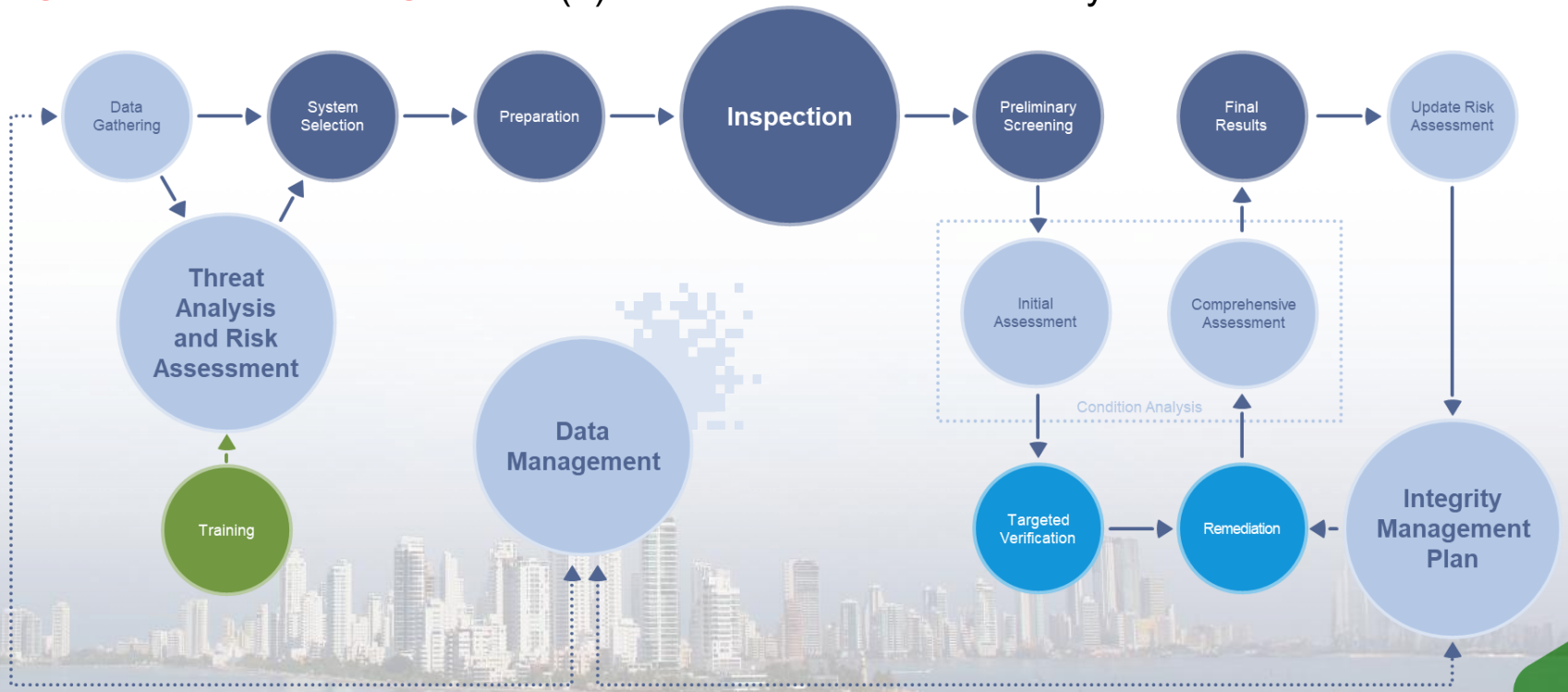
(a) Dependiente del tiempo
- (1) Corrosión externa
- (2) Corrosión interna
- (3) Agrietamiento por corrosión bajo tensión
- **(3) Ataque por hidrógeno / Fragilización por hidrógeno**

(b) Residente
- (1) Defectos de fabricación
- (2) Relacionados con la soldadura/fabricación
- (3) Equipo

(c) Aleatorio o independiente del tiempo
- (1) Daños mecánicos/de terceros
- (2) Procedimiento operativo incorrecto
- (3) Relacionados con el clima y fuerzas externas

Consideraciones adicionales:

"hard spots", anomalías geometricas, bending strain



MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE LA INTEGRIDAD PARA LA REUTILIZACIÓN DE TUBERÍAS EXISTENTES

In-Line Inspection	• La ILI es una técnica de inspección no destructiva que permite evaluar la integridad de tuberías. El tipo de inspección ILI que se realiza depende del tipo de amenaza a la integridad que se esté evaluando.
Prueba de Presión	• La prueba de presión es una técnica de prueba (potencialmente) destructiva para detectar/eliminar (al fallar) el defecto más grande en la tubería en el momento de la prueba que puede fallar debido a la presión interna (es decir, un defecto dependiente de la presión).
Evaluación Directa (DA)	• La evaluación directa (DA) es una técnica de evaluación no destructiva para clasificar regiones de tuberías con características comunes (es decir, evaluación previa) que pueden estar experimentando la amenaza a la integridad seleccionada (por ejemplo, corrosión externa, corrosión interna o agrietamiento por corrosión bajo tensión-SCC).
Métodos alternativos	• Se pueden utilizar métodos alternativos, como tecnologías de condición inferida y análisis de datos, cuando las condiciones operativas (p. ej., configuración del sistema de tuberías), tecnológicas (p. ej., diámetros pequeños) y ambientales (p. ej., disponibilidad y eliminación de agua) no permiten los otros tres (3) tipos principales de métodos de evaluación de la integridad de las tuberías.

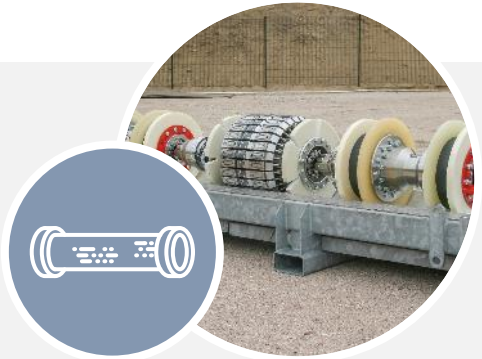
This document is the property of ROSEN Swiss AG who will safeguard its rights according to the civil and penal provisions of law. No part of this document may be reproduced or disclosed to any other party without the prior permission of ROSEN.

TECNOLOGÍAS DE INSPECCIÓN PARA AMENAZAS Y DEFECTOS ESPECÍFICOS DEL HIDRÓGENO

Detección de grietas

Encontrando las grietas que importan.

- Aplica la última generación de herramientas de detección de grietas para **la detección de grietas axiales y circunferenciales.**
- Proporciona una detección fiable y un dimensionamiento preciso mediante tecnologías ultrasónicas acopladas a líquido o electromagnéticas acústicas acopladas a seco.
- Servicio orientado al proceso, adaptado a los requisitos específicos de cada tubería y a las necesidades de cada operador.



Determinación de propiedades del material

Dale una mirada inteligente a la pared de su tubería.

- **Propiedades,** poniendo fin así a los registros incompletos de construcción de tuberías.
- Los servicios de **categorización de la resistencia de materiales** permiten medir el límite elástico y determinar con precisión la calidad de la tubería para cada unión dentro de la sección examinada.
- El servicio de doble magnetización ofrece una solución para inspeccionar tuberías en relación con las variaciones locales de la **dureza metalúrgica** de la pared, conocidas como puntos duros.

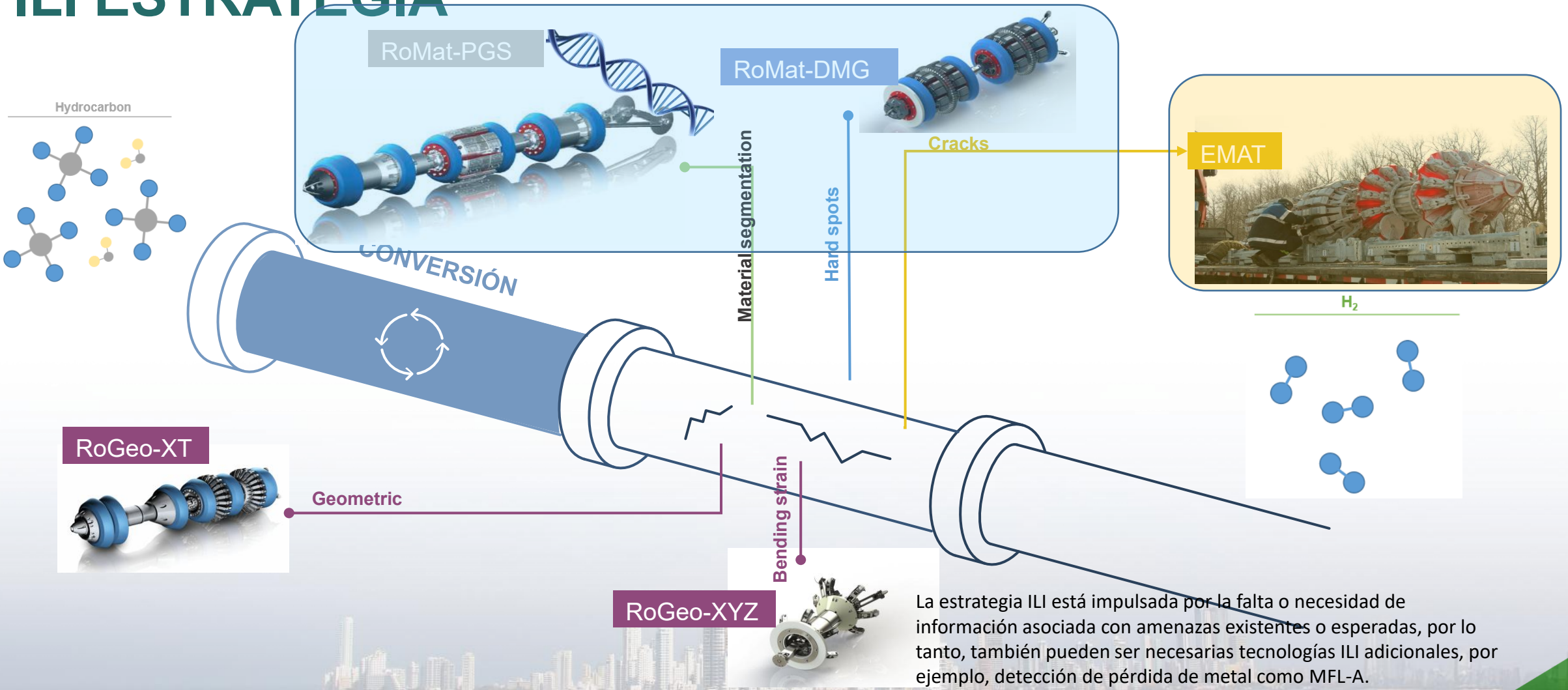
Perspectivas tecnológicas

Nuevas innovaciones en proceso..

- **El nuevo desarrollo de la tecnología de detección de grietas EMAT-Ultra** lleva las características del hardware a un nuevo nivel, como redundancia de cobertura del 200 %, resolución circunferencial de 20 mm y sensibilidad de 20 mm x 1 mm.
- **Las nuevas características de servicio de EMAT-C Ultra** incluyen una mejor detección de grietas pequeñas, mayor cantidad de datos, integración completa con servicios de propiedades de materiales e integración en el marco de integridad de tuberías para la detección de grietas.
- **Nuevo servicio digital de propiedades de materiales y carga basado en el principio micromagnético.** Los resultados de laboratorio muestran el potencial para medir propiedades de materiales como tenacidad, límite elástico, dureza, así como cargas de compresión y tracción.

This document is the property of ROSEN Swiss AG who will safeguard its rights according to the civil and penal provisions of law. No part of this document may be reproduced or disclosed to any other party without the prior permission of ROSEN.

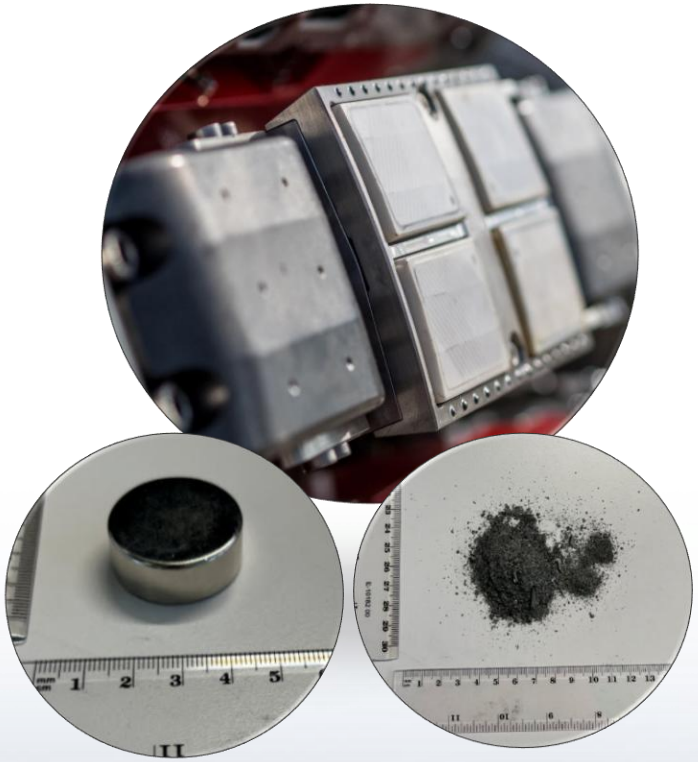
COND & Mat GAPS
ILI ESTRATEGIA



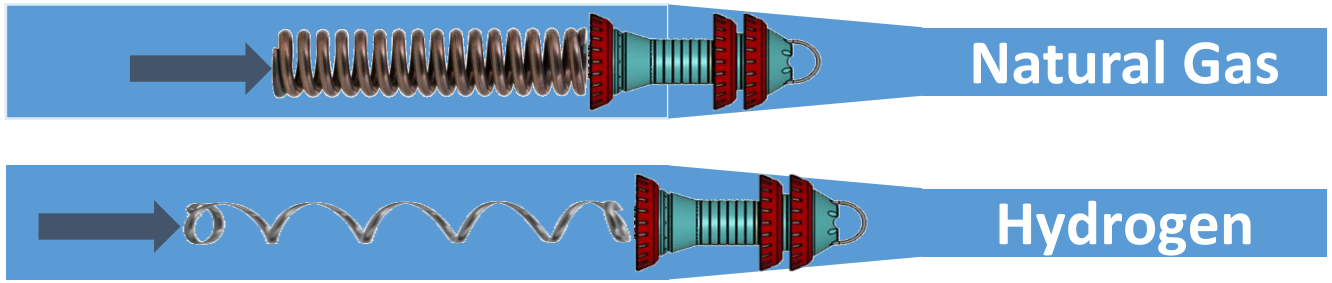
La estrategia ILI está impulsada por la falta o necesidad de información asociada con amenazas existentes o esperadas, por lo tanto, también pueden ser necesarias tecnologías ILI adicionales, por ejemplo, detección de pérdida de metal como MFL-A.

This document is the property of ROSEN Swiss AG who will safeguard its rights according to the civil and penal provisions of law. No part of this document may be reproduced or disclosed to any other party without the prior permission of ROSEN.

INSPECCIÓN ILI PARA DUCTOS DE H2-TRL



Después de la exposición a H2, 1 h

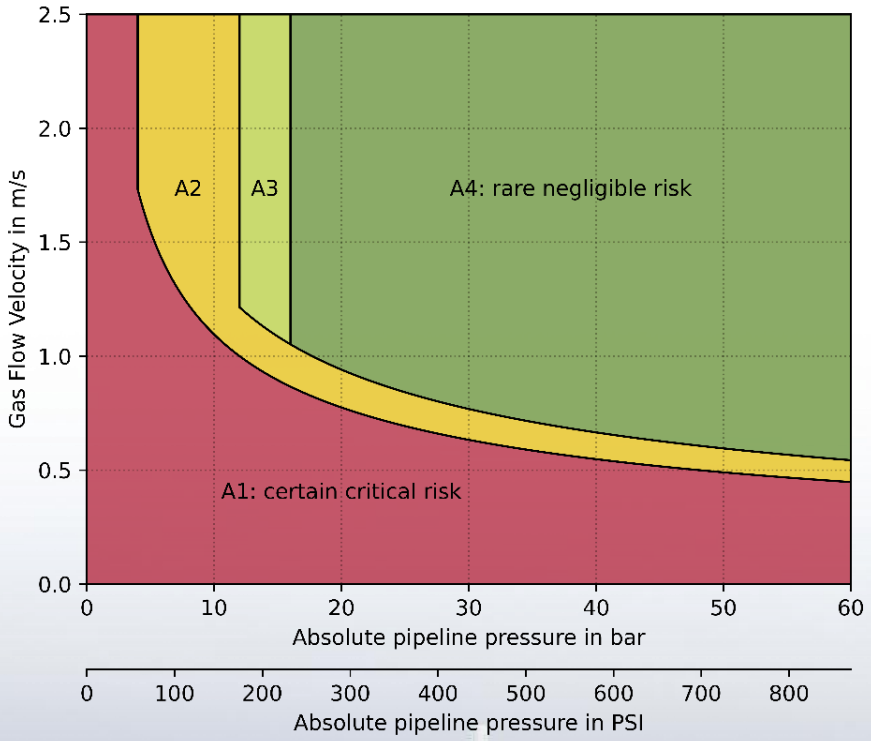


Degradation / Threat	Morphology / Appearance	ILI technology	TRL[1] for NG	TRL[1] for H_2
Internal and/or external corrosion	Metal loss - general and circumferential	Axial MFL	9	6-9
Internal and/or external corrosion	Metal loss - general and axial	Circumferential MFL	9	2-6
Internal and/or external corrosion	Metal loss	Liquid coupled UT	n/a	n/a
Internal and/orexternal corrosion	Metal loss	Gas coupled resonance UT	9	2
HE fatigue	Axial planar anomalies (Int+Ext)	Liquid coupled UT	n/a	n/a
HE fatigue	Axial planar anomalies (Int+Ext)	EMAT	9	2-6
HE fatigue	Circumferential planar anomalies (Int+Ext)	Liquid coupled UT	n/a	n/a
HE fatigue	Axial planar anomalies (Int+Ext)	Gas coupled Lamb waves	7	2
HE fatigue	Surface breaking planar anomalies (Int)	Eddy Current (EC)	4	2
HE fatigue	Laminations	Liquid coupled UT	n/a	n/a
Geohazard	Bending strain	EM Geometry + IMU	9	3-7
Geohazard	Axial strain	EC based stress measurement	9	2-3
Geohazard	Circumferential planar anomalies (Int+Ext)	Liquid coupled UT	n/a	n/a
Third party damage	Dents	EM Geometry	9	3-7
Third party damage	Dents	Liquid coupled UT Geo	n/a	n/a
Third party damage	Gouges	Geometry+ MFL	9	3-7
Pipe material	Hard spots	EM or low-field MFL	9	3-7
Pipe material	Pipe grade	MFL and/or low-field MFL	9	3-7

1 TRL levels as per table 3; n/a is not applicable.

10” MFL-A Tool
COMPARACIÓN ENTRE HIDRÓGENO Y GAS NATURAL

Gas Natural



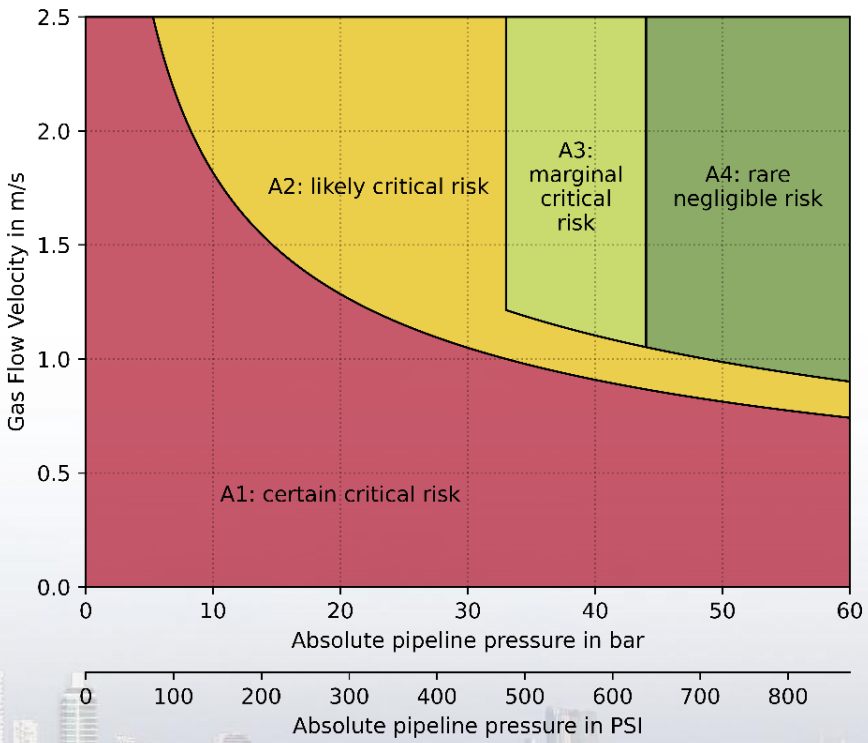
A1: Flow velocity and/or pressure are too low for a safe tool passage

A2: Pressure and/or flow velocity are low. Depending on pipeline characteristics an unstable run behavior and high speed excursions are likely

A3: Pressure is low. Depending on pipeline characteristics an unstable run behavior and high speed excursions are possible

A4: Pressure and flow are high enough to achieve acceptable run behavior in most cases

Hidrógeno



A1: Flow velocity and/or pressure are too low for a safe tool passage

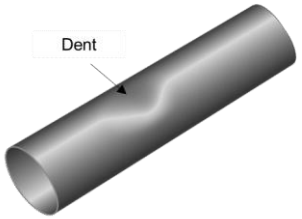
A2: Pressure and/or flow velocity are low. Depending on pipeline characteristics an unstable run behavior and high speed excursions are likely

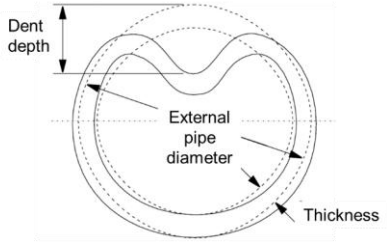
A3: Pressure is low. Depending on pipeline characteristics an unstable run behavior and high speed excursions are possible

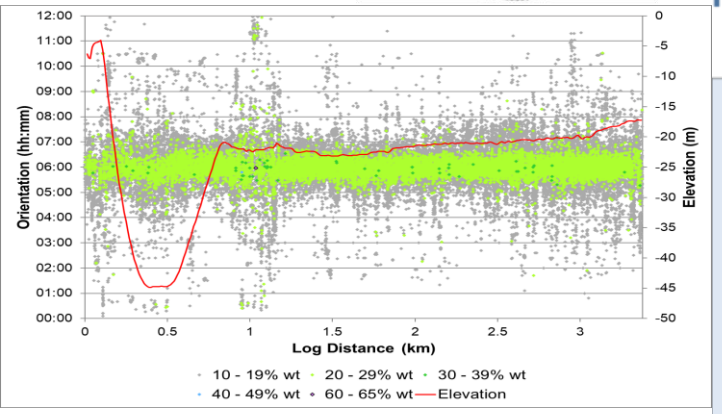
A4: Pressure and flow are high enough to achieve acceptable run behavior in most cases

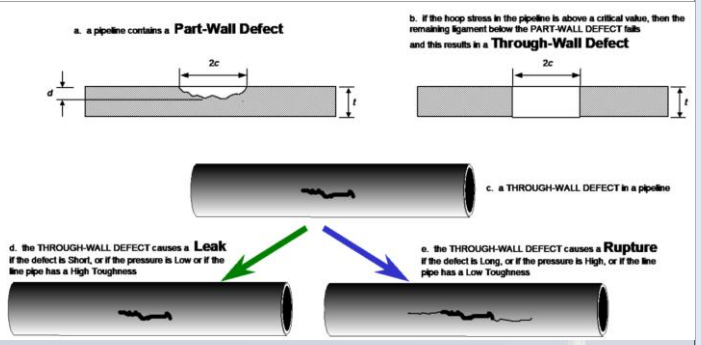
This document is the property of ROSEN Swiss AG who will safeguard its rights according to the civil and penal provisions of law. No part of this document may be reproduced or disclosed to any other party without the prior permission of ROSEN.

ILI vs EVALUACIÓN DE INTEGRIDAD









	INTEGRITY SERVICES	INSPECTION SERVICES															
		RoMat			RoCD				RoCorr						RoGeo		
		RoMat DMG	RoMat MTS	RoMat PGS	RoCD UT-A	RoCD UT-C	RoCD EMAT-A	RoCD EMAT-C	RoCorr UTWM Ultra	RoCorr UTWM	RoCorr IEC	RoCorr MFL-C	RoCorr MFL-A Ultra	RoCorr MFL-A	RoGeo XYZ Mapping	RoGeo MD	RoGeo XT
Corrosion Growth Assessment		○		○					●	●	●	●	●	●			
Fitness for Purpose Assessment			●		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Dent Strain / Stress / Fatigue Life Assessment											○					●	●
Crack Growth Assessment					●	●	●	●									
Bending Strain / Pipe Movement / Geohazard / Depth of Cover Assessment		○	●	○	●	●	●	●	○	○	●	○	○	○	●	●	●
MAOP Validation / Pipe Grade Determination		●	●	●													
Long Seam Categorization												●					

NIPA (EVALUACIÓN NO INTRUSIVA DE TUBERÍAS)… ¿QUÉ ES?

La evaluación no intrusiva de tuberías (NIPA, por sus siglas en inglés) es un enfoque de análisis de integridad principalmente sobre el suelo para tuberías desafiantes e insuperables

ROSEN incorpora una combinación de estudios sobre el suelo con su vasta experiencia en ingeniería en una metodología de estilo de Evaluación Directa (DA) guiada por NACE y estándares internacionales:

- **ANSI/NACE SP0502-ECDA- No incluye ductos de H2**
- **NACE SP206/208/210-ICDA- No incluye ductos de H2**
- **NACE SP204 – ECDA-SCCDA- No incluye ductos de H2**
- **ISO 22974-Pipeline Integrity Assessment Specification.**

Este enfoque proporciona un enfoque riguroso, estructurado y reconocido por la industria para evaluar la integridad de un sistema de tuberías.

La diferencia clave con ROSEN es la adición de la **magnetometría de gran distancia de separación (LSM)** y, ahora, los modelos de aprendizaje automático

- **Cumplimos y mejoramos la DA tradicional con LSM y V-ILI, llevando su capacidad más allá de la corrosión.**
- **Nuestro V-ILI e IDW son únicos en su tipo y nos brindan información contextual sobre los defectos que podemos esperar con base en datos reales de tuberías. Esto nos ayuda a abordar las amenazas ocultas.**
- **El ecosistema ROSEN: realizamos todos los servicios, no solo uno de forma aislada, y guiamos a los clientes de principio a fin.**

Comentarios Finales

✅ La transición energética requiere **reconversión de ductos existentes a gran escala y construcción de nuevos**.

⚠️ La operación a alta presión exige **evaluaciones de ingeniería detalladas (ECA)**.

🔍 Es esencial conocer: **diseño, fabricación, operación pasada y condición** actual del ducto.

🧠 **Se desarrollan estrategias de factibilidad**, reconversión e integridad futura, basadas en filosofías probadas.→ **decisiones informadas y eficientes.**

El éxito de la conversión depende de **enfoques estructurados basados en la integridad**.

🧰 **La Inspección en Línea (ILI) seguirá siendo clave, pero su aplicación en hidrógeno presenta retos técnicos y requiere:**

- Campañas especializadas
- Investigación en campo
- Análisis avanzados de datos

📚 La gestión de integridad en O&G está bien establecida (ej. ASME B31.8S), pero el **hidrógeno introduce nuevos desafíos.**

🌐 Ejemplo exitoso: **Hoja de Ruta de Reutilización de ROSEN** (enfoque global, multidisciplinario).

📏 Las prácticas deben formalizarse en **Códigos y Normas** para operadores y reguladores.

Contacto

Andrés Molina V.
Senior integrity Engineer

MSc. Hydrogen technologies

amolina@rosen-group.com

Your expert for Hydrogen pipeline integrity