

## ASEGURAMIENTO DEL RIESGO POR CORROSIÓN EXTERNA EN DUCTOS MEDIANTE CORRELACIÓN DE DATOS DE INSPECCIÓN

### RESUMEN

Normalmente las empresas, poseen información sobre datos de inspección y monitoreo, que no son correlacionados debido a falta de conocimiento especializado de sus jefes de mantenimiento. Con la implementación de una metodología de aseguramiento de riesgo, pretendemos presentar una estrategia de análisis que correlacione datos de inspección y monitoreo; para pronosticar, inspeccionar y evaluar la ocurrencia de posibles fallas, y así, minimizar el daño ambiental y pérdidas económicas por producción. Estos pronósticos serán realizados por medio del análisis de la información utilizando sistemas de información geográfica, generando patrones de comportamiento estadístico para conocer la probabilidad de ocurrencia de daños futuros.

**PALABRAS CLAVES:** Corrosión externa, Falla, Inspección, Integridad, Riesgo.

### ABSTRACT

*The companies usually possess information it has more than enough inspection data and monitoring that are not correlated due to lack of their maintenance bosses' specialized knowledge. With the implementation of a methodology of insurance of risk, we seek to present an analysis strategy that correlates inspection data and monitoring; to predict, to inspect and to evaluate the occurrence of possible flaws, and this way, to minimize the environmental damage and economic losses for production. These presage will be carried out by means of the analysis of the information using systems of geographical information, generating patterns of statistical behavior to know the probability of occurrence of future damages.*

**KEYWORDS:** External corrosion, Fault, Inspection, Integrity, Risk

### MARIA CLARA DUEÑAS VACA

Estudiante Ingeniería Metalúrgica.  
Grupo de Integridad y Evaluación de Materiales  
Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia  
[mariaclara\\_dv21@yahoo.com](mailto:mariaclara_dv21@yahoo.com)

### HILDEBRANDO SEPULVEDA HURTADO

Estudiante Ingeniería Metalúrgica.  
Grupo de Integridad y Evaluación de Materiales  
Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia  
[hisehu@yahoo.es](mailto:hisehu@yahoo.es)

### ENRIQUE VERA LÓPEZ

Ph. D, Rer. Nat. Universidad Heidelberg, Alemania.  
Grupo de Integridad y Evaluación de Materiales  
Docente Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia  
[evera@tunja.uptc.edu.co](mailto:evera@tunja.uptc.edu.co)

### YANETH PINEDA TRIANA

Dr. en Ingeniería y Ciencia de Materiales UPV- España. Docente U.P.T.C. Grupo de Integridad y Evaluación de Materiales  
[ypineda@tunja.uptc.edu.co](mailto:ypineda@tunja.uptc.edu.co)

### DIANA CAROLINA AFRICANO HIGUERA

Ingeniero en Metalurgia. U.P.T.C. Grupo de Integridad y Evaluación de Materiales. Estudiante de maestría en Metalurgia y Ciencia de Materiales U.P.T.C.  
[dafricano@tunja.uptc.edu.co](mailto:dafricano@tunja.uptc.edu.co)

### 1. INTRODUCCIÓN

Las metodologías de predicción de fallas en infraestructura se han desarrollado vertiginosamente. La gran cantidad de desarrollos estratégicos se han plasmado en normas, cuya aplicación pretende preservar la infraestructura, basados en metodologías que permiten determinar los factores de riesgo en aspectos como los relacionados con la corrosión, impacto al entorno, ser humano, etc., llevando a la compilación, para el caso de

ductos enterrados, de códigos como el API 1160, el ASME B31.4 –S, la práctica recomendada NACE RP 0502, etc.

Los métodos de lucha contra la corrosión, se basan principalmente en el uso de recubrimientos protectores y en la implementación de técnicas de soporte como la protección catódica. Una de las afirmaciones contundentes que se deriva de la inspección de ductos metálicos enterrados, es que normalmente las empresas

poseen mucha información sobre datos de inspección y monitoreo, que no son correlacionados. Además, entre un 80% y 90% de las áreas de pérdida de metal susceptibles de sufrir perforaciones por corrosión, corresponden a fallas en el recubrimiento.

Para el caso específico de los factores asociados a la corrosión, los investigadores y científicos que trabajan en el tema han propuesto una metodología llamada ECDA (External Corrosion Direct Assessment), la cual consiste en un análisis sistemático de un sin número de variables asociadas a el control, monitoreo, inspección y condiciones de agresividad del medio. Estos aspectos mencionados, generan una base de información muy amplia que abarca temas de protección catódica, recubrimientos, aspectos metalúrgicos, agresividad de terrenos, etc., que hacen que se necesiten una gran cantidad de expertos para interpretar dichos datos. [1]

En este documento se muestra la posibilidad de correlacionar datos de inspección de uno o más tramos de tubería, con el objetivo principal de mostrar gráfica y analíticamente la situación de la tubería enterrada en cuanto al posible riesgo por corrosión externa de la misma. De esta forma se da inicio a la implementación de la metodología ECDA [1] en cuanto a la pre-evaluación e inspección indirecta.

## 2. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS), es un sistema de navegación que permite conseguir la ubicación exacta de personas, objetos, etc., en cualquier lugar del mundo. El software ArcGis, es un sistema de información geográfica que nos permite ubicar gráficamente las coordenadas GPS, que complementado con la cartografía regional, muestra de forma precisa determinado objeto o conjunto de objetos con despliegue de sus características y cualquier tipo de información complementaria.

Cuando se pretende mostrar el estado o situación real de una tubería, se hace necesario conocer su ubicación en el tiempo y en el espacio debido a que algunos factores de su entorno pueden incidir en cualquier tipo de falla. Comúnmente, al analizar y estudiar los riesgos por falla que se presentan en un ducto, no se observa la incidencia que pueda tener el medio (ríos, bosques, carreteras, estructuras metálicas, etc.) en el cual se encuentra la zona de riesgo conjuntamente con los problemas directos del sistema de transporte como defectos del recubrimiento o fallas en el método de protección del metal.

## 3. METODOLOGÍA

Correlacionando algunos datos de inspección, se consigue, por una serie de etapas, pronosticar, inspeccionar y evaluar la ocurrencia de posibles fallas en

ductos enterrados, y de esta manera, minimizar pérdidas económicas por producción y daño ambiental. Estos pronósticos serán realizados por medio del análisis de la información de inspección, consiguiendo así patrones de comportamiento estadístico para conocer la probabilidad de ocurrencia de daños futuros.

### 3.1 Técnicas de Inspección

Actualmente, existen diversos métodos de inspección directa e indirecta de tuberías enterradas. En el presente trabajo, es importante tener en cuenta que se utilizaron los datos únicamente de dos técnicas de inspección para llevar a cabo la correlación de datos:

- **PIPELINE CURRENT MAPPER (PCM).**  
Técnica para inspeccionar recubrimientos en líneas enterradas mediante el mapeo de una corriente de 4 Hz. En cada punto medido se almacena magnitud, dirección y profundidad y se detecta la señal a intervalos regulares utilizando un magnetómetro.
- **HERRAMIENTA INTELIGENTE (HI).**  
Vehículo inteligente de inspección en línea ILI (In Line Inspection), que utiliza la tecnología MFL (Magnetic Flux Leakage) de flujo magnético axial de alta resolución para conocer con exactitud la profundidad, el ancho y el largo de los defectos de la tubería, su ubicación y más.

### 3.2 Evaluación del riesgo

Se hace necesario realizar una evaluación inicial del riesgo, relacionando el espesor de pared remanente con condiciones de operación (presión, flujo, etc.), esto con la ayuda del código ASME B31.G, reconocido en el sector industrial.

Utilizando el método descrito en el código ASME B31G se calcula el ERF (Estimated Repair Factor)[2], así:

$$ERF = \frac{MAOP}{TDFP} \quad (1)$$

MAOP= Máxima presión de operación permitida. (Maximum Allowable Operating Pressure).

TDFP= Presión teórica de falla del defecto (Theoretical Defect Failure Pressure).

Para generar un análisis integral del riesgo por corrosión externa, se inician estrategias de aseguramiento del riesgo por corrosión que permita preservar la integridad del ducto. La norma NACE RP 0502 da lineamientos que orientan aspectos básicos que permiten tomar decisiones, en referencia a las acciones correctivas y/o preventivas a que haya lugar.

Generando un sistema de articulación de la información de inspección, se aprecian gráfica y analíticamente los puntos o las regiones críticas a lo largo de un tramo de tubería enterrada, permitiendo de esta manera plantear predicciones y consecuentemente, la toma de decisiones.

**3.3 Correlación de datos**

Para el aseguramiento del riesgo por corrosión, en este caso, se toman como punto de partida algunos datos de inspección que arroja la herramienta inteligente (distancia, altura, longitud, latitud, posición horaria). Estos datos se enlistan y clasifican en cuanto al porcentaje de pérdida del metal. Posteriormente, con los datos de PCM (distancia, altura, longitud, latitud,  $I_{PCM}$ ), que al igual que los de la (HI) se enlistan y clasifican.

Generando una regla de inferencia con cada uno de estos datos, se obtienen intervalos de clasificación de estos datos en niveles de criticidad. Así se llega al punto de analizar la incidencia que tiene un daño en el recubrimiento con respecto a la pérdida de metal en determinado sector de la tubería y si adicionalmente el entorno está ejerciendo alguna influencia en la presencia de estas fallas.

**4. RESULTADOS**

En la figura 1, se observa una presentación gráfica desarrollada, que muestra un esquema de articulación de datos de diferentes herramientas de inspección, tanto del metal como del recubrimiento, visualizando de manera integral niveles de riesgo de la tubería, una vez clasificada en regiones ECDA[1].

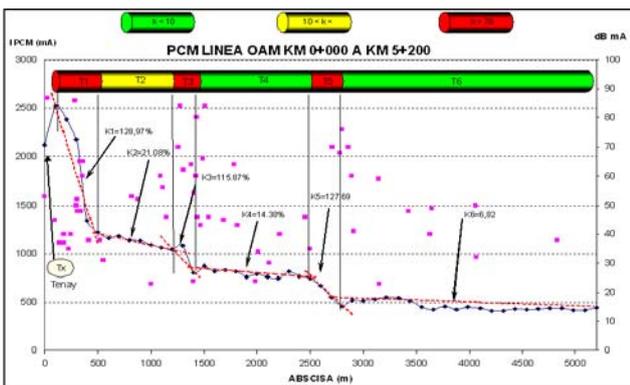


Figura 1. Gráfica de PCM –HI.

La línea continua es la corriente PCM, la corriente va disminuyendo a medida que se desplaza por la tubería y se drena a tierra debido a fallas en el recubrimiento, que es donde se observa un descenso brusco de la línea. Los diversos puntos observados corresponden a la ubicación de los defectos por pérdida de metal encontrados por la herramienta inteligente.

La figura 2, muestra la relación de los datos obtenidos de la herramienta inteligente y su relación con los datos de PCM. Se observa la coincidencia y veracidad de la inspección, generando una estimación del riesgo en determinados sectores de la tubería.

Se observa una distribución de puntos, los cuales corresponde a variaciones en el espesor de pared metálica de la tubería. Es importante notar que las distancias en la abscisa del gráfico de la parte superior de la figura 2, que corresponde a la distribución gráfica de pérdida de espesor de metal, relacionando altura, distancia y criticidad, coinciden con las distancias en la abscisa del gráfico de la parte inferior en esta misma figura que muestra la variación de corriente en este trayecto de tubería. Donde se presenta una acumulación de, hasta ahora, supuestas fallas en el espesor metálico en aproximadamente los 40300 m, al unirla con el siguiente gráfico se demuestra la coincidencia y veracidad del daño en este sector de la tubería. Esto permite tener certeza de las decisiones a tomar en cuanto a mantenimiento o reparación si es el caso.

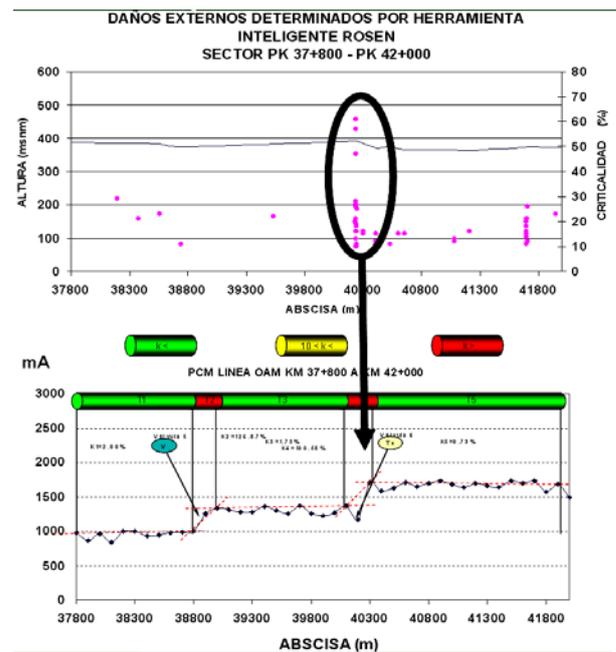


Figura 2. Coincidencia datos de falla PCM – HI.

**4.1 Criterios de clasificación de riesgo**

- Criterio 1: Zonas de pérdida de espesor de metal de la tubería. Las cuales se han clasificado en porcentaje de pérdida, menor al 20%, entre el 20% y el 80% y mayor al 80%.
- Criterio 2: Zonas del estado del recubrimiento. Teniendo en cuenta la dificultad de insinuar un porcentaje de pérdida de recubrimiento, este se evalúa como bueno, regular y malo, basado en el drenaje de corriente.

### 4.2 Representación gráfica

Al cargar los datos HI y PCM en el software ArcGis, se obtiene la primera representación gráfica de la tubería, con sus coordenadas GPS.

Para cada tramo de tubería dibujada en el ArcGis, se obtiene una curva de correlación entre la herramienta inteligente y PCM, como se observa en las figuras 1 y 2.

En la figura 3 se observa en forma gráfica las coordenadas de la tubería que se cargaron en el programa.

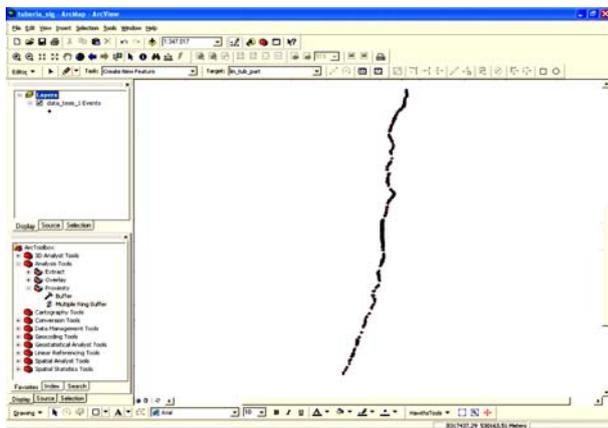


Figura 3. Vista tubería ArcGis.

Cada punto o cada coordenada va acompañada de su respectiva información la cual se puede observar en un menú utilizando el comando “información” sobre la coordenada a consultar. En el recuadro aparece: las coordenadas, distancia, altura, tipo de falla, resistividad del suelo y criticidad. Factores determinantes en la generación de un orientado diagnóstico de predicción y prevención de fallas.

Para poder visualizar el nivel de criticidad de todo el tramo de la tubería, se determinó utilizar para cada intervalo de criticidad un color.

- Rojo: reparación inmediata.
- Amarillo: control preventivo.
- Verde: se acepta la vida útil calculada de la tubería.

ID	LONGITUD	ALTURA	ESTADO	PRESION	DIAMETRO	RIESGO	RECOMENDACION
6366.010	23446.36	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.011	23446.25	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.012	23446.36	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.013	23446.27	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.014	23446.16	4	6	1,5	400 TPOCA	ALTO	
6366.015	23446.27	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.016	23446.37	8	7	1,5	400 TPOCA	ALTO	
6366.017	23446.27	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.018	23446.05	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.019	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.020	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.021	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.022	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.023	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.024	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.025	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.026	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.027	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.028	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.029	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.030	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.031	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.032	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.033	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.034	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.035	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.036	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.037	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.038	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.039	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.040	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.041	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.042	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.043	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.044	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.045	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.046	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.047	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.048	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.049	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.050	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.051	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.052	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.053	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.054	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.055	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.056	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.057	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.058	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.059	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.060	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.061	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.062	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.063	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.064	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.065	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.066	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.067	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.068	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.069	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.070	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.071	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.072	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.073	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.074	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.075	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.076	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.077	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.078	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.079	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.080	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.081	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.082	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.083	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.084	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.085	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.086	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.087	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.088	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.089	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.090	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.091	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.092	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.093	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.094	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.095	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.096	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.097	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.098	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.099	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	
6366.100	23446.06	0	1	0	400 TPOCA	ALTO	

Figura 4. Atributos tubería

La figura 4 nos muestra como los datos se encuentra tabulados dando la información respectiva de cada coordenada graficada.

Además, la herramienta permite mostrar la tubería en conjunto con las descripciones cartográficas necesaria, en este caso la división municipal y los ríos circundantes.

De esta forma, es posible visualizar el estado del tramo de tubería con la cual se trabaja, mostrando la correlación e influencia de las fallas detectadas resultado de la inspección indirecta utilizando herramienta inteligente y PCM.

El resultado, una vista superior de la tubería, junto con variables cartográficas, en este caso, distribución municipal y ríos. Si se considera necesario, esta vista se puede asociar a tipos de suelos, densidad poblacional, vías de acceso urbano y rural, carreteras con o sin pavimento, zonas boscosas, zonas montañosas, etc.

Las principales fuentes de información mostradas y relacionadas, como se describió anteriormente, son HI, PCM y resistividad del suelo, las cuales se consideraron determinantes para conseguir el aseguramiento del riesgo por corrosión externa de ductos enterrados (Figura 5).

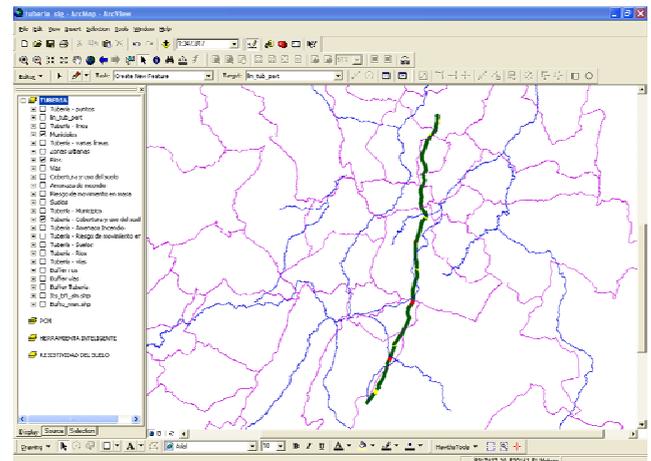


Figura 5. Tramo de tubería analizado y clasificado utilizando el software ArcGis.

### 3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Utilizando esta metodología, se cuenta con gran ayuda en la interpretación del estado de la tubería, ya que la clasifica en niveles de riesgo, permitiendo así un diagnóstico de criticidad de los daños encontrados junto a un reconocimiento de ductos en mal estado.

Es posible realizar la correlación de datos de inspección de cualquier tramo de tubería donde para ello se hayan utilizado técnicas como herramienta inteligente (HI), PCM (Pipeline Current Mapper) y se conozca la

resistividad de suelo.

Con los resultados obtenidos por inspección (perdida de espesor de la tubería, daño en el recubrimiento y resistividad del suelo) se realizan reglas de inferencia que determinan el nivel de criticidad y permiten tomar decisiones relacionadas con acciones correctivas, preventivas y de alguna manera evitar reparaciones innecesarias.

Los datos alimentados al software ArcGis con la cartografía de la ubicación de la tubería, nos permiten visualizar la información y relacionarla con variables del entorno como son: municipios, zonas urbanas, ríos, vías, suelo, etc., y plantear un programa de integridad de la tubería con respecto al aseguramiento del impacto de la corrosión externa.

Es capaz de dar información tanto de la localización como de la severidad relativa de los picados y las fallas del recubrimiento. Aún tratándose de una metodología aparentemente simple, requiere una puesta a punto y una utilización cuidadosa, y está sujeto a posibles errores, y omisiones.

Se recomienda realizar revisión, análisis y seguimiento cercano de aquellas regiones de riesgo medio, tratar inmediatamente las de alto riesgo e implementar estrategias de prevención y mitigación de las posibles fallas a ocurrir, que en determinado momento podría ocasionar un desastre catastrófico.

#### 4. BIBLIOGRAFÍA

- [1] NACE-RP-0502. Metodología de evaluación directa de ductos con corrosión externa ECDA (Pipeline External Corrosion Direct Assessment Methodology) (2002).
- [2] ASME B31G. Método para determinación del esfuerzo remanente en tuberías corroídas (Method For Determining The Remaining Strength Of Corroded Pipelines-1991(R2004)).
- [3] ASME B31.8S. Administración de sistemas de integridad de ductos que transportan gas (Managing System Integrity of Gas Pipelines) (2004).
- [4] Menno van Os. Direct Assessment-1: Software module hones system-wide practices. *Oil & Gas Journal*; Oct 2, 2006; 104, 37; ABI/INFORM Global, pg. 56.
- [5] Wayne E Perich; Dirk L van Oostendorp; Scott Dauzat; R Nolan Earle. PCM Data Interpretation Is Challenging In Multi-Pipe Configurations. *Pipeline & Gas Journal*; Jun 2005; 232, 6; ABI/INFORM Trade & Industry pg. 51
- [6] Ernest W Klechka. Pipeline integrity management and corrosion control. *Materials*

*Performance*; Jun 2002; 41, 6; ProQuest Science Journals pg. 24.

- [7] J. C. Drury i.eng, m.insndt. La tecnología de la dispersión del flujo magnético. Silverwing (uk) limited.