

### Introducción

La selección de materiales para el manejo de ácido sulfúrico exige una comprensión clara del comportamiento de este ácido, como agente corrosivo y conocimiento completo del sistema o problema particular respecto a concentración del ácido, presencia y concentración de otros iones, contaminantes, temperatura de operación, velocidad de flujo y presencia de sólidos en suspensión. No existe un material único adecuado para todas las posibles situaciones, de modo que a la simple pregunta ¿qué acero resiste al ácido sulfúrico?...debe suceder la única respuesta correcta: **depende de las condiciones.**

El ácido sulfúrico en concentración bajo 85% a temperatura ambiente y bajo 65 % a temperatura alta(66°C), tiene carácter "reductor". Sobre estos valores de concentración, tiene un carácter "oxidante". La presencia de otras especies disueltas en el ácido (oxígeno, Fe<sup>3+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Cl<sup>-</sup>) pueden cambiar este carácter.

Los elementos de aleación principales en los aceros inoxidable y Alloys, Cr, Ni, Mo, W, determinan su resistencia a la corrosión. El cromo es responsable del carácter inoxidable de los aceros, al formar una capa pasiva de óxido de cromo, protectora.

Un ambiente reductor tiende a destruir(disolver) esta capa pasiva, dejando el metal base expuesto a la corrosión. En ambiente oxidante, la capa pasiva se engrosa, protejiendo al material. A mayor contenido de cromo, en el acero, mayor es la resistencia a la corrosión en medio oxidante.

El molibdeno y el tungsteno, confieren al acero, una resistencia a la corrosión en medios reductores.

Estabilizan la capa pasiva de óxido de cromo, contrarrestando al medio reductor. A mayor contenido de molibdeno y tungsteno, mayor es la resistencia a la corrosión en medio reductor.

### Tipos de aceros y Alloys

Dependiendo de las condiciones, es posible utilizar alguno de los siguientes aceros y Alloys, entre otros:

- \* Acero al carbono
- \* Aceros austeníticos (304, 316, 317)
- \* Aceros especiales (254SMO, 654SMO, SAF2507)
- \* Alloys (Alloy 28, Alloy 20, 904L)
- \* Hastelloy (B2, C276, C2000)
- \* Titanio aleado
- \* Tantalio
- \* Circonio



### ACEROS INOXIDABLES - ACEROS AL CARBONO - VÁLVULAS

Santa Isabel 850, Parque Industrial Valle Grande, Lampa, Santiago  
Fono: +56 2 499 4000 / Fax: +56 2 499 4040

ventas@fastpack.cl    www.fastpack.cl    proyectos@fastpack.cl



## ACIDO SULFURICO DILUIDO

### Aceros inoxidables austeníticos

A medida que se diluye el ácido, su porcentaje de disociación aumenta pero al mismo tiempo su concentración disminuye. En el extremo de muy baja concentración su carácter reductor y agresividad se encuentra disminuida.

El acero al carbono no es apto para estas condiciones pero los aceros austeníticos de la serie 300 podrían ser utilizados, a veces, en su variedad L de bajo carbono.

El acero 304L sólo resiste concentraciones menores de 1% (de ácido puro) y a temperatura ambiente, por no contener molibdeno.

El acero 316L (con molibdeno) en cambio, resiste hasta 10% (de ácido puro) a temperatura ambiente, siempre y cuando se mantenga una buena aireación (oxigenación), para

mantener la capa pasiva de óxido de cromo (hay reportes de haber usado el 316L hasta 50°C en esta concentración, con buena aireación).

El acero 317 (con molibdeno), puede ser usado hasta 5% (de ácido puro) a 65°C.

A temperatura de ebullición, ninguno de los aceros mencionados es adecuado. Para una concentración 10% (de ácido puro) las velocidades de corrosión uniforme son: 16.8 mm/año (304L), 16.1 mm/año (316L) y 7.5 mm/año (317L), todas muy sobre el límite de 0.1 mm/año normalmente aceptado como adecuado para una instalación.

La presencia de cloruros en el ácido, va a producir un aumento en la velocidad de corrosión uniforme y picaduras.

## ACIDO SULFURICO CONCENTRADO

### Acero al carbono

Cuando la concentración de ácido supera 70-80%, el ácido está poco disociado y tiende a reaccionar muy lentamente con el hierro. A temperatura ambiente, el producto formado, sulfato ferroso, tiene una escasa solubilidad en este medio, por lo que forma una capa protectora sobre la superficie del acero, que evita la corrosión ulterior del material (se dice que el acero se pasiva). Es posible utilizar líneas de cañería y estanques para manejar ácido sulfúrico (puro) "concentrado". Si se trata de un flujo, la capa pasivante de sulfato ferroso puede ser destruida por la erosión del fluido por lo que se recomienda no exceder una velocidad lineal de 0.6 m/S.

### Aceros inoxidables austeníticos

Tanto el acero inoxidable 304, 304L y 316L pueden ser utilizados a temperatura ambiente en el rango de concentración 80-100% (ácido puro). A concentraciones menores de 80%, la pasividad de la capa de óxido puede perderse y el comportamiento es errático. Los aceros mencionados no son aconsejables para temperaturas mayores. Hay reportes que establecen para un ácido 93% un límite de 40°C y para un ácido 98.5% un límite de 70°C, para el acero 304L.

## ACIDO SULFURICO DE CONCENTRACIÓN MEDIA

### Aceros inoxidable austeníticos

El rango de concentración intermedio, 10-80%, es el más difícil de manejar y ninguno de los aceros austeníticos mencionados se presta para este nivel de concentración aún a bajas temperaturas. Todos sufren corrosión a velocidades inaceptables.

### Acero al carbono

El sulfato ferroso formado, al reaccionar el hierro con el ácido sulfúrico, es bastante soluble en el ácido, a estos niveles de concentración, por lo que no forma una capa protectora sobre el acero, el que sin pasivarse en contacto con el ácido, se corroe rápidamente.

## CURVAS DE ISOCORROSION

Un buen punto de partida para la elección de un acero apto para ácido sulfúrico, lo constituyen las curvas de isocorrosión de los distintos materiales en el ácido.

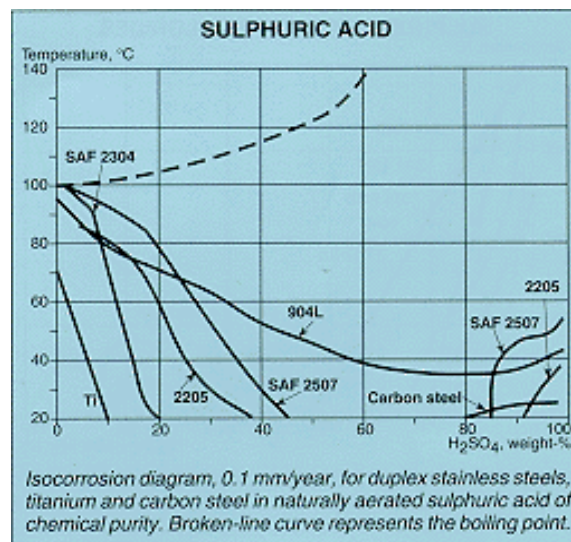
Estas curvas cubren en forma gráfica, todo el rango de concentraciones de ácido en el eje X, e indican la temperatura del ácido en el eje Y, a la cual se produce una velocidad de corrosión uniforme a razón de 0.1 mm/año. Este es el límite normalmente aceptado para una instalación. Mientras más alta la curva mayor es la resistencia a la corrosión.

Estas curvas normalmente son para ácido puro o para ácido con algún contaminante particular, a una concentración particular.

Se suele incluir en una sola gráfica varias curvas de isocorrosión de materiales distintos, para fines de comparación.

La presencia de otros iones en el ácido, puede modificar la curva de isocorrosión, de modo que para cada caso particular (su sistema) existe una curva particular.

Hay especies como cloruro, que no sólo modifican la velocidad de corrosión uniforme sino que además, producen otro tipo de corrosión conocida como picadura o "pitting", cuya velocidad es impredecible.



### Comparación entre:

Acero carbono  
SAF2304  
SAF2507  
Duplex 2205  
904L  
Titanio

en ácido sulfúrico puro



904L 904L 904L 904L 904L

## Propiedades

A veces considerado un acero austenítico de alta aleación, es en realidad una Alloy de níquel como lo indica su número UNS (N08904).

Fue diseñado para resistir condiciones de alta corrosividad. Con 20% de cromo, 25% de níquel, 4.5% de molibdeno más 1.5% de cobre, resiste la agresividad del cloruro como también la de ambientes reductores, dentro de los cuales está el ácido sulfúrico de concentración baja a media.

Los niveles de níquel y molibdeno le confieren gran resistencia a la corrosión bajo tensión (SCC o cracking) en medios con cloruros. El cromo y molibdeno lo hacen resistente a la corrosión por picadura o pitting en presencia de cloruros, por sobre el 316 y 317. La presencia de cobre en la aleación contribuye a aumentar su resistencia a la corrosión en medios reductores. Esta aleación fue diseñada para manejar ácido sulfúrico diluido.

En ácido sulfúrico puro, puede ser usado en todo el rango de concentración( 0- 98%) hasta 40°C.

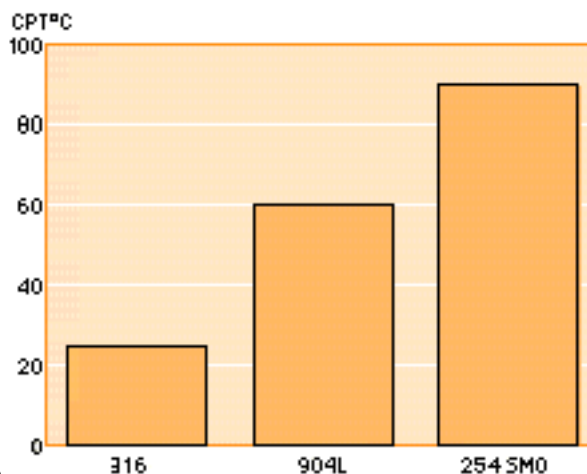
## Corrosión uniforme

Otra forma de comparar la resistencia a la corrosión uniforme, distinta de las curvas de isocorrosión, es medir la velocidad de corrosión (mm/año) de los materiales, al ser sometidos a la acción de distintos medios a la temperatura de ebullición. Esta condición está por encima de la mayoría de las condiciones de operación reales, pero es una manera acelerada de probar materiales y comparar.

Solución(ebullición)	Velocidad de corrosión mm/año	
	316	904L
Ac. Acético 20%	<0.01	0.02
Ac.Fórmico 45%	0.28	0.20
Ac.Clorhídrico 1%	>5	0.55
Ac.Oxálico 10%	1.02	0.69
Ac.Fosfórico20%	0.18	0.01
Bisulfato sódico 10%	1.06	0.23
Hidróxido sódico 50%	>2.5	0.24
Ac.Sulfámico 10%	1.62	0.23
Ac.Sulfúrico 10%	>5	2.57

## Corrosión por picaduras

Tanto la resistencia a la corrosión por picaduras(pitting) y en grietas(crevice) se puede probar en forma comparativa, sometiendo los materiales a la acción de una solución de prueba(cloruro férrico 10%) durante un período fijo de tiempo, a una temperatura dada. Esta temperatura se varía para cada ensayo. Después de cada ensayo se observa la aparición de picaduras o ataque. La temperatura más baja a la cual comienza a observarse el ataque se registra. Esta es la CPT(temperatura crítica de picaduras) o CCT(temperatura crítica en grietas).





## Alloy20 Alloy20 Alloy20

### Propiedades

Es un Alloy de níquel, UNS ( N08020 ), diseñado especialmente para manejar ácido sulfúrico de concentración baja a intermedia. Un 19.5% de cromo, 33% de níquel, 2.5% de molibdeno más 3.2% de cobre, le confieren una gran resistencia a la corrosión por agentes agresivos como cloruros y agentes reductores como ácido sulfúrico.

Tiene gran resistencia a la corrosión por picaduras y a la corrosión bajo tensión producidas por cloruro. El contenido de cobre y níquel es responsable de la mayor resistencia al ácido sulfúrico reductor.

Una pequeña cantidad de columbio+ tantalio (máx 1%), evitan la precipitación de carburos en la zona afectada por el calor en una soldadura. Esto permite su uso, después de soldada, sin tratamiento térmico y sin perder su resistencia a la corrosión, en esa zona.

Puede ser usado en todo el rango de concentraciones ( 0-100%) de ácido sulfúrico (puro), hasta 60°C, sin superar una velocidad de corrosión uniforme de 0.12 mm/año. La máxima velocidad de corrosión está en el rango 60-75% de ácido.

La presencia de ión  $Fe^{3+}$  y  $Cu^{2+}$  en el ácido tiene un efecto inhibitor, disminuyendo la velocidad de corrosión. El cloruro, sobre cierto nivel, en cambio, aumenta la corrosión, produciendo picaduras.

### Corrosión uniforme

Con fines comparativos se incluye una tabla con las velocidades de corrosión (mm/año) del Alloy20 en diversas disoluciones a ebullición.

Solución(ebullición)	Velocidad de corrosión mm/año	
	316	Alloy 20
Ac. Acético 20%	0.0	0.0
Ac.Fórmico 45%	0.3	0.2
Ac.Clorhídrico 1%	5.3	1.0
Ac.Oxálico 10%	1.1	0.8
Ac.Fosfórico20%	0.2	0.1
Bisulfato sódico 10%	1.1	0.2
Hidróxido sódico 50%	3.1	0.2
Ac.Sulfámico 10%	1.6	0.2
Ac.Sulfúrico 10%	9.4	0.3
Ac.Sulfúrico 20%	---	0.2
Ac.Sulfúrico 40%	---	0.2

### Corrosión por picaduras

El Alloy20 tiene una resistencia a picaduras y corrosión en grietas, comparable a la del acero 316, por sus similares niveles de Cr y Mo. La resistencia a corrosión bajo tensión o cracking es superior.

### Normas ASTM

	Cañería cc	Cañería sc	Tubo cc	Tubo sc	Forjados y fittings	Planchas	Barras
904L	A312, B673, B775	A312, B677, B829	A249, A269, B674, B751	A269, B677, B829	B366	A240, B625	B649
Alloy 20	B464, B474, B775	B729, B829	B468	B729, B829	B462, B366	A240, B463	B473



## Hastelloy - Ti - Ta - Zr

### Hastelloy B2

Posee buena resistencia a la corrosión en el rango de concentración medio y alto. Más apropiado para condiciones reductoras, es susceptible a contaminantes oxidantes como ácido nítrico, cloro, cloruro cúprico, cloruro férrico, sulfato férrico y aireación constante. En ácido sulfúrico puro al 10% se puede llegar hasta 54°C sin superar el límite de 0.12 mm/año como velocidad de corrosión. Para un ácido al 68% el límite es 160°C y para uno al 98 % el límite es 110°C.

### Hastelloy C-276

Bajo condiciones oxidantes puede usarse en todo el rango de concentraciones. Puede soportar la presencia de cloruros hasta 200 ppm en todo el rango de concentración y hasta 70°C.

Para un ácido 10% 70°C es el límite para no superar una velocidad de corrosión de 0.12 mm/año. Para un ácido al 68% el límite es 54°C y para uno al 98% el límite es 77°C.

### Hastelloy 2000

Un alto contenido de cromo asegura una gran resistencia a la corrosión en ambiente oxidante, mientras que un alto contenido de molibdeno y tungsteno aseguran una gran resistencia a la corrosión en ambientes reductores.

El Hastelloy 2000 ha logrado combinar ambos aspectos. En ácido sulfúrico puro de características reductoras, entre 0-60% y en caliente, el Hastelloy 2000 supera al más conocido Hastelloy C-276 por un orden de magnitud.

En efecto con una solución de prueba (ASTM G-28A) a ebullición, las velocidades de corrosión uniforme son 6.25 mm/año para el Hastelloy C-276 y sólo 0.65 mm/año para el Hastelloy 2000.

### Titanio

El titanio puro(CP) tiene excelente resistencia a la corrosión, en ambientes oxidantes, que preservan la capa pasiva de óxido de titanio, pero no es adecuado para ambientes reductores. En efecto, la curva de isocorrosión en la página 3 muestra su deficiencia, en ácido sulfúrico puro, en relación a otros aceros y alloys.

El titanio aleado Gr12 (0.3%Mo, 0.8%Ni) y Gr16 (0.005%Pd), son muy superiores. En efecto, a 50°C el titanio CP resiste hasta 2% de ácido sin superar el límite de 0.12 mm/año como velocidad de corrosión, el titanio Gr12 resiste hasta 5% de ácido y el titanio Gr16 resiste hasta 24% de ácido.

Una gran ventaja es su baja densidad (4.51 g/cm<sup>3</sup>).

### Tantalio

Es un metal de extraordinaria resistencia a la corrosión, comparable a la del vidrio. Con ácido sulfúrico 40% a ebullición la velocidad de corrosión es cero. Con ácido sulfúrico 98% a ebullición, la velocidad de corrosión es menor que 0.05 mm/año. Sólo se corroe frente a fluor, ácido fluorhídrico, trióxido de azufre, ácido sulfúrico fumante, álcalis fuertes concentrados y algunas sales fundidas. Un inconveniente es su alta densidad(16.6 g/cm<sup>3</sup>).

### Circonio

Es excepcionalmente resistente a la corrosión en ácidos (ácido sulfúrico 50-70% a alta temperatura) y álcalis comunes, agua de mar y otros medios. Se utiliza puro(contiene 1-3% hafnio) y aleado ( Zircadyne, Zircaloy-2, Zircaloy-4). Es además refractario (funde a 1852°C). Es biocompatible.