

## Dimensionamiento a detalle de un Suavizador

Impartido por:



GERMÁN GROSÓ



MARTES  
04 DE NOVIEMBRE  
HORARIO:  
10:00 AM.

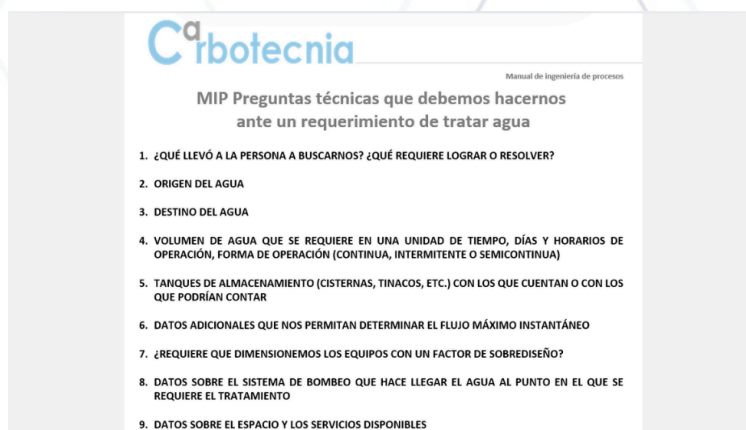
Capacitación:  
**100%**  
Práctica

[www.carbotecnia.info/webinars-y-cursos/](http://www.carbotecnia.info/webinars-y-cursos/)

### Cuestionario para cotizar



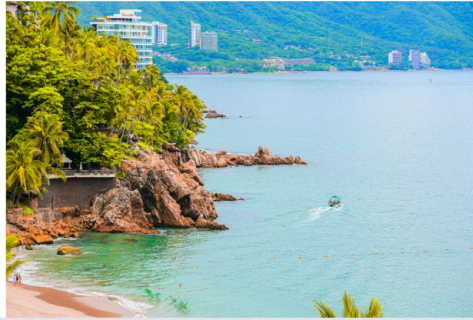
Los cuestionarios que se hacen a un cliente potencial para cotizarle un equipo son de mucha ayuda. Sin embargo, estos cuestionarios pueden desesperar al cliente ya que muchas de las preguntas no les aplican. Además, por completo que sea el cuestionario, siempre hay puntos importantes que van surgiendo en el proyecto y que solamente pueden resolverse mediante una comunicación eficiente entre el posible proveedor y el posible cliente.



Por lo anterior, en Carbotecnia, cuando vamos a cotizar un proyecto, seguimos este manual interno que nos lleva a preguntarnos qué información vamos encontrando que es importante para hacer una propuesta adecuada. En este webinar presentaremos un caso hipotético y seguiremos los pasos que nos indica este manual.

## Hotelero nos busca por lo siguiente

Casa habitación ubicada en Costalegre se está transformando en hotel boutique y requiere un suavizador.



El caso hipotético es el de un hotelero que está modificando una casa habitación ubicada en la Costalegre de Jalisco para transformarla en un hotel boutique. La persona nos menciona que requiere un suavizador.

## Destino del agua

El agua se utilizará en regaderas, sanitarios, lavamanos y lavandería.

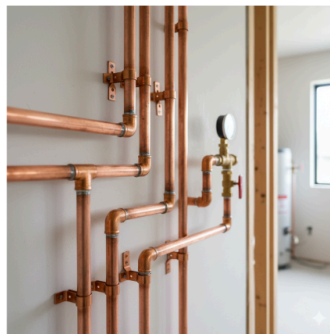
De la siguiente recomendación, la máxima dureza que debe tener el agua es de 60 mg/L como  $\text{CaCO}_3$  (3.5 gr/gal).

Rango de Dureza	Clasificación	Beneficios Clave
0 a 1 gr/gal ( $\approx$ 0 – 17 ppm)	<b>Blanda (Ideal)</b>	Mínimo o nulo sarro, máxima eficacia de jabón, sin sensación de residuo.
1 a 3.5 gr/gal ( $\approx$ 17 – 60 ppm)	<b>Ligeramente Dura (Muy Buen Rango)</b>	Mínima formación de sarro, jabón funciona muy bien, aceptable para la mayoría de los equipos.
3.5 a 5 gr/gal ( $\approx$ 60 – 85.5 ppm)	<b>Moderadamente Dura (Limite Aceptable)</b>	Se evita el problema de la dureza extrema, aunque puede haber un sarro leve a largo plazo.

Como datos básicos, nos menciona los que se observan en la imagen.

## ... ah, y otro detalle

La tubería de agua es de cobre.



Para complicar un poco el caso, consideraremos que las tuberías de agua del hotel boutique son de cobre. El caso se puede complicar ya que el cobre es susceptible de verse afectado si el agua suavizada tiene una tendencia corrosiva.

## Destino del agua

El agua se utilizará en regaderas, sanitarios, lavamanos y lavandería de un hotel boutique.

De la siguiente recomendación, la máxima dureza que debe tener el agua es de 60 mg/L como  $\text{CaCO}_3$  (3.5 gr/gal).

Rango de Dureza	Clasificación	Beneficios Clave
0 a 1 gr/gal ( $\approx$ 0 – 17 ppm)	<b>Blanda (Ideal)</b>	Mínimo o nulo sarro, máxima eficacia de jabón, sin sensación de residuo.
1 a 3.5 gr/gal ( $\approx$ 17 – 60 ppm)	<b>Ligeramente Dura (Muy Buen Rango)</b>	Mínima formación de sarro, jabón funciona muy bien, aceptable para la mayoría de los equipos.
3.5 a 5 gr/gal ( $\approx$ 60 – 85.5 ppm)	<b>Moderadamente Dura (Límite Aceptable)</b>	Se evita el problema de la dureza extrema, aunque puede haber un sarro leve a largo plazo.

Como lo menciona la imagen, el hotelero nos hace saber que desea suavizar el agua que se utilizará en regaderas, sanitarios, lavamanos y lavandería. Indagamos en Gemini la dureza máxima que debería tener el agua para cumplir con el objetivo de que el agua no reseque la piel, no deje el pelo áspero, y que permita que el jabón y el detergente actúen correctamente. Encontramos como criterio que lo mejor es que el agua tenga una dureza menor a 17.1 ppm como  $\text{CaCO}_3$ , aunque es aceptable que esté entre 17 y 60 ppm (como  $\text{CaCO}_3$ ). El señor hotelero está de acuerdo con este criterio (Nota: aunque numéricamente es casi lo mismo, por el método de medición que se aplica, es más exacto hablar de dureza en términos de mg/L que de ppm) .

## ¿Qué es un grano (gr)?

$$1 \text{ grano} = 1 \text{ lb}/7000$$

$$= 453.6 \text{ g}/7000$$

$$= 0.0648 \text{ g}$$

$$= 64.799 \text{ mg}$$



En la imagen previa observamos que la recomendación que hace Gemini está tanto en términos de ppm (como  $\text{CaCO}_3$ ) como en gr/gal (como  $\text{CaCO}_3$ ). Las unidades de gr/gal corresponden a granos por galón. Granos es una unidad de masa que se usa con frecuencia en Estados Unidos y en Gran Bretaña. Un grano corresponde a 64.799 mg. Es la masa promedio que le corresponde a un grano de un cereal hipotético tal, que 7000 granos del mismo tienen una masa de 1 lb (avoirdupois): 453.6 gramos. Como muchas unidades de medida (por ejemplo, la milla, que tuvo su origen en 1000 dobles pasos de un soldado romano, o el pie, que corresponde a la medida de un pie humano), el grano tuvo su origen en la masa promedio que tenía determinado grano, quizás de trigo. En un momento dado, estas unidades se estandarizaron con un valor determinado.

## Origen del agua

### Red municipal

#### Parámetros fisicoquímicos

- Dureza total: 340 mg/L como  $\text{CaCO}_3$  (19.88 gr/gal).
- Alcalinidad total: 150 mg/L como  $\text{CaCO}_3$ .
- pH: 7.6
- Sólidos disueltos totales: 650 mg/L.

DQO < 10 mg/L.



El hotelero nos había dicho que la dureza (típica) del agua es 340 mg/L como  $\text{CaCO}_3$ . No cuenta con los cuatro parámetros que conforman un análisis fisicoquímico por lo que le solicitamos mandar analizarlos y nos reporta los valores mencionados en la imagen. También le solicitamos analizar DQO que, como se observa, tiene un valor menor a 10 mg/L. Este valor de DQO es muy típico de agua proveniente de pozo profundo y corresponde a un agua de baja contaminación por compuestos orgánicos. Es importante conocerlo ya que valores altos de DQO afectan negativamente a los procesos de tratamiento a los que se somete agua que se destinará a bebidas o a algún proceso o servicio.

### Calculadora del Índice de Saturación de Langelier de Lenntech

Tabla 1: Introducción de datos		Tabla 3: Resultados del Índice de Saturación Langelier	
pH	7.6	pH <sub>s</sub>	7.1
Conductividad en SDT	650 mg/L	ISL	0.53
[Ca <sup>2+</sup> ]	340 mg/L	Indicación basada en Langelier (1936)	Water is supersaturated with respect to calcium carbonate ( $\text{CaCO}_3$ ) and scale forming may occur.
[HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ]	150 mg/L	Indicación basada en Langelier mejorado por Carnier (1965)	Scale forming but non corrosive.
Temperatura agua	20 grados °C		

Con los parámetros fisicoquímicos, una manera rápida de estimar la tendencia del agua es mediante el Índice de Saturación de Langelier (ISL) cuyo valor podemos obtener mediante la calculadora para tal fin que publica la empresa Lenntech cuyas oficinas centrales se encuentran en los Países Bajos. En la imagen podemos observar que, con el valor de los mencionados parámetros, a 20°C (temperatura del agua fría), el valor del ISL que arroja la calculadora es +0.53.

## Origen del agua

#### Parámetros fisicoquímicos

- Dureza total: 340 mg/L como  $\text{CaCO}_3$  (19.88 gr/gal).
- Alcalinidad total: 150 mg/L como  $\text{CaCO}_3$ .
- pH: 7.5
- Sólidos disueltos totales: 650 mg/L.

ISL (@ 20°C): +0.53  
 ISL (@ 45°C): +1.00 } Agua con tendencia incrustante (sobre todo el agua caliente)



Se observa que a 45°C (agua caliente) el ISL es +1.00. Cuando el agua tiene un ISL de entre -0.3 y +0.3, se puede considerar equilibrada. Cuando el ISL es mayor a +0.3, el agua tiene tendencia incrustante. Mientras mayor es su valor, la tendencia es más incrustante. Un agua con ISL

menor a -0.3, tiene una tendencia corrosiva. Mientras más negativo es este valor, la tendencia corrosiva es mayor.

## Tendencia del agua suavizada

Parámetros fisicoquímicos

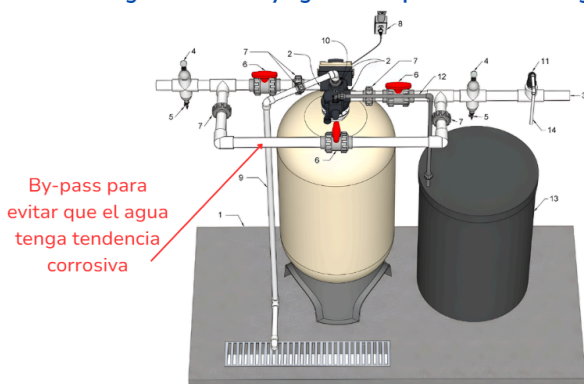
- Dureza total: 2 mg/L como  $\text{CaCO}_3$ .
- Alcalinidad total: 150 mg/L como  $\text{CaCO}_3$ .
- pH: 7.6
- Sólidos disueltos totales: 650 mg/L.

ISL (@ 20°C): -1.7 } Agua con tendencia  
ISL (@ 45°C): -1.2 } corrosiva



Si suavizamos toda el agua que recibirá el hotel, la dureza total disminuirá, mientras que la alcalinidad total, el pH y los sólidos disueltos totales variarán relativamente poco. Un suavizador no deja el agua con una dureza de cero ya que siempre ocurre una fuga a la que se le llama cinética o permanente. Si suponemos que al suavizar el agua que recibirá el hotel boutique, la dureza cinética será de 2 mg/L (como  $\text{CaCO}_3$ ), que es un valor bastante típico, el ISL que arroja la calculadora de Lenntech es -1.7 para agua fría y -1.2 para agua caliente. El agua adquiere una tendencia francamente corrosiva, que terminaría afectando a las tuberías de cobre.

## Mezcla de agua suavizada y agua cruda para obtener un agua equilibrada



Una manera de disminuir la tendencia corrosiva del agua suavizada sería mediante una mezcla de cierto porcentaje de agua suavizada y el resto de agua cruda (sin suavizar). Esto se puede lograr mediante una derivación (*by-pass*). No es el único método, pero es una manera simple y práctica.

## Tendencia de una mezcla 85% agua suavizada y 15% agua cruda

Parámetros fisicoquímicos

- Dureza total:  $[(2 \times 0.85) + (340 \times 0.15)] = 52.7$  mg/L como  $\text{CaCO}_3$ .
- Alcalinidad total: 150 mg/L como  $\text{CaCO}_3$ .
- pH: 7.6
- Sólidos disueltos totales: 650 mg/L.

ISL (@ 20°C): -0.28 } Agua equilibrada  
ISL (@ 45°C): +0.21 }

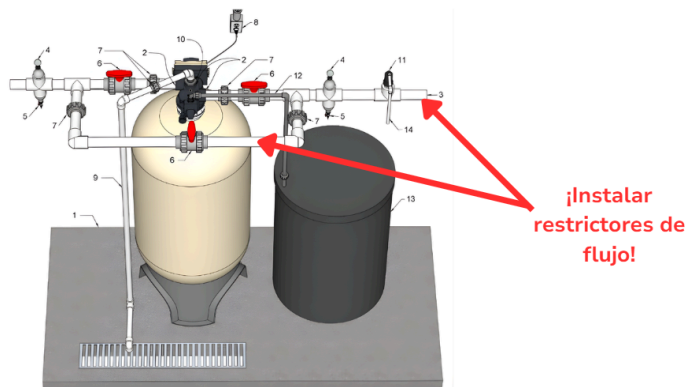


Acceptable

Obtengo el ISL considerando distintos porcentajes de mezcla y encuentro que con 85% de agua suavizada y 15% de agua cruda, la dureza resultante es 52.7 mg/L (como  $\text{CaCO}_3$ ). Con este valor, de acuerdo con los valores de ISL que muestra la imagen, obtenemos un agua equilibrada

(que no tendrá una tendencia alta a corroer ni a incrustar las tuberías de cobre). Recordamos que habíamos encontrado que, para no causar piel reseca y pelo áspero, y para permitir que el jabón y el detergente actúen adecuadamente, el agua no debería tener una dureza superior a 60 mg/L (como  $\text{CaCO}_3$ ). Por lo tanto, aunque estamos en el límite, si hacemos la mezcla 85% - 15%, lograremos ambas metas: agua adecuada para la piel, el pelo, el buen desempeño de jabón y detergente y que, además, no tendrá una tendencia particularmente incrustante o corrosiva de las tuberías de cobre.

## Mezcla de agua suavizada y agua cruda para obtener un agua equilibrada



Para garantizar que se mantenga la mezcla 85% - 15%, es muy recomendable colocar restrictores de flujo que son muy económicos en los puntos señalados en la imagen. Mientras la presión y el flujo que genere la bomba que alimenta al suavizador tengan valores superiores a ciertos mínimos, los restrictores no permiten variación en los flujos aunque aumente la presión (lo que puede suceder por varias razones: porque el sistema cuenta con un tanque hidroneumático (en cuyo caso, la presión del sistema fluctúa en un rango); porque ocurre demanda de agua en otras tuberías alimentadas por la misma bomba; etc.).

## Volumen de agua requerido por día. Horarios.

Consumo de agua promedio: 900 litros/persona-día.

Consumo de agua promedio con el hotel a toda su capacidad:  
(900 x 30 =) 27,000 litros/día.



Ahora preguntamos al hotelero la cantidad máxima de agua que puede consumir cada huésped. Nos menciona que al ser un hotel boutique de nivel medio-alto, cada huésped puede llegar a consumir 900 litros por día (incluyendo lavandería). Siendo así y con el hotel lleno (máximo 30 huéspedes), la demanda de agua pico sería de 27,000 litros/día.

## Frecuencia para agregar sal al tanque de salmuera

No más de una vez por día.



Al platicar con él, surge el tema de que cada vez que el nivel de sal en el tanque de salmuera disminuya (lo que ocurre en cada regeneración), hay que llenar el tanque para que el nivel de sal siempre esté por encima del nivel del líquido. La válvula automática de instalación superior manda llenar el tanque con agua hasta determinado nivel (que veremos adelante). En hora y media, esta agua ya se habrá transformado en salmuera concentrada (que es lo que buscamos). El hotelero nos pide que hagamos un diseño tal que no se requiera llenar el tanque de salmuera más de una vez por día. De esta manera, organizará que todos los días una persona de mantenimiento a determinada hora revise si hay que rellenar el tanque con sal.

### Tanques de almacenamiento disponibles y que pueden agregarse

Se cuenta con una **cisterna con capacidad de 20,000 litros** en la que se recibe el agua de la red municipal.

El agua que se recibe puede llegar clorada (**se requiere CAG**) y en todo caso se va a clorar.

Preguntamos si hay espacio para instalar **una o dos cisternas con capacidad total de 30,000 litros** y menciona el hotelero que sí.

En la segunda cisterna almacenaremos el agua suavizada, por lo que tendremos agua para el consumo de todo un día.

Ahora corresponde preguntar al hotelero si cuenta con tanques (cisternas o tinacos) o con espacio para colocarlos en el tren de suavización. Cuando no se cuenta con tanques ni con espacio para instalarlos, el suavizador debe dimensionarse con la capacidad suficiente para entregar el flujo máximo instantáneo de agua que le demandará el sistema. Cuando hay tanques o se tiene la posibilidad de instalarlos, se puede tener un suavizador que entregue un flujo instantáneo menor. En este caso, el hotel cuenta con una cisterna con capacidad de 20,000 litros en la que se recibe agua de la red municipal. Y el hotelero nos hace saber que existe el espacio para instalar otra cisterna con capacidad 30,000 litros en la que podemos almacenar el agua suavizada (85-15) que enviaremos a regaderas, lavamanos, sanitarios y lavandería.

## ¿Diseñamos con sobrediseño?

**Sí: 10%** (sobrediseño típico usado en proyectos de ingeniería).

Se dimensionará el suavizador para producir  $(27,000 \times 1.1 =)$  29,700 L/día (7,847 gal/día) de agua suavizada equilibrada.

Esto es  $(29,700 \times 0.85 =)$  25,245 L/día de agua suavizada antes de mezclar.

Si contamos con 21 h/día, el flujo de servicio del suavizador (antes de mezclar) es:  
1,202 L/h.

5.29 gpm.



Una pregunta que siempre debemos hacer al usuario o cliente potencial es si considera que debemos dimensionar el suavizador con un factor de sobrediseño. Así lo hacemos y le hacemos saber que, en ingeniería de procesos, dicho factor es de 10% (por encima de la demanda máxima). El hotelero responde que le parece bien que usemos el factor de sobrediseño de 10%. Entonces, consideraremos que la demanda máxima del hotel será de  $(27,000 \times 1.1 =)$  29,700 litros de agua suavizada (85-15) por día. Como lo menciona la imagen, si consideramos que el ciclo de regeneración se puede llevar 21 horas, el flujo máximo instantáneo que deberá ser capaz de generar el suavizador después de la mezcla 85-15 es 5.29 gpm).

## Datos adicionales que permitan determinar el flujo máximo instantáneo que requiere suavizarse

Ya que contamos con cisterna(s) que almacenan el agua suavizada requerida para todo un día, la demanda pico no afecta al dimensionamiento del suavizador.

### Demanda pico:

Flujo volumétrico por regadera: 8.5 L/min.

Flujo máximo demandado (11 regaderas):  
93.5 L/min (24.7 gpm).



Si no hubiera una cisterna que almacena el agua suavizada 85-15, el flujo máximo instantáneo podría considerarse el de las 11 regaderas operando al mismo tiempo. Otro ingeniero de procesos podría considerar que es difícil que las 11 regaderas demanden agua al mismo tiempo, pero nosotros así lo consideramos, por tres razones: (a) Cada habitación puede tener casi 3 huéspedes en promedio; (b) Hay horarios en los que mucha gente se baña (por ejemplo, entre 8 am y 10 am); (c) No estamos considerando que, además de las regaderas, se puede demandar agua de lavamanos, sanitarios y lavandería (es mejor programar la operación de la lavandería fuera de ese horario pico). El cliente potencial nos menciona que las regaderas de su hotel no son ahorradoras; demandan un flujo de agua de 8 L/min. Si operaran las 11 regaderas al mismo tiempo (no así sanitarios, lavamanos o lavandería), la demanda pico sería de 93.5 L/min, que equivalen a 24.7 gpm (de agua 85-15). Comparemos este valor con los 5.29 gpm que requerimos del suavizador gracias a que contamos con la cisterna que almacena agua suavizada 85-15.



Varias marcas de válvulas (como Clack y Canature, que ofrece Carbotecnia) permiten la regeneración con flujo ascendente, que ahorra entre el 15% y el 30% de la sal. Ya que el costo de suavización por concepto de consumo de sal representa la mayor parte del costo total de suavización (CAPEX más OPEX), vale la pena considerar el flujo ascendente (la válvula automática de instalación superior no cuesta más, aunque hay que definir si se desea hacer la regeneración con flujo ascendente, ya que en algunas válvulas no es posible, y en otras se requieren ciertos internos específicos). No obstante, ya que las fichas técnicas de las resinas reportan valores basados en regeneración con flujo descendente, en el caso del ejemplo que estamos abordando, consideraremos regeneración con flujo descendente.

#### Dimensionamiento del suavizador

Capacidad de suavización: 25,245 litros/día = 6,670 gal/día (agua antes de hacer la mezcla 85% - 15%)

Dureza del agua = 340 mg/L como  $\text{CaCO}_3$   
=  $(340/17.1) = 19.88$  gr/gal (como  $\text{CaCO}_3$ )

Dureza a retener:  
[[19.88 gr/gal) x (6,670 gal/día)]

= 132,600 gr/día (como  $\text{CaCO}_3$ ) (antes de hacer la mezcla 85% - 15%)

Uno de los valores que hay que calcular al inicio en el dimensionamiento de un suavizador es la cantidad de dureza que debemos retener por unidad de tiempo. En este caso, ya que el hotelero nos ha pedido que el suavizador no regenere más de una vez por día, calculamos la cantidad de dureza a retener por día cuando el hotel tenga ocupación total. El valor es 132,600 gr (en un día), considerando el agua antes de hacer la mezcla 85% -15%.

#### Resina que vamos a utilizar



Resinex™ K-8 FG is a high purity, premium grade, pretreated, strongly acidic gel-type cation exchange resin specially designed for residential drinking water treatment. The K-8 FG is a bead type, crosslinked, polystyrene divinylbenzene resin that offers excellent bead integrity and very low extractables. The product is highly suitable for a wide variety of drinking water treatment applications. Resinex™ K-8 FG has a light amber color and is specially pretreated to remove taste, odor and color throw.

En el caso del ejemplo, ofreceremos al cliente potencial utilizar la resina suavizadora (catiónica fuerte) tipo K-8FG de la marca Resinex. Es una

resina de muy buena calidad, muy adecuada para suavización de agua que se utilizará en casas y hoteles, con buen soporte técnico en México y competitiva económicamente.

#### Standard Design Conditions

Bed depth	> 700 mm
Service flow rate	2-5 gpm/ft <sup>3</sup>
Backwash expansion	50 - 75%
NaCl concentration for regeneration	8-15%
Regeneration level	80-300 g/l
NaCl flow rate for regeneration	0.25-0.50 gpm/ft <sup>3</sup>
Rinse rate (slow)	1-3 bed volumes at regeneration flow rate
Rinse rate (fast)	3-6 bed volumes at service flow rate
Turbidity	<5.0 NTU
Free chlorine	<1.0 ppm

En la ficha técnica (FT) de esta resina, encontramos que debemos operar con un flujo de servicio de entre 2 y 5 gpm por ft<sup>3</sup> de la misma. Este parámetro en realidad es el inverso de un tiempo de contacto en cama vacía (TCCV). Mientras mayor es el flujo de servicio, menor es el TCCV. Algunos ingenieros de proceso o diseñadores siempre dimensionan el suavizador con el valor máximo de flujo de servicio sugerido en la FT de la resina. De esta manera, el suavizador dimensionado es el de menor capacidad que puede instalarse. En Carbotecnia opinamos que este criterio no es el mejor, porque el suavizador operará en el límite. Algunos buenos diseñadores recomiendan dimensionar con el flujo de servicio más bajo recomendado cuando la dureza del agua a tratar es mayor a 500 mg/L (como CaCO<sub>3</sub>) y con el flujo de servicio más alto recomendado cuando la dureza del agua a tratar es baja: digamos, menor a 50 mg/L como CaCO<sub>3</sub>). No debemos dimensionar el suavizador con un flujo de servicio menor al recomendado ya que el flujo no tendrá la turbulencia suficiente para minimizar la resistencia a la difusión de los cationes divalentes hacia la superficie de la resina suavizadora, lo que disminuiría su eficiencia.

#### Primera estimación

Velocidad de flujo de servicio: 2 a 5 gpm/ft<sup>3</sup> (es el inverso del TCCV).

2 gpm/ft<sup>3</sup> cuando la dureza es alta (> 400 mg/L como CaCO<sub>3</sub>).

5 gpm/ft<sup>3</sup> cuando la dureza es baja (< 50 mg/L como CaCO<sub>3</sub>).

Elegimos 3 gpm/ft<sup>3</sup>

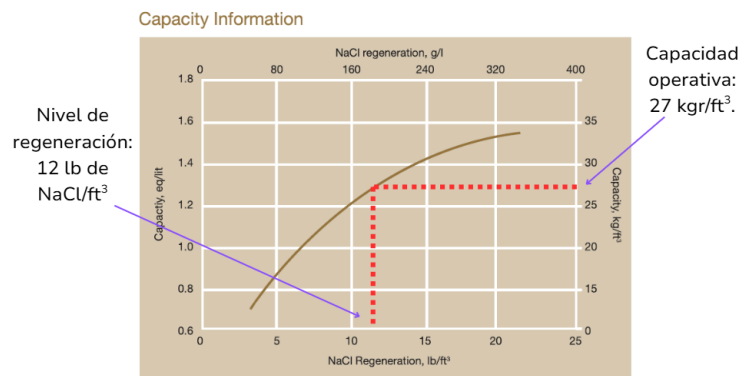
Volumen requerido de resina = 5.29 gpm/(3 gpm/ft<sup>3</sup>) = 1.76 ft<sup>3</sup> --> 2 ft<sup>3</sup>

Si la capacidad operativa de la resina es 25,000 gr/ft<sup>3</sup>, podremos retener 50,000 gr. Requerimos retener 132,600 gr/día. Por lo tanto, dimensionaremos el suavizador con capacidad para estos 132,600 gr/día (agua antes de la mezcla 85% - 15%).

En nuestro caso, elegimos dimensionar el suavizador con un flujo de servicio de 3 gpm/ft<sup>3</sup> (más cerca de 2 que de 5, tomando en cuenta que la dureza del agua a tratar está en un valor más cercano a 500 que a 50 mg/L). Al elegir este valor, calculamos que el volumen requerido de resina, suponiendo una capacidad operativa de 25,000 gr/ft<sup>3</sup> (que es un valor muy típico), es de 1.76 ft<sup>3</sup>. Hay que redondear este valor al entero superior, que es 2 ft<sup>3</sup>. Si instalamos un suavizador con 2 ft<sup>3</sup> de resina y la capacidad operativa de la misma es 50,000 gr/ft<sup>3</sup>, habría que regenerar cuando el suavizador ha retenido 50,000 gr de dureza. Esto significa que el suavizador no podría retener los 132,000 gr de dureza en un día (que es el máximo que requerimos retener, cuando el hotel esté lleno... y nos referimos al agua antes de hacer la mezcla 85% - 15%). Entonces, aunque

desde el punto de vista del flujo de servicio, un suavizador con 2 ft<sup>3</sup> de resina sería suficiente, desde el punto de vista de la cantidad de dureza máxima a retener por día, requerimos dimensionar un suavizador de mayor capacidad.

## Nivel de regeneración y capacidad operativa



Ahora sí determinemos la capacidad operativa que tendrá la resina Resinex K-8FG. Decidimos operar con un nivel de regeneración de 12 lb de sal (NaCl) por ft<sup>3</sup> de resina. Tomamos esta decisión porque si observamos la gráfica anterior, de Nivel de regeneración vs. Capacidad operativa, encontramos que, hasta dicho nivel de regeneración, no ha caído demasiado la pendiente de la curva. Mientras más cae la pendiente de la curva, la capacidad operativa (que es la capacidad de la resina para retener dureza entre una y otra regeneración) aumenta en menor proporción del aumento de la cantidad de sal aplicada por regeneración (es decir, del nivel de regeneración). Este valor de 12 lb de NaCl por ft<sup>3</sup> de resina lo elige la persona que dimensiona un suavizador. Algunas personas consideran que el máximo nivel de regeneración no debiera ser superior a 10 lb de NaCl por ft<sup>3</sup> de resina. El nivel de regeneración óptimo es el que genera un menor costo operativo (en términos de costo de sal, costo de agua y costo de mano de obra requeridos por metro cúbico de agua a suavizar). Habiendo decidido un nivel de regeneración de 12 lb de NaCl por ft<sup>3</sup> de, en la gráfica podemos leer que la capacidad operativa de la resina sería de 27 kg/ft<sup>3</sup> (27,000 gr/ft<sup>3</sup>).

## Dimensionamiento del suavizador

Dureza a retener: 132,600 gr/día (antes de hacer la mezcla 85% - 15%)

Capacidad operativa: 27 kg/ft<sup>3</sup> = 27,000 gr/ft<sup>3</sup>.

V resina  
= (132,600 gr) / (27,000 gr/ft<sup>3</sup>)  
= 4.9 ft<sup>3</sup> → 5 ft<sup>3</sup>.

Recipiente de composito de 18" x 65" (5 ft<sup>3</sup>).



Con el dato de la cantidad de dureza a retener en un día con el hotel lleno y el nivel de regeneración elegido, determinamos que requerimos un suavizador con 4.9 ft<sup>3</sup> de resina. Redondeamos al entero superior: 5 ft<sup>3</sup> de resina. Si utilizamos un recipiente de composito, el adecuado para este volumen de resina es el de 18" de diámetro y 65" de altura.

## Consumo de sal

Dureza a retener: 132,600 gr/día (antes de hacer la mezcla 85% - 15%)

Volumen de agua a tratar: 6,670 gal (25,245 L).

V resina que se satura por día: 4.9 ft<sup>3</sup>.

Nivel de regeneración: 12 lb/ft<sup>3</sup>.

Consumo de sal: 12 lb/ft<sup>3</sup> x 4.9 ft<sup>3</sup> = 58.8 lb = 26.7 kg

Consumo unitario de sal: 26.7 kg / 25.245 m<sup>3</sup> = 1.06 kg/m<sup>3</sup> (antes de hacer la mezcla 85% - 15%).

Después de hacer la mezcla 85% - 15%, el consumo de sal será (1.06 x 0.85 =) 0.9 kg/m<sup>3</sup>.



Un valor que es importante determinar en cuánto tenemos la capacidad operativa con la que operaremos la resina es la cantidad de sal que requerimos por m<sup>3</sup> de agua a suavizar. Como se observa, el consumo de sal es 1.06 kg/m<sup>3</sup> de agua sin mezclar, o 0.9 kg/m<sup>3</sup> de agua mezclada 85% - 15%.

### Standard Design Conditions

Bed depth	> 700 mm
Service flow rate	2-5 gpm/ft <sup>3</sup>
Backwash expansion	50 - 75%
NaCl concentration for regeneration	8-15%
Regeneration level	80-300 g/l
NaCl flow rate for regeneration	0.25-0.50 gpm/ft <sup>3</sup>
Rinse rate (slow)	1-3 bed volumes at regeneration flow rate
Rinse rate (fast)	3-6 bed volumes at service flow rate
Turbidity	<5.0 NTU
Free chlorine	<1.0 ppm

Volvemos a la tabla de condiciones de operación que debemos respetar al operar el suavizador y recordamos que el flujo de servicio debe estar entre 2 y 5 gpm/ft<sup>3</sup>.

### Dimensionamiento del suavizador

Flujo de servicio que calculamos para producir el agua suavizada que requerimos en 21 horas = 5.29 gpm (agua suavizada antes de mezclar).

Flujo de servicio: 5.29 gpm/ 5 ft<sup>3</sup> = 1.06 gpm/ft<sup>3</sup> (agua suavizada antes de mezclar).

La velocidad de flujo de servicio debe ser de entre 2 y 5 gpm/ft<sup>3</sup>.

2 gpm/ft<sup>3</sup> cuando la dureza es alta (> 400 mg/L como CaCO<sub>3</sub>).

5 gpm/ft<sup>3</sup> cuando la dureza es baja (< 50 mg/L como CaCO<sub>3</sub>).

Elegimos 3 gpm/ft<sup>3</sup>.

Flujo de servicio = (3 gpm/ft<sup>3</sup> x 5 ft<sup>3</sup> =) 15 gpm (agua suavizada antes de mezclar).

Suavizaremos los 6,670 gal en (6,670/15 =) 445 min = 7.4 h.

Encontramos que con el flujo instantáneo de 5.29 gpm (agua suavizada antes de mezclar) que habíamos calculado y que es el requerido para llenar la cisterna de 30,000 litros desde cero hasta 29,700 litros (agua suavizada mezclada, 85% - 15%), tendríamos un flujo de servicio de 1.06 gpm/ft<sup>3</sup>(agua suavizada antes de mezclar), que está fuera del rango requerido, que es de 2 a 5 gpm/ft<sup>3</sup>. Por la misma razón que habíamos mencionado anteriormente, elegimos operar el suavizador con un flujo de servicio de 3 gpm/ft<sup>3</sup>. Entonces, ya que el suavizador tendrá el flujo de operación tendrá 5 ft<sup>3</sup> de resina, operaremos con un flujo de servicio de 15 gpm (agua suavizada antes de mezclar). Entonces, cuando requiramos 29,700 litros de agua 85% - 15% en un día (25,245 litros de agua antes de mezclar, que equivalen a 6,670 gal), el suavizador llevará a cabo su función en 7.4 horas.

## Datos sobre el sistema de bombeo

No depender del bombeo de la red municipal.

Instalar bomba que lleve el agua de la cisterna de agua cruda a la cisterna de agua suavizada.

Son 7,847 gal en 7.4 h  
(17.67 gal/min) (agua mezclada  
85% - 15%)

Diámetro de tubería: 1 1/4"

No suavizar el agua de riego.

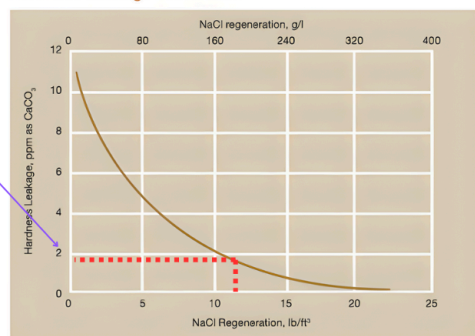


Respecto al sistema de bombeo: si el hotel no recibiera el agua de la red municipal en una cisterna, habría que construir o adquirir una. También habría que colocar una bomba que tomara el agua de dicha cisterna y la bombeara hacia el suavizador. La razón de esto es que no se debe depender de que en todo momento vayamos a recibir agua de la red municipal. Menos aún debemos depender de la presión con la que llega dicha agua. Para hacer circular los 17.67 gal/min de agua hacia el suavizador (85% que se van a suavizar y 15% que no se van a suavizar, el diámetro de tubería recomendada es por el que el agua circula a una velocidad cercana a 5 ft/s. El diámetro de dicha tubería es de 1 1/4". Finalmente, no debe suavizarse el agua de riego por tres razones: (a) No se requiere; (b) El sodio puede provocar que las plantas tomen un color amarillo; (c) Suavizar el agua de riego es un desperdicio de dinero.

## Fuga cinética o permanente

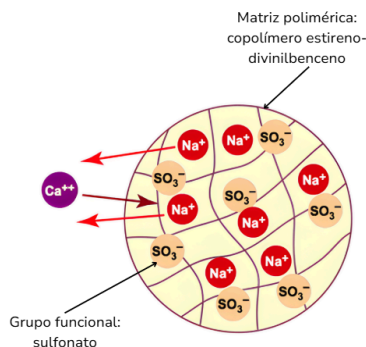
### Hardness Leakage Information

Fuga permanente:  
1.8 mg/L  
como  $\text{CaCO}_3$



Otra variable que podemos leer entre las gráficas que reporta la FT de la resina a utilizar es la fuga cinética (o permanente) de dureza. Esta depende del nivel de regeneración. Para 12 lb de  $\text{NaCl}/\text{ft}^3$  de resina, la fuga cinética es de 1.8 mg/L como  $\text{CaCO}_3$ . Esta fuga no tiene un efecto de importancia en el agua de una cama u hotel, pero puede tener un efecto muy negativo en algunas aplicaciones, como es la suavización de agua de alimentación a calderas.

## Resinas de mayor crosslink (mayor capacidad operativa y menor fuga de dureza cinética o permanente)



Para disminuir la fuga cinética de dureza, podemos llevar a cabo una o varias de las siguientes acciones: (a) Utilizar una resina de mayor *crosslink* y que, por lo tanto, tendrá una mayor concentración de grupos sulfonato, una mayor capacidad de intercambio y permitirá una menor fuga de dureza; (b) Colocar un segundo suavizador en serie, que retenga la fuga de dureza del primer suavizador; (c) Aplicar un mayor nivel de regeneración de la resina (una mayor cantidad de NaCl por ft<sup>3</sup> de resina; (d) Dimensionar el suavizador con un menor flujo de servicio, en términos de gpm/ft<sup>3</sup>, sin que el valor de este sea menor al mínimo recomendado (para evitar flujo laminar que permita una resistencia de los cationes divalentes a difundirse hacia las paredes de las partículas de resina.

## Caída de presión en la cama de resina

Flujo de servicio:  
15 gpm

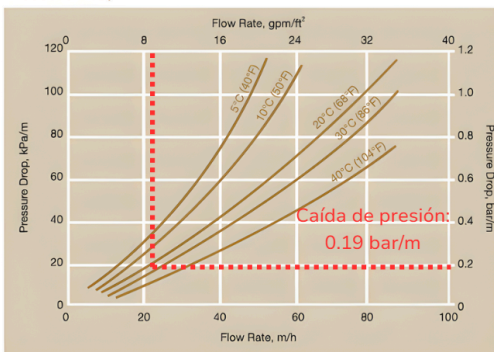
Área de sección del  
recipiente:  
A = 1.767 ft<sup>2</sup>.

Velocidad de flujo:  
(15/1.767 =)  
8.9 gpm/ft<sup>2</sup>.

Altura cama de resina  
(5/1.767 =)  
2.83 ft (860 mm).

Caída presión:  
(0.19/100x86 =)  
0.16 bar .

### Pressure Drop



La FT incluye una gráfica que permite estimar la caída de presión que sufrirá el agua al circular por la cama de resina. En la imagen se muestran los cálculos que hay que realizar para llevar a cabo la lectura y para determinar dicha caída de presión. Hay que recordar que esta caída de presión no incluye la que ocurre debido a la circulación del agua por la válvula de instalación superior.

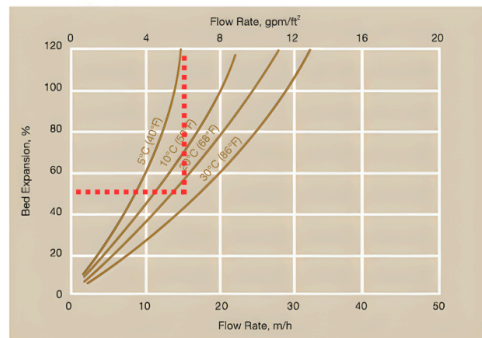
## Flujo de retrolavado

Expansión de cama:  
50%

Velocidad de  
flujo de retrolavado:  
6 gpm/ft<sup>2</sup>.

Flujo de retrolavado:  
(6 x 1.767)  
= 10.6 gpm  
(es menor que el flujo  
de servicio, que es de  
15 gpm)

### Backwash Expansion



También incluye una gráfica que permite determinar el flujo de retrolavado. Este debe ser el que provoque una expansión de la cama de al menos 50% y debe considerar la temperatura de agua de retrolavado. Mientras mayor es la temperatura del agua, la expansión de la cama es mayor, ya que la viscosidad del agua es menor.

## Salmuera

26.4%  
NaCl

1.5 h  
a 20°C



Cuando se inundan los pélets, cristales o gránulos de sal en agua, en una hora y media se ha formado la salmuera saturada, en la que el cloruro de sodio está a una concentración de 26.4%.

### Volumen de salmuera saturada requerida (26.4%)

Nivel de regeneración = 12 lb NaCl/ft<sup>3</sup>.

Masa de NaCl requerida = 12 lb NaCl/ft<sup>3</sup> x 5 ft<sup>3</sup> = 60 lb NaCl = 27.24 kg NaCl.

Concentración de NaCl en salmuera saturada = 26.4%

Masa de salmuera saturada requerida = 27.24 kg NaCl x 100/26.4 = 103.2 kg.

Densidad de la salmuera saturada = 1.2 kg/L.

Volumen de salmuera saturada requerida = (103.2 kg) / (1.2 kg/L) = 86 L

La imagen muestra los cálculos que hay que realizar para determinar el volumen de salmuera saturada que se requiere.

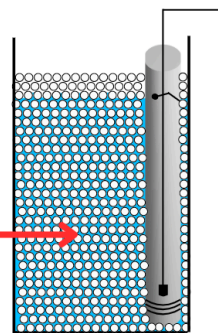
### Dimensionamiento del tanque de salmuera

Considerando una porosidad de la sal en pélet de 40%:

Volumen de tanque de salmuera en el que se encuentran los 86 litros de salmuera saturada:

86 L/0.4 = 215 L

La parte de fondo azul



Como dijimos anteriormente, siempre debemos mantener el nivel de sal por encima del nivel de líquido en el tanque de salmuera. Esto es así, ya que en el dimensionamiento del tanque de salmuera, se considera que el espacio vacío entre las partículas de sal (pélets, cristales o gránulos) es de alrededor del 40%. Por lo tanto, el volumen de tanque que contiene la cantidad de salmuera que requerimos es este último dividido entre 0.4.

Debe ajustarse la altura de la válvula de flotador en el tanque de salmuera



Cuando coloquemos el tubo por el que se succiona la salmuera, que es el mismo por el que el tanque de salmuera se llena de agua, debemos colocar la válvula de flotador e la altura adecuada para que el volumen de salmuera a formar y a succionar sea el que corresponde al nivel de regeneración con el que hicimos el dimensionamiento del suavizador (es decir, con las libras de NaCl que alimentaremos al suavizador por ft<sup>3</sup> de resina).

#### Standard Design Conditions

Bed depth	> 700 mm
Service flow rate	2-5 gpm/ft <sup>3</sup>
Backwash expansion	50 - 75%
NaCl concentration for regeneration	8-15%
Regeneration level	80-300 g/l
NaCl flow rate for regeneration	0.25-0.50 gpm/ft <sup>3</sup>
Rinse rate (slow)	1-3 bed volumes at regeneration flow rate
Rinse rate (fast)	3-6 bed volumes at service flow rate
Turbidity	<5.0 NTU
Free chlorine	<1.0 ppm

La salmuera de inyección es la mezcla de agua que ocurre en el vénturi (o inyector) con el que cuentan las válvulas de instalación superior. Esta mezcla suele ser cercana a dos volúmenes de agua por volumen de resina saturada. Por lo tanto, la concentración de la salmuera de inyección suele tener una concentración de NaCl cercano al 8%. El flujo al que se debe regenerar la resina se reporta en la tabla de condiciones de operación que incluye la FT de la resina. Aunque esta tabla menciona el volumen de salmuera concentrada que se requiere, el valor preciso de la misma es el que contiene las libras de sal por ft<sup>3</sup> con las que se requiere regenerar el suavizador. El enjuague lento consiste en agua que se alimenta al suavizador al mismo flujo al que se alimentó la salmuera de inyección. Su función es desplazar la salmuera de inyección que se estuvo inyectando. Para realizar el enjuague lento, las válvulas de instalación superior no realizan movimiento alguno. Simplemente, la pichancha que se encuentra en la parte inferior del tubo de succión (y llenado) se cierra cuando el nivel de salmuera concentrada llega a la altura de esta pichancha mientras el vénturi succiona la salmuera saturada. El enjuague rápido también se hace con agua y tiene otra función: eliminar el cloruro de sodio que aún queda en la cama de resina después del enjuague lento. El enjuague rápido ha logrado su función cuando el agua que sale de la cama de resina ya no contiene cloruro de sodio. Este enjuague se lleva a cabo al flujo de servicio.

Formas en las que se ofrece comercialmente la sal para regenerar resinas suavizadoras



Pélets



Granular (en grano)



Cristales

Hay que recordar que se puede utilizar sal en pélet, en cristales o en granos, y que lo importante es el grado de pureza de la misma. También hay que recordar que si utilizamos sal comestible, no daña a la resina (aunque tenga yodo y flúor) aunque no es conveniente ya que la sal comestible tiene un mayor precio.

## Gracias por su atención

Tel. + 52 33 3834-0906  
ventas@carbotecnia.com.mx

**Carbotecnia**  
PURIFICACIÓN AVANZADA