



**TECNOLOGÍA TOTAL**  
INGENIERÍA EN INTEGRIDAD Y CORROSIÓN

## DETERMINACIÓN DE LA AGRESIVIDAD DE SUELOS



## Objetivo

Presentar la metodología para la determinación de la agresividad de suelos desarrollada a través de los años por Tecnología Total.

## Alcance

La metodología aplica para el análisis de agresividad de suelos de sistemas de ductos de transporte de cualquier producto que se encuentren enterradas.

## Referencias

- ASME. Int. Pipeline Conference(2004)IPC04-0508. *The role of soil data in pipeline integrity.*
- Peabody, A. (2001). *Control of pipeline corrosion.*
- NACE. *Cathodic Protection Technician CP3.*
- NACE. *Cathodic Protection Specialist CP4.*

## ¿Qué es la agresividad de suelos?

Puesto que todos los suelos se originaron a partir del desgaste químico y físico de las rocas, el suelo es un medio reactivo en sus componentes de acuerdo a los cuatro productos del desgaste: arena, arcilla, cal y humus.

Desde un punto de vista químico, el suelo consiste en una gran cantidad de mezclas como silicatos de aluminio ferroso, hidróxidos, óxidos, carbonato de calcio y magnesio, cloruros, sulfatos y silicatos ácidos.

Una gran parte de estas sustancias se disuelven en el agua presente en los suelos, pudiendo actuar de manera agresiva con los materiales de la tubería enterrada.

Dependiendo de la cantidad, la concentración de las mezclas en el suelo se determina la agresividad de los suelos.

## ¿Cómo afecta la agresividad del suelo?

El suelo será corrosivo si se comporta como un electrolito activo, para ello es indispensable que esté presente la humedad, de lo contrario aunque tenga sales solubles la corrosión no sucederá, pero el acero estará alojado en un suelo potencialmente agresivo.

Propiedades y electrolitos presentes que afectan el nivel de agresividad:

- Humedad
- Potencial RedOx
- Acidez
- Alcalinidad
- Carbonato de calcio y magnesio
- Cloruros
- Sulfatos
- Presencia microbiológica



## ¿Cómo afecta la agresividad del suelo?

En general, esta es la reacción que se produce en el suelo corrosivo.



Tubería en contacto con suelo corrosivo y húmedo

Se forman zonas catódicas y anódicas, ocasionando reacciones químicas

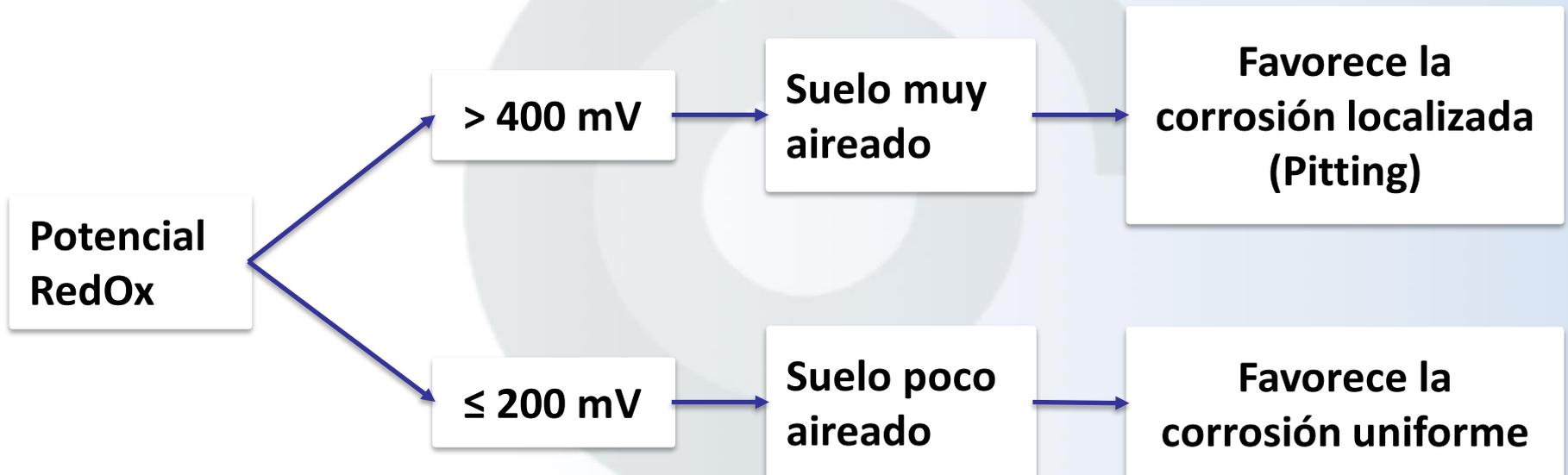
Anódica

Catódica



## 1. Efecto de la Aireación en la agresividad del suelo

**Potencial RedOx:** Es el potencial de reducción-oxidación es la medición de la tendencia del suelo a oxidar o reducir los sustratos.



## 2. Efecto de la formación de una capa de óxidos en la agresividad del suelo

De la reacción anódica, los iones  $\text{Fe}^{++}$  se combinan con distintos aniones, como el  $\text{OH}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{=}$ ,  $\text{SO}_4^{=}$ . Las sales producto de estas reacciones, pueden ser solubles, que se difunden en el suelo, o no solubles, cuyo efecto es diferente dependiendo de lo siguiente:

- Si los iones ferrosos se combinan con el oxígeno disuelto y los iones  $\text{OH}^-$ , se formarán depósitos.
- El hidróxido férrico  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  se combina fuertemente con el hidróxido ferroso  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  ambos productos de corrosión, para formar el óxido magnético de hierro  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .
- Formando así montones de herrumbre en las proximidades de las regiones anódicas.

## 2. Efecto de la formación de una capa de óxidos en la agresividad del suelo

- En suelos con poca concentración de sales, el hidróxido férrico se depositan de manera compacta, y se adhieren fuertemente al metal en las regiones anódicas.
- Si la concentración de sales es elevada, y a su vez la entrada de oxígeno es difícil, las sales ferrosas tienen la posibilidad de difundir, dando origen a cantidades importantes de herrumbres.
- Bajo el montón de herrumbre, el pitting se desarrollará hasta que la membrana del depósito de  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  sea suficiente como para impedir el paso del oxígeno y de las sales ferrosas.
- Igualmente, otras películas pueden constituirse a partir de algunos óxidos de fierro, carbonatos de calcio o magnesio poco solubles.

Estas películas de productos de corrosión o de precipitados que se depositan sobre las regiones catódicas, oponen una resistencia a la entrada de oxígeno hacia el cátodo, produciendo una disminución en la velocidad de corrosión.

## 2. Efecto de la formación de una capa de óxidos en la agresividad del suelo

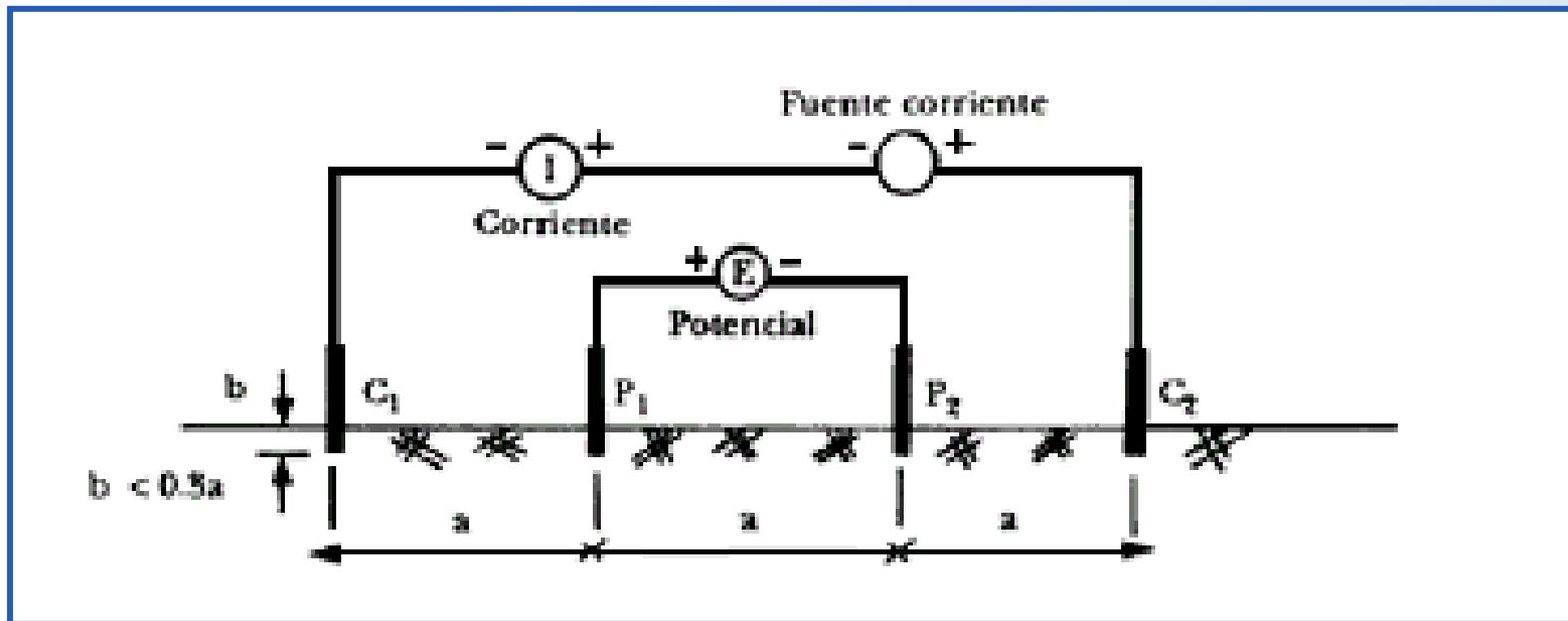
- La formación de las películas protectoras está favorecida por la aireación del suelo. Su formación es más difícil si la acidez es elevada y la concentración de iones cloruros y sulfatos en el suelo también es elevada, pues en estas condiciones los carbonatos de calcio y magnesio son fácilmente solubles.
- La protección de una tubería de acero enterrado se elige normalmente en base a un dictamen del suelo. Para ello se toman muestras de suelo, las que son sometidas a análisis químicos y físico-químicos.

## Agresividad de suelos a tuberías de acero

- Corrosión galvánica debido a cenizas.
- Corrosión galvánica debido a metales diferentes.
- Corrosión galvánica entre tubería nueva y antigua.
- Corrosión galvánica por suelos heterogéneos.
- Corrosión galvánica por suelos con diferente aireación.
- Corrosión galvánica por corrientes de fuga.

## Resistividad de un Suelo vs Corrosión

Medición de la resistividad del suelo - **Método de Wenner** o de los cuatro electrodos.



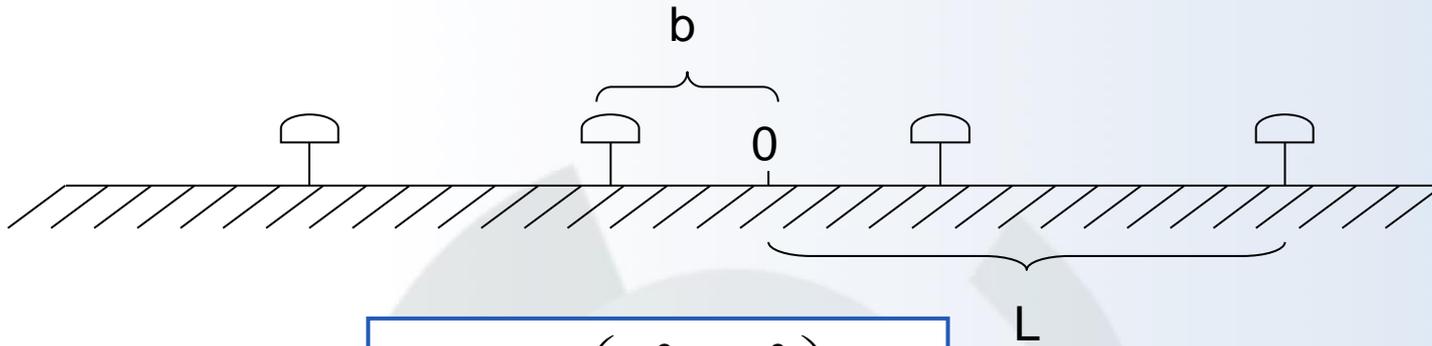
La distancia ( $b$ ) o sea la profundidad a la que está enterrada el electrodo (barra de cobre o acero) debe ser pequeña comparada con la distancia ( $a$ ) entre los electrodos.

## Factores que afectan la corrosión de los suelos

- ❑ Para la determinación de la agresividad de suelos se tienen en cuenta los diferentes factores o propiedades del suelo.
- ❑ Dependiendo de su grado de importancia o efecto agresivo se le asigna un valor que finalmente permite la determinación de agresividad.

		<i>INDICE</i>
Resistividad, $\rho$ ( $\Omega$ -cm)	> 12 000 .....	0
	12 000 - 5 000 .....	-1
	5 000 - 2 000 .....	-2
Potencial rédox, $E_{rédox}$ (mV vs. enh)	< 2 000 .....	-4
	> + 400 .....	+2
	400 - 200 .....	0
	200 - 0 .....	-2
pH	< 0 .....	-4
	> 5 .....	0
Cloruros, $Cl^-$ (mg/kg)	< 5 .....	-1
	< 100 .....	0
Sulfatos, $SO_4^{2-}$ (mg/kg)	100 - 1000 .....	-1
	> 1000 .....	-4
	< 200 .....	0
Sulfuros, $S^{2-}$ (mg/kg)	200 - 300 .....	-1
	> 300 .....	-2
	0 .....	0
	0 - 0.5 .....	-2
	> 0.5 .....	-4
<i>Características del suelo</i>		<i>Suma</i>
No agresivo .....		0
Débilmente agresivo .....		-1 a -8
Medianamente agresivo .....		-8 a -10
Sumamente agresivo .....		< -10

## Método de Schlumberger



$$\rho = 2\pi \cdot \left( \frac{L^2 - b^2}{4b} \right) \cdot \frac{\Delta v}{\Delta I}$$

Aplicación de  $\rho$

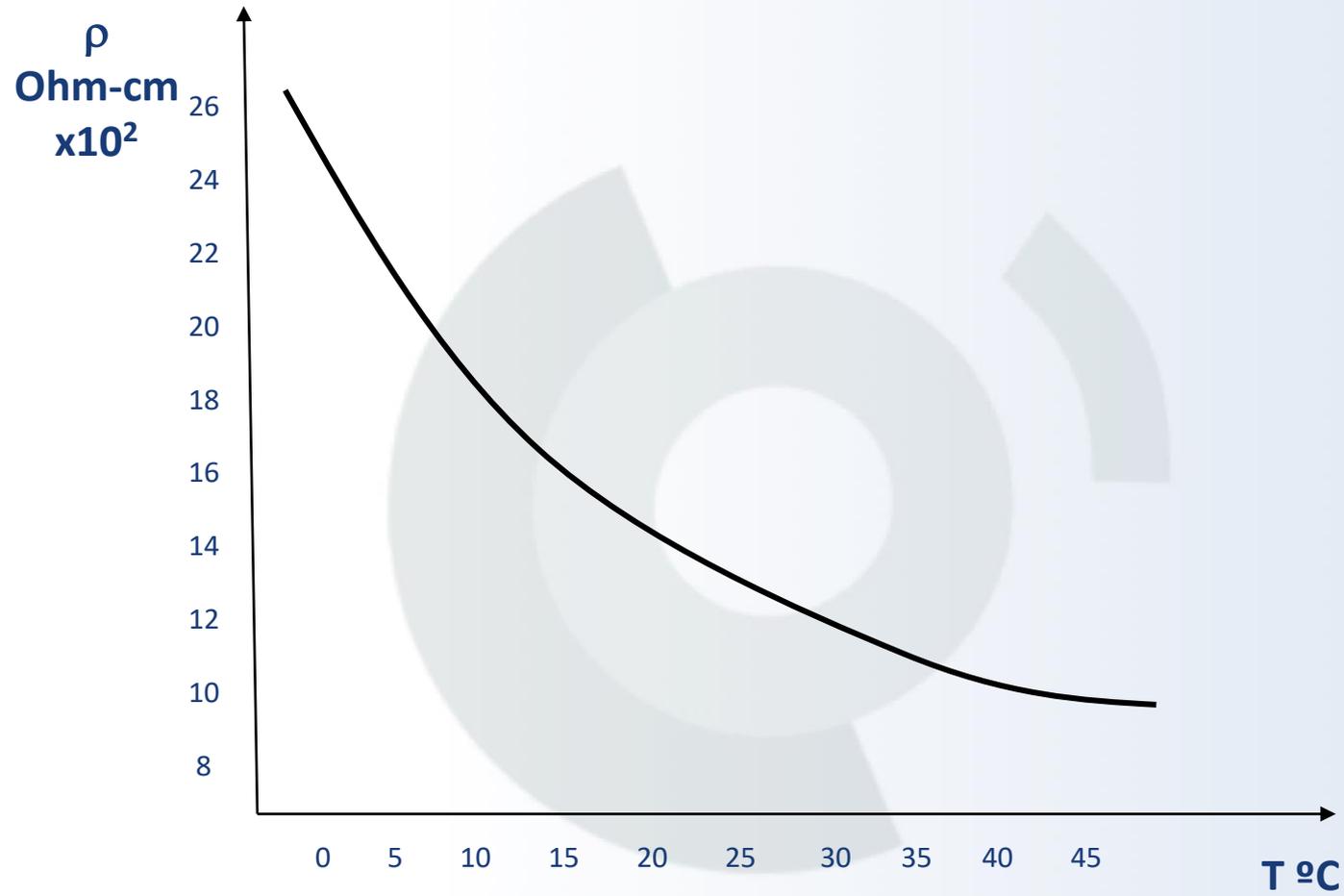
- Exploración vertical de suelos : Napas, Capas
- Exploración horizontal : Curvas isorresistividades
- Estudio Hidrológico : Ubicación de Aguas Saladas, dulce, zonas de transición, etc.

## Resistividad de aguas y rocas

1. Agua de Mar : 20 Ohm-cm
2. Agua de Fuentes: 5000 – 10000 Ohm-cm
3. Arena y Grava con agua salada : 50 – 500 Ohm-cm
4. Arcilla : 200 – 2000 cm
5. Arenisca Arcillosa : 5000 – 30000 Ohm-cm



## Resistividad v/s humedad



Relación de resistividad vs Temperatura

## Factores de la agresividad

Muchos son los factores que influyen en caracterizar el grado de agresividad del suelo a aceros enterrados.

Mientras que con elementos pequeños son superficies del orden de  $\text{cm}^2$ , puede suponerse que el terreno que rodea es homogéneo, en depósitos mayores ya es discutible y en tuberías largas es absolutamente seguro que no lo es.

Las diferentes clases de terreno por las que pasa una trazada, con permeabilidad distinta al aire y al agua, con diferente volumen de poros, contenido de humedad y dispersión (distribución de grano) producen una velocidad irregular de la difusión de los agentes oxidantes (oxígeno del aire) con respecto a la superficie del hierro.

Debido a ello se obtienen zonas anódicas y catódicas separadas localmente, es decir, la formación de elementos de concentración. Esto origina picaduras, siempre que las superficies anódicas sean pequeñas con respecto a las superficies catódicas.

***La velocidad de corrosión en las picaduras es directamente proporcional a la reacción del suelo.***

## Factores de la agresividad

- Los terrenos arcillosos totalmente homogéneos son en sí, poco agresivos.
- Los suelos arcillosos con humus pueden contener microorganismo que generen la reducción de los sulfatos, aumentando su capacidad corrosiva.
- Como suelos agresivos se consideran basándose en el resultado de su análisis químico, los suelos ricos en cloruros, sulfatos, sales solubles, los suelos de turba, y la marisma.
- También son agresivos los suelos con contenidos de sulfuros, los terrenos artificiales, los que contienen herbicidas, abono, aguas residuales de viviendas humanas o empresas agrícolas o industriales.



**TECNOLOGÍA TOTAL**  
INGENIERÍA EN INTEGRIDAD Y CORROSIÓN

