

# METODOLOGÍA PARA EVALUACIÓN DE OLEODUCTOS APLICADO A CORROSIÓN EXTERNA

Uptc  
Universidad Pedagógica y  
Tecnológica de Colombia



GRUPO DE INVESTIGACIÓN: INTEGRIDAD Y EVALUACIÓN DE MATERIALES

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: CORROSIÓN

INVESTIGADOR: OSWALDO ADAME<sup>1</sup>

INVESTIGADOR: ENRIQUE VERA<sup>2</sup>

## RESUMEN

Se presenta una metodología para evaluación y valoración del riesgo por corrosión en oleoductos aplicada al aseguramiento de la corrosión externa. Para asegurar una operación segura en este tipo de tuberías se desarrolló un módulo en una herramienta computacional que facilita la administración, análisis y evaluación de toda la información de la tubería para determinar la probabilidad de fallas y sus posibles consecuencias. Como primera etapa se evalúa el riesgo procesando la información existente y mediante una metodología de probada eficacia se establecen índices de riesgo y consecuencia de falla, cuyo resultado para ser claramente es representado en una matriz de riesgo. Seguidamente y con el fin de conocer la severidad de la corrosión externa, se valora la integridad de la tubería utilizando el modelo de aseguramiento de la corrosión externa ECDA. Para validar la metodología y la herramienta desarrollada, se realizó la evaluación del riesgo por corrosión externa al Oleoducto del Alto Magdalena (OAM).

## PALABRAS CLAVE

Análisis de riesgo, falla, consecuencias, ECDA región.

## ABSTRACT

A methodology is presented for the evaluation and assessment of the corrosion risk in oil pipelines applied to external corrosion insurance. For ensure safe operation of these pipelines, an module was developed on computer tool in order to allow and make easier to management, analysis and evaluation all the information of the pipeline to determine the faults probability and their possible consequences. As first stage, the risk is evaluated processing the existent information and by means of a methodology that have been proven effectively are established indexes of risk and faults consequences, the results are presented on a matrix risk. Subsequently and with the purpose of knowing the severity of the external corrosion to proceed to value of external corrosion direct assessment (ECDA). To value the methodology and the developed tool, a corrosion risk analysis was performed for the oil pipeline Alto Magdalena (OAM).

## KEY WORDS

Risk Analysis, Failure, Consequences, ECDA region.

Fecha recepción del artículo: Agosto 21 de 2009  
Fecha de aceptación del artículo: Septiembre 24 de 2009

1 Ingeniero en Metalurgia. U.P.T.C. Grupo de Integridad y Evaluación de Materiales

2 Estudiante de Maestría en Metalurgia y Ciencia de Materiales U.P.T.C. Tunja

## INTRODUCCIÓN

La operación continua y confiable de sistemas de tuberías que transportan hidrocarburos es uno de los retos tecnológicos con mayor énfasis en la actualidad. Actualmente se introducen requerimientos a los programas de manejo de los operadores de tuberías, que evalúan la integridad en áreas donde se pueda afectar a la población o al medioambiente en caso de presentarse una fuga. Con el establecimiento de nuevas normas para el manejo de estos sistemas de tuberías, es necesario desarrollar programas de integridad que permitan la administración de toda la información de la infraestructura para su análisis y evaluación, y contribuir al gerenciamento de la integridad en este tipo de ductos.

Para el desarrollo de análisis de riesgos, existen numerosos métodos y algoritmos disponibles, que van desde simple, cualitativo, subjetivo y económico a lo complejo, cuantitativo, objetivo y costoso. El principal propósito del algoritmo de análisis es identificar áreas del sistema de tuberías con alto riesgo o consecuencia de falla. Una vez identificadas, se deben evaluar alternativas para minimizar el riesgo, y de esta manera ayudar en la identificación de oportunidades de mejora, priorización de recursos etc. Esta funcionalidad provee una herramienta poderosa para la administración del riesgo que permite dar un orden a las acciones a tomar, optimizando de esta manera la administración de recursos para mantenimiento, modificaciones, inspecciones y reparaciones.

### 1. METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE RIESGO EN OLEODUCTOS

El trabajo comprende el desarrollo de una herramienta bajo entorno Visual Basic, el cual permite un fácil registro y adquisición de información de la tubería. El modelo de

análisis del riesgo se siguió según la metodología que plantea Kent Mühlbauer, el cual asigna un puntaje relativo a cada una de las variables que afectan el riesgo por corrosión y a las consecuencias, integrando las variables saca un índice por tipo de falla y consecuencia para calcular un índice global; el resultado de este proceso es un puntaje de riesgo de falla que varía a lo largo de la longitud de la tubería. En la Figura 1 se observa la interfaz principal del módulo desarrollado, introducción de datos, acceso a información y segmentación de la tubería. La segmentación se realizó a partir de información del ducto y el empleo de planos cartográficos, por tramos que presentaban condiciones similares en términos de corrosión externa, el mismo historial de operación y mantenimiento, y factores como el tipo de suelo, cruces de vías, instalaciones y densidad poblacional.

**Figura 1**  
Interfaz principal del programa.



Determinado el segmento, su longitud e identificación, se procede a la evaluación del riesgo por corrosión, basándose en datos de ensayos y en la información del ducto (Figura 2).

**Figura 2**  
Evaluación relativa del riesgo por corrosión.



El aseguramiento del riesgo por corrosión externa ECDA se siguió según la práctica recomendada por NACE RP0502-2002, consistente en un proceso estructurado para evaluar la integridad de tubería ferrosa enterrada, mediante el manejo y reducción del riesgo. Este proceso se lleva a cabo en cuatro pasos: en la primera etapa, Pre-evaluación, se recolectan datos históricos y actuales para determinar si EDCA es factible, se definen las regiones ECDA y se seleccionan las herramientas de inspección indirecta (Figura 3).

La segunda etapa, inspección indirecta, cubre inspecciones sobre tierra, alinea los resultados y los clasifica según su severidad. En la examinación directa se analizan los datos de la inspección indirecta para seleccionar sitios de excavación y se evalúa el impacto de la corrosión. En la post-evaluación, se analizan los datos recogidos en los tres pasos anteriores para evaluar la efectividad del proceso y se determinan los intervalos de reevaluación.

**Figura 3**  
Valoración de integridad de la tubería por corrosión externa, pre-evaluación.



La inclusión de modelos de predicción de deterioro por corrosión externa y de métodos de análisis probabilístico de los resultados, permiten a ECDA subsanar falencias identificadas en la misma. El método de priorizar indicaciones se basa en el uso de modelos que predicen la pérdida de metal esperada, en las anomalías identificadas, sugiriendo el empleo de ecuaciones de la forma:  $d = d_i + R_c * A * (1 - F_p)$ , donde:

**d** = Profundidad de picado esperada.

**d<sub>i</sub>** = Profundidad de picado previa al ciclo ECDA desarrollado.

**R<sub>c</sub>** = Velocidad de corrosión del electrolito [f (ñ, pH, Eh, [Cl], etc.).

**A** = Tiempo en que el ducto ha sido sometido a la velocidad de corrosión (R<sub>c</sub>).

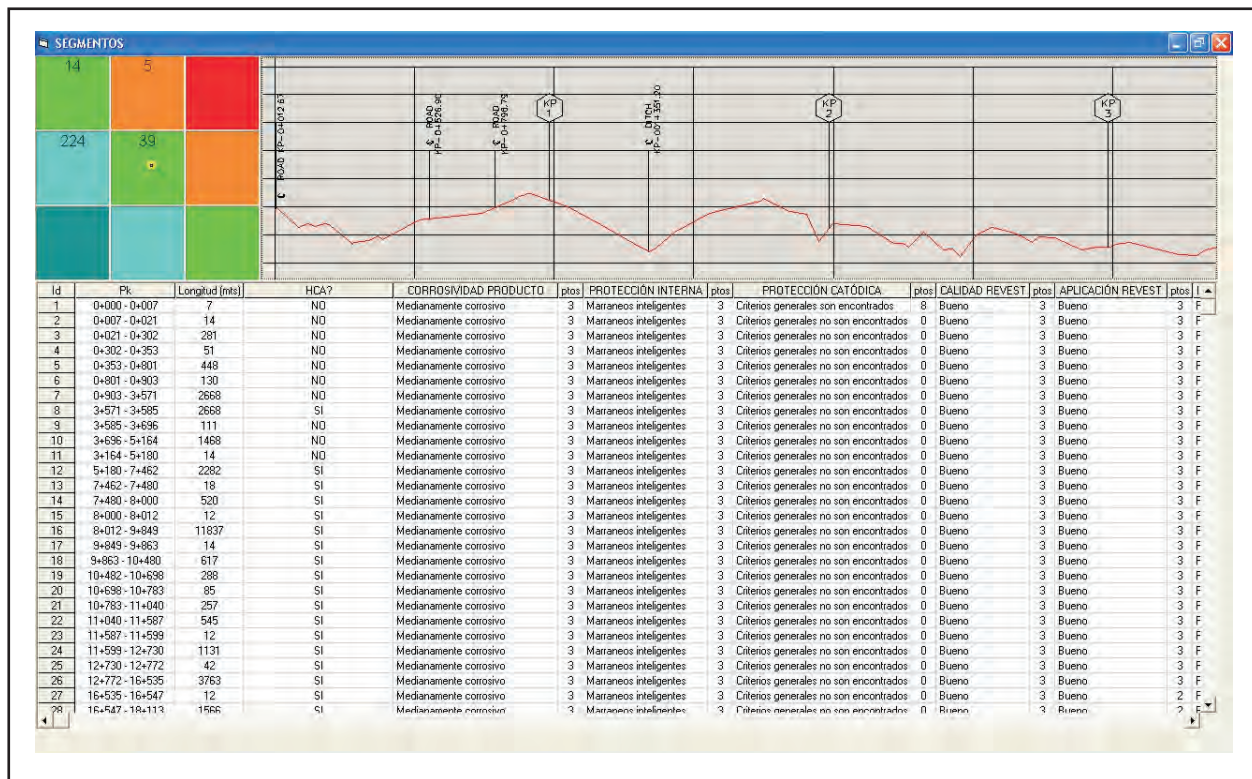
**F<sub>p</sub>** = Factor de protección CE [f (desempeño del SPC, estado del recubrimiento, etc.).

## 2. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Los resultados de la evaluación son almacenados en una base de datos y visualizado el riesgo en una matriz, donde se observa el número de segmentos encontrados en cada nivel de riesgo (Figura 4). La evaluación al oleoducto dio como resultado 282 segmentos valorados así: 5 segmentos con Probabilidad alta y Consecuencia media, 14 con Probabilidad alta y Consecuencia baja, 39 con Probabilidad media y Consecuencia media y 224 con Probabilidad media y Consecuencia baja.

En la valoración del riesgo por corrosión externa, el objetivo principal es determinar la presión segura de operación de la tubería y prevenir fallas futuras (Figuras 5 y 6).

**Figura 4**  
Resultados evaluación del riesgo por corrosión externa estación Tenay-Gualanday.



**Figura 5**  
 Datos y resultados examinación  
 directa, excavación.

**Figura 6**  
 Resultados examinación directa,  
 cálculo de presión segura de operación.

ID	Distancia (m)	Altura (m)	Pto. Horaria	Pared Interna	Longitud (m)	Ancho (m)	Profundidad (m)	ERF	MAOP (MPa)	PRESION DISEÑO (MPa)	RESTREG (MPa)
1	20,99	439,5790	04:15:00	NO	14	30	24	0,65	7,86	11,03	12,09
2	37,83	440,0073	06:17:00	No	34	493	57	0,65	7,86	11,03	12,2
3	37,83	440,0079	01:54:00	NO	29	517	48	0,65	7,86	11,03	12,1
4	204,95	432,1203	01:30:00	NO	17	23	11	0,65	7,86	11,03	12,1
5	322,47	438,9591	10:40:00	NO	17	23	35	0,65	7,86	11,03	12,01
6	338,83	429,7486	08:59:00	NO	15	21	12	0,65	7,86	11,03	12,02
7	345,78	430,1877	09:41:00	No	17	32	15	0,65	7,86	11,03	11,9
8	364,78	430,7759	08:30:00	NO	23	51	45	0,65	7,86	11,03	11,93
9	695,95	444,4421	03:24:00	NO	15	23	10	0,65	7,86	11,03	12,01
10	1375,24	429,0551	04:11:00	NO	18	23	12	0,65	7,86	11,03	12,09
11	1395,81	428,0941	05:28:00	SI	18	27	14	0,65	7,86	11,03	12,09
12	1417,86	423,3358	05:35:00	SI	20	52	15	0,65	7,86	11,03	12,07
13	1420,03	429,8595	10:27:00	NO	19	42	13	0,65	7,86	11,03	12,06
14	1893,52	444,5339	09:59:00	NO	16	23	19	0,65	7,86	11,03	12,09
15	2029,81	429,6884	06:02:00	NO	16	26	24	0,65	7,86	11,03	12,06
16	2421,14	437,9104	09:22:00	NO	10	23	12	0,65	7,86	11,03	12,12
17	2540,49	428,5425	09:26:00	SI	16	23	19	0,65	7,86	11,03	12,11
18	2726,66	429,6529	02:02:00	NO	22	23	11	0,65	7,86	11,03	12,00
19	2945,17	434,3204	05:36:00	NO	13	23	12	0,65	7,86	11,03	12,11
20	2969,62	434,6759	04:53:00	NO	18	23	15	0,65	7,86	11,03	12,09
21	3156,59	433,6861	07:20:00	NO	24	71	41	0,65	7,86	11,03	11,94
22	3156,87	433,6828	07:06:00	NO	19	53	33	0,66	7,86	11,03	11,99
23	3185,74	432,7312	01:21:00	NO	18	34	31	0,65	7,86	11,03	12,02
24	3363,88	428,2895	04:02:00	NO	14	23	17	0,65	7,86	11,03	12,1
25	3525,95	433,2914	05:17:00	NO	15	38	13	0,65	7,86	11,03	12,1
26	3525,97	433,392	07:04:00	NO	23	60	14	0,65	7,86	11,03	12,06

Los resultados de la valoración de la corrosión externa ECDA (Tabla. 1), son clasificados mediante el siguiente criterio: zonas con pérdida de espesor de metal de la tubería, menor al 20% riesgo bajo, entre el 20% y el 50% riesgo moderado y mayor al 50% riesgo alto.

**Tabla 1**

Cantidad de defectos con pérdida de espesor.

PÉRDIDA DE ESPESOR	0 - 20%	20 - 50%	> 50%
CANTIDAD DE DEFECTOS	553	70	5

ECDA es sólo una opción de conformidad viable para evaluar la integridad por corrosión externa en tubería enterrada. Si las condiciones son más severas que las determinadas durante el proceso, un método alternativo de evaluación de la integridad debe ser utilizado.

Las características más sobresalientes de la herramienta desarrollada son:

- ✍ Fácil acceso y almacenamiento de datos.
- ✍ Acceso a gráficos y planos donde se pueda observar traza del ducto y elementos relacionados, en formatos jpg, gif, etc., así como archivos CAD.

## BIBLIOGRAFÍA

- ASME B31G, Manual for Determining the Remaining Strength of Corroded Pipelines: A Supplement to ASME B31 Code for Pressure Piping, 1991.
- API STANDARD 1160, Managing System Integrity for Hazardous Liquid Pipelines, 2001.
- DEPARTMENT OF TRANSPORTATION DOT. Pipeline Safety, 49 CFR Parts 195. Washington, DC, 2001.
- M. DZIUBINSKI, M. FRATZAC, A.S. MARKOWSKI. Aspects of risk analysis associated with major failures of fuel pipelines, Journal of Loss Prevention in the Process Industries Volume 19, Issue 5, September. Pages 399-408, 2006.
- MEJÍA G. Osvaldo, Oportunidades de Mejora en la Aplicación de la Metodología ECDA como Método de Valoración de Integridad de Ductos, Ponencia ICONTEC, 2006.
- MÜHLBAUER W. KENT. PIPELINE Risk Management Manual, 3ª Ed. Elsevier, 2004.
- NACE RP0502, Pipeline External Corrosion Direct Assessment Methodology, Houston, TX. 2002.

✍ Datos estructurados en bases de datos relacionables.

✍ Interfaz de fácil entendimiento y adecuada a las necesidades de los operadores.

## CONCLUSIONES

El desarrollo de este sistema de administración y análisis de riesgo de este tipo de ductos permite enfocar los principales aspectos que componen la problemática actual de la operación de tuberías administración de la información y análisis y evaluación del riesgo.

A través de la utilización de este tipo de herramientas, los procesos de evaluación y valoración del riesgo son muy efectivos en lo que se refiere a manejo y almacenamiento de datos, reducción de costos y aumento en la validez de los procesos.

El desarrollo de esa metodología podrá ser implementado a un Sistema de Integridad global, el cual traerá beneficios tal como fácil acceso a todos los datos relevantes de la tubería y evaluación para cualquier otro sistema de tuberías que transporten hidrocarburos.