



Comportamiento de aceros inoxidables en instalaciones de aguas



Presentadora Carol Powell
Madrid - SIGA - Febrero 2019

Industria del agua



Tratamiento de aguas



Distribución



Tratamiento de efluentes



Fontanería

Razones para usar acero inoxidable en las plantas de tratamiento de aguas residuales

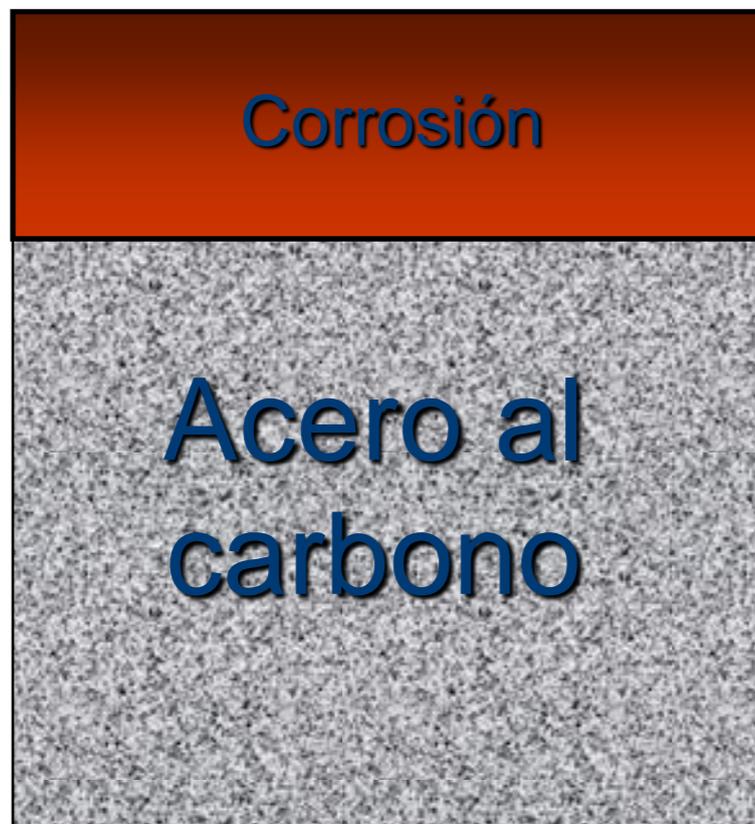
- Tolerar una amplia gama de químicas de agua
- Revestimientos no requeridos
- Resiste altas tasas de flujo
- Excelente resistencia a la aireación
- Fuerte, pero dúctil
- Puede usar secciones más delgadas y livianas
- Fácilmente soldable y conformable
- 100% reciclable



Planta de agua potable del lago de Como, Italia

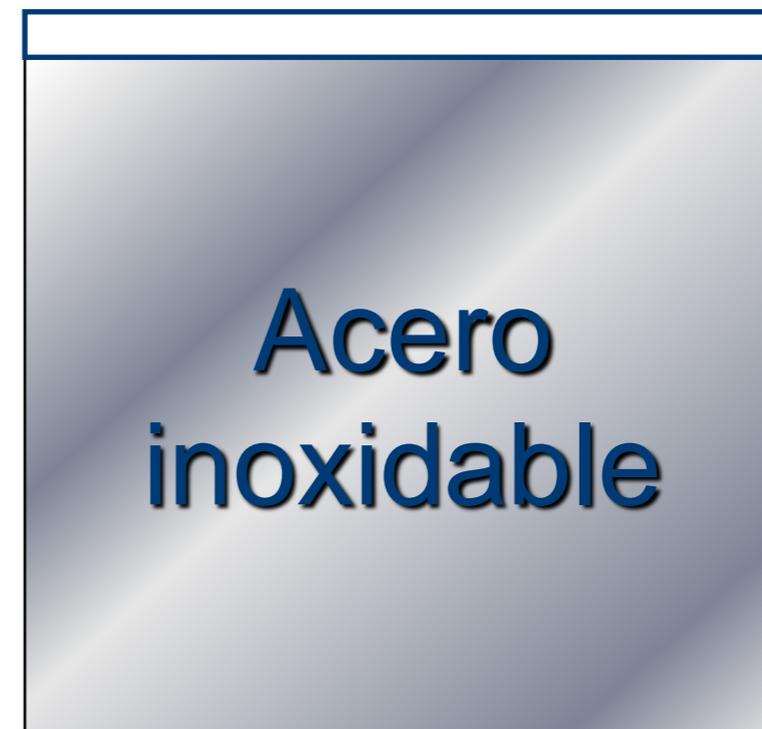
¿Cómo funciona el acero inoxidable?

Acero



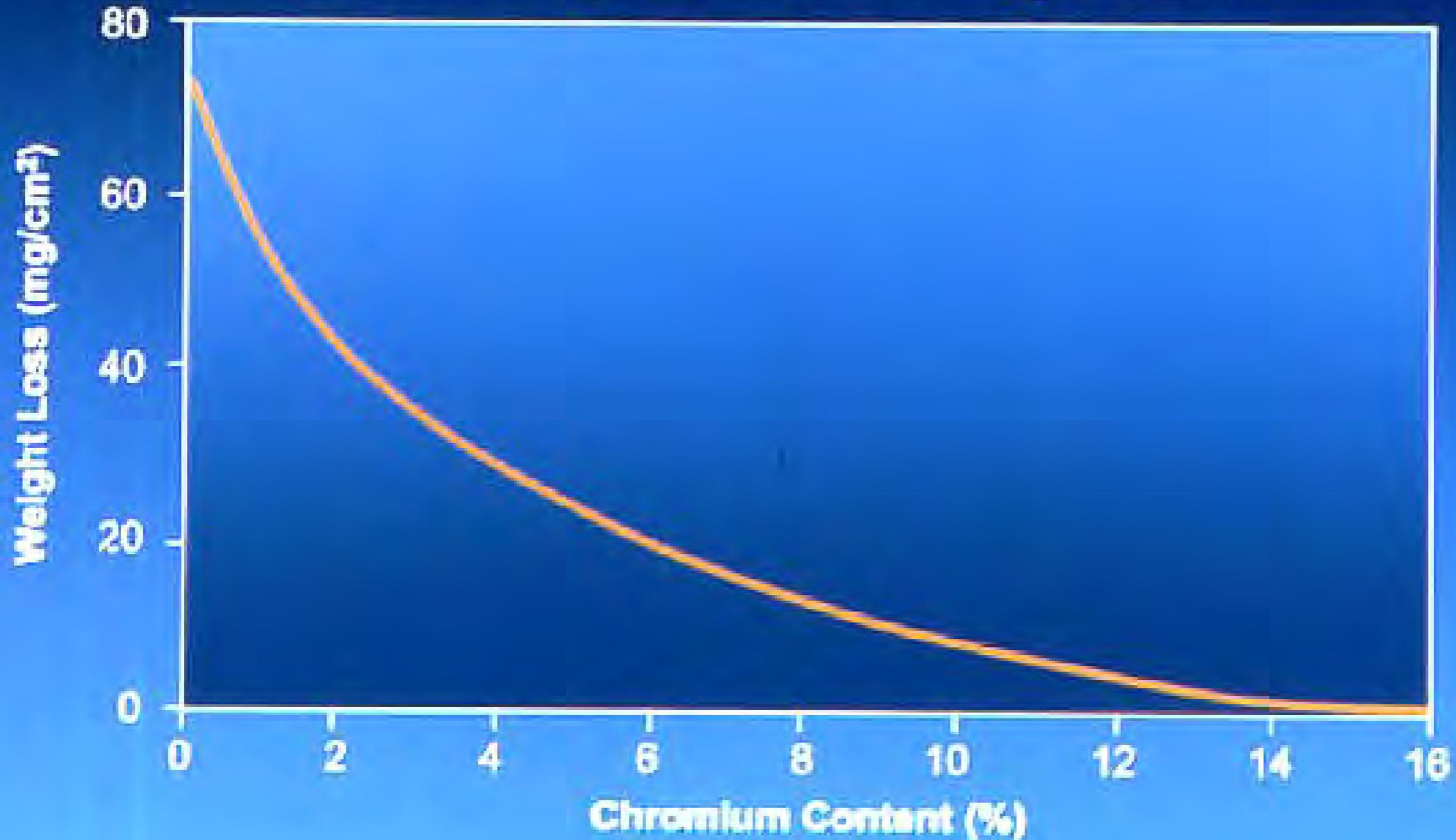
Acero
+
10,5% de cromo

Película pasiva



Efecto del contenido de cromo en el comportamiento de los aceros frente a la corrosión atmosférica

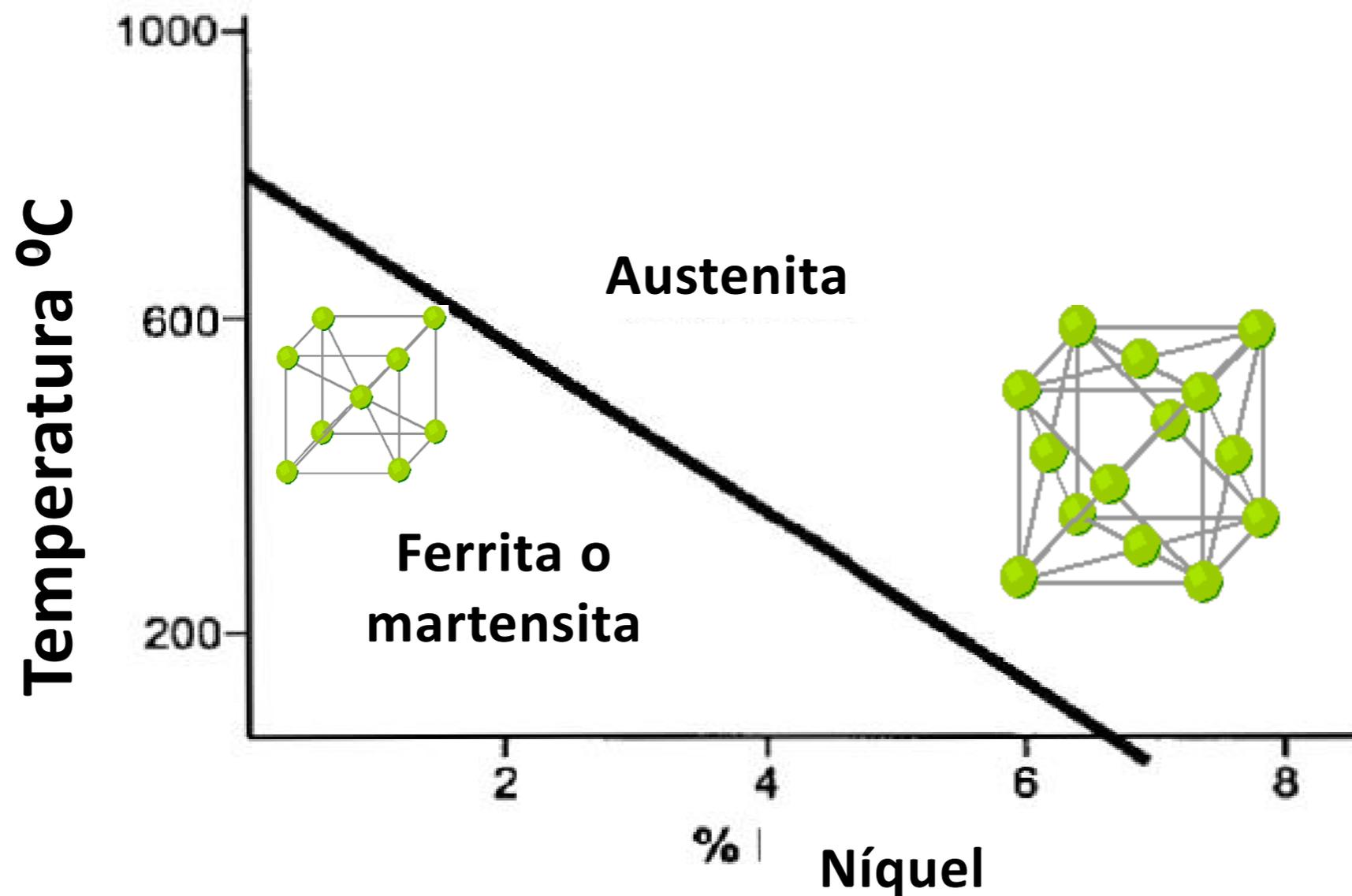
Lote de 250 m, 44 meses de exposición



La industria del agua requiere normalmente más del 16% de cromo

Efecto del contenido de níquel en la estructura

Efecto de la adición de Ni a aleaciones Fe-Cr



El níquel permite que la austenita se forme a temperatura ambiente

Fácil fabricación con aleaciones austeníticas

Fregadero de cocina doméstica



Acero inoxidable tipo 304

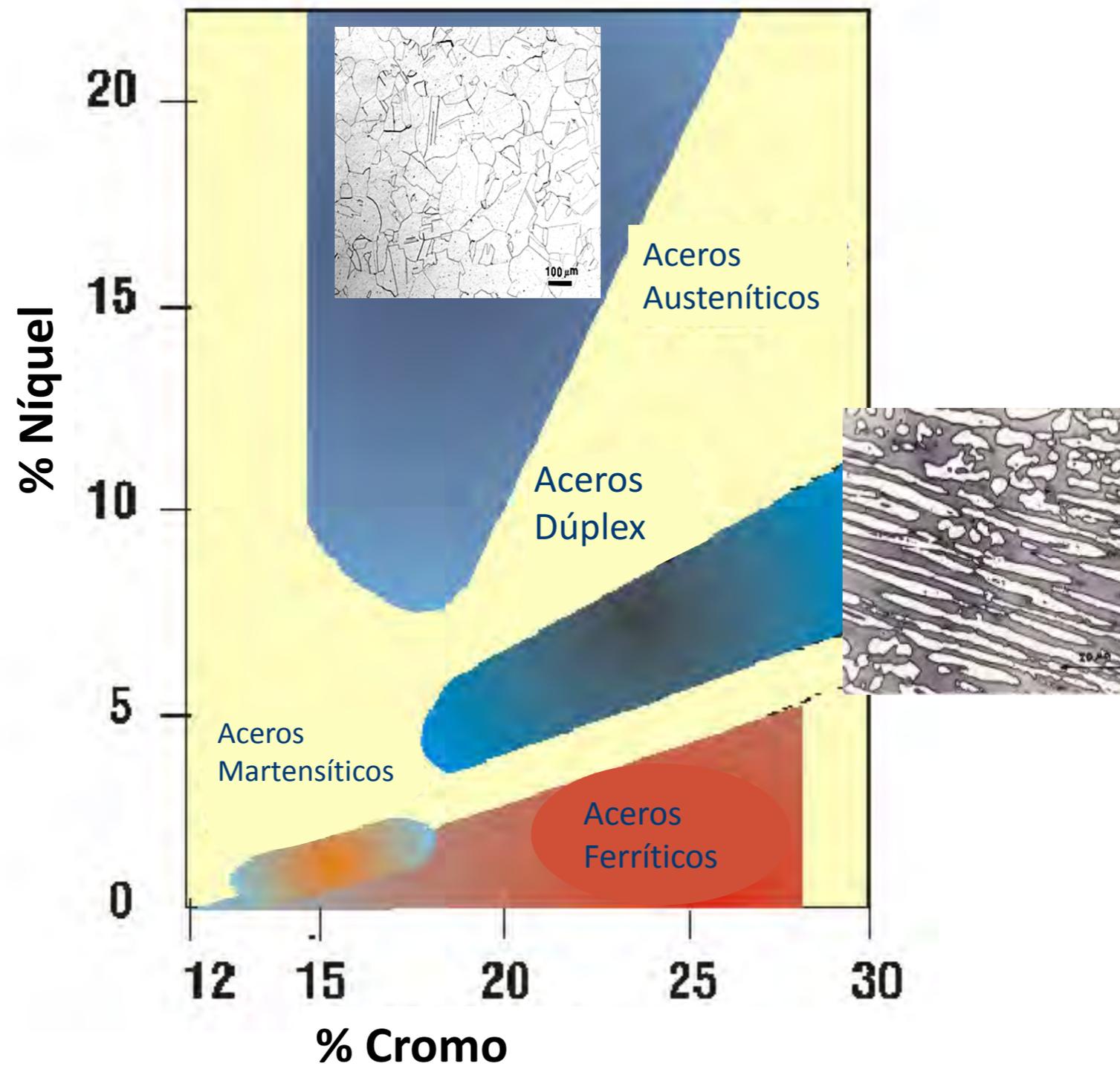


Barriles de cerveza
Tipo 304

- Higiénico
- Larga vida
- Reparable



Estructuras de Acero Inoxidable



Familias de aceros inoxidables

Ferrítico	Fe -Cr [4xx]
Austenítico	Fe -Cr -Ni [3xx] Fe-Cr-Mn [2xx]
Dúplex	50: 50 - ferrita: austenita [xxyy -% Cr,% Ni]
Martensítico	Ferrítico con alto C [4xx]
Endurecimiento por precipitación p.ej. 17-4PH; grado 630	Aceros inoxidables de diversas estructuras endurecidos por formación de precipitados finos

Cientos de aleaciones: <10 suponen el 99% del consumo

Tipos comúnmente utilizados en la industria del agua

Composiciones nominales

Acero inoxidable	C (max)	Cr	Ni	Mo	N
304L	0,03	18	9	-	
316L	0,03	17	12	2,5	
Duplex 2205	0,03	22	5	2,5	0,20

¡La diferencia que hace el molibdeno!



Efecto del acero inoxidable en el flujo de agua

- Tasas generales de corrosión: menos de 0,002 mm/año
- La velocidad de corrosión sigue siendo muy baja hasta velocidades de flujo superiores a 40 m/s

Datos de prueba de alta velocidad en agua de mar

Aleación	Tasa de corrosión mm/año	Velocidad del agua de mar m/seg
Hierro fundido gris	13	38
Acero al carbono	9,5	40
Acero inoxidable 316	0,005	43

¿Cómo puede corroerse el acero inoxidable?

- No como los aceros al carbono: los aceros inoxidables raramente fallan por la corrosión uniforme
- La tasa de corrosión es insignificante
- Si alguna vez aparece corrosión, por lo general es localizada

Espectro de Corrosividad del agua

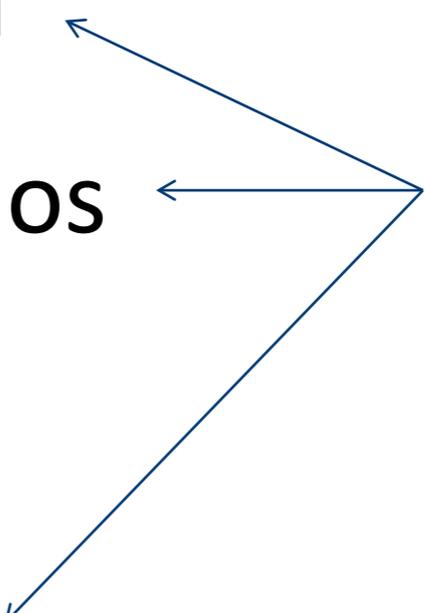
Agua destilada	Agua potable - cloruro bajo	Agua potable - cloruro alto	Agua dulce clorada	Agua salobre & agua de pozo	Agua salobre microbios	Agua marina & Agua de mar clorada
----------------	-----------------------------	-----------------------------	--------------------	-----------------------------	------------------------	-----------------------------------

Temperatura ambiente y pH casi neutro



Para aceros inoxidable, la corrosividad del agua aumenta a medida que aumentan los niveles de cloruro

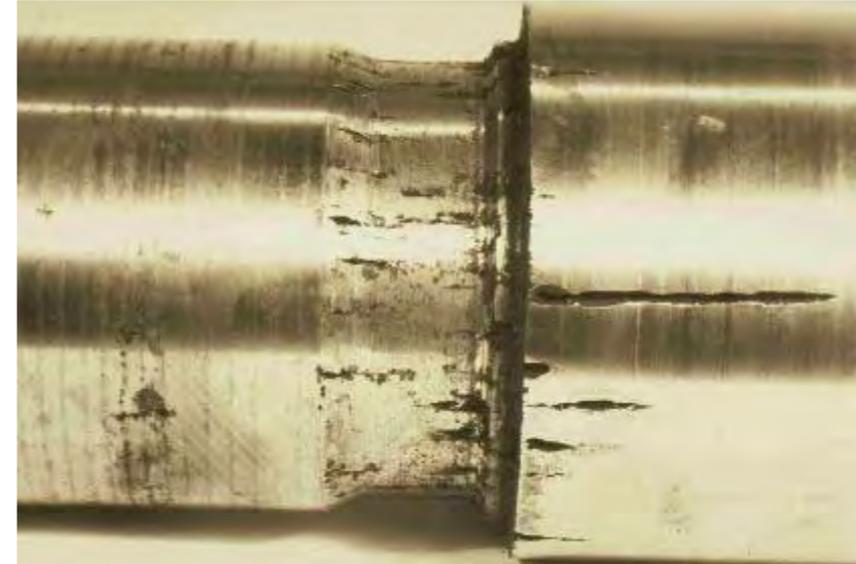
Posibles Mecanismos de Corrosión Localizada en Aguas

- Corrosión por picadura
 - Corrosión por intersticios
 - Corrosión bajo tensión
 - Corrosión influenciada microbiológicamente
 - Corrosión galvánica (no el inoxidable)
- cloruros
- 
- ```
graph LR; C[cloruros] --> A[Corrosión por picadura]; C --> B[Corrosión por intersticios]; C --> D[Corrosión bajo tensión];
```

# Corrosión por picadura

## Posibles causas en las aguas

- Las picaduras comienzan en algún punto débil de la película pasiva:
  - Hierro incrustado
  - Inclusiones superficiales como sulfuro de manganeso
- A menudo causado por:
  - Niveles de cloruro (Cl-) demasiado altos para el tipo de acero inoxidable en particular, o
  - sobre cloración, o
  - contaminación superficial



Aceros laminados

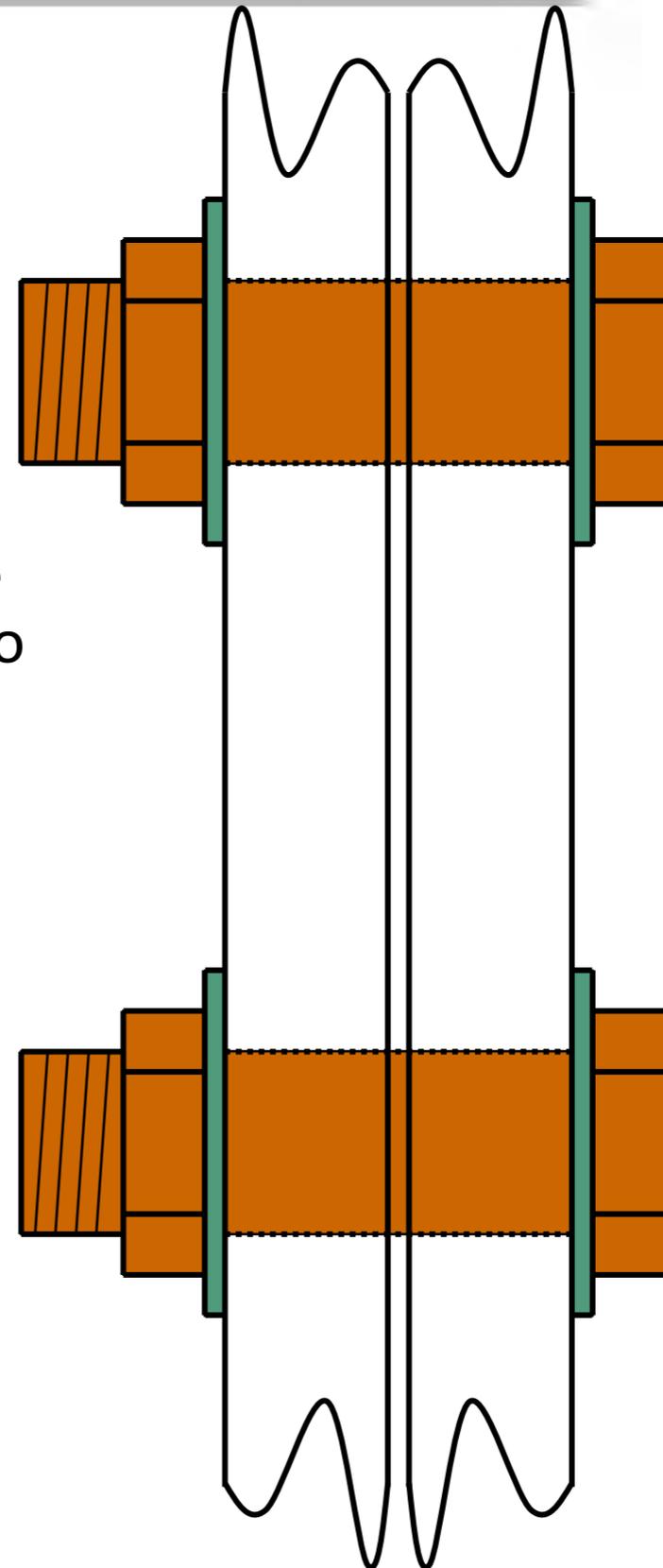
Inclusiones de MnS en el tipo para mecanizado 303. Hay disponibilidad de tipos mecanizables con tratamientos controlados de calcio y sulfuros.



Ataque concentrado de lejía (cloro) en 316 después de algunas semanas.

# Corrosión por intersticios

Ocurre en áreas que están húmedas y donde es difícil que alcance el oxígeno, como debajo de la cabeza de un tornillo o debajo de un sedimento.



# Corrosión por intersticios

La corrosión en intersticios puede ocurrir cuando se selecciona el grado incorrecto de acero inoxidable para las condiciones del medio



Tipo 316 utilizado en un acoplamiento Victaulic para la desalinización por ósmosis inversa en agua de mar. Fue reemplazado con éxito por un acero inoxidable al 6% Mo.

## Solución 2: elija un grado más resistente

---

### *Equivalente de resistencia a las picaduras*

$$\text{PREN} = \% \text{ Cr} + 3,3\% \text{ Mo} + 16\% \text{ N}$$

- Los valores PREN son una aproximación y ayudan a seleccionar aceros inoxidable en ambientes conocidos por causar corrosión localizada
- Mayor PREN brinda más resistencia a la corrosión
- Con tungsteno presente, el PREN es  $\% \text{ Cr} + 3.3 (\% \text{ Mo} + 0,5\% \text{ W}) + 16\% \text{ N}$

$$\text{PREN} = \%Cr + 3,3 (\%Mo + 0,5\%W) + 16 \%N$$

| Aleación                               | Cr | Ni | Mo  | N    | C    | Otros | PREN |
|----------------------------------------|----|----|-----|------|------|-------|------|
| <b>Austenítico y Súper-Austenítico</b> |    |    |     |      |      |       |      |
| 304L                                   | 18 | 8  |     |      | 0,03 |       | 18   |
| 316L                                   | 17 | 11 | 2   |      | 0,03 |       | 23   |
|                                        |    |    |     |      |      |       |      |
| Aleación 6%Mo                          | 20 | 18 | 6   | 0,20 | 0,02 | Cu    | 42   |
| Aleación 6%Mo                          | 21 | 24 | 6   | 0,20 | 0,03 |       | 43   |
|                                        |    |    |     |      |      |       |      |
| <b>Dúplex &amp; Super-dúplex</b>       |    |    |     |      |      |       |      |
| 2205                                   | 22 | 5  | 3   | 0,15 | 0,03 |       | 34   |
| Aleación 25%Cr                         | 25 | 7  | 3,5 | 0,25 | 0,03 | Cu, W | 41   |
|                                        |    |    |     |      |      |       |      |

# Pautas de selección de grado para condiciones sumergidas

El contenido de cloruro del agua es el parámetro más importante

La experiencia práctica y las pruebas muestran que la corrosión en intersticios es poco probable con  $\text{pH} > 6$  y temperatura ambiente si:

| <b>Nivel de cloruro</b> | <b>Tipos adecuados</b>              |
|-------------------------|-------------------------------------|
| <200 ppm                | 304,                                |
| <1000 ppm               | 316                                 |
| < 3600 ppm              | dúplex 2205                         |
| >3600 ppm y agua de mar | 6% Mo superaustenitico, superduplex |

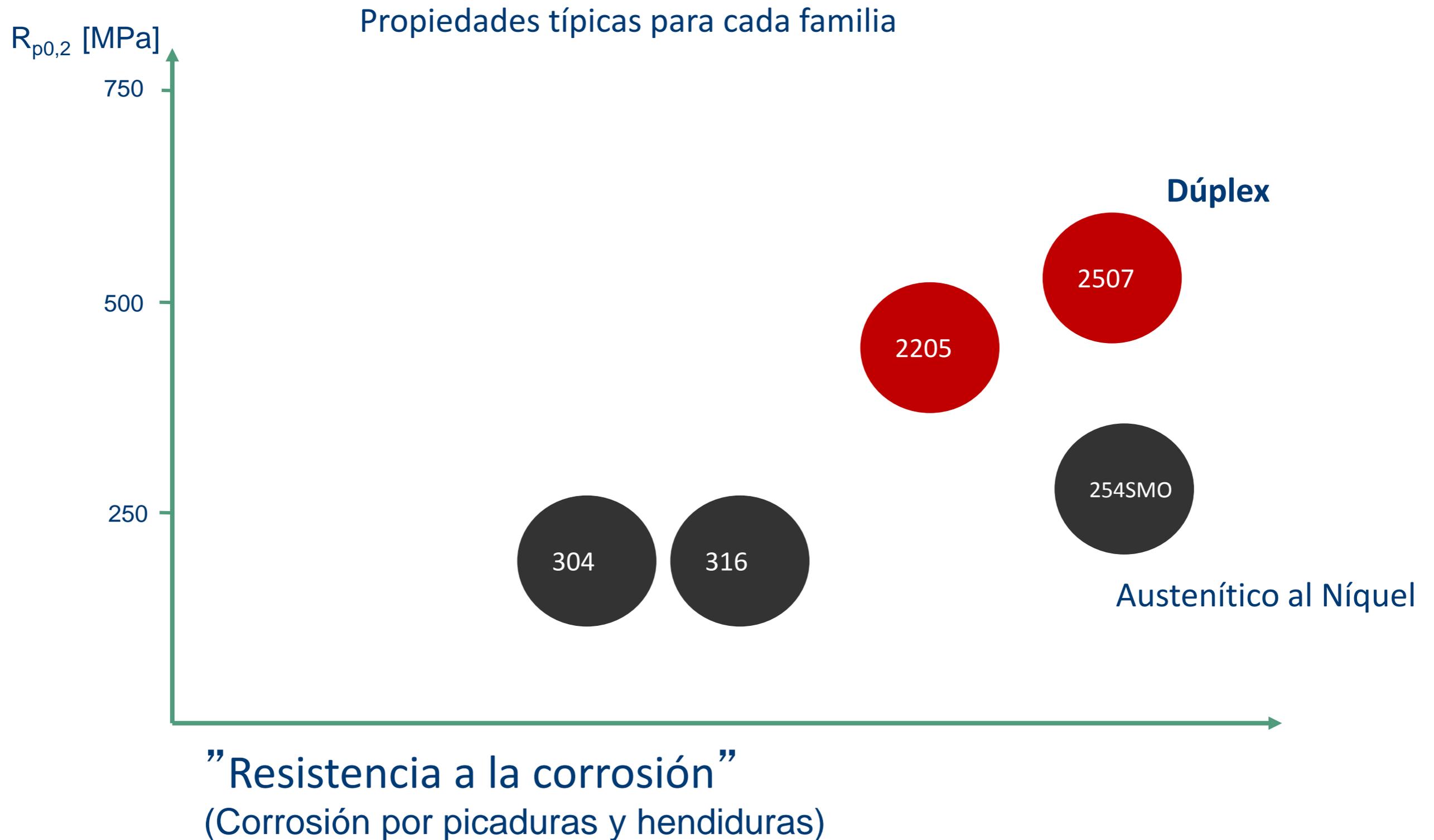
# Niveles máximos de cloruro de Cl mg/L pautas en sistemas de fontanería

|           | Agua fría | Agua caliente |
|-----------|-----------|---------------|
| Tipo 304L | 200       | 50            |
| Tipo 316L | 1000      | 250           |

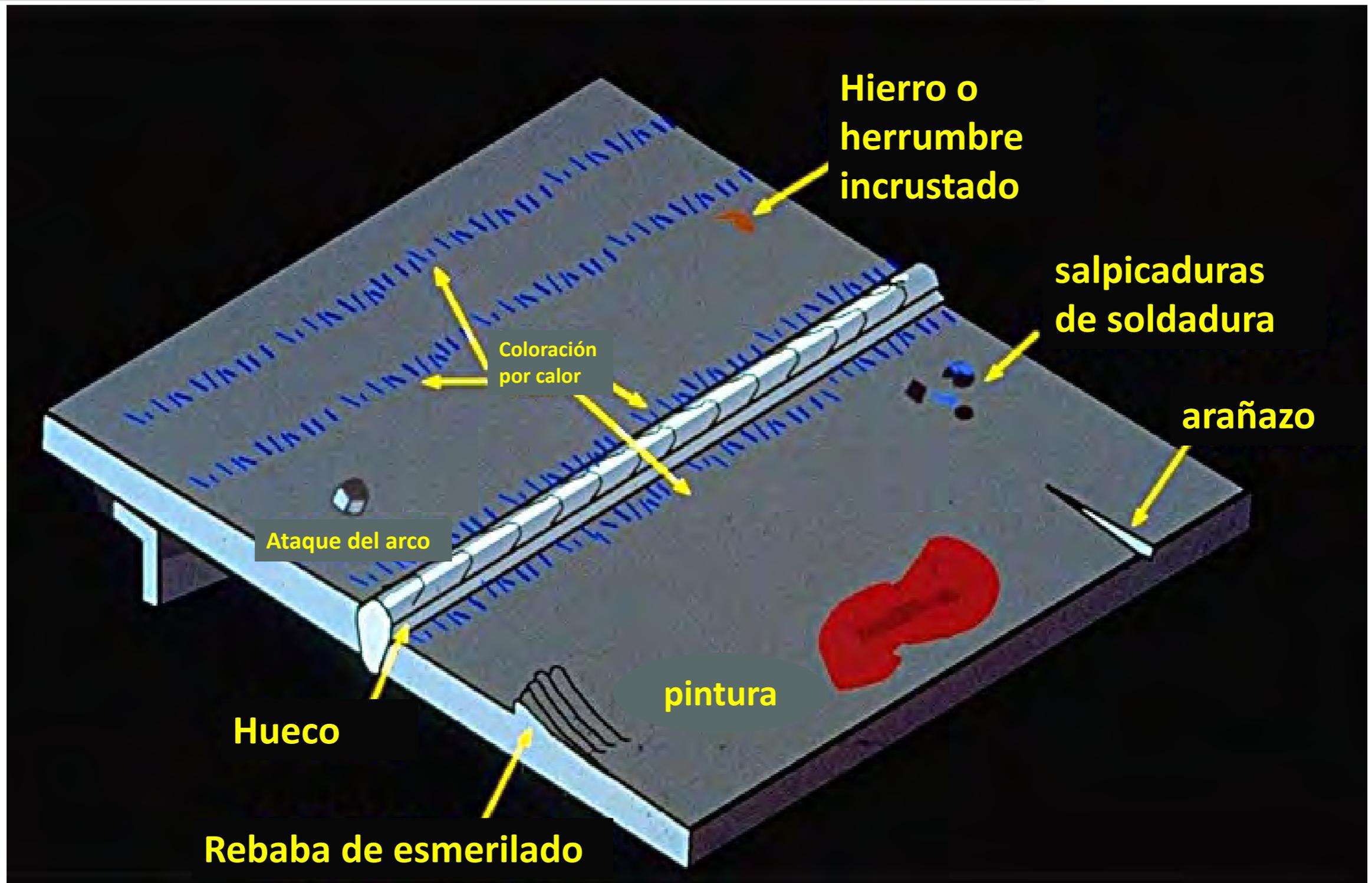
Cuando los materiales se pueden usar en líneas de agua fría o caliente, deben ser utilizadas las directrices para el agua caliente.

# Dúplex y austenítico

## Límite elástico al 0,2%



# Errores en fabricación pueden causar hendiduras



Buenas prácticas de fabricación son esenciales

# Solución 1: Reducción al mínimo de hendiduras

---

- Son preferibles hendiduras abiertas sueltas.
- Evite las condiciones estáticas.
- Selle hendiduras estáticas de soldadura.
- Use soldaduras de penetración completa.
- Proporcionar buen flujo y turbulencia.



# Corrosión bajo tensión

---

- Aleación susceptible
- Resistencia a la tracción
- Ambiente específico:
  - químico (cloruros)
  - temperatura ( $> 50^{\circ}\text{C}$ )



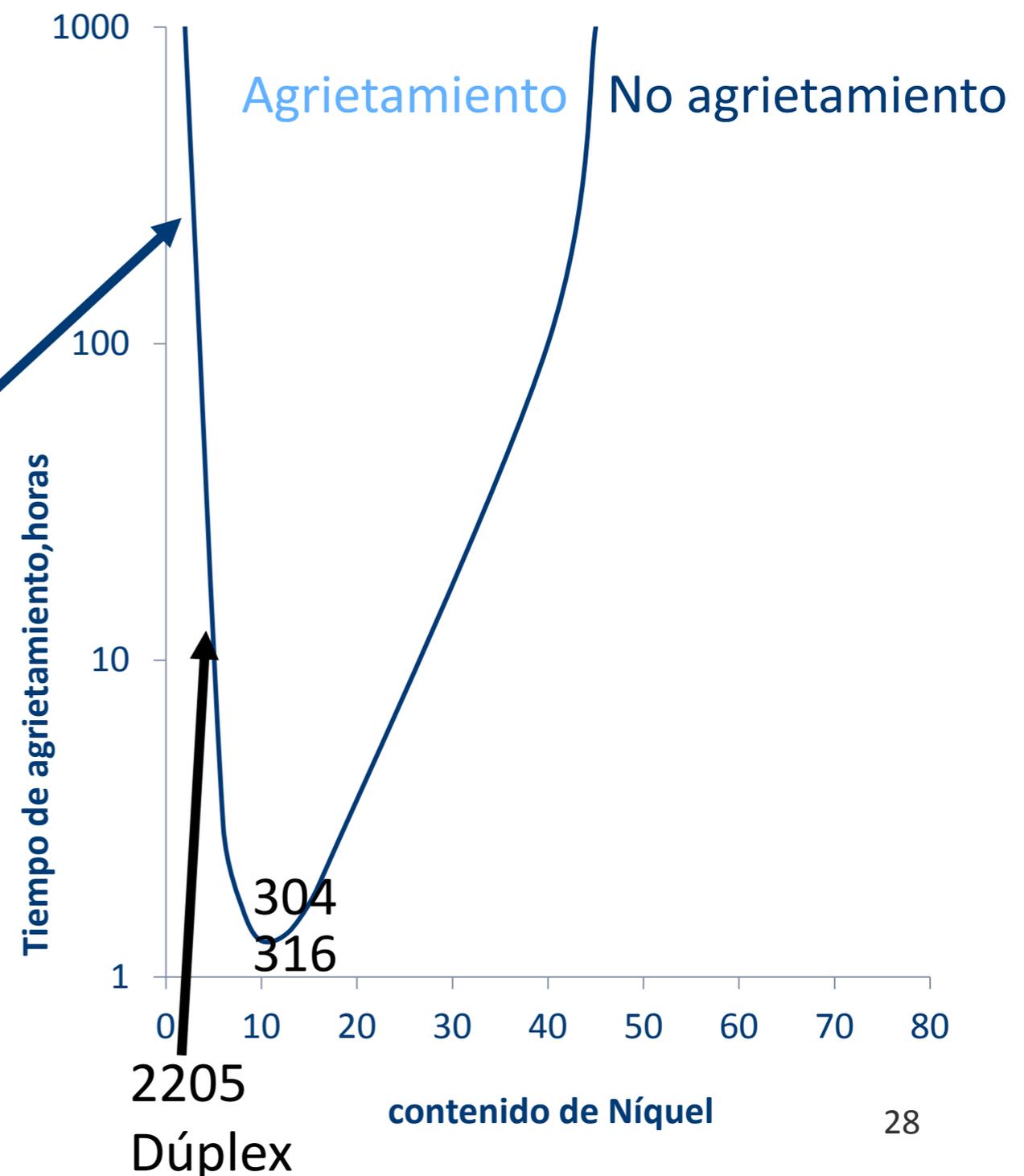
# Curva U de Copson

Efecto del contenido de níquel sobre la corrosión bajo tensión con cloruros (SCC)

alambres 18-20% Cr

en una solución hirviente al 45% de MgCl<sub>2</sub>

Aceros inoxidables Ferríticos



# Corrosión bajo tensiones (SCC) por cloruros Cl<sup>-</sup>

- SCC es rara dentro de las tuberías que están llenas de líquido ya que los cloruros no pueden concentrarse en la superficie
- SCC es más un problema desde el exterior de la tubería, si los cloruros pueden concentrarse a través de la evaporación:
  - Use aislamiento de bajo contenido de cloruro
  - Si el aislamiento se puede mojar, use una barrera de papel de aluminio sobre la tubería de acero inoxidable
  - Usar un tipo dúplex

Directrices para el agua de mar:

- |               |         |
|---------------|---------|
| • 316L        | 50-60°C |
| • 2205        | 100°C   |
| • Superduplex | 110°C   |
| • 6% Mo       | 120°C   |



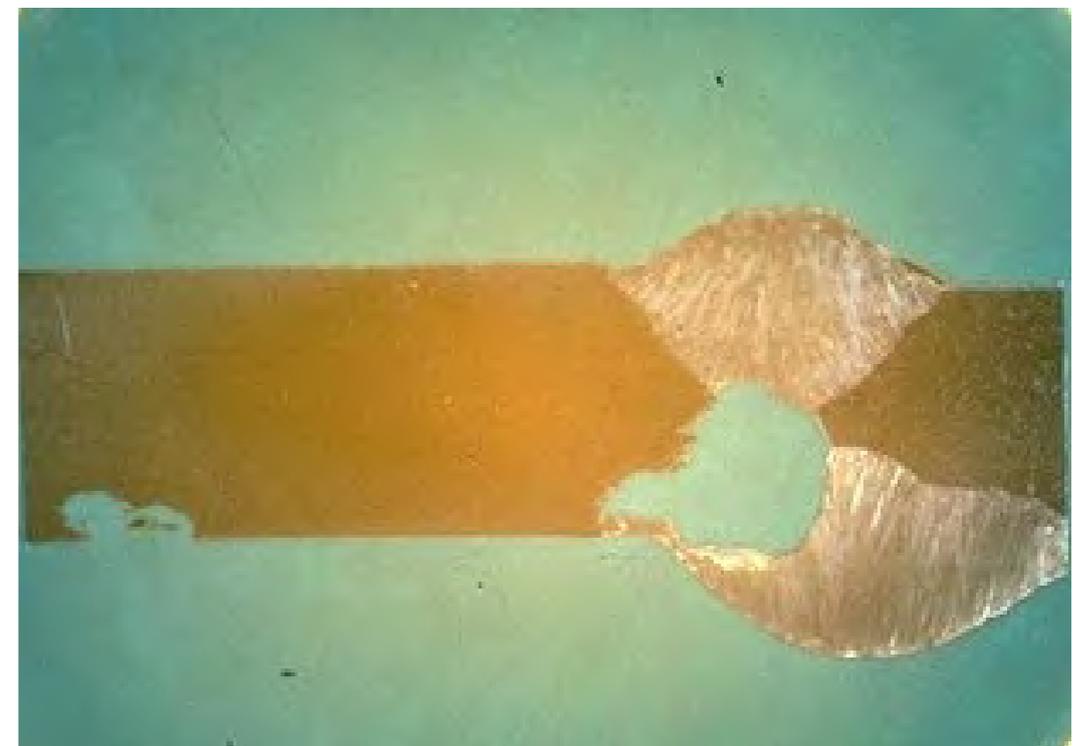
SCC por cloruros formada en el exterior de una tubería T-304 de 2 años que transporta agua a 90°C en una bodega.

# Corrosión influenciada microbiológicamente

Condiciones de estancamiento con aguas no tratadas pueden conducir a corrosión microbiana (MIC)



# Corrosión Microbiológica MIC , de Well Water, USA



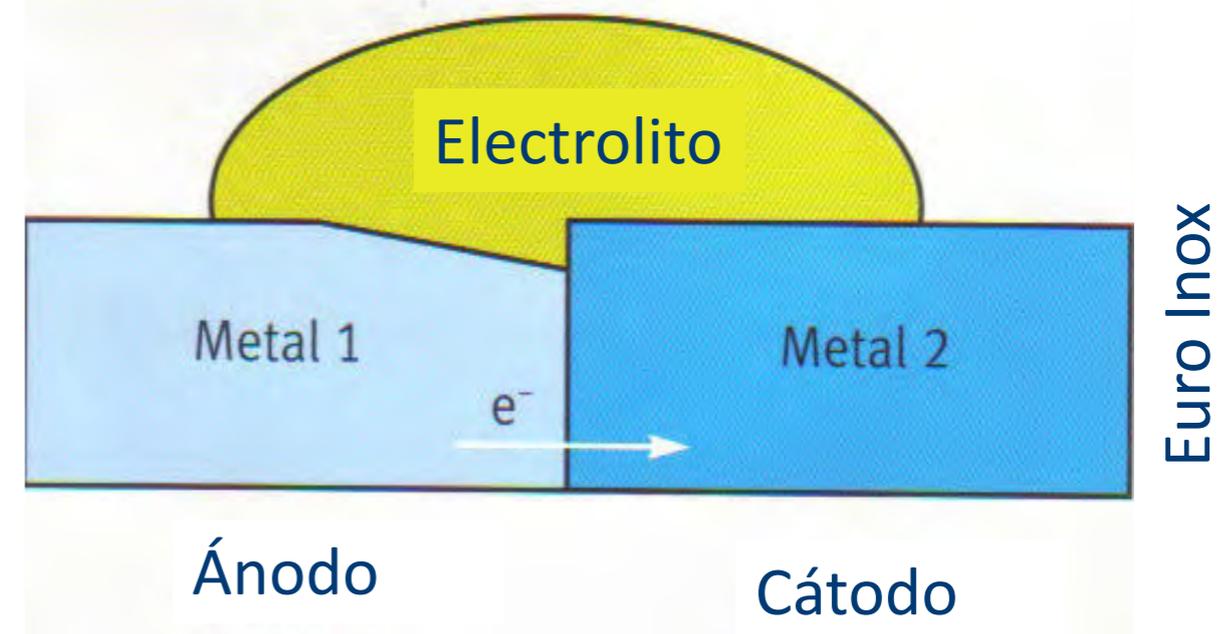
# Prevención de corrosión microbiológica (MIC) en aceros inoxidable

- Eliminar el tinte térmico
- Evitar condiciones de estancamiento prolongado
- Tratamiento con biocidas
- En espera o apagado:
  - Drenar y secar
  - Circular el agua 1 hora / cada día



# Corrosión galvánica

- Dos o más metales disimilares en contacto eléctrico.
- Humedad.
- Diferencia de potencial suficiente (voltaje) entre los metales para que fluya la corriente.
- El metal más resistente a la corrosión (metal más noble) es el cátodo, ej. el acero Inoxidable, tendrá una menor tasa de corrosión que normalmente sufriría.
- El metal menos resistente a la corrosión (ánodo de sacrificio), por ej. el acero galvanizado, se corroerá más rápido de lo que lo haría normalmente.



# Corrosión galvánica



La corrosión galvánica entre un anillo de soporte de acero al carbono y un gran tanque de almacenamiento de agua caliente tipo 304 al que va soldado. El tanque estaba revestido con fibra de vidrio y el agua se filtró en el revestimiento.

## ANÓDOS DE SACRIFICIO

Magnesio

Zinc

Aluminio

Acero al carbono y hierro fundido

Aleaciones de cobre

Aceros inoxidables de la serie 400 (ferríticos)

Acero inoxidable de la serie 300 (austeníticos)

Grafito

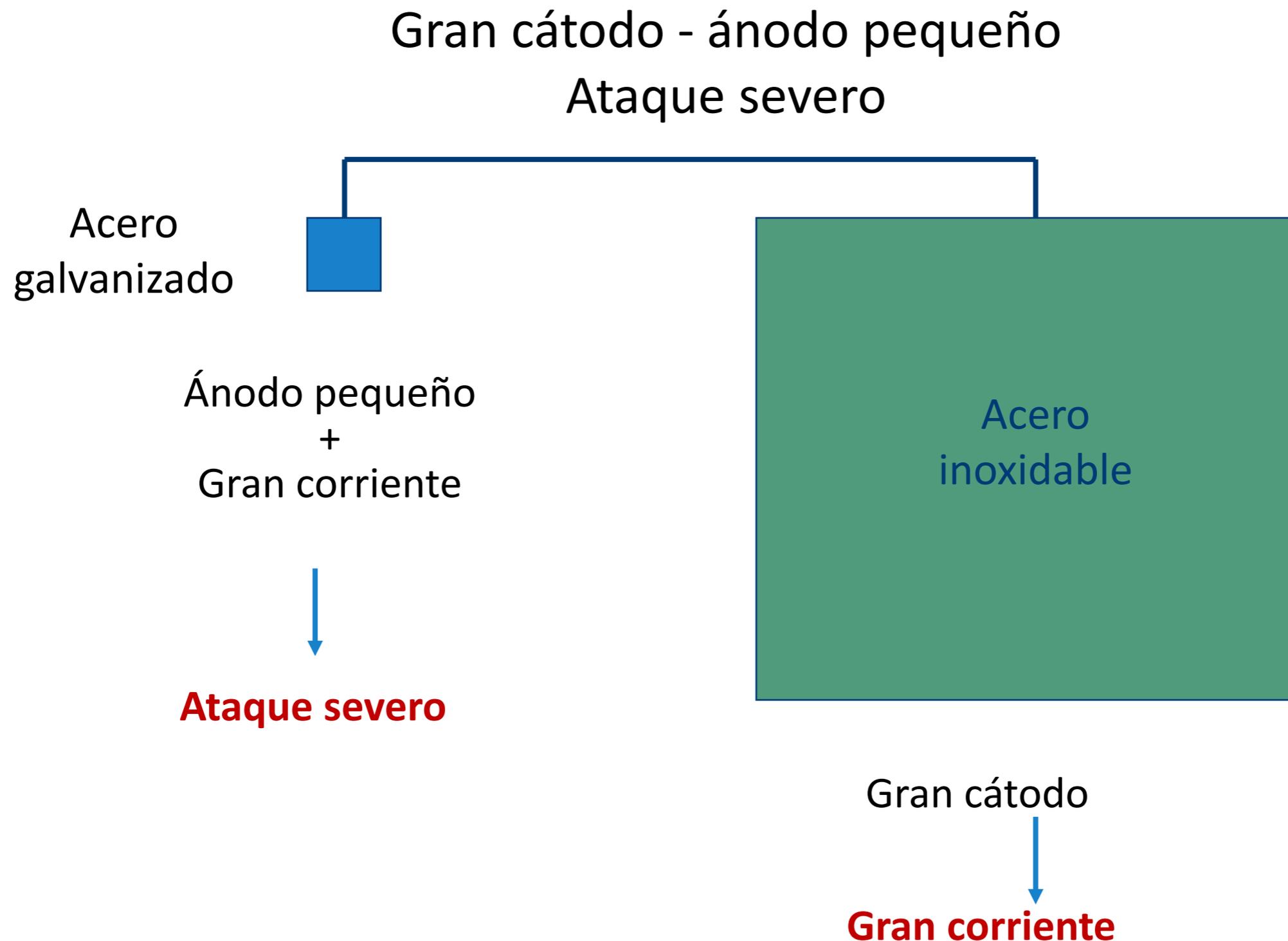
## CATÓDO – METAL NOBLE

No

OK

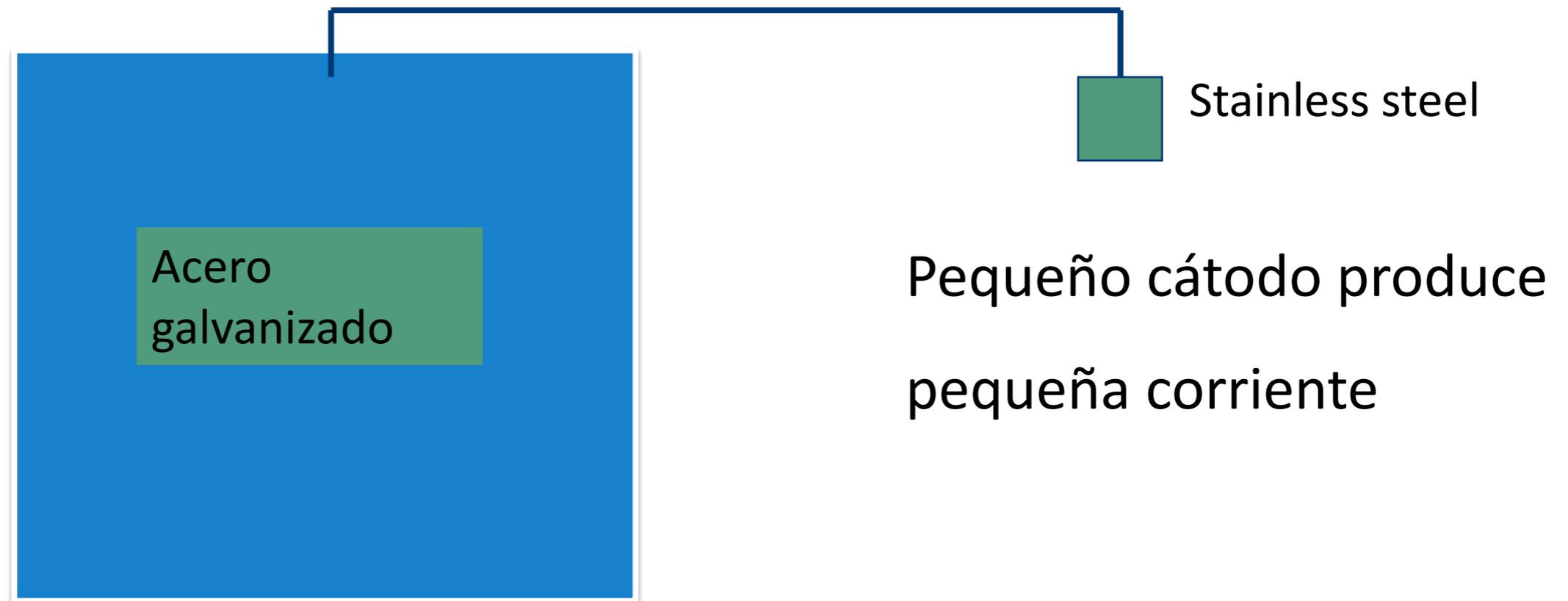
*Las áreas superficiales relativas de ánodo y cátodo influyen en el grado de corrosión*

# Corrosión galvánica: efecto 1 sobre el área superficial



# Corrosión galvánica: efecto 2 sobre el área superficial

Pequeño cátodo – ánodo grande  
OK



Ánodo grande  
+  
Pequeña corriente

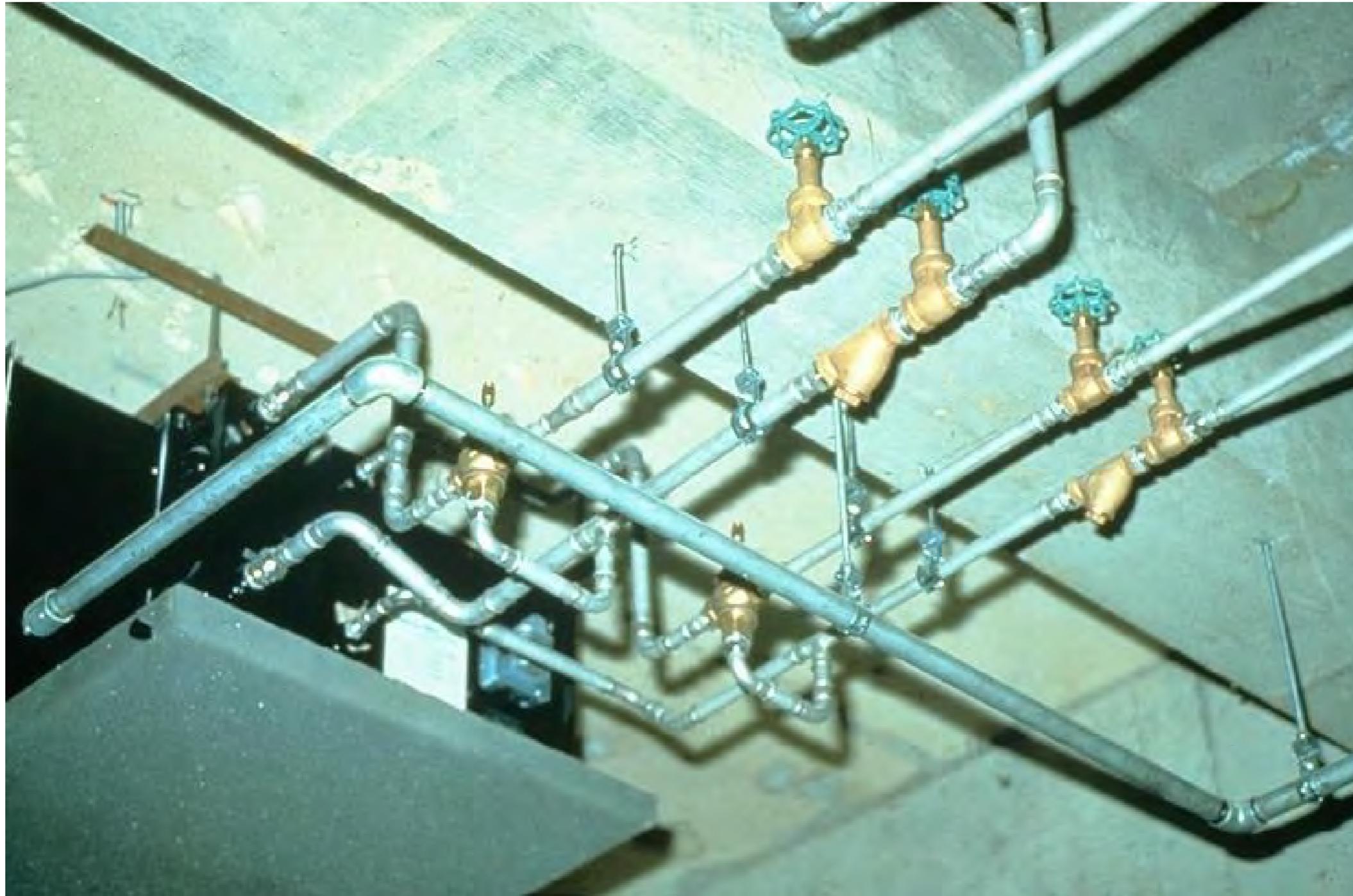
↓  
**Sin ataque significativo**

# Corrosión galvánica en sistemas de agua potable

---

- El acero inoxidable es más noble que el acero galvanizado, acero al carbono y hierro fundido:
  - Debe estar aislado eléctricamente de dichos materiales para prevenir su corrosión
- En la práctica, la diferencia galvánica entre acero inoxidable y aleaciones de cobre no es significativa:
  - La tubería de acero inoxidable se puede usar con:
    - Accesorios de cobre
    - Cilindros de agua caliente de cobre

# Válvulas y accesorios de aleación de cobre (latón/bronce) con tubería para agua de acero inoxidable



# Corrosión galvánica de una cadena de acero

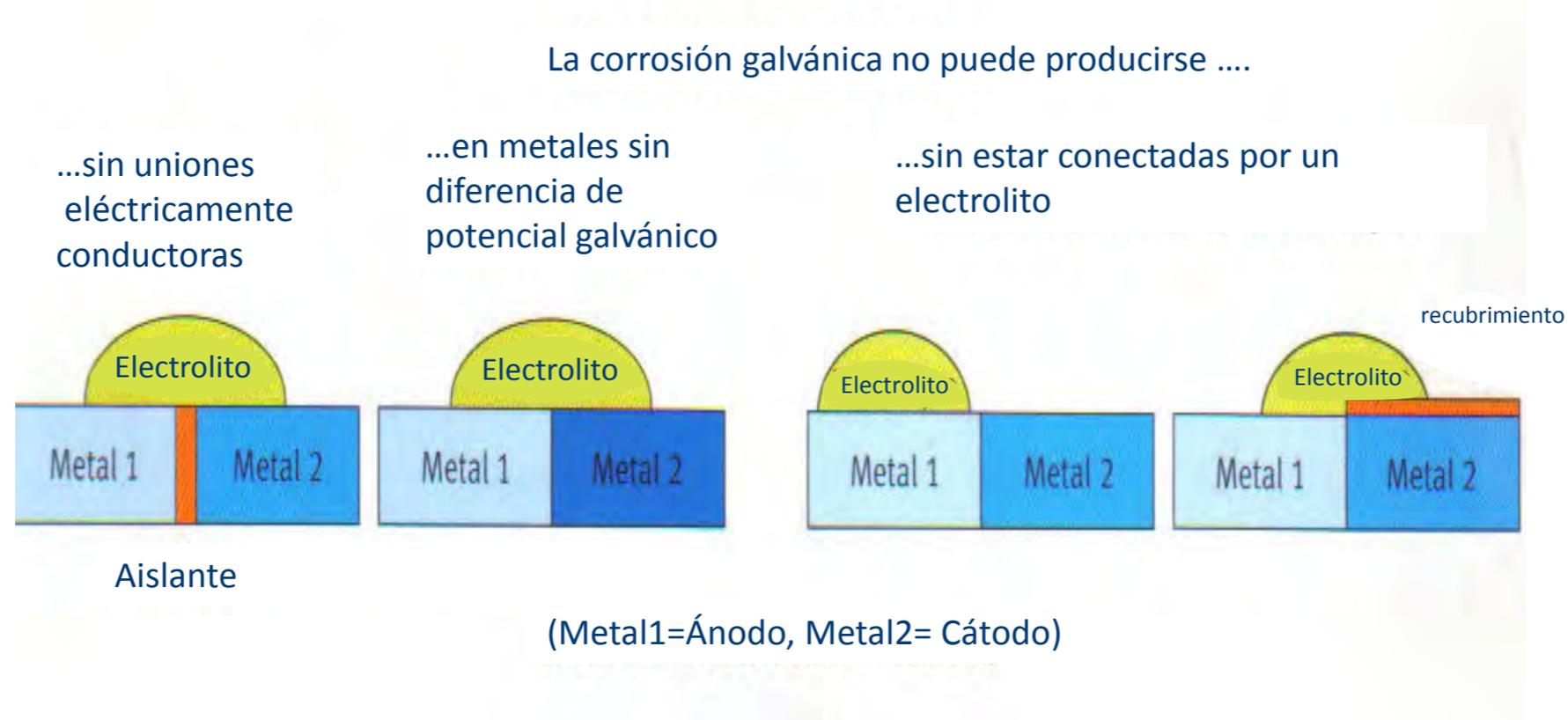


WWTP Clarifier Tank, NZ



Les Boulton & Associates

# Pautas para evitar la corrosión galvánica



Euroinox

- Cuando los recubrimientos se usan para proteger contra la corrosión galvánica, no recubrir el cátodo solamente.
- Haga que el componente clave (por ejemplo, fijaciones) sean de un material más noble (por ejemplo, acero inoxidable).
- Asegúrese de que el material menos noble (por ejemplo, acero galvanizado) esté presente en una cantidad de área superficial mayor que el material más noble (por ejemplo, acero inoxidable).

# Baja lixiviación de aceros inoxidable

- Directiva Europea de Agua Potable
  - Cr < 50  $\mu\text{g/l}$
  - Ni < 20  $\mu\text{g/l}$
- Las pruebas de la plataforma de tuberías de investigación mostraron valores máximos de lixiviación de Cr y Ni <5% para 304 y 316 en agua caliente y fría



Scottish Hospital

# Resumen de las pautas para el uso de Aceros Inoxidables en Aguas

- 304L y 316L son los tipos comunes.
- 304 L < 200 ppm Cl<sup>-</sup>  
316L < 1000 ppm Cl<sup>-</sup>  
2205 < 3600 ppm Cl<sup>-</sup>
- Asegurar buenas prácticas de fabricación y evitar intersticios donde sea posible.
- Mantener el flujo: evitar agua estancada.
- Proteger contra la corrosión galvánica.

# Aplicaciones de aceros inoxidable en plantas de tratamiento de agua

- Componentes del pozo
- Puertas, presas, desbordamientos
- Pantallas, raspadores
- Fijaciones, tuberías
- Generadores de UV y Ozono
- Líneas de tratamiento químico
- Plataformas, puentes, cubiertas
- Puertas a presión, marcos
- Bombas, válvulas
- Tanques, recipientes
- Escaleras, barandillas



## Presentadora Carol Powell



Nickel Institute - <https://www.nickelinstitute.org/>  
Consultas técnicas - <https://inquiries.nickelinstitute.org/>  
Bibliografía <https://www.nickelinstitute.org/Library/Water>