



CALIDAD DE AGUA PARA GENERADORES DE VAPOR

TABLA DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN

OPERACIÓN DE LA CALDERA

- Producción de Vapor
- Agua de alimentación a la caldera
- Presiones en Calderas.....
- Capacidades de Calderas.....

CONTROL DE LA CALIDAD DEL AGUA

- Consideraciones en el agua de alimentación
- Control de Sólidos Disueltos Totales
- Control de Alcalinidad
- Control de la Dureza Total
- Sumario de la Calidad del Agua

CALCULO DE UN SUAVIZADOR

- Análisis de la Dureza en el Agua
- Determinar el volumen de agua de alimentación
- Selección del suavizador
- Capacidad en los Suavizadores
- Frecuencia de Regeneración en un Suavizador
- Tecnología en el diseño y operación

BIBLIOGRAFÍA



INTRODUCCIÓN

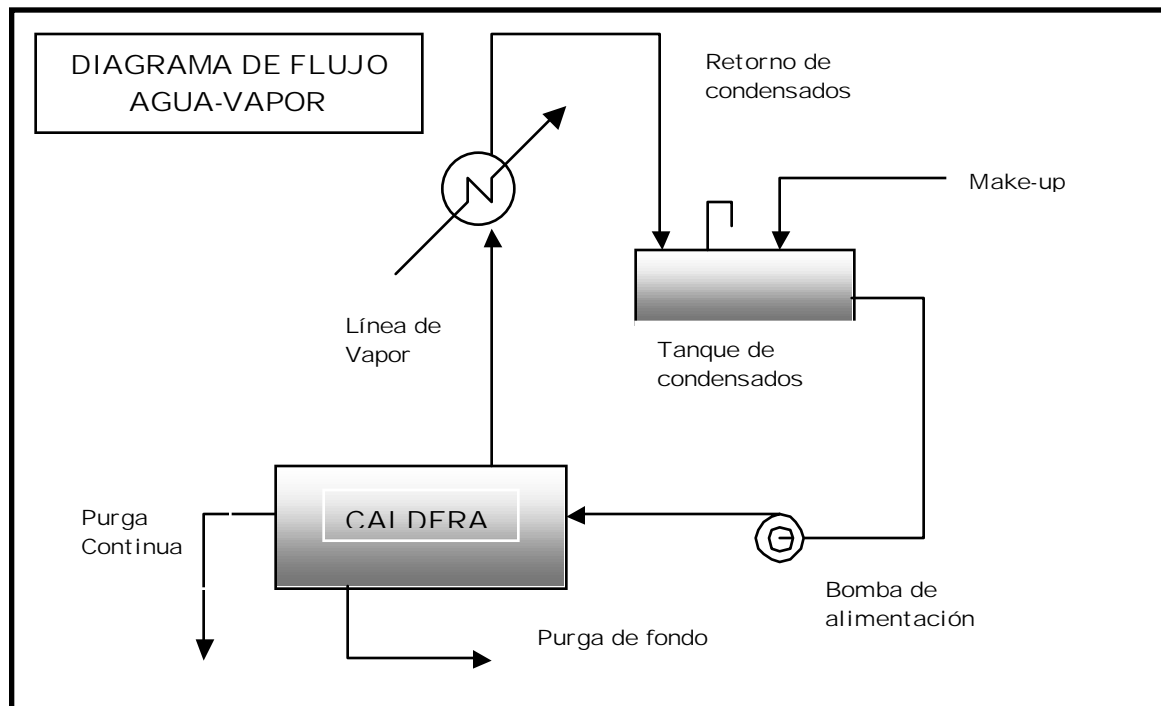
Una de las aplicaciones mas comunes para el Suavizador de Intercambio Iónico ; es el suavizar el agua para alimentación a las calderas de vapor . La mayoría de las Industrias y muchos establecimientos comerciales necesitan Vapor. El Vapor es empleado en las fabricas textiles para producir , formar y teñir los productos . Las tintorerias emplean Vapor para planchar la ropa. Las compañías empacadoras y de alimentos emplean Vapor para cocinar y procesar alimentos. Las panaderias preparan el pan con Vapor . Las Cervecerias emplean Vapor para producir la Cerveza.

Las Calderas son frecuentemente empleadas para calentar agua en hoteles , hospitales , lavanderias y grandes construcciones. Este opera muchas de las Turbinas empleadas para producir energía eléctrica . Como regla general , las grandes fabricas o operaciones industriales , son los mas adecuados lugares que hay para buscar uno o mas generadores de vapor en operación.

OPERACIÓN DE LA CALDERA

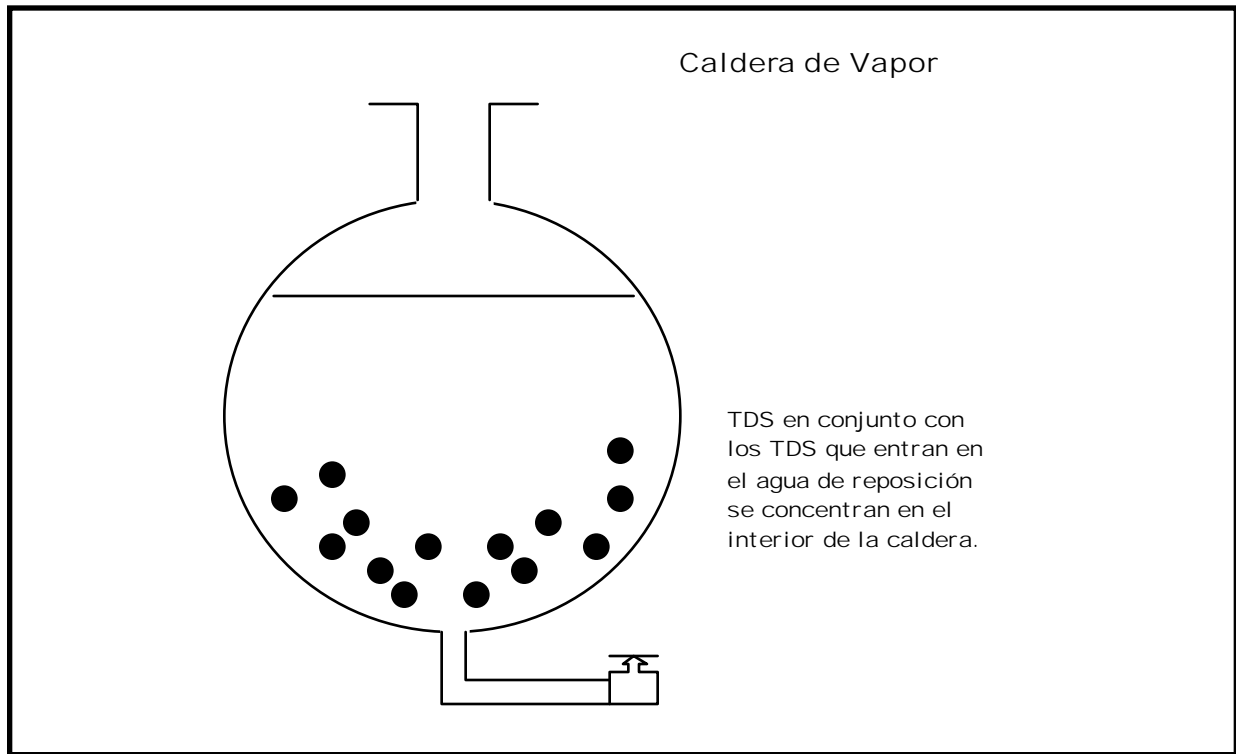
Producción de Vapor

La Mayoria de las Calderas o Generadores de Vapor tienen muchas cosas en comun . Normalmente en el fondo esta la camara de combustión o el horno en donde es mas económico introducir el combustible a traves del quemador en forma de flama . El quemador es controlado automáticamente para pasar solamente el combustible necesario para mantener la presión en el vapor deseada. La flama o el calor es dirigido o distribuido a las superficies de calentamiento , que normalmente son tubos , fluxes o serpentines . en algunos diseños el agua fluye a traves de los tubos o serpentines y el calor es aplicado por fuera , este diseño es llamado “Calderas de Tubo de Agua” . En otros diseños de calderas , los tubos o fluxes estan sumergidos en el agua y el calor pasa en el interior de los tubos , estas son llamadas “Calderas de Tubos de Humo”. Si el agua es sujeta tambien a contacto con el humo o gases calientes mas de una vez , la caldera es de doble , triple o multiples pasos.



El agua calentada o vapor se levanta de la superficie del agua se vaporiza y es colectada en una o varias camaras o tambores . El tamaño del tambor determina la capacidad de producción de vapor . En la parte superior del tambor de vapor se encuentra la salida o el llamado “Cabezal de vapor” , desde donde el vapor es conducido por tuberías a los puntos de uso. En la parte superior del hogar mecánico se encuentra una chimenea de metal o de ladrillo , la cual conduce hacia fuera los productos de la combustión como gases. En el fondo de la caldera , normalmente opuesto del hogar mecánico , se encuentra una válvula de salida llamada “purga de fondo” . Por esta válvula salen del sistema la mayoría del polvo , lodos y otras sustancias no deseadas , que son purgadas de la caldera.

En conjunto a la caldera existen múltiples controles de seguridad , para aliviar la presión si esta se incrementa mucho , para apagar la flama si el nivel del agua es demasiado bajo o para automatizar el control de nivel del agua. Un tubo de vidrio con una columna de agua generalmente se incluye , para mostrarle al operador el nivel interno del agua en la caldera.



Agua de alimentación a Caldera

El agua de alimentación a la caldera es comúnmente almacenado en un tanque , con capacidad suficiente para atender la demanda de la caldera , Una válvula de control de nivel mantiene el tanque con agua , una bomba de alta presión empuja el agua hacia adentro de la caldera , se emplean bombas de presión debido a que generalmente las calderas operan a presiones mucho mas elevadas que las que encontramos en los tanques de agua.

Vapor limpio es agua pura en forma de gas , cuando el vapor se enfria se condensa es agua pura , normalmente conocida como “condensados” . Normalmente estos condensados contienen una gran cantidad de calor que puede ser empleada . Estos condensados son casi perfectos como “make-up” o alimentación a la caldera una vez que ha sido degasificada para eliminar los gases disueltos como el oxígeno.



Esto siempre y cuando es posible si los condensados son retornados a la caldera y colectados en un tanque conocido como “tanque de condensados” . Cuando el condensado es recuperado en un tanque de este tipo , generalmente se elimina del diseño el tanque del “make-up” .

En algunas instalaciones , el retorno de condensados puede llegar a ser del 99% casi supliendo el agua de make-up . A mayor porcentaje de recuperación de condensados será menor el agua de alimentación a la caldera o make-up. Hay otras instalaciones que probablemente requieran emplear el 100% de make-up , esto puede ser por varias razones , como que el condensado no se puede recuperar o que el condensado esta contaminado por alguna parte del proceso.

Presiones en la caldera

La temperatura y la presión en la operación de cada caldera definitivamente estan relacionadas , como se muestra en la siguiente tabla:

Punto de Ebullición del agua A Diferentes Presiones		
Temperatura		Presión
oF	oC	P.S.I.
212	100	0
300	149	52
400	204	232
500	260	666
600	316	1529
700	371	3080
705	374	3200

A presión atmosferica normal el agua tiene un punto de ebullición a 100oC , a mayor presión el punto de ebullición se incrementa , hasta alcanzar un máximo punto de ebullición a 374oC a una presión de 3200 libras por pulgada2 (220.63 bars). Por encima de esta temperatura el agua no existe como liquido.



Capacidades de Caldera

Las calderas son catalogadas en base a la cantidad de vapor que ellas pueden producir en un cierto periodo de tiempo a una cierta temperatura. Las calderas mas grandes producen 1'000,000 de libras por hora o son catalogadas en base a 1 “caballo de fuerza” o “caballo vapor caldera” por cada 34.5 libras de agua que pueden ser evaporadas por hora. Otra definición es 1 “caballo de fuerza” por cada 10 pies² de superficie de calentamiento en una caldera de tubos de agua o 12 pies² de superficie de calentamiento en una caldera de tubos de humo.

CONTROL DE CALIDAD DEL AGUA

Consideraciones en al agua de alimentación

Las calderas necesitan pre tratamiento externo en la alimentación del agua o make-up dependiendo del tipo de caldera , la presión de operación , o del sistema total . Tratamiento químico interno es necesario , dependiendo del tratamiento externo del agua. El tratamiento externo del agua reduce la dosificación de productos químicos y los costos totales de operación . Esta publicación esta enfocada principalmente a la reducción de Dureza Total en el agua mediante equipos de intercambio iónico. Los Solidos Disueltos Totales y la Alcalinidad son tambien muy importantes por lo que los vamos a comentar en forma mas superficial.



Control de Solidos Disueltos Totales

Cuando el agua es evaporada y se forma vapor , los minerales o solidos disueltos y suspendidos en el agua , permanecen dentro de la caldera . El agua de reposición contiene una carga normal de minerales disueltos , estos hacen que se incrementen los solidos disueltos totales dentro de la caldera. Después de un periodo de tiempo los solidos disueltos totales (TDS) alcanzan niveles críticos dentro de la caldera. Estos niveles en calderas de baja presión se recomienda que no excedan 3500 ppm (partes por millon o miligramos por litro) . TDS por encima de este rango pueden causar espuma , lo que va a generar arrastres de altos contenidos de TDS en las líneas de vapor , las válvulas y las tramas de vapor. El incremento en los niveles de TDS dentro de la caldera es conocido como “ciclos de concentración” , este termino es empleado muy seguido en la operación y control de la caldera . Agua de alimentación que contiene 175 ppm de TDS puede ser concentrada hasta 20 veces para alcanzar un máximo de 3500 ppm . Para explicar mejor los ciclos de concentración empleamos el siguiente ejemplo , si nosotros tenemos 20 botellas de un galon , cada una de ellas contiene 175 ppm de TDS y 19 de estas botellas es evaporado , dejando el contenido de solidos de 175 ppm de cada uno dentro de la ultima botella de agua , la mezcla de las sales de las 19 botellas con la ultima botella de agua nos dará como resultado 20 ciclos de concentración. Recordemos que la máxima cantidad recomendada de solidos disueltos totales TDS en una caldera de baja presión es de 3500 ppm . En Calderas de mayores presiones de operación los límites de TDS disminuyen en relación a la presión de operación. En el tema “Sumario de la Calidad del Agua” (adelante en esta sección) encontraremos la Tabla A en donde se ilustra este factor.

Para controlar los niveles máximos permisibles de TDS , el operador debe de abrir en forma periódica la válvula de purga de la caldera. La purga es el primer paso para el control del agua en la caldera y esta debe de ser en periodos o intervalos de tiempo . La frecuencia es dependiendo la cantidad de TDS en el agua de reposición y de la cantidad de agua de reposición introducida . En calderas grandes o más críticas las purgas deben de ser automáticas o continuas.



Control de la Alcalinidad

Adicionalmente al control de los ciclos de concentración de los TDS , la alcalinidad debe de ser considerada con mucha precaución. Los niveles de alcalinidad cuando se tienen calderas de baja presión , no deben de exceder las 700 ppm . La presencia de alcalinidad por encima de los 700 ppm puede resultar en un rompimiento de los bicarbonatos produciendo carbonatos y liberando CO₂ (dióxido de carbono) libre en el vapor . La presencia de CO₂ en el vapor generalmente se tiene como resultado un vapor altamente corrosivo , causando daños por corrosión en las líneas de vapor y retorno de condensados.

El nivel de alcalinidad generalmente controla el total de ciclos de concentración en la caldera. Si el agua de reposición contiene 70 ppm de alcalinidad total en una caldera que no deba de exceder la concentración de 700 ppm se podrá operar a 10 ciclos de concentración ($700 \text{ ppm} / 70 \text{ ppm} = 10 \text{ ciclos}$) . Revisando el ejemplo previo si se considera que esta caldera no debe de exceder los 3500 ppm de TDS en el interior de la caldera , y si el agua de reposición tiene 175 ppm de TDS esto significa que en base a TDS el agua puede operar a 20 ciclos de concentración ($3500 \text{ ppm} / 175 \text{ ppm} = 20 \text{ ciclos}$) . Pero si nosotros basamos nuestros ciclos de concentración en los TDS , la alcalinidad en el interior de la caldera alcanzara los 1400 ppm ($70 \text{ ppm de alcalinidad} \times 20 \text{ ciclos} = 1400 \text{ ppm}$) , se excedera el límite de los 700 . Por lo tanto la purga en la caldera en este ejemplo deberá de ser realizada en base a la alcalinidad y no en base a los TDS. Aunque este artículo no esta enfocado a la alcalinidad o el tratamiento de la alcalinidad , pero debe de ser obio que es mejor tener menor purga en la caldera o mayor numero de ciclos de concentración (la purga se convierte en perdida de calor y energía) por lo tanto en algunas ocasiones un Dealcalinizador debe de ser empleado. La reducción de la alcalinidad puede hacer que el control de la purga y los ciclos de concentración se realice en base a los niveles de TDS.

La dealcalinización es un proceso por el cual agua suavizada es pasada hacia una unidad que contiene resina aniónica. La resina aniónica remueve aniones como sulfatos , nitratos , carbonatos y bicarbonatos , estos aniones son reemplazados por cloruros . Sal (cloruro de sodio) es empleada para regenerar la resina aniónica cuando esta se satura.



La necesidad de emplear agua suavizada en el equipo Dealcalinizador es por el peligro de precipitación de carbonato de calcio y de hidroxido de magnesio en la cama del Dealcalinizador . Por lo cual , la cama de intercambio iónico del anión obstruira con materia suspendida. Esto es por que la resina del Dealcalinizador es mas ligera que la convencional de un suavizador , por lo tanto el retrolavado es mucho menor y este es insuficiente para remover la materia suspendida,. Emplear un suavizador como pre tratamiento sirve ademas de eliminar la dureza del agua como protección al Dealcalinizador.

La concentración permitida en el interior de la caldera de TDS al igual que de alcalinidad va disminuyendo a medida que la capacidad de las caldera de presión se va incrementando . Esto se puede observar en la Tabla A incluida en el sumario de calidad de agua.

Control de Dureza Total

Hasta ahora hemos descrito en pocas palabras lo correspondiente a la concentración de TDS y alcalinidad dentro de la caldera , el tratamiento y efecto de la dureza total en el agua debe de ser revisada al detalle.

La formación de incrustación en las superficies de la caldera es el problema mas serio encontrado en la generación de vapor.



La primera causa de la formación de incrustación , es debido al hecho de que la solubilidad de las sales decrese a medida de que se incrementa la temperatura aumentando la facilidad de precipitación. Consecuentemente , la alta temperatura (y presión) en la operación de las calderas , las sales se vuelven mas insolubles , la precipitación o incrustación aparece . Esta incrustación puede ser prevenida de ser formada en las calderas mediante el empleo de un tratamiento externo. (suavizador) . Como sea para alcanzar un alto grado de eficiencia , se recomienda el control de la duraza antes de entrar a la caldera , el suavizador en si mismo es un medio muy adecuado para proteger a la caldera de incrustación. El uso de tratamiento internos (productos químicos) , son empleados como complementos , para mantener un control de la incrustación en la caldera altamente efectivo. En todos los casos , se tendra un pequeño remanente de dureza en el agua de alimentación a la caldera , incluso en el agua suavizada , ademas de encontrar otras sales presentes . Por lo tanto el uso de compañías proveedoras de productos químicos para el tratamiento de la caldera es necesario. La presencia de incrustación en la caldera es equivalente a extender una pequeña capa de aislamiento a lo largo y en toda el área de calentamiento , esta material aislante térmico va a retardar y7o impedir la transferencia del calor , causando perdidas de eficiencia en la caldera , por lo tanto incrementa el consumo de energía.

Un estudio realizado por la WQA (Water Quality Association) en 1980 en calentadores convencionales residenciales , demostro un efecto muy significativo en la eficiencia de transferencia de calor , cuando la incrustación estaba presente. La incrustación presente en esos sistemas resulto en un consumo adicional del 22% en BTU's en unidades operadas con gas y en un 17% en unidades operadas con electricidad.

Además mas importante que el efecto de perdida en la transferencia de calor e incremento en consumo de energía , es que la incrustación puede causar un sobre calentamiento en el metal de los tubos de la caldera , generando fallas de rompimiento en los tubos. Este problema requiere una costosa reparación ademas de tener que sacar a la caldera del servicio. En las calderas modernas con alta eficiencia de transferencia de calor , la presencia e incluso extremadamente delgada de incrustación , puede causar una muy seria elevación de la temperatura en los tubos de metal. La cubierta de incrustación retarda el flujo de calor del horno hacia el agua para generar vapor , esta resistencia al calor resulta en un rapido incremento en la temperatura del metal al punto en donde se presenta la falla. El posible daño causado en la caldera no es solo costoso , además es muy peligroso debido a que la caldera opera a presión.



Un hecho real ofrecido en esta publicación , es que la presencia de cualquier tipo de incrustación en la caldera debe de ser considerada con mucha importancia. Como se comento la incrustación puede ser prevenida de formarse en las calderas de forma interna (productos químicos) y/o externa (suavizador). Como sea el tratamiento interno solo es mas costoso y se incrementa a elevados rangos de dureza. El uso de un suavizador de agua en conjunto con un tratamiento químico es más efectivo , confiable ,seguro y económico , significa control de la calidad del agua en una caldera.

Sumario de calidad del Agua

Antes de discutir técnicas de selección de un equipo suavizador de agua , permitanos revisar rápidamente la calidad del agua en las tres principales áreas , TDS (sólidos disueltos totales) ,alcalinidad y dureza.

- **Solidos Disueltos Totales (TDS)**
La concentración máxima de TDS en una caldera de baja presión es 3500 ppm
- **Alcalinidad**
La concentración máxima de alcalinidad en una caldera de baja presión es 700 ppm
- **Dureza**
La dureza máxima permitida en cualquier caldera , debe de ser prácticamente “cero” ppm.



TABLA A				
Calidad recomendada para Calderas				
Caldera de Vapor	Máximo	Máximo	Máximo	
Presion (PSI)	TDS (ppm)	Alcalinidad	Dureza	
menor	300	3500	700	20
301	450	3000	600	0
451	600	2500	500	0
601	750	2000	400	0
751	900	1500	300	0
901	1000	1250	250	0
1001	1500	1000	200	0
1501	2000	750	150	0
2001	3000	150	100	0

Obviamente en la presente tabla , se indica que a mayor presión en una caldera , el proceso y la necesidad de tener mejor calidad de agua es necesario.

CALCULO DE UN SUAVIZADOR

El procedimiento para seleccionar un suavizador adecuado para la alimentación del agua a la caldera , muchas consideraciones deben de ser revisadas . De entrada y es básico obtener un análisis del agua , los caballos de vapor de la caldera y la información pertinente sobre la recuperación de vapor en condensados . Cada una de esta áreas debera de ser calculada antes de comenzar el proceso de slección del suavizador.

Análisis de la Dureza en el Agua

La dureza en el agua esta formada de calcio y magnesio , La dureza en diferentes fuentes naturales de agua puede variar en forma muy considerable , depende de cada tipo de fuente de donde el agua es obtenida . Algunas zonas en el país que tienen formaciones de piedra caliza , el agua generalmente tiene alto contenido de dureza . El agua superficial esta generalmente diluída con agua de lluvia , el agua de la lluvia que cae en la tierra , se va filtrando pasando por diferentes capas de la tierra , en muchas de ellas va diluyendo sales y principalmente dureza.



El grado de dureza en cada lugar nunca deberá de ser asumida. Se debe de hacer todo el esfuerzo posible para obtener un análisis del agua en el lugar en donde se va a instalar la caldera. Esto nos va a asegurar una alta eficiencia en el proceso de selección del suavizador.

El orden para seleccionar un suavizador de agua , comienza con determinar como primer paso la cantidad de dureza . Muchos de los análisis del agua expresan la dureza en “partes por millon” (ppm) . Las partes por millon deben de convertirse a “granos por galón” (gpg) , para poder calcular el tamaño del suavizador. Para convertir la dureza expresada en ppm a gpg hay que dividir los ppm entre 17.1 . Ejemplo: si nos reportan una dureza total de 342 ppm se convierte de dividiéndola entre 17.1 por lo tanto equivale a $342 / 17.1 = 20$ gpg (granos por galón) . Esta medida significa cuantos granos de resina se necesitan para suavizar un galón de agua.

Determinar el volumen de agua de reemplazo

Para determinar la cantidad de agua empleada para alimentar una caldera , se necesita hacer algunos calculos ; para convertir la capacidad promedio de la caldera a abastecimiento máximo de agua en galones . La capacidad promedio de una caldera es expresada de muchas maneras , como sea todas se pueden convertir a el factor comun que es “Caballos Vapor Caldera” . Por cada caballo vapor caldera , la caldera requiere alimentarse con 4.25 gallones por hora. Para convertir la capacidad de la caldera expresada en otras unidades le anexamos la siguiente tabla de referencia.

Capacidad de la caldera	Factor de Conversión (HP)
Libras de Vapor por hora	Divide / 34.5
BTU's	Divide / 33,475
Pies cuadrados - tubo de agua	Divide / 10
Pies cuadrados - tubo de humo	Divide / 12



Una vez determinada la capacidad de la caldera en caballos de fuerza , dos factores adicionales hay que considerar dos factores adicionales , primero hay que calcular la cantidad de agua necesaria de abastecimiento a la caldera en un periodo de 24 horas. Es primero para poder determinar la cantidad de condensados que se recuperan. La cantidad de condensado recuperado en una caldera es una información vital en la selección de un suavizador . El operador de la caldera o el ingeniero de diseño generalmente conocen esta información . La cantidad de condensados recuperada es restada de la capacidad máxima de alimentación a la caldera , calculada de los caballos vapor o caballos de fuerza. La cantidad neta se obtiene del resultado de la cantidad máxima en base a los caballos de vapor , menos la cantidad de condensados recuperados en el sistema.

Un método muy preciso para determinar la cantidad neta de agua de reposición a la caldera por cada hora , o el porcentaje de condensado recuperado , puede ser sencillo de determinar en calderas en operación mediante la comparación del análisis del agua del condensado en el tanque de recuperación y del agua de reposición. En la comparación de estos dos flujos de agua uno puede ser muy preciso en la determinación de la cantidad de condensados recuperados en el sistema. Ejemplo: El tanque de condensados el agua contiene 300 ppm de sólidos disueltos totales (TDS) y con el dato conocido de que el agua de alimentación contiene 600 ppm de TDS , esto indica que tenemos un retorno de condensados del 50%. Como se describió antes en esta publicación , el condensado tiene prácticamente cero de TDS , cuando este llega al tanque de condensados . Por otra parte el agua de repuesto tiene 600 ppm de TDS , diluida entre cero ppm del condensado , el agua mezclada entre si , al tener 300 ppm es en resultado de una dilución al 50% , lo que significa un retorno de condensados del 50%.

El último paso en la recopilación de información para nuestro proceso de selección de un suavizador , es obtener el número de horas al día en que la caldera está en operación . Esto no es solo importante en la determinación del volumen de agua para alimentar la caldera , también es importante esta información para determinar el diseño de nuestro sistema de suavización. Una caldera que opera las 24 horas del día , necesitará agua suavizada todo el tiempo, por lo tanto en el diseño se tiene que considerar dos unidades. En sistemas en donde la operación es solamente 16 horas al día , un suavizador sencillo o de una unidad cumple con las necesidades de la caldera. El tiempo típico para regenerar un suavizador es menor a tres horas.



Selección del Suavizador

Ahora ya estamos listos para procesar un cálculo típico para seleccionar un suavizador , la información debera de ser primero reunida , basada en todos los aspectos mencionados en esta sección. Una lista de todos los factores de diseño , deberá de ser primero realizada. Lo siguiente representa una caldera típica , de donde nosotros calcularemos la demanda de un suavizador.

- **Determinar la Dureza en el agua**

El análisis recibido o muestreado es en partes por millón (ppm) , convertirlo a granos por galon (gpg) , dividiéndolo entre 17.1 ; $342/17.1 = 20$ gpg

- **Determinar los caballos vapor caldera (caballos de fuerza)**

Si la capacidad de la caldera la tenemos en libras por hora de vapor. Convertirla a caballos (HP) , 3450 libras por hora entre 34.5 = 100 HP (ver tabla de conversión)

- **Determinar la alimentación de agua máxima a la caldera**

La capacidad de la caldera es de 100 HP (caballos de fuerza) , convertir los HP a galones de agua por hora necesarios para alimentar la caldera , $HP \times 4.25$ galones por hora , $100 \times 4.25 = 425$ galones por hora

- **Determinar la cantidad de condensados de retorno o recuperados , y determinar la alimentación neta a la caldera.**

La alimentación de diseño es de 425 galones por hora , si el retorno de condensados es del 50% , por lo tanto 212.5 galones , la alimentación neta será de $425 - 212.5 = 212.50$ galones por hora.

- **Determinar la alimentación total requerida por día**

212.50 galones por hora , si el sistema opera 16 horas por día , 212.50×16 horas = 3400 galones por día.

- **Determinar los granos totales de dureza a remover por día**

3400 galones por día con una dureza de 20 gpg (granos por galón) será $3400 \times 20 = 68,000$ granos de dureza se necesita remover al día.



La información lograda en los seis pasos anteriores nos ofrece la cantidad de dureza a remover al día , esto nos ofrece la información básica para poder seleccionar el suavizador. Debido a la natural importancia de obtener agua suavizada como alimentación a la caldera , debemos de considerar un margen de error en la selección del suavizador. Este margen es comun el 15% , multiplicando los 68,000 granos por 1.15 la demanda total a remover sera de 78,200 granos por día.

Capacidades promedio del Suavizador

En la selección de un suavizador de agua , primero hay que estar familiarizado en cuales son las capacidades de un suavizador . Obviamente los esfuerzos realizados para calcular los granos totales necesarios para suavizar un volumen especifico de agua con una dureza especifica , nos sirven para seleccionar algun suavizador en base a su capacidad . Cuando se revisa la información técnica de un suavizador se observara que la mayoría de ellos siempre vienen especificados a su capacidad máxima de intercambio en granos . En nuestro ejemplo para remover 78200 granos al día , la selección no debe de realizarse en la capacidad máxima de granos del suavizador , hacer esto tendra como resultado una ineficiente operación en terminos de consumo de sal. La selección debe de realizarse en base a la capacidad baja o media de granos del suavizador . Para demostrar esto en el ejemplo anterior , vamos a revisar la operación en los tres niveles de capacidad , los tres niveles convencionales para los suavizadores son:

30,000 granos por pie³ de resina (regenerando con 15 libras de sal por pie³ de resina)

25,000 granos por pie³ de resina (regenerando con 10 libras de sal por pie³ de resina)

20,000 granos por pie³ de resina (regenerando con 5 libras de sal por pie³ de resina)

Si nosotros aplicamos mediante una sencilla regla de tres , lo anterior a nuestro ejemplo , podremos observar los beneficios en forma muy tangible , ademas de observar un ahorro real del 50% en el consumo de sal , a continuación le ofrecemos los resultados de nuestro ejemplo , en donde necesitamos remover 78,200 granos por día por lo tanto:

78,200 gpg / 30,000 granos pie³ = 2.60 pies³ X 15 libras de sal = 39.09 libras de sal al día

78,200 gpg / 25,000 granos pie³ = 3.12 pies³ X 10 libras de sal = 31.28 libras de sal al día

78,200 gpg / 20,000 granos pie³ = 3.91 pies³ X 5 libras de sal = 19.55 libras de sal al día



Por lo que recomendamos cada vez que se seleccione un suavizador , se considere que tan eficiente lo queremos diseñar , en nuestro ejemplo si diseñamos en base a 15 libras para regenerar un pie³ de resina , es decir a la capacidad máxima de intercambio , probablemente seleccionemos un equipo mas pequeño pero muy ineficiente en el consumo de sal , seleccionando en el nivel de 5 libras por pie³ de resina , es decir en su nivel bajo de capacidad lograremos un ahorro del 50% en el consumo de sal. Si la planta opera 365 días al año el ahorro en el consumo de sal será de $39.09 - 19.55 = 19.54$ libras X 365 días = 7132.10 libras por año (3235 kilos) , recordemos que nuestro ejemplo es una caldera pequeña.

Es importante mencionar que el empleo de la máxima , media o baja capacidad solamente afecta en el consumo de sal , pero cualquiera de las tres que se seleccione el suavizador elimina totalmente la dureza , esto se hace por el ahorro en la operación y no por la calidad del agua ,siempre sera suavizada.

Frecuencia de Regeneración en el Suavizador

Muy a menudo surge la pregunta ; que tan frecuentemente el sistema deberá de regenerarse , aquí es donde entra la pregunta si un suavizador se debe de regenerar diario o cada varios días? , El tener una regeneración diario es lo optimo , si queremos regenerar cada dos días , en nuestro ejemplo necesitaríamos $78,200$ granos X dos días = $156,400$ lo que nos obligaria a tener el doble de tamaño de equipo por lo tanto una mayor inversión inicial , la única desventaja de regenerar diario es un consumo un poco mayor en agua empleada para la regeneración. Generalmente el poco ahorro de agua de regenerar cada dos días no justifica la inversión mayor. La mayoría de los diseñadores y vendedores de equipos de suavización consideran para la selección una regeneración por día.

Tecnología en diseño y operación

Se recomienda para aplicar la tecnología existente y lograr un optimo diseño en la selección del suavizador , emplear sistemas de dos tanques o dúplex , con un control automático con operación en base a demanda de agua , los equipos trabajan en alternado , es decir uno genera agua suavizada mientras que el otro se encuentra en regeneración o en reposo listo para cuando la unidad que se encuentra en operación entre a regeneración , la unidad en reposo comienza a producir agua suavizada , obteniendo como primer beneficio agua suavizada las 24 horas del día.



Otro beneficio importante es que para hacer nuestra selección , podemos emplear el criterio de una regeneración al día , pero dividiendo la cantidad de resina en los dos tanques , esto hace el equipo el 50% mas pequeño , por que se empleara el 50% de la resina en cada tanque.

La tecnología mas avanzada comercial , es el control por demanda , es decir en base a la capacidad real del suavizador y nuestras necesidades que se calcularon de granos por día y considerando que el suavizador se regenera una vez por día tenemos una operación adecuada , por lo tanto tenemos un flujo de agua que el suavizador podra producir entre regeneraciones . En muchos casos las necesidades de operación de la caldera son menores en los diferentes días de la semana , recordemos que el cálculo se realizo en base a consumo máximo por día , por ejemplo el domingo se necesita menor cantidad de vapor , el operar en base a un volumen determinado , nos da el beneficio de que la regeneración se realizará cuando el equipo este realmente agotado y no diario , esto en muchos casos tiene un ahorro muy importante de sal y agua.



BIBLIOGRAFÍA

**1. The American Water Works Association , Inc.
Water Quality and Treatment
Third Edition.**

**2. N.A. Wynhausen
Steam Boilers and Water Treatment
Water Conditioning Magazine Publication , May 1968**

**3. University of Wisconsin
Survey of Pretreatment Processes for Boiler Feed Water
May 1973**

**4. Betz
Betz Handbook of Industrial Water Conditioning
Sixth Edition 1962 , Fifth Printing 1972**

**5. Charles R. Peters
Water Treatment for Industrial Boiler Systems
Industrial Water Engineering Magazine November/December 1980**