

## Tema 9:

# CORROSIÓN EN SUELOS

- Clasificación de los suelos
- El suelo como medio corrosivo
- Tipos de corrosión
- Corrosividad absoluta y relative
- Corrosión galvánica. Corrosión por corrientes vagabundas.  
Influencia de la composición del metal
- Predicción de la corrosividad de los suelos

# CORROSIÓN EN SUELOS

## 1. CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS

Suelo=“superficie de la tierra”.

Engloba cualquier material sólido con el que suele estar en contacto una estructura metálica enterrada.

Constituye un sistema capilar poroso, a menudo coloidal. Sus poros están llenos de aire y de humedad.

Formas de ligazón del agua:

- a) físico-mecánica: agua en los poros.
- b) físico-química: formaciones coloidales+película adsorbidas.
- c) química: formación de hidratos.

Estructuras metálicas típicas:

- a) tuberías de agua y de gas.
- b) oleoductos.
- c) cables eléctricos, telefónicos,...
- d) anclajes de postes metálicos,...

### Clasificación de los suelos

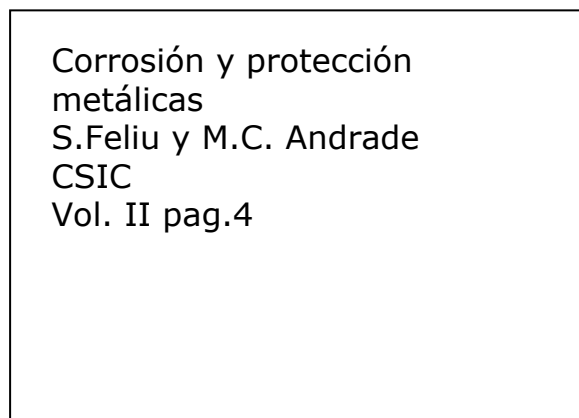
Se clasifican de acuerdo con su % de grava, arena, limo y arcilla.

Tamaños de partícula:

- grava: >2 mm
- arena: 0,07-2 mm
- limo: 0,005-0,07 mm
- arcilla: <0,005 mm

Otra clasificación: arena, cal y arcilla. Se presentan en formas de diagramas ternarios.

Arena+cal+arcilla+humus → TETRAEDRO DESARROLLADO.

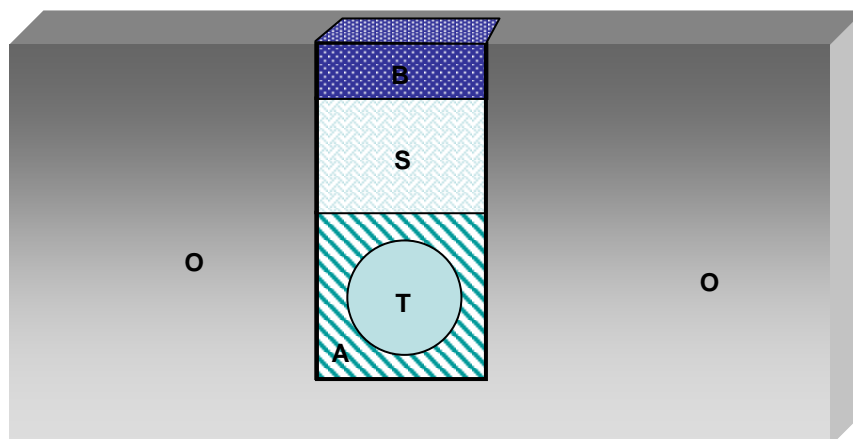


**Figura 9.1.** Clasificación del suelo según sus componentes.

## 2. EL SUELO COMO MEDIO CORROSIVO

Es el medio corrosivo más complejo. Entre las variables que hay que tener en cuenta:

- 1) Naturaleza y tamaño de partícula.
- 2) Humedad.
- 3) Contenido en sales solubles.
- 4) Aireación.
- 5) Acidez y alcalinidad totales.
- 6) Materia orgánica.
- 7) Presencia de bacterias anaerobias.



**Figura 9.2.** Situación de una tubería en una zanja, O, suelo original; A, arena; S, sub-base; B, base.

La corrosión puede ir de despreciable (suelos porosos secos) a muy importante (suelos húmedos con gran salinidad y actividad bacteriana). En general: Intermedia entre atmosférica y en solución.

La corrosión en suelos es de tipo electroquímico: el suelo ha de poseer una cierta conductividad eléctrica (humedad).

Las predicciones del comportamiento de un suelo a partir de su análisis, se refieren a un suelo natural, no perturbado.

Ej: situación de una tubería en una zanja:

La tubería (T) va asentada en un lecho de arena y rodeada por ella (A), cubierto todo por una subbase de relleno (S) y con una capa última de base con mayor compactación que la inferior (B).

ZONA REMOVIDA=menor compactación → mayor permeabilidad al aire y al agua.

### 3. TIPOS DE CORROSIÓN

- Uniforme: medios homogéneos.
- Localizada: heterogeneidades del suelo o del metal.
  - Picaduras:* pueden ser causadas por la heterogeneidad del material de relleno de una zanja.
  - Grafitización:* bacterias reductoras de sulfato.

*Corrosión bajo tensión:*

Contribuyen a este tipo de corrosión:

- a) Humedad en contacto con el acero bajo un revestimiento despegado.
- b) Protección catódica aplicada a la tubería.
- c) Herrumbre sobre la superficie del acero.
- d) temperatura > 30°C.
- e) tensión superior al 60% del límite elástico.
- f) tensiones cíclicas debidas a fluctuaciones de presión.

Características:

- El agrietamiento es intergranular y ramificado
- Se observa una película negra, formada por  $\text{FeCO}_3$  y  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  sobre la superficie de la fractura.
- Se da en tuberías revestidas.
- Todos los fallos se dan en tuberías protegidas catódicamente.

#### 4. CORROSIVIDAD ABSOLUTA Y RELATIVA

*Corrosividad absoluta:* asociada a micropilas de corrosión: la resistencia interna de estas pilas es prácticamente nula y no depende o depende muy poco de la resistividad del medio. Corrosión sensiblemente uniforme que se da en medios homogéneos.

Es función de:

- Características físicas: estructura, granulometría, interacción suelo/agua
- Propiedades químicas: pH, acidez total, alcalinidad total, tipo y concentración de iones solubles en agua,...
- Propiedades biológicas: colonias de bacterias reductoras de sulfato.

*Corrosividad relativa:* asociada a macropilas de corrosión: sus dimensiones van

desde algunos cm hasta cientos de m.

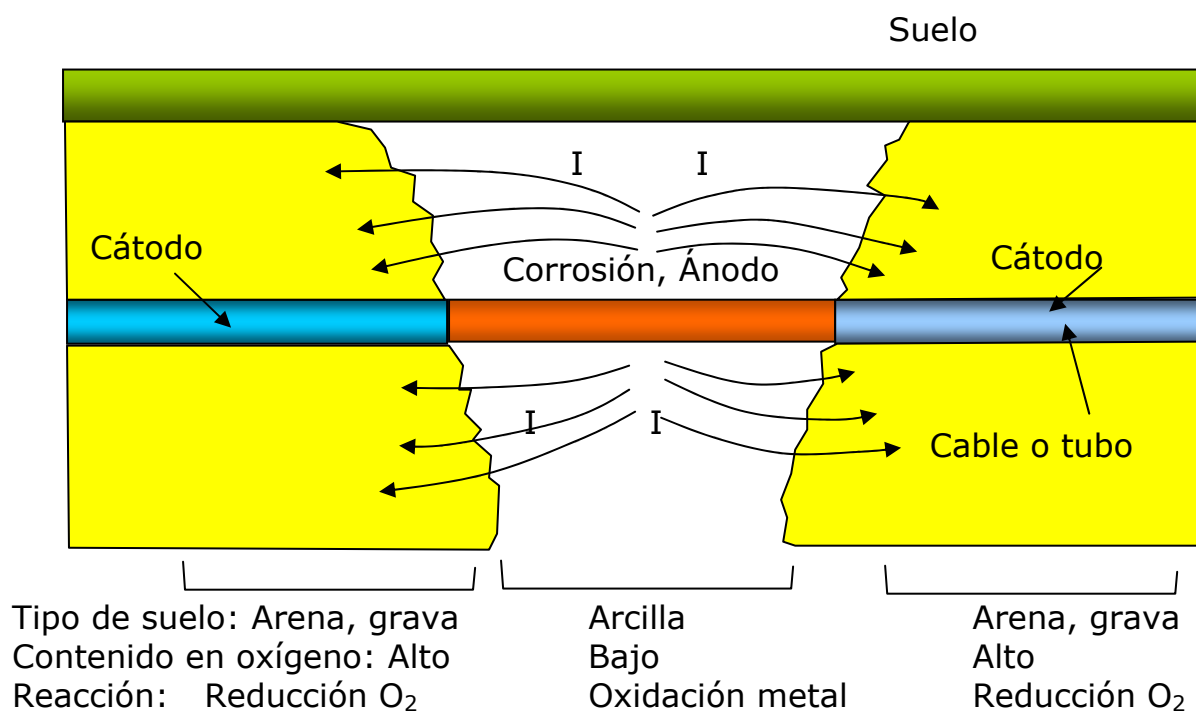
A) Aireación diferencial.

B) Heterogeneidades del suelo (aireación diferencial): la tubería o cable pasa por suelos de diferente contenido en agua y en oxígeno.

↑Compactación → ↓ Cantidad de oxígeno.

C) Heterogeneidad del metal: inclusiones no metálicas o aparición de otras fases: descincificación, grafitización.

D) Pares galvánicos.



**Figura 9.3.** Corrosión en un suelo debido a la generación de pilas de aireación diferencial.

### 5. CORROSIÓN GALVÁNICA. CORROSIÓN POR CORRIENTES VAGABUNDAS. INFLUENCIA DE LA COMPOSICIÓN DEL METAL

	Hierro dulce		Cobre		Plomo		Zinc	
	exp. 12 años		exp. 8 años		exp. 12 años		exp. 11 años	
Suelo	gmd	mm	gmd	mm	gmd	mm	gmd	mm
Media de diversos suelos	0,47 (44)	1,50	0,07 (29)	<0,15	0,052 (21)	>0,8	0,3 (12)	>1,3
Suelos turbosos	1,16	2,0	0,53	<0,15	0,02	0,32	0,19	0,9
Suelo arcilloso	1,34	>3,3	0,07	<0,15	0,06	0,25	-	-
Arena+grava	0,10	0,57	0,02 13,2 años	<0,15	0,013 9,6 años	0,48	-	-

Penetración máxima en mm para el periodo total de exposición. Velocidades de corrosión medias en gmd ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$ )

Se observa:

- a) (datos no tabulados) Para un suelo determinado, la velocidad de corrosión del hierro y del acero es similar. Hay una atenuación con el tiempo. En la fundición gris hay peligro de grafitización.
- b) La velocidad de corrosión del cobre es 1/6 de la del hierro y no hay picaduras. Es susceptible de ataque en suelos turbosos o en presencia de cenizas. Los latones suelen sufrir descincificación.
- c) El plomo se corroe menos que el acero. La velocidad de corrosión se incrementa mucho en suelos poco aireados y con un alto contenido en ácidos orgánicos (Hay picaduras en suelos agresivos). Muy resistente en suelos con alto contenido de sulfatos.
- d) El ataque del zinc es bastante menor que el del acero.

El comportamiento del aluminio varía mucho de un suelo a otro debido a la

presencia de picaduras. Grande en suelos con cenizas; bastante reducida en suelos arcillosos.

Aceros inoxidables: un incremento en el % de cromo disminuye la velocidad de corrosión pero:

$\%Cr > 6 \rightarrow$  aumento de la susceptibilidad a las picaduras.

$\%Cr = 12-18 \rightarrow$  picaduras severas.

$18\%Cr + 8\%Ni \rightarrow$  menos picaduras.

$17\%Cr + 12\%Ni + 2,5\%Mo \rightarrow$  No hay picaduras.

### *Características del picado*

La profundidad de la picadura es función del área de la muestra. Scott da la siguiente fórmula:

$$P = b \cdot A^a$$

P=profundidad de la picadura más honda en el área A.

a=cte que depende de las condiciones de exposición.

b=profundidad media de las picaduras más profundas por unidad de área. Para un sistema determinado también se cumple:

$$P = k \cdot t^n$$

donde k y n son constantes y t el tiempo de exposición; en el caso de aceros  $n = 0,1$  (suelo bien aireado) -  $0,9$  (suelo pobremente aireado).

Las picaduras se generan en la parte inferior de la tubería, que está en contacto íntimo con el suelo; sobre la parte superior suele haber una cámara de aire.

## **6. PREDICCIÓN DE LA CORROSIVIDAD DE LOS SUELOS**

Se toma como referencia el acero.

Algunas de las variables que se analizan están relacionadas entre sí.

$$\text{Porosidad} = \frac{\text{volumen relativo de los espacios vacíos}}{\text{volumen aparente total de la masa de tierra}}$$



### 1. Porosidad:

↓ Porosidad → ↑ Corrosividad: se retiene más agua por disminución de los espacios intersticiales.

2. Humedad: Suelo seco → ↑ resistividad → ↓ corrosividad.

Suelo saturado con agua: difícil acceso del oxígeno: no se favorece la reacción catódica → ↓ corrosividad (salvo que existan bacterias reductoras de sulfato; anaerobias).

Humedad intermedia: maximización de la corrosión. La corrosión máxima se da en un suelo con alternancias seco/húmedo y anaerobio/aerobio; se exaltan las pilas de concentración de oxígeno y la actividad biológica:

Humedad relativa: 50-95% → corrosión en macrocélulas.

Humedad relativa: 5-95% → corrosión en microcélulas.

3. Resistividad: De gran importancia en las macropilas: controla la corriente de corrosión. Es una de las variables más útiles: combina la humedad y la cantidad de electrolitos en el suelo y es fácil de medir. Criterio de Waters:

- <900  $\Omega \cdot \text{cm}$  → Muy corrosivo
- 900-2300  $\Omega \cdot \text{cm}$  → Bastante corrosivo
- 2300-5000  $\Omega \cdot \text{cm}$  → Moderadamente corrosivo
- 5000-10000  $\Omega \cdot \text{cm}$  → Ligeramente corrosivo
- >10000  $\Omega \cdot \text{cm}$  → Muy ligeramente corrosivo

4. Potencial redox: en este caso es el potencial de un electrodo de platino introducido en el suelo y referido al EEH: importante para predecir el riesgo de corrosión anaerobia (especialmente cuando el medio contiene sulfatos)

Starkey y Wight:

- <100 mV → muy agresivo
- 100-200 mV → moderadamente agresivo.
- 200-400 mV → débilmente agresivo.

- $>400$  mV  $\rightarrow$  no agresivo.

El potencial rédox no es demasiado afectado por el pH; sí por la temperatura y la humedad.

#### 5. pH.

- pH=5,0-8,0  $\rightarrow$  las variaciones de velocidad de corrosión no son grandes.
- pH $>$ 8,5  $\rightarrow$  ataque de los metales anfóteros: Al, Zn y Pb.

$$\text{Acidez / alcalinidad total} = \frac{\text{meq de ácido / base}}{100\text{g de suelo}}$$

Más que el pH son importantes los valores de *acidez y alcalinidad totales*:

- $\uparrow$ acidez total  $\rightarrow$   $\uparrow$  corrosividad
- $\uparrow$ alcalinidad total  $\rightarrow$   $\uparrow$  corrosividad (metales anfóteros)

Sin carácter tamponante el suelo incrementaría su pH con el ataque o lo disminuiría en el caso de metales anfóteros.

6. *Salinidad*: los constituyentes principales del suelo son: SiO<sub>2</sub>, silicatos simples o complejos de diversos metales como Ca y Mg; óxidos de Al y Fe; carbonatos de Ca y Mg.

Hay otras sales que son solubles, que aunque están presentes en menor proporción contribuyen extraordinariamente a la conductividad del suelo:

Cationes: Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>

Aniones: Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>

Además los Cl<sup>-</sup> y SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> tienen una incidencia especial sobre la corrosión: los primeros rompen la pasividad y los segundos contribuyen a la corrosión microbológica.

$\uparrow$ Pluviometría  $\rightarrow$   $\downarrow$  Salinidad (acción lixivante)

↑Aridez →↑ Salinidad.

*7. Corrosión bacteriana.*

**Consideración simultánea de los diferentes factores**

Ninguno de los factores anteriores determina por sí solo la corrosividad del suelo. Cierta número de propiedades deben considerarse simultáneamente para tener cierto poder predictivo.

*Características de corrosividad del suelo basadas en acidez total, resistividad, drenaje, textura y aireación*

<b>Corrosividad</b>	<b>Acidez total Meq/100g</b>	<b>Resistividad <math>\Omega \cdot \text{cm}</math></b>	<b>Relación Drenaje/Textura</b>	<b>Permeabilidad Agua/Aire</b>
<b>Muy baja</b>	<4	>10000	Suelos con drenaje excesivo, textura gruesa	Rápida a muy rápida
<b>Baja</b>	4 a 8	5000-10000	Suelos con buen drenaje, textura moderadamente gruesa. Suelos con drenaje bastante pobre, textura gruesa.	Moderada a rápida
<b>Moderada</b>	8 a 12	2000-5000	Suelos con buen drenaje, textura moderadamente fina. Drenaje moderadamente bueno, textura media. Suelos con drenaje bastante pobre, textura moderadamente gruesa. Drenaje muy pobre, nivel freático alto y sin fluctuaciones.	Moderada
<b>Alta</b>	12 a 16	1000-2000	Drenaje bueno o moderadamente bueno, textura fina o moderadamente fina. Drenaje bastante pobre, textura moderadamente fina o media. Drenaje pobre, textura moderadamente fina a gruesa. Suelos con drenaje muy pobre, nivel freático que fluctúa a menos de un metro de la superficie.	Lenta a muy lenta; saturado
<b>Muy alta</b>	>16	<1000	Drenaje de bastante pobre a muy pobre, textura fina. Turba, humus con nivel freático fluctuante.	Muy lenta; saturado