

# Operación del Ciclo de Hidrógeno C104Plus y C104EPlus Regeneración de Ácido Clorhídrico o Sulfúrico

Esta guía de ingeniería proporciona información sobre diseño e ingeniería, así como sobre procesos de regeneración que utilizan ácido clorhídrico o sulfúrico.



# Operación del Ciclo de Hidrógeno C104Plus y C104EPlus Regeneración de Ácido Clorhídrico o Sulfúrico

## Contenido

Introducción	3
Grados Disponibles	5
Torres de Desgasificación	7
Operación de Servicio Típica	7
Tasa de Flujo, Tamaño de la Columna y Pérdida de Carga	8
Fin del Ciclo de Servicio	9
Variación del Rendimiento	10
Regeneración	10
Regeneración de Lechos Estratificados de Doble Capa	11
Regeneración Co-Corriente	12
Regeneración Contracorriente de Lechos Estratificados de Doble Capa	15
Cálculo de la Cantidad Correcta de Regenerante	16
Datos de Rendimiento	17

# Introducción

Purolite C104Plus es una resina de intercambio catiónico débilmente ácida, poliacrílica, porosa, de grado industrial. Existen muchas aplicaciones para este tipo de resina, pero la desalcalinización es la principal aplicación en el tratamiento de aguas industriales. La desalcalinización con resinas de intercambio iónico elimina la dureza temporal (iones de calcio y magnesio presentes en casi todas las aguas crudas naturales y que están asociados con el bicarbonato o la alcalinidad) y se puede realizar de dos maneras. Primero, se puede hacer con una torre de desgasificación y un ablandador de agua para producir agua ablandada con menos sólidos disueltos totales (TDS). Aquí, el desgasificador también elimina el bicarbonato del agua, convertido en ácido carbónico por la resina. En segundo lugar, la resina puede formar parte de una planta de desmineralización en la que las resinas eliminan la dureza temporal y reducen el consumo de ácido, lo que conduce a una reducción de los costes operativos del sistema.

Este documento proporciona información de diseño y datos de ingeniería para las aplicaciones anteriormente comentadas donde la resina, al agotarse, se regenera con ácido sulfúrico o ácido clorhídrico. Los procesos alternativos, como el ablandamiento en aguas con alto contenido de TDS y la eliminación de metales pesados de las aguas residuales, también son aplicaciones importantes para esta resina, que no están descritos en este guía.

El hinchamiento y la contracción entre diferentes formas iónicas pueden ser significativos con resinas catiónicas débilmente ácidas. La resina normalmente se suministra en forma  $H^+$  y, en la desalcalinización convencional, se expande significativamente en las formas agotadas de calcio y magnesio. En aplicaciones donde se convierte en sodio, la expansión es considerablemente mayor. Los cálculos de diseño deben tener en cuenta esta expansión.

**TABLA 1** Características Físicas y Químicas Típicas

Características	Descripción/Valor
Estructura del Polímero	Poliacrílico reticulado poroso
Apariencia	Esferas
Grupo Funcional	Ácido carboxílico
Forma iónica	H <sup>+</sup>
Capacidad Total (Mín.)	4,7 eq/L (102,7 Kgr/ft <sup>3</sup> ) (forma H <sup>+</sup> )
Retención de Humedad	45–55% (forma H <sup>+</sup> )
Rango de Tamaño de Partículas	300–1600 micras
< 300 µm (Máx.)	1%
Hinchamiento Reversible, H <sup>+</sup> → Ca <sup>2+</sup> (Máx.)	20%
Hinchamiento Reversible, H <sup>+</sup> → Ca <sup>2+</sup> (En Funcionamiento)	7% (aproximadamente)
Hinchamiento Reversible, H <sup>+</sup> → Na <sup>+</sup> (Máx.)	60%
Gravedad específica	1.19
Peso de envío (aprox.)	740–780 g/L (46,2–48,8 libras/pe <sup>3</sup> )
Límite de temperatura	120 °C (248,0 °F)

# Grados Disponibles

Purolite C104Plus está disponible en Purolite en los siguientes grados:

## Aplicaciones de Lecho Único

- Purolite C104Plus es una resina de grado estándar con una distribución de tamaño de partícula gaussiana en el rango de 300 a 1600  $\mu\text{m}$ . Su principal aplicación es en plantas regeneradas co-flujo y contraflujo tradicional donde es posible la clasificación del lecho dentro del recipiente operativo (como en los sistemas de bloqueo con aire, bloqueo con agua y flujo dividido).
- Purolite C104EPlus es un grado modificado con un rango de tamaño de partícula de 425 a 1600  $\mu\text{m}$  para uso en aplicaciones de alta tasa de flujo donde la resina de grado estándar presentaría una pérdida de carga inaceptablemente alta en el lecho.
- Puofine® PFC104Plus es un producto de tamaño de partícula uniforme con un tamaño medio de partícula de 570  $\mu\text{m}$  y un coeficiente de uniformidad de 1,1–1,2, que ofrece una capacidad mejorada, fugas, rendimiento de caída de presión y requisitos de agua de enjuague en sistemas de ablandamiento y desmineralización.
- Puopack® PPC104Plus es un producto de grado uniforme con un coeficiente de uniformidad ligeramente superior. Este producto ha sido desarrollado específicamente para el sistema Puopack y otros diseños de lecho empacado que emplean operaciones de servicio de flujo ascendente o descendente. Esta resina también se usa ampliamente en diseños de ingeniería co-corriente y contracorriente donde se requiere un rendimiento mejorado, etc.

## Aplicaciones de Doble Capa (Lecho Estratificado)

Purolite C104DLPlus es una resina de grado más uniforme especialmente diseñada con un rango de tamaño de partícula de 300–850  $\mu\text{m}$ . Su aplicación principal es en unidades catiónicas de lecho en capas donde no se emplea una placa de división, y tanto las resinas catiónicas débilmente ácidas como las catiónicas fuertemente ácidas están dentro de la misma columna. Aún así, deben permanecer separadas durante la operación del servicio y la regeneración. Por lo general, se usa junto con resinas catiónicas fuertemente ácidas Purolite de grado DL grueso, como [Purolite C100x10DLH](#), para garantizar que los dos componentes permanezcan separados en todo momento.

Cuando se usa una placa de división para mantener separadas las resinas fuertemente ácidas y débilmente ácidas dentro de un lecho en capas, [Puopack PPC104Plus](#) y otros grados de lecho empacado fuertemente ácidos como [Puopack PPC100H](#) son los más prácticos.

## Aplicaciones Especiales

[Purolite C104EPlus](#) es una resina especial para producción de agua potable. Está disponible en la mayoría de los grados anteriores y se fabrica bajo pedido.

Sin embargo, cuando la resina catiónica débilmente ácida es parte de una planta de desmineralización, el lecho catiónico fuertemente ácido (que también se regenera con ácido) se ubica después del lecho catiónico débilmente ácido, y siempre antes de la torre desgasificadora situada en una unidad separada. Esto se debe a que la capacidad de trabajo de un lecho catiónico fuertemente ácido que opera en el ciclo del hidrógeno es mayor cuando trabaja en condiciones más ácidas aguas abajo de la unidad de desalcalinización y antes del desgasificador.

Como se mencionó anteriormente, algunos sistemas pueden incorporar el catión fuertemente ácido con la resina catiónica débilmente ácida en la misma unidad, ya sea como una doble capa (unidad estratificada) con o sin placa de división. Estas unidades siempre deben regenerarse a contracorriente con el ácido regenerante pasando primero a través de la resina catiónica fuerte. De esta manera, el diseño puede usar el exceso de ácido del catión fuerte para regenerar el catión débil más eficiente y mejorar la eficiencia general.

Cuando hay una dureza temporal significativa en el agua sin tratar, la adición de un lecho catiónico débilmente ácido puede generar ahorros en el consumo de ácido y proporcionar un período de recuperación breve a pesar del costo de capital asociado con la adición del lecho de resina adicional.

En el agua subterránea, la dureza temporal se encuentra comúnmente cuando la dureza y el bicarbonato forman una parte significativa de la carga catiónica-aniónica. Cuando el agua cruda a tratar tiene una proporción excesivamente alta de dureza temporal, se puede lograr agua desmineralizada de buena calidad con una unidad de desalcalinización seguida únicamente de una torre desgasificadora y un lecho mixto de trabajo.

# Torres de Desgasificación

Las torres de desgasificación se utilizan como un medio mecánico eficiente para eliminar la alcalinidad del bicarbonato del agua sin tratar. Tanto las resinas catiónicas débilmente ácidas como las de catión fuertemente ácidas se intercambian con iones  $H^+$ . Cuando se eliminan los cationes asociados al bicarbonato, convierten todo el bicarbonato en ácido carbónico. El ácido carbónico es inestable y se disocia fácilmente en dióxido de carbono y agua en condiciones de pH bajo después del lecho o lechos de cationes. Una torre de desgasificación que consta de una columna con anillos de plástico o cerámica sobre los que se rocía el agua descationizada y se sopla aire a baja presión a través de la torre aprovecha al máximo esta inestabilidad. Los sistemas de empaque y rociado están diseñados para proporcionar una gran área superficial. Cuando el agua pasa a través de una torre de desgasificación, el aire a baja presión agita el agua y libera el dióxido de carbono, lo que reduce la concentración de dióxido de carbono en el agua desgasificada a un nivel bajo, generalmente por debajo de 5 mg/L.

Por lo tanto, una cantidad significativa de la carga aniónica se puede eliminar mecánicamente sin usar resina, lo que reduce significativamente la carga en cualquier resina aniónica fuertemente básica aguas abajo en la planta de desmineralización. El agua desgasificada se recoge en un sumidero para bombearse a través de la siguiente etapa utilizando bombas construidas en acero inoxidable para hacer frente a la naturaleza agresiva del agua de pH bajo.

## Operación de Servicio Típica

### Unidad de Desalcalinización

En operación de servicio, el agua normalmente se bombea a través del lecho de resina, que se retiene dentro de un recipiente a presión. El recipiente tiene sistemas de distribución/recolección superiores e inferiores diseñados para garantizar que el agua pase uniformemente a través del lecho de intercambio iónico. A medida que el agua pasa a través de la resina, los cationes asociados con el bicarbonato (alcalinidad), generalmente calcio y magnesio, se intercambian con iones de hidrógeno.

En la mayoría de las aguas naturales, los niveles combinados de calcio y magnesio (dureza total) son mayores que el nivel de bicarbonato presente, donde todas las especies se expresan como carbonato de calcio ( $CaCO_3$ ). Esto es ideal para eliminar la dureza temporal y el bicarbonato de manera eficiente. Sin embargo, en algunos casos, la alcalinidad del bicarbonato es mayor que la dureza total, lo que indica la presencia de alcalinidad de sodio. Cuando hay presencia de alcalinidad de sodio, la relación dureza-alcalinidad es notablemente inferior a 1, y la capacidad de una resina catiónica débilmente ácida cae drásticamente, lo que lo convierte en un proceso menos atractivo.

## Alcalinidad

El agua desalcalinizada (parcialmente descationizada) tiene un mayor contenido de iones de hidrógeno ( $H^+$ ) cuando se trata con una resina catiónica débilmente ácida y, por lo tanto, un pH más bajo. Cuando se conecta en línea después de la regeneración, el pH normalmente es de alrededor de 3 y aumenta a lo largo del ciclo de servicio a alrededor de 5,2 a 5,7, dependiendo de la fuga temporal de dureza.

Cuando la resina se agota, se regenera con una solución ácida para devolver la resina a su forma de hidrógeno. Una vez regenerada, está lista para la siguiente operación de servicio.

## Tasa de Flujo, Tamaño de la Columna y Pérdida de Carga

Es importante que la unidad distribuya y recolecte el agua de manera eficiente durante la operación de servicio y durante la regeneración, especialmente porque las tasas de flujo de regenerante y enjuague lento pueden ser tasas de flujo mucho más bajas.

La capacidad de la resina catiónica débilmente ácida es sensible al caudal. Aunque la resina puede operar en servicio entre 8 y 40 volúmenes de lecho por hora (BV/h) o 1 a 5 gpm/ft<sup>3</sup> con caudales lineales de 10 a 50 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/h (m/h) o 4 a 20 gpm /ft<sup>2</sup>, esta no es la mejor manera de operar este tipo de lecho.

El rendimiento óptimo se logra con caudales más lentos, y las unidades desalcalinizadoras normalmente están diseñadas para funcionar con caudales de servicio entre 8 y 24 BV/h o 1 y 3 gpm/ft<sup>3</sup>, con caudales lineales bajos de 10 a 30 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/h. (m/h) o 4–12 gpm/ft<sup>2</sup>. La canalización (o caminos preferenciales) puede ocurrir dentro del lecho de resina a tasas de flujo de servicio muy bajas, lo que resulta en un rendimiento deficiente de la planta y una capacidad corta entre regeneraciones. Esto ocurre a menudo en plantas diseñadas para tener ciclos de servicio prolongados.

El tipo de ácido utilizado para la regeneración también implicará diferencias significativas de los caudales y concentración del ácido.

Además, la relación entre la altura y el diámetro es importante en el diseño de la unidad. Si bien algunas plantas de desmineralización industrial pequeñas operan con alturas de lecho poco profundas, recomendamos evitar alturas de lecho inferiores a 610 mm (2 pies) y utilizar alturas de lecho superiores a 1500 mm (4,9 pies).

La altura de la columna y la pérdida de carga son factores de control para la altura máxima del

lecho. Para [Purolite C104Plus](#) y [Purolite C104EPlus](#), recomendamos que la caída de presión en el lecho se mantenga a menos de 150 kPa (22 psi), teniendo en cuenta también la compactación del lecho y cualquier carga de sólidos en un lecho clasificado. Rara vez se encuentran profundidades de lecho superiores a 2500 mm (8,2 pies).

Recomendamos un espacio libre del 75% sobre el lecho de resina para permitir al menos un 50% de expansión durante el contralavado y garantizar una buena clasificación del lecho hidráulico. Los lechos completamente clasificados tienen una fracción de vacío más alta, lo que conduce a una caída de presión más baja. Esto es particularmente ventajoso cuando se encuentran altas velocidades específicas. Muchas plantas se construyen con menos espacio libre y no tienen en cuenta adecuadamente la expansión.

## Fin del Ciclo de Servicio

Los siguientes factores se usan típicamente para determinar cuándo terminar la operación del servicio:

- Aumento del pH a la salida de la columna
- Condiciones a la salida de otra columna que inician la regeneración de flujo completo (dureza del ablandador o conductividad, o sílice de un anión aguas abajo o lecho mixto de trabajo)
- Rendimiento volumétrico: Calcula el volumen de agua tratada por el lecho de resina
- Tiempo de servicio transcurrido

El rendimiento y el tiempo de servicio dependen de que el análisis del agua entrante permanezca constante y de que las resinas no se agoten antes de que se alcance el volumen de agua tratada o el tiempo para la siguiente regeneración. Estos son los métodos de control menos precisos.

La regeneración posterior se puede iniciar de forma manual o automática a través del sistema de control.

Mientras que las plantas regeneradas co-corriente y las estratificadas contracorriente de diseño tradicional permiten el contralavado del lecho de resina dentro de la unidad de operación de servicio, la resina solo tolerará un nivel muy bajo de sólidos en suspensión en el suministro de agua entrante. No se debe esperar que las resinas funcionen como un filtro mecánico, y siempre se debe incluir un pretratamiento adecuado en el diseño de la planta si se desea lograr un rendimiento óptimo.

# Variación en el Rendimiento

La capacidad de trabajo de [Purolite C104Plus](#) y [Purolite C104EPlus](#) se ve afectada por:

- **Relación de dureza a alcalinidad:** Mayor que 1, preferible
- **Tasa de flujo de servicio:** Entre 8 y 24 BV/h, preferible
- **Temperatura del agua:** Las bajas temperaturas reducen la capacidad y los diseños de las plantas deben considerar la temperatura mínima esperada del agua

# Regeneración

La regeneración se denomina co-flujo cuando el regenerante fluye a través del lecho de resina en la misma dirección, normalmente hacia abajo o “de arriba hacia abajo”, en la que fluye el agua durante la operación de servicio. Cuando el flujo de regenerante es opuesto al flujo de servicio, el término utilizado es regeneración a contraflujo. También se utilizan otras palabras como co-corriente y contracorriente para describir estas dos técnicas principales de regeneración.

Cuando se emplea la regeneración contracorriente, es importante tener en cuenta que el lecho debe permanecer estático en las etapas de flujo ascendente (excepto el contralavado, si el diseño lo permite). Los lechos empacados, de retención de aire, de flujo dividido y de retención de agua son solo algunos de los sistemas empleados para lograr este requisito. En algunos sistemas regenerados a contracorriente, el diseño permite el flujo de servicio hacia arriba a través del lecho y la regeneración hacia abajo. En tales casos, es importante que el lecho permanezca estático durante toda la operación de servicio de flujo ascendente.

# Regeneración de Lechos Estratificados de Doble Capa

Para regenerar las resinas débilmente ácidas y fuertemente ácidas en unidades estratificadas de doble capa el ácido pasa primero por el lecho de cationes fuertes en el modo de regeneración a contracorriente. Tanto en equipos con placa intermedia, como en equipos en ausencia de ella, la regeneración contracorriente tendrá lugar como el proceso anteriormente descrito.

La carga sobre la resina de catión débilmente ácida suele ser alta, lo que garantiza que la resina de catión fuertemente ácida experimente un nivel de regeneración mucho más alto de lo normal. Los altos niveles de regeneración proporcionan una menor fuga de sodio y una mayor capacidad de trabajo sin aumentar los costos operativos. Si se trataran ambas resinas por separado, el exceso de ácido regenerante de cada una pasaría a la planta de efluentes, lo que costaría mucho más en regenerante y produciría muchos más desechos.

En este diseño, sin embargo, el exceso de ácido procedente de la regeneración de la resina de ácido fuerte se diseña de modo que aún sea suficiente para atravesar y regenerar la resina de ácido débil. Como las resinas de ácido débil solo requieren un ligero exceso de ácido para regenerarse (típicamente 105 a 120%), la utilización de ácido es muy alta y altamente eficiente.

La regeneración debe ser siempre a contracorriente cuando se utiliza resina catiónica débilmente ácida en la misma unidad que la resina catiónica fuerte (plantas de doble capa/estratificadas con o sin placa divisoria). Con el diseño de doble capa sin placa de división, el regenerante debe estar en una dirección de flujo ascendente. La resina fuertemente ácida es más pesada que su contraparte débilmente ácida y se encuentra en el fondo del lecho combinado. Se utiliza una placa de división para separar las resinas dentro de la misma columna. El compartimiento de cada componente determina si el flujo de servicio es de flujo ascendente con regeneración de flujo descendente o de flujo descendente con regeneración de flujo ascendente.

# Regeneración de Co-Flujo (Co-Corriente)

La regeneración de resina generalmente se realiza en co-flujo o co-corriente tanto en plantas de desalcalinización como de desmineralización. La resina catiónica débilmente ácida se usa en su unidad separada (la regeneración a contracorriente ofrece pocas ventajas en comparación con los beneficios observados en un lecho catiónico fuertemente ácido).

La técnica de regeneración de co-flujo normalmente se compone de cinco pasos y generalmente toma de 1 a 2 horas, según el diseño detallado. El agua entrante suele tener la calidad adecuada para este tipo de regeneración en todos los pasos, incluida la dilución del regenerante.

El contralavado es el primer paso de la regeneración de co-flujo. El agua de contralavado entra a la unidad a través del sistema de recolección/distribución inferior, lo que esponja el lecho y hace que se expanda. El caudal debe establecerse para el espacio libre disponible en la unidad a la temperatura mínima del agua. El contralavado está diseñado para descompactar la resina para un mejor contacto con el regenerante y eliminar cualquier sólido en suspensión que se filtre fuera del suministro entrante y se acumule dentro del lecho. El volumen de agua de contralavado dependerá de la extensión de la carga de sólidos. Si el lecho solo requiere descompactación, hasta 1 FBV (volumen del espacio libre) suele ser suficiente. Sin embargo, cuando hay sólidos filtrados, el volumen requerido es mayor, típicamente 2–3 FBV.

El asentamiento de la cama es el siguiente paso después del contralavado. Este paso permite que la resina se asiente y vuelva a formar un lecho estático antes de la inyección del regenerante. Según el tamaño del lecho, el espacio libre y la tasa de contralavado que se utilice, este paso puede demorar entre 5 y 8 minutos.

La inyección de ácido regenerante (a la velocidad de flujo correcta) y la concentración de ácido son fundamentales después de que la resina se asiente. Un buen contacto entre la solución ácida y la resina es esencial para un rendimiento óptimo.

La carga de una resina catiónica débilmente ácida suele ser principalmente calcio, con algo de magnesio presente. El proceso de regeneración debe eliminar sustancialmente el calcio y el magnesio.

Se debe tener cuidado al regenerar resinas catiónicas débilmente ácidas con ácido sulfúrico, ya que la precipitación de sulfato de calcio ocurre fácilmente cuando el ácido sulfúrico se aplica a una concentración demasiado alta o demasiado lentamente. Esta condición debe ser evitada.

Cuanto menor sea la concentración de ácido sulfúrico y mayor sea el caudal, menor será el riesgo de que se produzcan precipitaciones en la regeneración.

La temperatura también juega un papel en la precipitación. En climas cálidos, el regenerante puede requerir concentraciones más bajas y tiempos de contacto más cortos, ya que el aumento de la temperatura puede aumentar el riesgo de precipitaciones. Las pautas operativas para la inyección de ácido sulfúrico basadas en el contenido de calcio del suministro de agua entrante se tratan más adelante en esta guía.

Los problemas menores de precipitación a veces se pueden tratar con un baño de ácido clorhídrico para volver a disolver el sulfato de calcio y recuperar la resina. Sin embargo, si la precipitación es severa, generalmente se requiere el reemplazo completo de la resina porque la limpieza química no es una solución rentable y no siempre es completamente efectiva.

El ácido clorhídrico no presenta riesgo de precipitación. Las sales de cloruro de los cationes comúnmente encontrados son mucho más solubles. Se pueden usar concentraciones de ácido clorhídrico más altas, lo que hace que la regeneración de HCl sea más fácil y rápida con menos efluentes residuales producidos.

Para resinas catiónicas débilmente ácidas, la cantidad de regenerante químico requerido se calcula a partir de la capacidad de trabajo anticipada aplicando un ligero exceso de ácido en comparación con el trabajo realizado por el lecho en el ciclo de servicio. Para resinas catiónicas fuertemente ácidas, la cantidad de regenerante requerida se calcula directamente a partir del nivel de regeneración seleccionado y se expresa en g/l o lb/ft<sup>3</sup>, la cantidad de regenerante requerida por litro o pie cúbico de resina.

En la regeneración por etapas, comience con una concentración baja de ácido y aumente ligeramente durante el período de inyección. Este proceso mejorará la eficiencia general de la regeneración y reducirá el drenaje de efluentes en algunos diseños de doble capa (estratificados) que utilizan grandes cantidades de ácido.

El trabajo de laboratorio muestra que solo se requiere un 5% de exceso de ácido para regenerar Purolite C104Plus y Purolite C104EPlus. Aunque este bajo exceso se logra en algunas plantas a gran escala, el diseño de algunos sistemas de distribución/recolección no son lo suficientemente sofisticados para lograr un rendimiento óptimo de regeneración de la resina. Como resultado, los diseños de plantas menos eficientes probablemente operarán con un exceso de ácido del 10% al 15%.

Después de la inyección de regenerante, el lecho debe enjuagarse para eliminar el ácido, y esto normalmente se hace en dos etapas.

El enjuague lento (desplazamiento del regenerante) se realiza a caudales similares a los de la inyección de ácido y en la misma dirección. Esto asegura un tiempo de contacto uniforme entre la resina y el regenerante y que el agua de enjuague siga la misma ruta que el regenerante a través del lecho de resina. Dado que los enjuagues lentos son más eficientes para eliminar el regenerante gastado, un enjuague lento prolongado puede reducir el enjuague final requerido. Por lo general, se aplican de 1 a 3 BV (7,5 a 22,5 gal/ft<sup>3</sup>) de enjuague lento.

El enjuague final a menudo se lleva a cabo con el caudal de servicio. Esto también actúa como condición de prueba antes de volver al servicio después de la regeneración. En algunas ocasiones, donde ocurren restricciones de caudal, el enjuague final de la planta se realiza a un caudal inferior al caudal de servicio. Normalmente, se requieren de 3 a 6 BV (22,5 a 45 gal/ft<sup>3</sup>) según el diseño de los sistemas de distribución/recolección y la cantidad de enjuague lento realizado anteriormente.

La Tabla 2 resume los parámetros de diseño para la resina catiónica débilmente ácida regenerada en corriente en una planta de desalcalinización o en un lecho de cationes débilmente ácidos regenerado en coflujo independiente en una parte de una planta de desmineralización.

**TABLA 2** Condiciones Típicas de Regeneración Ácida para Columnas Regeneradas de Coflujo

Etapa	Bases de Diseño	Duración
<b>Contralavado</b>	Establezca la temperatura mínima del agua para obtener una expansión del lecho del 50%. Consulte la Figura 1 para obtener más detalles.	1 FBV en suministros de agua limpia y 2-3 FBV donde hay sólidos presentes.
<b>Asentamiento del lecho</b>	Para permitir reformar el lecho totalmente clasificado.	5-8 minutos
<b>Inyección de ácido</b>	Por lo general, entre un 5 y un 15% de exceso de ácido en comparación con la capacidad esperada de la resina. Para la regeneración de ácido clorhídrico, esto se aplica a una concentración de HCl de aproximadamente 4% a 2-4 BV/h (0,25-0,5 gpm/ft <sup>3</sup> ). El volumen de regenerante debe exceder el volumen de resina. Para la regeneración de ácido sulfúrico, se aplica de 0,5 a 1% a 8-20 BV/h (1-2,5 gpm/ft <sup>3</sup> ). 0.7% a 12-16 BV/h (1.5-2 gpm/ft <sup>3</sup> ) normalmente se encuentra en plantas en operación. Consulte la Figura 7 para obtener más orientación.	Por lo general, de 20 a 30 minutos, según el nivel de regeneración y el caudal.
<b>Enjuague lento</b>	2-3 BV (15 a 22,5 gal/ft <sup>3</sup> ) a una tasa de flujo de regenerante aproximada.	Por lo general, de 30 a 40 minutos, según el volumen de agua aplicado y el caudal.
<b>Enjuague final</b>	3 a 6 BV (22,5 a 45 gal/ft <sup>3</sup> ) preferiblemente a la tasa de flujo de servicio o alternativamente > 15 BV/h (2 gpm/ft <sup>3</sup> ).	Normalmente de 10 a 20 minutos. A menor enjuague lento aplicado, mayor enjuague final será necesario.

Leyenda: BV = Volumen de lecho, BV/h = Volumen de lecho por hora; FBV = Volumen espacio libre sobre el lecho de resina

Nota: 1 BV = 1 litro de agua pasa por 1 litro de resina o 7,48 galones estadounidenses por 1 pie<sup>3</sup> de resina

# Regeneración a Contracorriente de Lechos de Doble Capa (Estratificados)

Las técnicas de regeneración de contracorriente generalmente tienen menos pasos que los descritos para la regeneración co-corriente y, por lo general, necesitan entre 1 y 1 hora y media, según el diseño detallado. Este tipo de regeneración requiere el uso de agua libre de cationes para lograr un rendimiento óptimo. Los pasos de dilución/inyección de ácido y enjuague lento deben usar agua descationizada o desmineralizada para lograr alcanzar la fuga de sodio publicada de la resina catiónica fuerte. El agua se reserva durante la ejecución del servicio anterior o, en el caso de plantas en paralelo, puede ser suministrada por uno de las otras columnas en línea. Cuando el agua descationizada se almacena para la regeneración, algunas plantas usan un tanque dedicado, pero cuando una torre de desgasificación es parte del proceso, normalmente se usa el sumidero de la torre de desgasificación. Cuando se utiliza agua desmineralizada, se utiliza el tanque de agua tratada del cliente o un tanque separado.

El paso de contralavado, que siempre es el primer paso de la regeneración co-corriente, generalmente no se realiza en cada ciclo en un sistema regenerado contracorriente. Debido a esto, una forma de realizar contralavados periódicos de lecho completo, ya sea dentro de la unidad de servicio o en recipientes dedicados externos, deben incluirse en el diseño de la planta. Algunos diseños de ingeniería permiten que se lleven a cabo contralavados del subsuelo en cada ciclo, pero estos contralavados parciales no deben tener la intención de reemplazar los contralavados periódicos de lecho completo. Después de un lavado a contracorriente de lecho completo, la resina siempre debe regenerarse con el doble de la cantidad habitual de ácido para recuperar el rendimiento completo de contraflujo.

De manera similar a la regeneración co-corriente, se debe tener especial cuidado con la regeneración contracorriente para evitar la precipitación de sulfato de calcio debido a la concentración de ácido y el caudal de inyección. En la regeneración a contracorriente, el ácido ingresa al lecho desde la dirección opuesta al agua cruda y, por lo tanto, se encuentra con la resina catiónica fuertemente ácida cargada de sodio y potasio antes de llegar a la resina de catiónica débil cargada de magnesio y calcio. Por estas y otras razones, las condiciones de regeneración a contracorriente deben adaptarse al diseño de la planta. También es común que las empresas de ingeniería tengan su propio conjunto comprobado de requisitos para un diseño. Por lo tanto, las recomendaciones de Purolite sobre las concentraciones de ácido y las tasas de flujo se proporcionan solo como orientación general.

En la regeneración a contracorriente, se deben evitar profundidades de lecho inferiores a 1000 mm (3 pies 3 pulgadas). Se prefieren lechos de más de 1200 mm (4 pies).

El nivel de regeneración se calcula teniendo en cuenta la carga conocida sobre el lecho catiónico

débilmente ácido, de modo que aún esté disponible un exceso de ácido suficiente de la regeneración a contracorriente del catión fuertemente ácido. El ácido sulfúrico debe introducirse en concentraciones inferiores a la media para garantizar que no se produzca la precipitación de sulfato de calcio cuando se utiliza ácido sulfúrico.

El enjuague lento (desplazamiento del regenerante) siempre se realiza a caudales similares al paso de inyección de ácido y en la misma dirección. Esto es para asegurar un tiempo de contacto uniforme entre la resina y la solución regenerante y que el agua de enjuague siga la misma ruta que el regenerante a través del lecho de resina. Dado que el enjuague lento suele ser más eficaz para eliminar el regenerante gastado de la resina que el enjuague rápido, usar un enjuague más lento puede reducir la cantidad de enjuague final requerido. Por lo general, 1–2 BV (7.5–15 gal/ft<sup>3</sup>) de enjuague lento es adecuado.

El enjuague final a menudo se lleva a cabo con el caudal de servicio. Esto también actúa como condición de prueba antes de volver al servicio después de la regeneración. Por lo general, se requieren de 2 a 4 BV (15 a 30 gal/ft<sup>3</sup>) según el diseño del sistema de distribución/recolección y la cantidad de enjuague lento realizado previamente.

En las plantas de desmineralización, es cada vez más común usar enjuagues de reciclaje en circuito cerrado alrededor de las unidades de aniones y cationes de doble capa (estratificada) en sistemas regenerados contracorriente. Esto ofrece dos ventajas: reducir la cantidad de agua residual producida por la planta y permitir que el diseño incluya un enjuague previo al servicio de prueba antes de volver a poner la línea en servicio. Si bien las resinas aniónicas a veces desarrollan enjuagues prolongados debido a las incrustaciones orgánicas, un sistema de enjuague de reciclaje puede reducir significativamente el consumo de agua.

## Cálculo de la Cantidad Correcta de Regenerante

La siguiente información explica cómo calcular la cantidad de ácido requerida para un diseño dado.

La inyección de regenerante con el caudal y la concentración de ácido correctos es fundamental, ya que un buen contacto entre la solución de ácido y la resina es esencial para un rendimiento óptimo. La cantidad de ácido requerida se calcula a partir de la capacidad de trabajo esperada de la resina.

Para este ejemplo, si asumimos una capacidad de trabajo de 1,5 eq/L (75 g/L como CaCO<sub>3</sub>), la cantidad de ácido necesaria por litro de resina suponiendo un 110 % de exceso es de  $1,5 \times 1,10 = 1,65$  eq/L (82,5 g/L como CaCO<sub>3</sub>). Para convertir a ácido clorhídrico al 100% de CaCO<sub>3</sub>, se divide por 1,37. Esto da un nivel de regeneración de ácido clorhídrico de 60,22 g/L. Para convertir a ácido sulfúrico al 100% de CaCO<sub>3</sub>, se divide por 1,02. Esto da un nivel de regeneración de ácido sulfúrico de 80,88 g/L.

Tenga en cuenta que todos los niveles de regeneración se expresan para una pureza química máxima (100%). Para calcular el volumen exacto de regenerante requerido por regeneración en la planta, debe conocer la concentración de ácido disponible en el sitio.

## Datos de Rendimiento

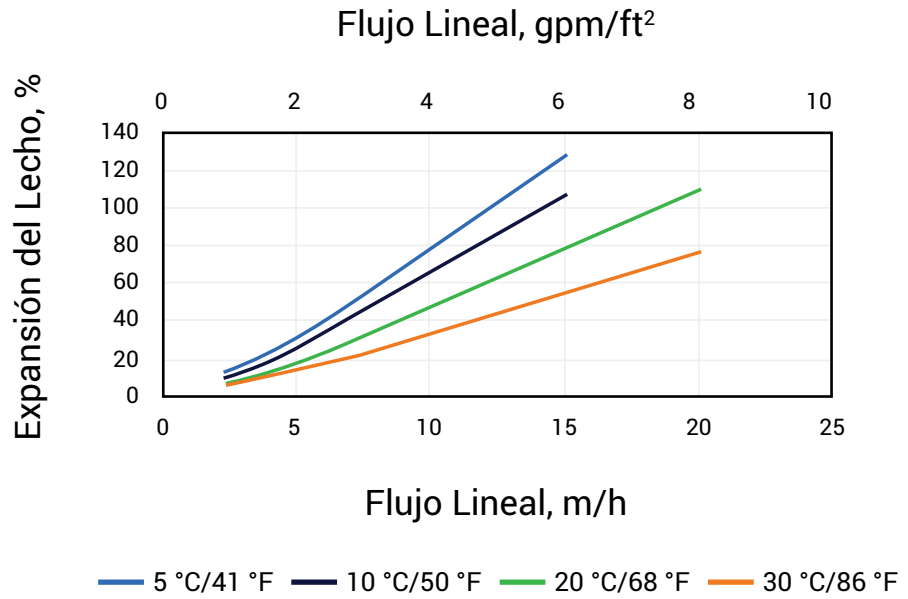
Los siguientes gráficos y factores de corrección están diseñados para ayudar al ingeniero de diseño a estimar la capacidad de intercambio y la pérdida de dureza logradas con [Purolite C104Plus](#) y [Purolite C104EPlus](#) en diferentes condiciones de funcionamiento. Todos los datos mostrados son el resultado de años de experiencia industrial y se proporcionan de buena voluntad. El rendimiento final dependerá del diseño detallado y la operación del sistema, la calidad de los productos químicos regenerantes y el mantenimiento a largo plazo de la planta. Algunos ingenieros querrán tener un margen de seguridad agregando un poco más de resina al lecho. Aquellos que utilizan una planta estándar de diseño simple pueden preferir tener un margen de diseño mayor (factor de seguridad) con respecto a los datos publicados para permitir una operación inferior a la ideal. Tenga en cuenta que los datos presentados en esta sección son específicos para diseños regenerados en co-flujo con profundidades de lecho de más de 1000 mm (3 pies, 3 pulgadas) y diseños regenerados en contraflujo con profundidades de lecho de más de 1200 mm (3 pies, 11 pulgadas). Las profundidades de lecho poco profundas pueden requerir una reducción del rendimiento esperado según la calidad del diseño.

Los datos que se muestran aquí se pueden usar para dimensionar el componente débilmente ácido en una unidad de doble capa (estratificada). Sin embargo, estos diseños a menudo pueden tener en cuenta la capacidad sobrante en la resina catiónica fuertemente ácida si la dureza permanente y la carga de sodio en esa porción son relativamente pequeñas. Esto le permite sobrepasar el componente de catión débilmente ácido, lo que brinda un rendimiento general aún mejor de la unidad.

Para los usuarios interesados en realizar estos cálculos de ingeniería electrónicamente, el software PRSM™ de Purolite está disponible en [www.purolite.com](http://www.purolite.com).

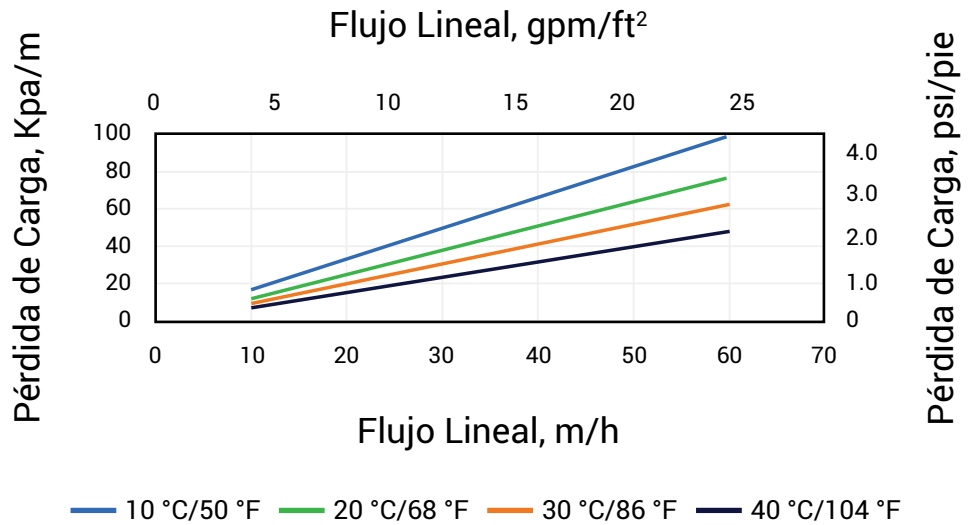
**FIGURA 1**

**Expansión del  
Contralavado**



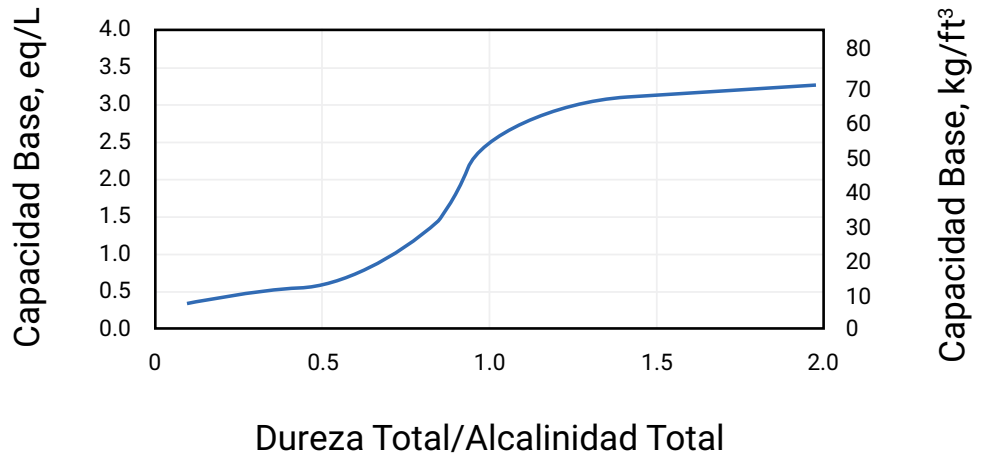
**FIGURA 2**

**Pérdida  
de Carga**



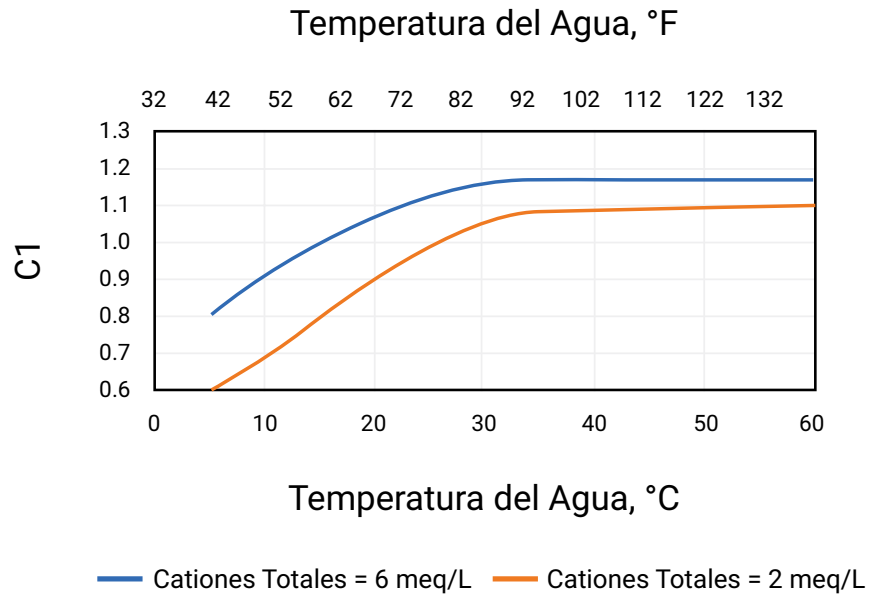
**FIGURA 3**

**Capacidad Operativa Base**



**FIGURA 4**

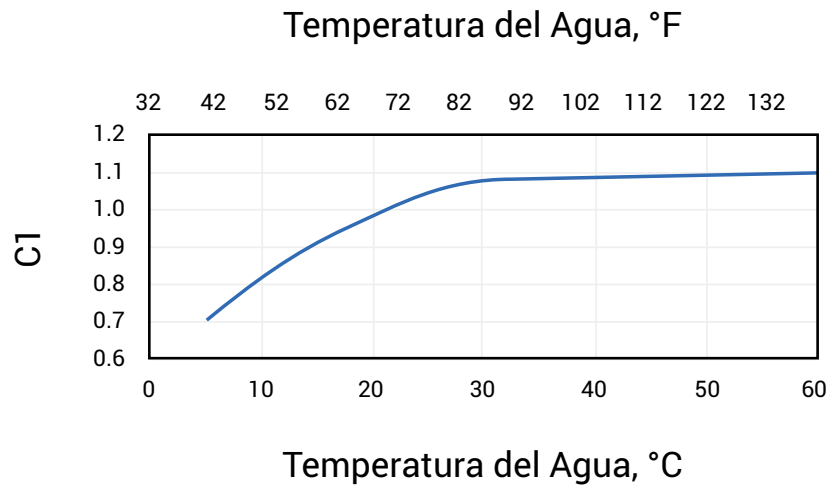
**C1: Factor de Corrección de Capacidad por Temperatura**



C1 = Factor de corrección de capacidad por temperatura  
Dureza Total/Alcalinidad Total = 0.5

**FIGURA 5**

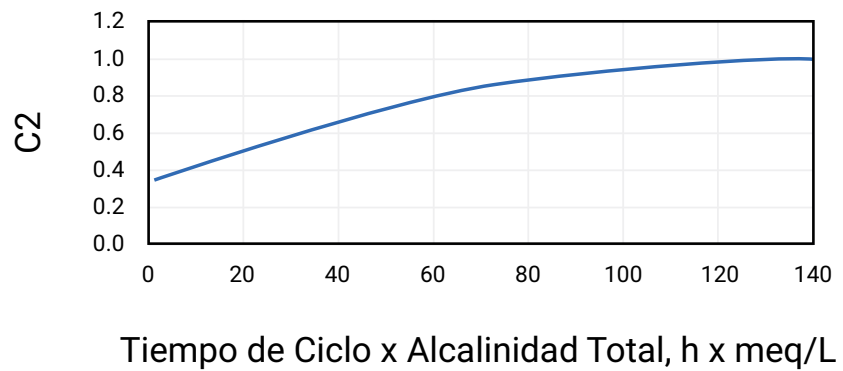
**C1: Factor de Corrección de Capacidad por Temperatura**



Ca = Factor de corrección de capacidad por temperatura  
Dureza Total/Alcalinidad Total = 1.5

**FIGURA 6**

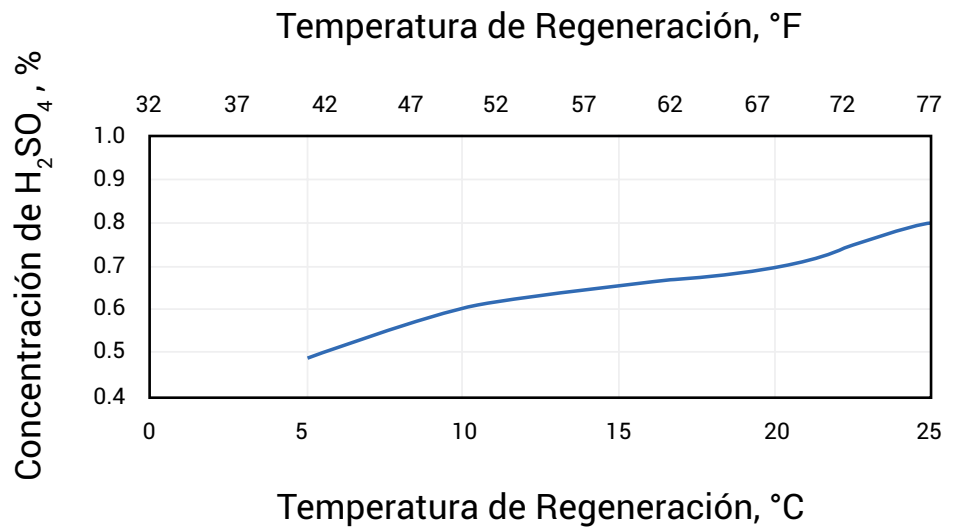
**C2: Factor de Corrección de Capacidad por Tiempo de Ciclo**



**FIGURA 7**

**Concentración  
Recomendada  
de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>**

Consulte PRSM para obtener información sobre fugas.



Purolite, una empresa de Ecolab, es un fabricante líder de resinas de calidad de intercambio iónico, catalizadores, adsorbentes y resinas especiales de alto rendimiento con soporte de ventas global.



[www.purolite.com](http://www.purolite.com)



## Estamos listos para resolver los desafíos de su proceso.

Para obtener más información sobre los productos y servicios de Purolite, visite [www.purolite.com](http://www.purolite.com) o comuníquese con nosotros a las direcciones indicadas a continuación.

### Américas

[americas@purolite.com](mailto:americas@purolite.com)

### Asia Pacífico

[asiapacific@purolite.com](mailto:asiapacific@purolite.com)

### EMEA

[emea@purolite.com](mailto:emea@purolite.com)

Se cree que las declaraciones, la información técnica y las recomendaciones contenidas en este documento son precisas a la fecha del presente. Dado que las condiciones y los métodos de uso del producto y de la información a la que se hace referencia en este documento están fuera de nuestro control, Purolite renuncia expresamente a toda responsabilidad en cuanto a los resultados obtenidos o derivados del uso del producto o la confianza en dicha información; NO SE OFRECE NINGUNA GARANTÍA DE IDONEIDAD PARA CUALQUIER FIN EN PARTICULAR, GARANTÍA DE COMERCIALIZACIÓN O CUALQUIER OTRA GARANTÍA, EXPRESA O IMPLÍCITA, CON RESPECTO A LOS BIENES DESCRITOS O LA INFORMACIÓN PROPORCIONADA EN EL PRESENTE DOCUMENTO. La información proporcionada en este documento se relaciona únicamente con el producto específico designado y puede no ser aplicable cuando dicho producto se usa en combinación con otros materiales o en cualquier proceso. Nada de lo contenido en este documento constituye una licencia para practicar bajo ninguna patente y no debe interpretarse como un incentivo para infringir ninguna patente y se recomienda al usuario que tome las medidas adecuadas para asegurarse de que cualquier uso propuesto del producto no resulte en una infracción de patente.



©2024 Purolite  
Todos los derechos reservados.  
P-000246-NPOLD-0524-R2-ESP-PCO