

# Guía técnica

Circuitos de agua en instalaciones interiores

Diseño e instalación



### **Título**

Guía Técnica. Circuitos de agua en instalaciones interiores. Diseño e instalación.

### **Objeto**

La presente guía ha sido redactada por la Asociación Española de Empresas de Tratamientos y Control de Aguas (AQUA ESPAÑA ), con el objetivo de promocionar la eficiencia en el uso final de la energía en los edificios.

## PRÓLOGO

Un aspecto que no suele ser tenido en cuenta en el diseño de las instalaciones de climatización en las que el agua es el elemento caloportador de la energía, es la capacidad que tiene ésta de introducir en los circuitos compuestos minerales cuyo carácter incrustante obstruirá la vena de los mismos, creando una pérdida de carga adicional y un desequilibrio hidráulico al sistema, y originando en los intercambiadores de calor una reducción de su capacidad de transmisión térmica. Igualmente existe otro riesgo no valorado suficientemente en los circuitos hidráulicos, y es el provocado por el oxígeno contenido en el agua de alimentación que, ante materiales afines, reaccionará provocando una corrosión que mermará la durabilidad de la instalación.

Pero además, ambos efectos provocan un incremento del consumo de energía de la instalación, una disminución de la eficiencia energética del sistema y un aumento de sus gastos energéticos y de sus costes de mantenimiento y conservación.

Esta guía técnica nos presenta, de forma didáctica, los fundamentos a tener en consideración para el diseño de los circuitos hidráulicos bajo la óptica de las propiedades, y sus efectos, del agua de alimentación, y las posibles soluciones, lo que nos permitirá disponer de criterio para una adecuada selección de los componentes y del propio diseño de la instalación.

Desde IDAE hemos valorado muy positivamente el contenido de esta guía y el esfuerzo asumido por AQUA ESPAÑA en su redacción para ofrecer un documento de esta trascendencia y que servirá de ayuda en la formación de los técnicos que quieran abordar un buen diseño de las instalaciones de climatización bajo criterios de eficiencia energética, de economía de explotación y de durabilidad, principios todos ellos que ha de tener presente cualquier profesional vinculado a este tipo de instalaciones, bien en la fase de proyecto como en las posteriores de explotación y mantenimiento.



IDAE

INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE LA ENERGÍA

# ÍNDICE

<b>Prólogo</b>	<b>3</b>
<b>1. Influencia del agua en los sistemas energéticos en edificios</b>	<b>6</b>
<b>2. Tipos de circuitos en instalaciones interiores</b>	<b>8</b>
<b>3. Incrustaciones calcáreas y procesos de corrosión</b>	<b>9</b>
<b>4. Resumen de tipos de agua</b>	<b>10</b>
<b>5. Resumen de tratamientos aplicables</b>	<b>12</b>
5.1 Circuitos abiertos	12
5.2 Circuitos cerrados	13
<b>6. Circuitos abiertos</b>	<b>15</b>
6.1 Diseño del tratamiento	15
6.1.1 Filtración de protección	15
6.1.2 Prevención de las incrustaciones calcáreas	16
6.1.3 Prevención de los procesos de corrosión.	18
<b>7. Circuitos cerrados</b>	<b>19</b>
7.1 Tipos de circuito y diseño del tratamiento	20
7.1.1 Circuitos de calefacción	21
7.1.2 Circuitos que incorporen suelos radiantes	22
7.1.3 Circuitos que incorporen paneles solares	22
7.1.4 Neutralización de condensados	22
7.2 Llenado de circuitos cerrados	23
<b>Descalcificación del agua (Para llenado conforme VDI 2035)</b>	<b>23</b>
<b>Desalinización parcial del agua (Para llenado conforme VDI 2035)</b>	<b>24</b>
<b>Protección contra la corrosión mediante la pasivación del circuito</b>	<b>25</b>
<b>Protección contra la corrosión y las incrustaciones calcáreas por adición de inhibidores</b>	<b>25</b>
<b>Protección anti-congelante</b>	<b>25</b>
<b>8. Mantenimiento de los equipos</b>	<b>26</b>
8.1 Mantenimiento de los circuitos abiertos	26
8.2 Mantenimiento de los circuitos cerrados	27
<b>9. Esquemas de instalación</b>	<b>29</b>
<b>Apéndice A - Parámetros que afectan a la calidad del agua y su medida</b>	<b>32</b>
A.1 Dureza	32
A.1.1 Unidades de dureza	32
A.1.2 Determinación de la dureza del agua	34
A.2 pH	35
A.2.1 Determinación del pH	36
A.3 Conductividad	37
A.3.1 Determinación de la conductividad	37
<b>Apéndice B - Dureza del agua y formación de incrustaciones</b>	<b>38</b>
B.1 Unidades de dureza	39
B.2 Formación de las incrustaciones	40

B.3 Incrustaciones calcáreas y consumo energético	40
<b>Apéndice C - Procesos de corrosión y factores que los favorecen</b>	<b>41</b>
C.1 Materiales	41
C.2 Factores que favorecen los procesos de corrosión	42
<b>Apéndice D - Determinación del carácter incrustante del agua.</b>	
<b>Índices de Langelier y de Ryznar</b>	<b>44</b>
<b>Apéndice E - Principales equipos y tratamientos en circuitos abiertos</b>	<b>47</b>
E.1 Filtración de protección	47
E.2 Prevención de las incrustaciones calcáreas	47
E.2.1 Descalcificación mediante resinas de intercambio iónico	48
E.2.2 Dosificación de inhibidores de incrustaciones	49
E.2.3 Equipos físicos	50
<b>E.3 Prevención de los procesos de corrosión</b>	<b>50</b>
E.3.1 La modificación de determinados parámetros del agua	51
E.3.2 El uso de inhibidores de corrosión.	51
E.3.2 La protección catódica de los acumuladores de ACS	51
<b>Apéndice F - Cálculo de un descalcificador</b>	<b>52</b>
<b>Apéndice G - Principales equipos y tratamientos en circuitos cerrados</b>	<b>56</b>
G.1 Sistemas de separación de circuitos según UNE EN 1717	56
G.2 Limpieza inicial de los circuitos	57
G.3 Prevención de las incrustaciones calcáreas	57
G.3.1 Sistemas de tratamiento	58
G.3.2 Evolución del valor del pH en un circuito cerrado	59
G.4 Prevención de los procesos de corrosión	60
G.4.1 Hermeticidad del circuito	60
G.4.2 Limpieza de los circuitos con problemas en su funcionamiento	61
G.4.3 Protección de los metales	61
G.5 Tratamientos para circuitos con riesgo de congelación	62
G.6 Otros tratamientos	64
<b>Apéndice H - Desalinización del agua</b>	<b>65</b>
H.1 Desalinización mediante ósmosis inversa	65
H.1.1 Membranas y módulos	66
H.1.2 Conversión	67
H.1.3 Pre-tratamientos	68
H.1.4 Post-tratamientos	68
<b>H.2 Desalinización por intercambio iónico</b>	<b>68</b>
<b>Apéndice I - Legislación y Normas para consulta</b>	<b>70</b>
<b>Apéndice II - Bibliografía</b>	<b>73</b>

## 1. Influencia del agua en los sistemas energéticos en edificios

El Real Decreto 235/2013, de 5 de abril, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios define la Eficiencia energética de un edificio como: “consumo de energía, calculado o medido, que se estima necesario para satisfacer la demanda energética del edificio en unas condiciones normales de funcionamiento y ocupación, que incluirá, entre otras cosas, la energía consumida en calefacción, la refrigeración, la ventilación, la producción de agua caliente sanitaria y la iluminación”.

Como podemos ver en la Tabla 1, entre las principales instalaciones que deben considerarse en un edificio para determinar su eficiencia energética, destacan principalmente las de calefacción y producción de agua caliente sanitaria que absorben aproximadamente el 67 % de todo el consumo energético del edificio.

La eficacia y las prestaciones de estas instalaciones tan importantes se verán afectadas en forma muy significativa por las características de un fluido esencial: el agua.



Círculo	% de Consumo energético
Calefacción	47%
Agua caliente	20%
Electrodomésticos	16%
Cocina	10%
Iluminación	7%

Tabla 1. Consumo energético en los diversos circuitos de un edificio

El agua que se recibe en un edificio, procedente de la red municipal, está siempre correctamente tratada de tal forma que el usuario la recibe limpia y apta para el consumo humano; no obstante, en algunas ocasiones, incorpora impurezas o componentes que interactúan con las tuberías, los equipos y las instalaciones y además puede originar problemas que afecten a la eficiencia energética de los diversos circuitos en un edificio.

Los principales problemas que puede ocasionar el agua de aporte en una instalación se deben habitualmente a:

- La presencia de pequeñas partículas en suspensión.

Se acumulan en la red de distribución, pueden ocasionar averías en los calentadores, intercambiadores de calor, grifería, etc. y además favorecen el desarrollo de procesos de corrosión.

- La dureza y el carácter incrustante del agua

Ocasiona la formación de depósitos de cal en el interior de los calentadores, intercambiadores de calor, electrodomésticos y tuberías que impiden el correcto funcionamiento de los equipos y además actúan como un aislante térmico que evita la correcta transmisión del calor.

- Los procesos de corrosión

La composición química del agua y las características de funcionamiento de los circuitos (velocidad de circulación, temperatura, mezclas de metales, etc.) puede favorecer en algunos casos el desarrollo de procesos de corrosión en determinados metales, originando incrementos de las pérdidas de carga, fugas de agua, promoción del crecimiento de microorganismos con los productos de la corrosión como nutrientes y además favoreciendo la formación de biocapas.

En todo edificio será pues muy importante conocer las características del agua de aporte, cómo pueden afectar a las instalaciones existentes y los tratamientos y sistemas de protección que pueden efectuarse para mantenerlos en perfecto estado de funcionamiento y con una óptima eficiencia energética. De esta forma se evitará que el consumo energético se eleve progresivamente para poder satisfacer las necesidades del usuario.



Los problemas de no tratar el agua correctamente originan un aumento del consumo energético



## 2. Tipos de circuitos en instalaciones interiores

En las instalaciones interiores de un edificio, es fundamental distinguir entre dos tipos distintos de circuitos

- Los circuitos abiertos
- Los circuitos cerrados

Un circuito abierto es aquel en el que existe una aportación importante y normalmente continua de agua en su funcionamiento.

Ejemplos de circuitos abiertos son los circuitos de agua fría de consumo humano (AFCH), los sistemas de Agua caliente sanitaria (ACS) que incluyen los acumuladores, intercambiadores de calor y tuberías y la mayoría de sistemas de torres de refrigeración.

Un circuito cerrado es aquel en el que el consumo de agua para su funcionamiento es mínimo o prácticamente nulo, siendo necesario tan solo aportar pequeñas cantidades para reponer las pequeñas pérdidas que se producen por diversas circunstancias.

Ejemplos de circuitos cerrados son los sistemas de calefacción, los primarios de producción de agua caliente sanitaria, los circuitos de agua enfriada de climatización y algunos sistemas de torres de enfriamiento.

Como consecuencia de sus características, cada uno de estos tipos de circuito requiere un estudio y un tratamiento propio y específico que se desarrollará a continuación.

Para evitar futuros problemas de incrustación y corrosión, en el diseño, montaje y mantenimiento de las instalaciones deben tomarse las precauciones oportunas, siguiendo las indicaciones de las Normas UNE 112076 y UNE-EN 12499



### 3. Incrustaciones calcáreas y procesos de corrosión

Una de las características más importantes del agua y que afectan en forma muy significativa a la eficiencia energética y, en general, a las instalaciones de un edificio, es su tendencia a originar incrustaciones calcáreas y/o procesos de corrosión.

Considerando estos conceptos podemos definir tres tipos distintos de aguas:

#### •Aguas incrustantes

Son las aguas que, por su composición química, tienen tendencia a formar incrustaciones de cal (carbonato de calcio) y otras sales insolubles. Se caracterizan normalmente por poseer una importante dureza o valores elevados de dureza y pueden ser aguas incrustantes en frío y/o en caliente.

Generalmente un agua siempre es más incrustante en caliente.

**Las incrustaciones de “cal” se producen siempre en los puntos con mayor temperatura del circuito, como las calderas, los intercambiadores de calor, etc. (ver Apéndice A).**

#### •Aguas agresivas

Son las aguas que por su composición química tienen tendencia a disolver las incrustaciones de cal. Se caracterizan normalmente por poseer una dureza reducida y pueden ser aguas agresivas en frío y/o en caliente.

Generalmente un agua siempre es más agresiva en frío.

Es importante destacar que el concepto de agua agresiva solamente se refiere al equilibrio de la cal y por ello un agua puede en algunos casos ser agresiva o muy agresiva y no ocasionar procesos importantes de corrosión.

**La predicción del carácter incrustante/agresivo de un agua puede determinarse mediante los índices de Langelier y de Ryznar (ver Apéndice C).**

#### •Aguas corrosivas

Son las aguas que por su composición química favorecen la corrosión de un determinado metal. Pueden ser corrosivas por ejemplo para el cobre y no serlo para el acero inoxidable o viceversa.

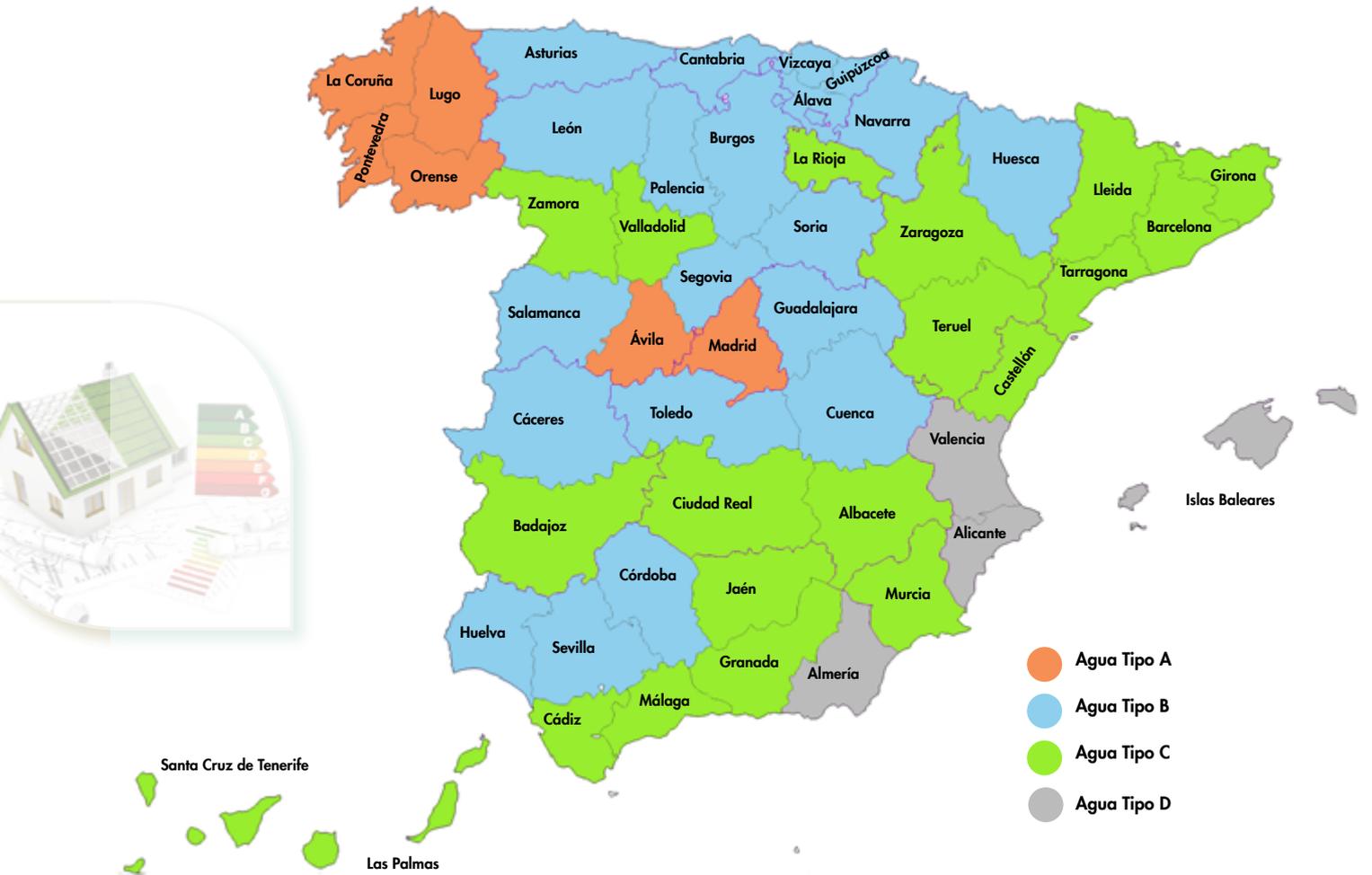
Se caracterizan normalmente por incorporar iones o parámetros que facilitan la disolución de los metales (pH, cloruros, sulfatos, nitratos, etc.). Las condiciones de funcionamiento como por ejemplo la velocidad o la temperatura del agua pueden favorecer los fenómenos de corrosión

Pueden ser aguas corrosivas en frío y/o en caliente en función del metal.

Cuando se produce un proceso de corrosión rápido normalmente el agua acostumbra a ser agresiva y corrosiva.



## 4. Resumen de tipos de agua





Tipo de agua	Características y efectos en las instalaciones
<b>A</b>	Agua de baja salinidad con una dureza muy reducida <ul style="list-style-type: none"> <li>• Conductividad &lt; 150 <math>\mu\text{S}/\text{cm}</math></li> <li>• Dureza &lt; 15 °HF</li> </ul> Es un agua con un carácter incrustante nulo o muy reducido, no obstante su baja salinidad puede favorecer los procesos de corrosión.
<b>B</b>	Agua de baja o media salinidad con una dureza moderada <ul style="list-style-type: none"> <li>• Conductividad &lt; 500 <math>\mu\text{S}/\text{cm}</math></li> <li>• 15 °HF &gt; Dureza &lt; 30 °HF</li> </ul> Es un agua de baja salinidad y dureza moderada que puede favorecer la formación de incrustaciones, principalmente en los circuitos de agua caliente. La corrosión dependerá del tipo de circuito y de las condiciones de funcionamiento.
<b>C</b>	Agua dura de media salinidad <ul style="list-style-type: none"> <li>• Conductividad &lt; 1500 <math>\mu\text{S}/\text{cm}</math></li> <li>• Dureza <math>\geq</math> 30 °HF</li> </ul> Es un agua dura que normalmente favorecerá la formación de incrustaciones en todo tipo de circuitos.
<b>D</b>	Agua dura de alta salinidad <ul style="list-style-type: none"> <li>• Conductividad <math>\geq</math> 1500 <math>\mu\text{S}/\text{cm}</math></li> <li>• Dureza <math>\geq</math> 30 °HF</li> </ul> Es un agua dura y de elevada salinidad que normalmente favorecerá la formación de incrustaciones en todo tipo de circuitos y que también, debido a su importante salinidad puede originar procesos de corrosión.

**Las características indicadas en la Tabla anterior son orientativas y conviene que sean confirmadas mediante un análisis completo del agua**

## 5. Resumen de sistemas de protección y tratamientos aplicables

### 5.1. Circuitos abiertos

	Agua Tipo "A"	Agua Tipo "B"	Agua Tipo "C"	Agua Tipo "D"
<b>Filtración de protección</b>	Se instalará siempre un filtro autolimpiante, adecuado al caudal y a la presión del circuito.			
<b>Prevención de incrustaciones</b>	No requiere ningún tratamiento específico	Dosificación de un inhibidor de incrustaciones en el circuito de ACS  Apto para el agua de consumo humano	Dosificación de un inhibidor de incrustaciones en el circuito de ACS  Apto para el agua de consumo humano  Descalcificación del agua  Equipo físico	Dosificación de un inhibidor de incrustaciones en el circuito de ACS  Apto para el agua de consumo humano.  Descalcificación del agua  Equipo físico  Análisis del agua
<b>Prevención de corrosión por tratamiento químico</b>	El tratamiento más habitual es la adición de un inhibidor de corrosión apto para el tratamiento del agua de consumo humano y materiales del circuito a proteger.			
<b>Protección catódica de los acumuladores de ACS</b>	Es recomendable para todos los tipos de agua aunque el riesgo de corrosión es variable según los casos			



## 5.2. Circuitos cerrados

Es fundamental tomar las precauciones adecuadas para que el agua de aportación sea mínima, preferiblemente que no supere anualmente el 5% del volumen de la instalación.

CALDERAS CONVENCIONALES				
Potencia de la caldera	Agua de aporte			
	Tipo "A"	Tipo "B"	Tipo "C"	Tipo "D"
≤ 50 kw	Inhibidor contra la corrosión	Inhibidor contra incrustaciones y corrosión	Inhibidor contra incrustaciones y corrosión	Inhibidor contra incrustaciones y corrosión
50 - 200 kw	Inhibidor contra la corrosión	Descalcificación parcial o Inhibidor contra la corrosión	Descalcificación parcial o Inhibidor contra la corrosión	Descalcificación parcial o Inhibidor contra la corrosión
201 - 600 kw	Inhibidor contra la corrosión	Descalcificación parcial o Inhibidor contra la corrosión	Descalcificación parcial o Inhibidor contra la corrosión	Descalcificación parcial o Inhibidor contra la corrosión
> 600 kw	Descalcificación total o Inhibidor contra la corrosión	Descalcificación total o Inhibidor contra la corrosión	Descalcificación total o Inhibidor contra la corrosión	Descalcificación total o Inhibidor contra la corrosión



**CALDERAS DE CONDENSACIÓN Y/O CON COMPONENTES DE ALUMINIO**

Potencia de la caldera	Agua de aporte			
	Tipo "A"	Tipo "B"	Tipo "C"	Tipo "D"
<b>≤ 50 kw</b>	Inhibidor contra la corrosión	Inhibidor contra incrustaciones y corrosión	Inhibidor contra incrustaciones y corrosión	Inhibidor contra incrustaciones y corrosión
<b>50 - 200 kw</b>	Inhibidor contra la corrosión	Desalinización parcial o Inhibidor contra la corrosión	Desalinización parcial o Inhibidor contra la corrosión	Desalinización parcial o Inhibidor contra la corrosión
<b>201 - 600 kw</b>	Inhibidor contra la corrosión	Desalinización parcial o Inhibidor contra la corrosión	Desalinización parcial o Inhibidor contra la corrosión	Desalinización parcial o Inhibidor contra la corrosión
<b>&gt; 600 kw</b>	Descalcificación total o Inhibidor contra la corrosión	Descalcificación total o Desalinización parcial o Inhibidor contra la corrosión	Descalcificación total o Desalinización parcial o Inhibidor contra la corrosión	Descalcificación total o Desalinización parcial o Inhibidor contra la corrosión



## 6. Circuitos abiertos

En los circuitos abiertos, principalmente en el de agua fría de consumo humano y en el de agua caliente sanitaria, la circulación constante de agua favorece, en función de su composición, el desarrollo de los dos problemas más habituales en una instalación hidráulica:

**En aguas duras, la formación de incrustaciones calcáreas que se depositan a lo largo de las tuberías e instalaciones, impiden el intercambio térmico y reducen el caudal del agua.**

**En aguas salobres o cuya composición le otorgue un carácter corrosivo frente a un metal, pueden originarse procesos de corrosión que darán lugar al aumento de la pérdida de carga por las deposiciones de óxido en las tuberías y a importantes fugas de agua o a la destrucción de las instalaciones.**



Ambos problemas puede ocurrir simultáneamente.

Asimismo también debe considerarse que a pesar del correcto tratamiento en origen, debido al arrastre y erosión en las redes de distribución, el agua de red puede contener en el punto de uso partículas en suspensión

Estas partículas, pueden ocasionar averías en los equipos de ACS, intercambiadores de calor, grifería, etc. y además favorecen el desarrollo de procesos de corrosión y pueden ser el origen de contaminaciones microbiológicas.

**Es muy importante prever en el aporte de agua la instalación de un elemento filtrante que retenga las partículas extrañas y deje pasar sólo el agua.**

### 6.1. Diseño del tratamiento

El tratamiento adecuado del agua en un circuito abierto deberá contemplar todos los conceptos anteriormente descritos y generalmente se basará en los siguientes procesos:

#### 6.1.1. Filtración de protección

**El Código Técnico de la Edificación especifica que siempre se deberá instalar un filtro de protección autolimpiante en el aporte de agua a la instalación.**

Las principales características de los sistemas de filtración se describen en el Apéndice D.

- El caudal nominal de filtro  
Deberá ser adecuado para proporcionar el caudal requerido para toda la instalación
- La presión nominal del filtro  
Deberá ser adecuada para la presión del agua de aporte; como mínimo debería ser PN6 y preferiblemente PN10 o superior.
- El tipo de filtro a instalar  
Se instalará siempre un filtro autolimpiante tal y como exige el Código Técnico de la Edificación. En edificios públicos y en instalación donde se aplique el Real Decreto 865/2003 para la prevención de la legionelosis, el filtro deberá estar certificado conforme a la Norma UNE-EN 13443-1.

### 6.1.2. Prevención de las incrustaciones calcáreas

La prevención de las incrustaciones calcáreas se debería realizar siempre que el agua tenga un carácter incrustante. Para la determinación del carácter incrustante del agua pueden utilizarse los Índices de Langelier y de Ryznar descritos en el Apéndice C.

En caso de que no se pueda determinar este carácter, pero se conozca la dureza del agua, es posible determinar el tipo del agua siendo los tratamientos más aconsejables los siguientes:

#### AGUA TIPO “A”

Este tipo de agua no es incrustante y, por consiguiente, no requiere ningún tratamiento específico para la prevención de las incrustaciones calcáreas.

#### AGUA TIPO “B”

Este tipo de agua es moderadamente incrustante y conviene evitar la formación de las incrustaciones calcáreas, principalmente en los equipos de producción de agua caliente sanitaria.

Considerando el moderado carácter incrustante del agua, el tratamiento habitualmente más adecuado será:

#### • Dosificación de un inhibidor de incrustaciones en el circuito de ACS.

Para el dimensionamiento y la selección del sistema de dosificación se deberán tener en consideración:

- El caudal máximo que puede tratar el equipo dosificador  
Deberá ser adecuado para proporcionar el caudal requerido en el circuito tratado
- La presión máxima de funcionamiento del equipo dosificador  
Deberá ser adecuado a la presión del agua a tratar.
- El tipo de dosificador a instalar  
En instalaciones individuales es habitual instalar un dosificador hidrodinámico que funciona mediante la propia presión del agua a tratar y que dosifica un producto químico ya preparado que no precisa prácticamente manipulación.

En instalaciones colectivas o en el tratamiento general de los edificios se emplean normalmente estaciones dosificadoras compuestas por un contador de agua que se instala en la tubería, una bomba dosificadora y un depósito de acumulación para el inhibidor de incrustaciones.

Estos equipos generalmente no se suministran pre-programados sino que el operador debe realizar la dilución del producto en la concentración adecuada y ajustar la forma de dosificación para adicionar al agua la dosis requerida.



### AGUA TIPO “C”

Este tipo de agua es normalmente incrustante y es importante prevenir la formación de incrustaciones calcáreas en todo el circuito.

Los tratamientos habitualmente utilizados son:

#### • Dosificación de un inhibidor de incrustaciones en el agua de aporte.

Para el dimensionamiento y la selección del sistema de dosificación ver los conceptos descritos para el agua tipo “B”.

En este caso, al tratarse de un tratamiento de toda el agua de aporte, generalmente se utilizan estaciones dosificadoras completas.

#### • Descalcificación del agua

La descalcificación del agua es uno de los tratamientos más habituales en caso de aguas duras con carácter incrustante.

El dimensionamiento del descalcificador se detalla en el Apéndice E. Para su selección se deberán tener en consideración:

- La dureza del agua de aporte  
Para su determinación analítica ver Apéndice E.
- La dureza residual que se desea en el agua tratada  
Es aconsejable, en función de las características y de los materiales del circuito a proteger, una dureza residual orientativa de 6 °HF a 15 °HF.
- El tiempo entre regeneraciones  
El tiempo óptimo entre regeneraciones se halla entre 2-4 días ya que una regeneración diaria proporciona un margen de seguridad muy reducido si, por cualquier circunstancia, la dureza del agua de aporte presenta variaciones; por otra parte es preferible que la frecuencia de regeneración no sea superior a 4 días, ya que durante el proceso de regeneración se produce un lavado de las resina que favorece su conservación.  
  
NOTA: Existen en el mercado equipos de doble columna en alternancia que regeneran cuando se agota la capacidad del equipo dando un caudal constante y continuo de agua descalcificada. En estos equipos el tiempo entre regeneraciones se determina en forma automática.
- El caudal máximo que puede tratar el equipo descalcificador  
Deberá ser adecuado para proporcionar el caudal requerido en el circuito tratado
- La presión máxima de funcionamiento del equipo descalcificador  
Deberá ser adecuado a la presión del agua a tratar.

### AGUA TIPO “D”

Este tipo de agua normalmente favorecerá la formación de incrustaciones en todo tipo de circuitos pero también, debido a su importante salinidad puede originar procesos de corrosión.

Generalmente se aplicarán los mismos criterios que para el agua de tipo “C”, pero es aconsejable efectuar un análisis más completo del agua para determinar el tipo de sales que contiene, poder establecer su carácter incrustante/agresivo/corrosivo y determinar el tratamiento más apropiado en cada caso.



### 6.1.3. Prevención de los procesos de corrosión

Para la prevención de los procesos de corrosión se tendrán en consideración las especificaciones sobre “Incompatibilidad de los materiales y el agua” detalladas en el Documento HS4 del Código Técnico de la Edificación (ver Apéndice E). Así como las Normas UNE 112076 y UNE-EN 12499

Además de realizar un diseño y montaje adecuados, pueden utilizarse tratamiento del agua para los circuitos y sistemas de protección catódica para los acumuladores de ACS

#### a) Tratamiento del agua

Las principales características de los sistemas de los tratamientos para la prevención de los procesos de corrosión se describen en los Apéndices E.3.1 y E3.2.

Para el dimensionamiento y la selección del tratamiento se deberán tener en consideración:

- El caudal de agua a tratar  
El tratamiento deberá ser adecuado para la protección del caudal de agua circulante
- La presión del agua a tratar  
El tratamiento deberá ser adecuado considerando la presión del agua a tratar
- El tipo de tratamiento a instalar  
Para la prevención de los procesos de corrosión el tratamiento más habitual es la adición de un inhibidor de corrosión adecuado a las características y materiales del circuito a proteger.

En instalaciones individuales se emplea normalmente un dosificador hidrodinámico que funciona mediante la propia presión del agua a tratar y que dosifica un producto químico ya preparado que no precisa prácticamente manipulación.

En instalaciones colectivas o en el tratamiento general de los edificios se emplean normalmente estaciones dosificadoras compuestas por un contador de agua que se instala en la tubería, una bomba dosificadora y un depósito de acumulación para el inhibidor de incrustaciones.

**Es muy importante recordar que los productos químicos (sustancias o mezclas) utilizados en el tratamiento del agua de consumo humano, deben cumplir con las exigencias de la legislación vigente (actualmente la Orden Ministerial SSI 304/2013).**

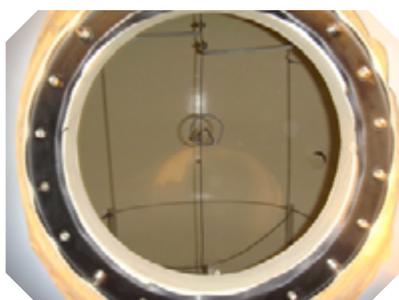
#### b) Protección catódica

En el Anexo E.3.3 se amplía la información sobre la protección catódica de los acumuladores de ACS, tanto nuevos como existentes

Los acumuladores de ACS están sometidos a temperaturas y presiones importantes por lo que son metálicos, construidos de acero inoxidable o de acero al carbono revestido.

Los acumuladores de acero inoxidable deben construirse y soldarse con los materiales y procedimientos adecuados al tipo de agua que puede utilizarse a lo largo de la vida útil de la instalación. En muchos casos, al no cumplirse las condiciones anteriores pueden producirse fenómenos de corrosión en el acero inoxidable, por lo que algunos acumuladores de acero inoxidable incorporan sistemas de protección catódica.

Los acumuladores de acero al carbono pueden ser galvanizados en caliente o estar revestidos con sistemas de vitrificado o de pinturas epoxi y normalmente incorporan un sistema de protección catódica



Protección catódica de un acumulador nuevo de ACS

## 7. Circuitos cerrados

En los circuitos cerrados el consumo de agua es muy reducido o prácticamente nulo ya que sólo es necesario aportar pequeñas cantidades para reponer las pérdidas que pueden producirse por purgas u otras circunstancias inevitables.

En los circuitos cerrados además se produce una disminución en el contenido de oxígeno y es relativamente más sencillo evitar los problemas de corrosión interna.

El problema de las incrustaciones en un circuito cerrado no es tan significativo como en un circuito de agua caliente sanitaria ya que al no existir una renovación ni un aporte constante del agua, es más difícil que las incrustaciones puedan crecer y acumularse. No obstante, especialmente en las nuevas calderas de condensación y de alto rendimiento, los diámetros de paso son muchas veces muy reducidos y los propios fabricantes requieren que el agua sea totalmente descalcificada o de baja mineralización.

En instalaciones con agua de aporte incrustante, en función de la potencia de la caldera, para evitar problemas de incrustaciones es aconsejable instalar un descalcificador o un sistema de reducción de la salinidad para disminuir la dureza del agua.

El problema de la corrosión es, en general, muy significativo en los circuitos cerrados de climatización. Las altas temperaturas existentes y el uso de materiales no nobles favorecen el ataque del agua a los metales con formación de los óxidos / hidróxidos correspondientes y, en ausencia de oxígeno, desprendimiento de hidrógeno.



**Metal + Oxígeno  $\leftrightarrow$  Óxido**  
(en presencia de oxígeno)

**Metal + Agua  $\leftrightarrow$  Óxido + Hidrógeno**  
(en ausencia de oxígeno)

Los óxidos precipitan formando fangos insolubles que enturbian el agua y que pueden causar importantes averías por obstrucción mecánica.

El hidrógeno, que se forma en la reacción en ausencia de oxígeno, es un gas que se acumula progresivamente en los circuitos y produce:

- Ruidos característicos de las instalaciones de calefacción.
- Aumento de la presión del circuito.
- Pérdida de intercambio térmico.

## 7.1 Tipos de circuito y diseño del tratamiento

CIRCUITOS CERRADOS		
	Calderas convencionales	Calderas de condensación y/o con componentes de aluminio
Hermeticidad del circuito	No deben existir aportes significativos de agua ni de oxígeno	
Separación de circuitos	Se instalará siempre un sistema de separación de circuitos según Norma UNE-EN 1717	
Prevención de incrustaciones	Descalcificación del agua de aporte	Desalinización parcial del agua de aporte
Prevención de corrosión	Pasivación de los circuitos sin productos químicos si se puede garantizar la ausencia de oxígeno en el circuito o Adición de un inhibidor de corrosión si no puede garantizarse la ausencia de oxígeno en el circuito.	
Separación de partículas	Equipos de separación de partículas por decantación o mediante filtración de una parte del caudal circulante	
Suelos radiantes	Evitar el desarrollo de microorganismos como consecuencia de la baja temperatura de funcionamiento.	
Paneles solares	Incluir en caso necesario un tratamiento para evitar riesgos de congelación. Cuando se puedan alcanzar elevadas temperaturas, el fluido y el inhibidor de corrosión deben estar diseñados para estas condiciones de trabajo.	
Neutralización de condensados	Neutralización del ácido carbónico presente en los condensados antes de su envío a desagüe	



### 7.1.1 Circuitos de calefacción

En este tipo de circuitos el tratamiento debe contemplar:

- **Un sistema de separación de circuitos según Norma UNE-EN 1717.**

La selección del equipo más adecuado se basará generalmente en el caudal de paso y en el diámetro de la tubería.

**La necesidad de instalar un sistema de separación de circuitos se especifica en el Real Decreto 865/2003 para la prevención de la legionelosis y es, por consiguiente, de obligado cumplimiento en todas las instalaciones afectadas.**

- **Un tratamiento de limpieza inicial del circuito.**

Es aconsejable efectuar siempre una limpieza inicial del circuito para eliminar posibles restos de virutas metálicas, aceites, grasas, residuos de soldadura y diversas impurezas que puedan haber penetrado en el circuito durante la instalación. Habitualmente se efectúa mediante un producto de acción desengrasante y detergente que se hace circular durante un breve período de tiempo por el circuito.

- **Un tratamiento, si es preciso, para la prevención de las incrustaciones calcáreas.**

El tratamiento se efectuará habitualmente mediante descalcificación o desalinización parcial del agua de aporte en función de los componentes de los equipos. En presencia de aluminio (habitual en las calderas de condensación) o de sus aleaciones es preferible utilizar agua de aporte de baja salinidad para evitar una elevación excesiva del valor del pH.

Para la selección del equipo se considerarán los siguientes conceptos:

- Para la carga inicial se precisará un equipo de una capacidad adecuada para el llenado del circuito en el tiempo deseado. Este equipo sólo se usará durante el proceso de la primera carga por lo cual es preferible el empleo de un sistema móvil transportable.

- Para las recargas esporádicas por fugas, pérdidas, etc. se precisará un equipo fijo de dimensiones muy reducidas, adecuado para pequeñas reposiciones.

- **Un tratamiento para la prevención de los procesos de corrosión.**

El tratamiento se efectuará habitualmente mediante:

- La pasivación de los circuitos sin productos químicos, controlando sus condiciones y parámetros de funcionamiento. Es el tratamiento más aconsejable si se puede garantizar la ausencia de oxígeno en el circuito.

- La adición de un inhibidor de corrosión, adecuado al tipo de circuito y a los metales presentes en él. La adición del producto puede efectuarse en forma manual o con la ayuda de una bomba. Es el tratamiento más adecuado si no puede garantizarse la ausencia de oxígeno en el circuito.

- **Un sistema para la separación de partículas en suspensión.**

Habitualmente se emplearán equipos de separación de partículas por decantación o mediante filtración de una parte del caudal circulante. La selección del equipo más adecuado se basará generalmente en el caudal de paso.



### 7.1.2 Circuitos que incorporen suelos radiantes

En este tipo de circuitos se aplicarán los mismos criterios indicados para los circuitos de calefacción, considerando, además que:

- Si la prevención de los procesos de corrosión se efectúa mediante la adición de un inhibidor de corrosión, adecuado al tipo de circuito y a los metales presentes en él, es aconsejable que este inhibidor incorpore un biocida para evitar el desarrollo de microorganismos en el circuito como consecuencia de la baja temperatura de funcionamiento.
- Es aconsejable asimismo que la tubería utilizada en el suelo radiante no sea permeable al oxígeno, bien sea por su composición o por disponer de una barrera anti-oxígeno que evite su paso.

### 7.1.3 Circuitos que incorporen paneles solares

En este tipo de circuitos se aplicarán los mismos criterios indicados para los circuitos de calefacción, considerando, además que:

- En el tratamiento para la prevención de las incrustaciones calcáreas, en función del tamaño del circuito, su llenado puede realizarse a partir de soluciones preparadas (en circuitos de pequeño tamaño) o bien a partir del agua de la red, con un tratamiento apropiado (en circuitos de gran tamaño).
- Deberá incluirse, en caso necesario, un tratamiento para evitar riesgos de congelación. El tratamiento se basará en la adición de un producto anti-congelante en el circuito. Para determinar la cantidad de producto se tendrán en consideración las especificaciones del fabricante y, en caso necesario, pueden utilizarse los datos de la figura F.4 del Apéndice F.
- Si se utiliza un producto anti-congelante y el tratamiento para la prevención de los procesos de corrosión se efectúa mediante un inhibidor de corrosión, debe verificarse que ambos productos sean compatibles en algunos casos se pueden formular en un único producto. En algunos casos se pueden formular en un único producto.
- En determinados tipos de circuitos con paneles solares en los cuales se puedan alcanzar elevadas temperaturas, el fluido y el inhibidor de corrosión deben estar específicamente diseñados para estas condiciones de trabajo.



### 7.1.4 Neutralización de condensados

En las calderas de condensación y, en general, cuando el vapor de agua condensa, se obtiene un agua líquida que tiene un carácter ácido debido a la presencia de gas carbónico disuelto (como ácido carbónico). Esta agua ácida, antes de verterse, debe lógicamente neutralizarse para eliminar los restos de ácido carbónico que favorecerían los procesos de corrosión.

Para su neutralización se utilizan habitualmente equipos que se instalan en la salida de condensados de la caldera y que contienen una carga de producto constituido por carbonato de calcio de elevada pureza que reacciona con el ácido carbónico y lo neutraliza.

## 7.2 Llenado de circuitos cerrados

### Descalcificación del agua (para llenado conforme VDI 2035)

Cuando sea necesario la descalcificación del agua se realizará mediante resinas de intercambio iónico. Para la descripción y diseño del equipo ver los Apéndices D y E.

Durante el primer llenado del circuito pueden utilizarse equipos fijos, por ejemplo, si existe un descalcificador general en el aporte de agua de red, o bien pueden emplearse equipos portátiles conectados únicamente durante la carga del circuito.



Ejemplo de descalcificador fijo (general) y de equipo portátil para el primer llenado

Posteriormente para las recargas sucesivas de las pequeñas pérdidas pueden utilizarse equipos fijos con un cartucho descalcificador sustituible.



Ejemplo de cartucho descalcificador para recargas



### Desalinización parcial del agua (Para llenado conforme VDI 2035)

La desalinización parcial del agua de llenado puede efectuarse mediante equipos de ósmosis inversa en circuitos de gran tamaño o con agua de elevada salinidad (Tipo "D") o bien mediante cartuchos desmineralizadores por intercambio iónico (ver Apéndice G).

Si se utilizan equipos de ósmosis inversa, normalmente serán siempre transportables para poder ser empleados en diversas instalaciones.



Ejemplo de equipo transportable de ósmosis inversa

Posteriormente para las recargas sucesivas de las pequeñas pérdidas se utilizarán normalmente equipos fijos con un cartucho de desalinización parcial sustituible.



Ejemplo de cartucho de desalinización parcial para recargas



### Protección contra la corrosión mediante la pasivación del circuito

La pasivación de los circuitos sin productos químicos, controlando sus condiciones y parámetros de funcionamiento, es el tratamiento más aconsejable para la protección contra la corrosión si se puede garantizar la ausencia de oxígeno en el circuito. Ver detalles en Apéndice F.

**Cuando se realiza un tratamiento de protección contra la corrosión mediante la pasivación del circuito, es imprescindible, controlar a las 8-12 semanas de la puesta en marcha, como mínimo el aspecto físico del agua así como su pH y conductividad para verificar que los valores se hallen en el rango requerido para la pasivación del circuito. Estos controles deben repetirse asimismo con una frecuencia mínima anual.**

### Protección contra la corrosión y las incrustaciones calcáreas por adición de inhibidores de las incrustaciones



Es el tratamiento más adecuado para la protección frente a la corrosión si no puede garantizarse la ausencia de oxígeno en el circuito. El inhibidor debe ser adecuado al tipo de circuito y a los metales presentes en él. La adición del producto puede efectuarse en forma manual o con la ayuda de una bomba; el producto se utilizará con las dosis y forma de uso especificadas por el fabricante. Ver detalles en Apéndice F.

En función del tipo de circuito a proteger conviene tener presente que:

- En circuitos que trabajen a baja temperatura (por ejemplo, en suelos radiantes) es aconsejable seleccionar un inhibidor que incorpore un biocida para evitar el desarrollo de microorganismos.
- En determinados tipos de circuitos con paneles solares en los cuales se puedan alcanzar elevadas temperaturas, el fluido y el inhibidor de corrosión deben estar específicamente diseñados para estas condiciones de trabajo

**Cuando se precise efectuar una protección frente a las incrustaciones calcáreas y otras sales insolubles sin descalcificación ni desalinización del agua de aporte, se utilizarán inhibidores de corrosión con efecto anti-incrustante**

### Protección anti-congelante

En determinadas instalaciones, por ejemplo con paneles solares, si la temperatura ambiental desciende por debajo de 0 °C puede provocar la congelación del agua del circuito si ésta no está correctamente acondicionada.

En estos casos es necesaria la utilización de aditivos anti-congelantes, como pueden ser los basados en monopropilenglicol. Ver detalles y proporción de anti-congelante en Apéndice G-5.

## 8. Mantenimiento de los equipos

Una correcta instalación y un adecuado mantenimiento de los equipos de protección y del tratamiento del agua son requisitos esenciales no sólo para conseguir los resultados esperados, sino también para garantizar el correcto y seguro funcionamiento del todo el circuito durante su vida útil.

El mantenimiento de los equipos debe ser siempre realizado de acuerdo con las instrucciones facilitadas por los fabricantes de los equipos y normalmente incluirá operaciones sencillas que deben ser realizadas con una cierta frecuencia por el propio usuario (o por un Servicio externo contratado) así como otras, más específicas, que solamente deben ser efectuadas por el Servicio Técnico autorizado.

Todas las piezas de repuesto, incluidas las desechables, se deberán obtener siempre del fabricante del equipo.

### 8.1. Mantenimiento de los circuitos abiertos

Para cada uno de los sistemas de protección y tratamientos considerados en el apartado 4, el mantenimiento que el usuario u operador debe realizar contemplará al menos los siguientes conceptos:



#### • Estado del circuito

- Verificación periódica del correcto estado del circuito y de la ausencia de procesos visibles de incrustaciones calcáreas o de corrosión.
- Comprobación periódica de las temperaturas en el depósito de acumulación del ACS y en el retorno (si existen).
- Inspección visual periódica del interior de los acumuladores de ACS
- Si existen tubos testigo, comprobación periódica de su estado.

#### • Equipos de filtración

- Verificación periódica del correcto funcionamiento del equipo y de la ausencia de fugas.
- Sustitución del elemento filtrante cuando sea necesario y como mínimo con la periodicidad especificada por el fabricante

#### • Equipos de descalcificación

- Verificación periódica del correcto funcionamiento del equipo y de la ausencia de fugas
- Comprobación periódica de la presencia de sal en el depósito de salmuera y recarga en caso necesario.
- Comprobación regular de la dureza del agua de entrada y del agua descalcificada

#### • Equipos de dosificación de inhibidores de incrustaciones y/o de corrosión

- Verificación periódica del correcto funcionamiento del equipo y de la ausencia de fugas.
- Comprobación periódica de la presencia de producto en el depósito de acumulación y recarga en caso necesario.

- **Sistemas de protección catódica**

- Verificación periódica del correcto funcionamiento del sistema con la medición y control de los parámetros eléctricos.
- Sustitución de los ánodos cuando proceda en función de su vida útil.

- **Otros tipos de equipos**

- Verificación periódica del correcto funcionamiento del equipo y de la ausencia de fugas.
- Sustitución de elementos consumibles de acuerdo con la frecuencia indicada en las instrucciones del fabricante.

Además de todas estas operaciones realizadas por el usuario u operador, es muy conveniente que el Servicio de Asistencia Técnica de los equipos instalados, realice un control anual o con la frecuencia indicada por el fabricante, en el cual se efectúen al menos las siguientes operaciones:

- Análisis del agua de aporte y comparación con el análisis inicial utilizado para el diseño del circuito y de los tratamientos existentes.
- Análisis del agua del circuito y comparación con los anteriores análisis efectuados.
- Verificación exhaustiva del correcto funcionamiento de los equipos y comprobación, si procede, de sus correctas programaciones.
- Verificación del correcto funcionamiento de los elementos de control.
- Limpieza y desinfección interna, si procede, de los equipos y de sus componentes.
- Sustitución de componentes internos sujetos a desgaste.
- Desinfección completa, si procede, del circuito.



## 8.2. Mantenimiento de los circuitos cerrados

Para cada uno de los sistemas de protección y tratamientos considerados en el apartado 5, el mantenimiento que el usuario u operador debe realizar contemplará al menos los siguientes conceptos:

- **Estado del circuito**

- Verificación periódica del correcto estado del circuito y de la ausencia de procesos visibles de incrustaciones calcáreas o de corrosión.
- Comprobación periódica del aspecto del agua en el circuito y de su valor de pH

- **Equipos de filtración multiestrato**

- Verificación periódica del correcto funcionamiento del equipo y de la ausencia de fugas.
- Realización de lavados a contracorriente como mínimo con la periodicidad especificada por el fabricante

- **Equipos de descalcificación**

- Las operaciones de mantenimiento serán las mismas que las descritas para los circuitos abiertos

- **Equipos de desalinización parcial del agua mediante intercambio iónico**

- Verificación periódica del correcto funcionamiento del equipo y de la ausencia de fugas.
- Sustitución del cartucho de intercambio iónico cuando sea necesario de acuerdo con las especificaciones del fabricante

- **Otros tipos de equipos**

- Verificación periódica del correcto funcionamiento del equipo y de la ausencia de fugas
- Sustitución de elementos consumibles de acuerdo con la frecuencia indicada en las instrucciones del fabricante

Además de todas estas operaciones realizadas por el usuario u operador, es muy conveniente que el **Servicio de Asistencia Técnica** de los equipos instalados, realice un control anual o con la frecuencia indicada por el fabricante, en el cual se efectúen al menos las siguientes operaciones:

- Análisis del agua de aporte y comparación con el análisis inicial utilizado para el diseño del circuito y de los tratamientos existentes.
- Análisis del agua del circuito y comparación con los anteriores análisis efectuados.
- Verificación exhaustiva del correcto funcionamiento de los equipos y comprobación, si procede, de sus correctas programaciones.
- Verificación del correcto funcionamiento de los elementos de control.
- Limpieza y desinfección interna, si procede, de los equipos y de sus componentes.
- Sustitución de componentes internos sujetos a desgaste.
- Desinfección completa, si procede, del circuito.

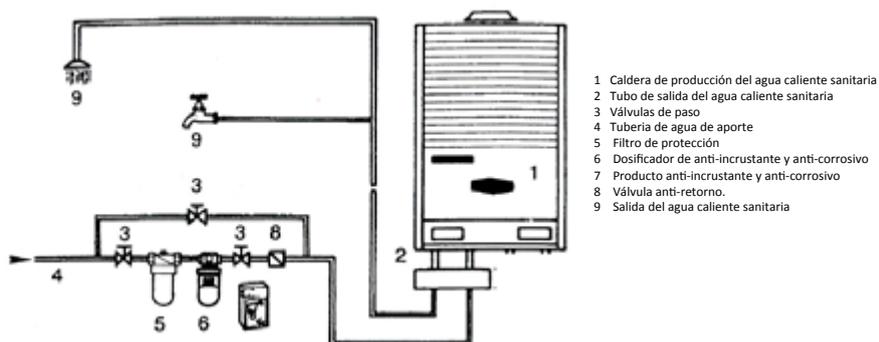


## 9. Esquemas de instalación

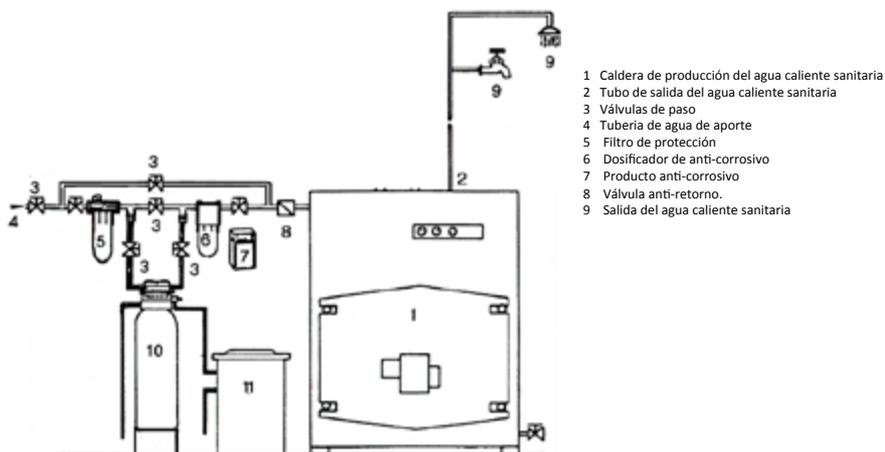
A continuación se muestran diversos ejemplos de instalación de un tratamiento del agua en un circuito abierto, cerrado y mixto.

Los esquemas indicados son orientativos y dependen de las características del agua y del circuito.

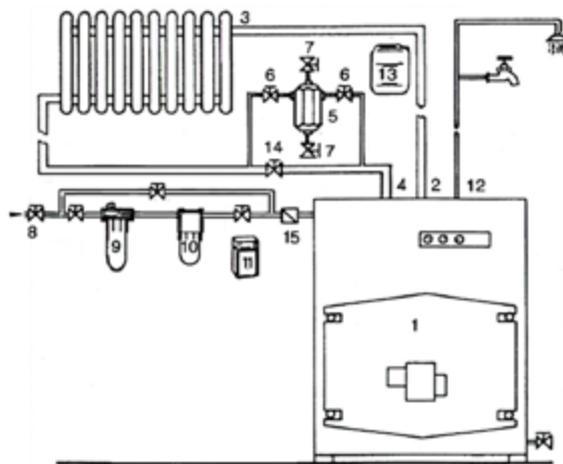
### 9.1. Esquema de tratamiento en circuito abierto ACS para aguas tipo A y B



### 9.2. Esquema de tratamiento en circuito abierto ACS para aguas tipo C y D



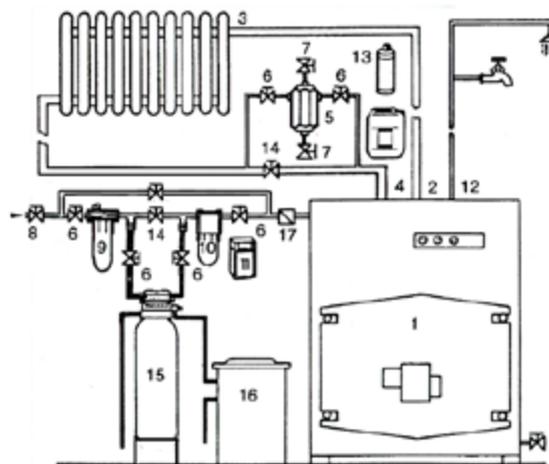
### 9.3. Esquema de tratamiento en circuito mixto ACS para aguas tipo A y B



- 1 Caldera de calefacción y producción de agua caliente sanitaria
- 2 Tubo de salida del agua caliente al circuito cerrado de calefacción
- 3 Radiadores
- 4 Tubo de retorno del circuito de calefacción
- 5 Separador de partículas
- 6 Válvulas de paso
- 7 Válvula para el llenado de productos
- 8 Tubería de agua de aporte
- 9 Filtro de protección
- 10 Dosificador de anti-corrosivo
- 11 Producto anti-corrosivo
- 12 Tubería de agua caliente sanitaria
- 13 Producto para el circuito cerrado de calefacción
- 14 Válvula de by-pass
- 15 Válvula anti-retorno



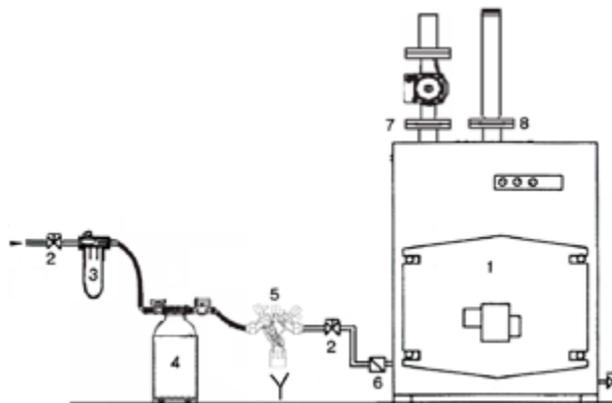
### 9.4. Esquema de tratamiento en circuito mixto ACS para aguas tipo C y D



CIRCUITO MIXTO (ACS) Y CALEFACCIÓN PARA AGUAS DE TIPO C-D  
LEYENDA

- 1 Caldera de calefacción y producción de agua caliente sanitaria
- 2 Tubo de salida del agua caliente al circuito cerrado de calefacción
- 3 Radiadores
- 4 Tubo de retorno del circuito de calefacción
- 5 Separador de partículas
- 6 Válvulas de paso
- 7 Válvula para el llenado de productos
- 8 Tubería de agua de aporte
- 9 Filtro de protección
- 10 Dosificador de anti-corrosivo
- 11 Producto anti-corrosivo
- 12 Tubería de agua caliente sanitaria
- 13 Producto para el circuito cerrado de calefacción
- 14 Válvula de by-pass
- 15 Descalcificador de intercambio iónico
- 16 Depósito para la preparación de la salmuera
- 17 Válvula anti-retorno.

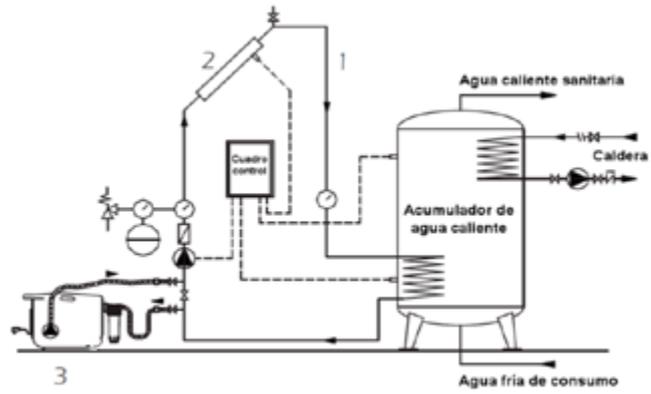
### 9.5. Esquemas tratamiento en circuito cerrado de calefacción para aguas tipo A, B, C y D.



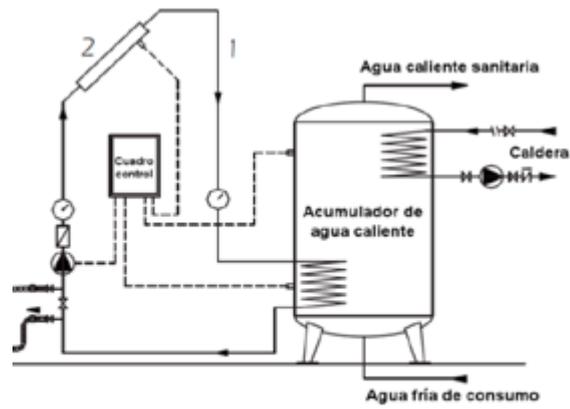
CIRCUITO CERRADO DE CALEFACCIÓN PARA AGUAS DE TIPO A B C y D  
LEYENDA

- 1 Caldera de calefacción
- 2 Válvulas de paso
- 3 Filtro de partículas
- 4 Descalcificador de intercambio iónico
- 5 Sistema de separación de circuitos
- 6 Válvula anti-retorno
- 7 Tubo de salida del agua caliente al circuito cerrado de calefacción
- 8 Tubería de agua de retorno

9.6. Esquemas tratamiento en circuito cerrado ACS con apoyo solar



- 1. Circuito solar
- 2. Panel solar
- 3. BOMBA SOLAR



- 1. Circuito solar
- 2. Panel solar
- 3. BOMBA SOLAR

## Apéndice A - Parámetros que afectan a la calidad del agua y su medida

En el análisis del agua de aporte a un edificio, destacan tres valores básicos que nos pueden facilitar una información rápida sobre sus principales características:

- La dureza
- El pH
- La conductividad

Estos conceptos se utilizan frecuentemente en este documento, por lo cual es importante conocer su significado y su forma de análisis.

### A.1.- Dureza

La dureza total del agua se define técnicamente como la cantidad de sales de elementos alcalino-térreos (berilio, magnesio, calcio, estroncio, bario y radio) presentes en el agua, no obstante, en la práctica, para el cálculo de la dureza del agua se utilizan únicamente las concentraciones de calcio y magnesio existentes ya que éstos son los únicos elementos que se hallan normalmente en cantidades significativas.

Estos iones en determinadas circunstancias (elevación de la temperatura, presencia de iones bicarbonato, aumento del valor del pH) forman unos precipitados conocidos como "cal", que se adhieren a las tuberías e instalaciones, obstaculizando el paso del agua y el intercambio de calor.



Fig. A1 -Capas de incrustación calcárea en el interior de una tubería de acero.

#### A.1.1.- Unidades de dureza

La dureza de un agua se expresa habitualmente en grados franceses (°f). Para su cálculo se utiliza la siguiente fórmula:

$$^{\circ}f = \frac{\text{mg/L de calcio y magnesio expresados como CaCO}_3}{10}$$

En los análisis del agua, es frecuente que los resultados analíticos de las concentraciones de calcio y magnesio se expresen como ión, no obstante estos valores no pueden sumarse directamente ya que no produce la misma incrustación 1 gramo de calcio que 1 gramo de magnesio.

Para solucionar este problema las concentraciones deben transformarse en una unidad común para poderse sumar. Para ello, en el cálculo de los °f anteriormente indicado, se utiliza la expresión química “expresado como CaCO<sub>3</sub> (carbonato cálcico)”.

**Para transformar la concentración de ion calcio (Ca<sup>2+</sup>) en carbonato cálcico se debe dividir dicho valor por 20 (peso equivalente del ion calcio) y multiplicar por 50 (peso equivalente del carbonato cálcico).**

**Para transformar la concentración de ion magnesio (Mg<sup>2+</sup>) en carbonato cálcico se ha de dividir dicho valor por 12,15 (peso equivalente del ion magnesio) y multiplicar por 50 (peso equivalente del carbonato cálcico).**

Además en los análisis de agua podemos encontrar otras unidades diversas como, por ejemplo, los °d (grados alemanes), los mmol/L (milimoles por litro), los meq/L (mилiequivalentes por litro) y los mg/L CaCO<sub>3</sub> (mg/L expresados como carbonato cálcico).

La siguiente Tabla nos permitirá efectuar las equivalencias correspondientes:

**Tabla A1 - Equivalencia de concentraciones**



### Equivalencia de concentraciones

	mg/L Ca <sup>2+</sup>	mg/L Mg <sup>2+</sup>	mmol/L Ca <sup>2+</sup>	mmol/L Mg <sup>2+</sup>	meq/L Ca <sup>2+</sup>	meq/L Mg <sup>2+</sup>	mg/L CaCO <sub>3</sub>	°f	°d
1 mg/L Ca <sup>2+</sup>	1	0,61	0,025	0,025	0,05	0,05	2,5	0,25	0,14
1 mg/L Mg <sup>2+</sup>	1,65	1	0,041	0,041	0,082	0,082	4,1	0,41	0,23
1 mmol/L Ca <sup>2+</sup>	40	24,3	1	1	2	2	100	10	5,6
1 mmol/L Mg <sup>2+</sup>	40	24,3	1	1	2	2	100	10	5,6
1 meq/L Ca <sup>2+</sup>	20	12,15	0,5	0,5	1	1	50	5	2,8
1 meq/L Mg <sup>2+</sup>	20	12,15	0,5	0,5	1	1	50	5	2,8
1 mg/L CaCO <sub>3</sub>	0,4	0,24	0,01	0,01	0,02	0,02	1	0,1	0,056
1 °f	4	2,43	0,1	0,1	0,2	0,2	10	1	0,56
1 °d	5,2	4,37	0,18	0,18	0,36	0,36	17,9	1,79	1

### Ejemplo de cálculo

Se desea conocer la dureza de un agua en °HF a partir de los siguientes datos:

- Calcio: 100 mg/L expresado como ion calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ )
- Magnesio: 60 mg/L expresado como ion magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ )

Cálculo de la dureza en °HF

$$\begin{aligned} 100 \text{ mg/L de } \text{Ca}^{2+} &\text{ equivalen a } 100 \times 2,5 = 250 \text{ mg/L CaCO}_3 \\ 60 \text{ mg/L de } \text{Mg}^{2+} &\text{ equivalen a } 60 \times 4,1 = 246 \text{ mg/L CaCO}_3 \\ \text{°HF} &= (250 + 246) / 10 = 49,6 \text{ °HF} \end{aligned}$$

Equivalencia en °d

$$49,6 \text{ °HF equivalen a } 49,6 \times 0,56 = 27,8 \text{ °d}$$



#### A.1.2.- Determinación de la dureza del agua

La dureza del agua se determina habitualmente mediante una reacción química que origina un cambio de color. Los kits analíticos facilitan la determinación rápida in situ pero en casos de aguas aditivadas se recomienda la caracterización en laboratorio para valorar el resultado.

Los kit analíticos se componen habitualmente de un recipiente en la cual se coloca la muestra de agua a analizar, un reactivo indicador que cambia de color en función de la concentración libre de calcio y de magnesio y un reactivo de valoración que reacciona con la dureza del agua formando un complejo.

Cuando el reactivo de valoración ha reaccionado con todo el calcio y magnesio presente origina el cambio de color del indicador.



Fig. A2 -Determinación de la dureza del agua.

En algunos casos, se utiliza un único reactivo que contiene la mezcla del indicador y el valorador.

Para su uso se llena el recipiente con el agua a analizar (normalmente 5 mL), se añade 1-2 gotas del reactivo indicador y se agita. A continuación se adiciona gota a gota el reactivo de valoración hasta que se produce un cambio de color. El número de gotas requeridas del reactivo de valoración, corresponde normalmente a la dureza del agua expresada en °f.

## A.2.- pH

El valor del pH del agua es un indicador que nos determina la acidez o no acidez (basicidad o alcalinidad) del agua.

Químicamente se define como:

$$\text{pH} = - \log [\text{H}^+]$$

[H<sup>+</sup>] es la concentración del hidrogenión (en términos técnicos se debería usar la "actividad" del hidrogenión, la cual corresponde a su concentración efectiva).

Para una mejor comprensión del concepto del pH es importante conocer el equilibrio iónico de la molécula de agua.

El agua (H<sub>2</sub>O) se encuentra disociada según la siguiente reacción:



Un agua pura tiene una concentración de H<sup>+</sup> igual a la de OH<sup>-</sup> y se corresponde con un valor de pH de 7,0

Las aguas en las cuales la concentración de H<sup>+</sup> es superior a la de OH<sup>-</sup> son aguas ácidas y el valor de su pH está por debajo de 7,0. Por el contrario aquellas cuya concentración de OH<sup>-</sup> es superior a la de H<sup>+</sup> son aguas básicas o alcalinas y su pH es superior a 7,0.

La escala de valores de pH es totalmente abierta, no obstante podríamos considerar como límites prácticos en aguas ácidas los valores de ácidos fuertes disueltos en agua como el ácido clorhídrico, ácido sulfúrico...etc. cuyo pH puede llegar incluso por debajo de -2.

En aguas alcalinas, el pH de las disoluciones de bases fuertes como el hidróxido sódico o potásico puede superar el valor de + 14

El pH del agua destinada a consumo humano está en la práctica condicionado por la concentración de ácido carbónico presente en el agua y valores entre 6,5 y 9,5 son aceptables según la normativa sobre aguas de consumo humano (R.D. 140/2003)

Las aguas con valores de pH inferiores o iguales a 7,0 generalmente favorecen los procesos de corrosión mientras que las aguas con valores de pH superiores a 8,0 generalmente favorecen las incrustaciones calcáreas.



### A.2.1- Determinación del pH

La determinación del valor del pH se efectúa habitualmente por colorimetría tras analítica, o se mide mediante un electrodo, que debe comprobarse periódicamente con patrones de pH conocidos.

El análisis por colorimetría se realiza tomando una muestra de agua y añadiendo un reactivo que produce un cambio de color. Posteriormente la muestra coloreada se compara con una escala de colores cada uno de los cuales representa un valor del parámetro analizado. Se selecciona el color más similar y se determina de esta forma el resultado.

Este tipo de análisis es muy útil, rápido y sencillo, pero lógicamente no posee una elevada precisión y el resultado final depende de una observación visual subjetiva que puede variar de un operador a otro.

Para una mayor precisión la muestra coloreada puede compararse mediante un fotómetro el cual determina automáticamente el valor del parámetro analizado con una escala de patrones de color o medir el color; el fotómetro además permite normalmente su calibración con lo cual la exactitud de la medición es mucho más fiable.



Fig. A3 -Ejemplo de fotómetro para determinación de pH.

En el análisis mediante electrodo la medición se realiza sumergiendo este elemento en la solución a valorar, esperando a la estabilización de la lectura y visualizando directamente en la pantalla el resultado.

En algunos casos el equipo incorpora un sensor de temperatura que facilita su lectura y que puede compensar el valor del pH en función de la temperatura. Este tipo de equipos permiten prácticamente siempre su calibración.



Fig. A4 -Ejemplo de medición de pH mediante electrodo.



### A.3.- Conductividad

La conductividad del agua es un parámetro muy utilizado para determinar el contenido de sales disueltas en ella.

Es el inverso de la resistencia que opone el agua al paso de la corriente eléctrica. Se mide en microsiemens/cm ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) y, si bien no existe una relación constante con la salinidad, para realizar cálculos aproximados se acepta que la salinidad del agua corresponde al valor de la conductividad (expresada en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

Los valores habituales de conductividades en las aguas serían:

<b>Aguas naturales</b>	<b>Conductividad</b>
Agua de mar	~ 50.000 - 60.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Aguas muy salobres	~ 10.000 - 15.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Aguas salobres	~ 1.000 - 2.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Aguas poco salobres	~ 250 - 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Aguas muy poco salobres	~ 50 - 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$
<b>Aguas tratadas</b>	<b>Conductividad</b>
Aguas osmotizadas	~ 5 - 20 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Agua purificada	~ 1 - 5 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Aguas ultrapuras	~ 0,04 - 0,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$

Tabla A.2 - Conductividad del agua

El inverso de la conductividad del agua es la resistividad, parámetro más utilizado para el dimensionamiento de los sistemas de protección catódica.

En aguas de conductividad inferior a 50  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ( superior a una resistividad de 20.000  $\Omega\cdot\text{cm}$ ) es complicado instalar sistemas de protección catódica)



#### A.3.1.- Determinación de la conductividad

La medición de la conductividad del agua se realiza mediante un electrodo, sumergiéndolo en la solución a valorar, esperando a la estabilización de la lectura y visualizando directamente en la pantalla el resultado.

En algunos casos el equipo incorpora un sensor de temperatura que facilita su lectura y que puede compensar el valor del parámetro determinado en función de la temperatura. Asimismo este tipo de equipos permiten prácticamente siempre su calibración así es necesario para obtener resultados fiables.



Fig. A.5 - Ejemplo de medición de conductividad

## Apéndice B - Dureza del agua y formación de incrustaciones

La dureza total del agua se define técnicamente como la cantidad de sales de elementos alcalino-térreos (berilio, magnesio, calcio, estroncio, bario y radio) presentes en el agua, no obstante, en la práctica, para el cálculo de la dureza del agua se utilizan únicamente las concentraciones de calcio y magnesio existentes ya que estos son los únicos elementos que se hallan normalmente en cantidades significativas.

Estos iones en determinadas circunstancias (elevación de la temperatura, presencia de iones bicarbonato, aumento del valor del pH) forman unos precipitados conocidos como "cal", que se adhieren a las tuberías e instalaciones, obstaculizando el paso del agua y el intercambio de calor.



Fig. B1 -Capas de incrustación calcárea en el interior de una tubería de acero.



DUREZA	CARÁCTER INCRUSTANTE (ORIENTATIVO)
0 - 10 °HF	Generalmente el carácter incrustante será nulo o muy reducido
11 - 20 °HF	Estas aguas pueden poseer un moderado carácter incrustante, especialmente al aumentar la temperatura
21 - 30 °HF	Para estas durezas, el agua habitualmente tendrá un carácter incrustante significativo y originará incrustaciones al aumentar la temperatura
31 - 40 °HF	Este rango de durezas corresponde generalmente a aguas con un importante carácter incrustante que requerirá siempre un tratamiento adecuado para evitar la formación de incrustaciones
41 - 50 °HF	Al igual que en el caso anterior, generalmente serán aguas incrustantes que requerirán un tratamiento adecuado para evitar la formación de incrustaciones, aunque también pueden ser aguas con un contenido en sales significativo que precise un tratamiento adicional para evitar procesos de corrosión
> 50 °HF	Para durezas elevadas es aconsejable efectuar un análisis más completo del agua para determinar el tipo de sales que contiene y poder establecer su carácter incrustante/agresivo/corrosivo

### B.1.- Unidades de dureza

La dureza de un agua se expresa habitualmente en grados franceses (°HF).

Para su cálculo se utiliza la siguiente fórmula:

$$^{\circ}\text{HF} = \frac{\text{mg/L de calcio y magnesio expresados como CaCO}_3}{10}$$

Tabla B1 - Equivalencia de concentraciones

### Equivalencia de concentraciones

	mg/L Ca <sup>2+</sup>	mg/L Mg <sup>2+</sup>	mmol/L Ca <sup>2+</sup>	mmol/L Mg <sup>2+</sup>	meq/L Ca <sup>2+</sup>	meq/L Mg <sup>2+</sup>	mg/L CaCO <sub>3</sub>	°HF	°d
1 mg/L Ca <sup>2+</sup>	1	0,61	0,025	0,025	0,05	0,05	2,5	0,25	0,14
1 mg/L Mg <sup>2+</sup>	1,65	1	0,041	0,041	0,082	0,082	4,1	0,41	0,23
1 mmol/L Ca <sup>2+</sup>	40	24,3	1	1	2	2	100	10	5,6
1 mmol/L Mg <sup>2+</sup>	40	24,3	1	1	2	2	100	10	5,6
1 meq/L Ca <sup>2+</sup>	20	12,15	0,5	0,5	1	1	50	5	2,8
1 meq/L Mg <sup>2+</sup>	20	12,15	0,5	0,5	1	1	50	5	2,8
1 mg/L CaCO <sub>3</sub>	0,4	0,24	0,01	0,01	0,02	0,02	1	0,1	0,056
1 °f	4	2,43	0,1	0,1	0,2	0,2	10	1	0,56
1 °d	5,2	4,37	0,18	0,18	0,36	0,36	17,9	1,79	1



#### Ejemplo de cálculo

Se desea conocer la dureza de un agua en °f y °d a partir de los siguientes datos:

- Calcio: 100 mg/L expresado como ion calcio (Ca<sup>2+</sup>)
- Magnesio: 60 mg/L expresado como ion magnesio (Mg<sup>2+</sup>)

Cálculo de la dureza en °f

$$100 \text{ mg/L de Ca}^{2+} \text{ equivalen a } 100 \times 2,5 = 250 \text{ mg/L CaCO}_3$$

$$60 \text{ mg/L de Mg}^{2+} \text{ equivalen a } 60 \times 4,1 = 246 \text{ mg/L CaCO}_3$$

$$\text{°f} = (250 + 246) / 10 = 49,6 \text{ °f}$$

Equivalencia en °d

$$49,6 \text{ °f equivalen a } 49,6 \times 0,56 = 27,8 \text{ °d}$$

### B.2.- Formación de las incrustaciones

El calcio y el magnesio están disueltos en el agua conjuntamente con otros iones como cloruros, nitratos, sulfatos y bicarbonatos, entre otros.

En forma particular los compuestos químicos que afectan a la formación de las incrustaciones son los bicarbonatos de calcio  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  y de magnesio  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ :

Estos compuestos son solubles en agua y, por consiguiente, se hallan disueltos en ella en forma de iones, no obstante, presentan una reacción de equilibrio químico que en determinadas condiciones puede conducir a la formación de precipitados sólidos conocidos como "cal".

En toda reacción química de equilibrio, cuando la concentración de un componente aumenta o disminuye, el equilibrio se desplaza siempre en el sentido necesario para anular la causa modificante.

En este caso concreto, el equilibrio de esta reacción depende en forma muy importante de la concentración del dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) presente en el agua. Al ser el dióxido de carbono un gas, su solubilidad en agua depende de la temperatura.

Cuando el agua se calienta (en un calentador, por ejemplo) el dióxido de carbono tiende a desprenderse disminuyendo su concentración en el agua.

En este caso el equilibrio se desplaza en el sentido necesario para producir más dióxido de carbono con objeto de compensar el que se pierde, pero a la vez que produce más dióxido de carbono también genera como consecuencia mayor cantidad de carbonato cálcico el cual es insoluble y precipita formando las conocidas incrustaciones.



**Las incrustaciones de "cal" se producirán siempre en los puntos con mayor temperatura del circuito ya que en ese lugar el gas carbónico se desprende con gran rapidez y la reacción produce continuamente mucha más "cal".**

### B.3.- Incrustaciones calcáreas y consumo energético

Las incrustaciones que se forman de cal actúan como un aislante térmico que impide la correcta transmisión del calor. Este hecho aumenta considerablemente el consumo de energía y el tiempo requerido para calentar el agua. En algunos casos la falta de disipación del calor puede conducir incluso a la destrucción del sistema de calentamiento (por ejemplo, en calentadores eléctricos).

La siguiente imagen nos permite valorar el efecto de las incrustaciones de cal en el consumo energético.

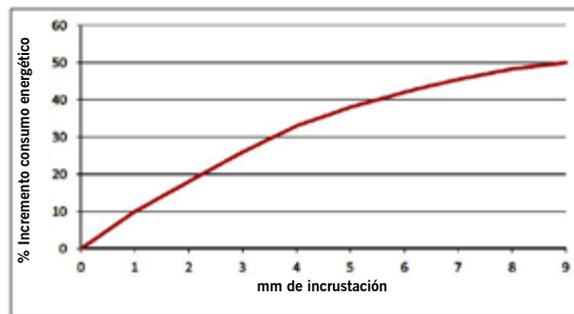


Fig. B.2. Incremento del consumo energético debido a las incrustaciones de cal

**En esta gráfica podemos ver la importancia del control de las incrustaciones en la reducción del consumo energético. Simplemente con que se forme 1 mm de cal sobre una resistencia o un intercambiador de calor, el consumo energético aumentará alrededor de un 10 %.**

Es muy importante evitar la formación de incrustaciones calcáreas ya que de esta forma se impedirá que el consumo energético se eleve progresivamente, por este motivo, para poder satisfacer las necesidades del usuario.

## Apéndice C - Procesos de corrosión y factores que los favorecen

Por todos es conocido el gran poder disolvente del agua, pudiendo considerársela como el disolvente universal por excelencia.

En algunos casos esta característica por sí sola o unida a los diversos compuestos químicos que normalmente se hallan disueltos en ella, provoca un ataque electroquímico frente al material constituyente de la tubería (acero galvanizado, cobre...etc.) a través de la cual circula originando distintos procesos que se agrupan bajo el fenómeno de la corrosión.



**En el diseño de una instalación, hemos de tener presente que generalmente siempre habrá elementos metálicos: grifería, lavadoras, acumuladores de ACS etc. que debemos considerar y proteger frente a los procesos de corrosión**



Fig.C.1. -Ejemplo de corrosión en el interior de un interacumulador

### C.1.- Materiales

Los principales materiales metálicos que con mayor frecuencia se utilizan en estos circuitos son los siguientes:

- Acero galvanizado
- Cobre
- Acero inoxidable
- Aluminio (en circuitos cerrados)
- Hierro negro (en circuitos cerrados)

### Acero galvanizado

La utilización del zinc en la fabricación de acero galvanizado proporciona un recubrimiento para la protección de la tubería de acero.

Hemos de tener presente que el zinc se utiliza no por ser un metal más resistente que el hierro, sino, al contrario, por ser un metal menos resistente y que se corroe antes, no obstante al oxidarse el zinc, se protege el hierro.

Básicamente el zinc actúa como ánodo de sacrificio y por otra parte los subproductos que se obtienen en la corrosión del zinc forman una capa muy adherente sobre la superficie interna de la tubería que la protege de la corrosión.

### Cobre

El cobre es un metal relativamente noble pero que reacciona con facilidad con el oxígeno disuelto en el agua para formar una capa de óxido cuproso que pasiva el metal y lo protege de la corrosión.

### Aceros inoxidables

Los aceros inoxidables basan su eficacia en la incorporación de determinados metales en el acero (principalmente níquel, cromo y molibdeno) que forman una capa pasivante que evita los procesos de corrosión.

Existen diversos tipos de aceros inoxidables si bien en instalaciones en edificios los más utilizados son el AISI 304 y el AISI 316 más resistente contra la corrosión.

### Aluminio

Se utiliza principalmente en radiadores. Como metal se corroe espontáneamente formando un precipitado blanco de óxido de aluminio, no obstante tiende a pasivarse (el propio óxido forma una capa protectora) y generalmente el propio fabricante lo suministra ya con esta protección

### Hierro negro.

Es frecuente que las tuberías de los circuitos cerrados sean de hierro negro. Es importante limitar las cantidades de agua de aportación y cuando es necesario realizar los tratamientos de agua oportunos



## **C.2.- Factores que favorecen los procesos de corrosión**

Cada metal dispone de un sistema de autoprotección frente a la corrosión pero las características del agua y las diversas sustancias disueltas en ella, así como las condiciones de funcionamiento pueden alterar la formación de estas capas protectoras y originar un ataque sobre la tubería.

Los principales factores o causas que influyen en los fenómenos de corrosión son:

- La acidez del agua (su pH)

Las aguas ácidas ( $\text{pH} < 7,0$ ) favorecen la corrosión en el acero galvanizado y en el cobre.

- La cantidad de sales disueltas y el tipo de sales presentes.

La presencia de cloruros favorece la corrosión en el acero galvanizado y en el inoxidable, mientras que la presencia de sulfatos y nitratos favorece la corrosión en el cobre.

- La temperatura del agua.

En acero galvanizado y en inoxidable el aumento de la temperatura incrementa la velocidad de la corrosión. Además en el acero galvanizado a partir de  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  puede aparecer un proceso específico de corrosión denominado "corrosión por inversión de polaridad".

En tuberías de cobre, por el contrario, es frecuente que los procesos de corrosión se localicen normalmente en las tuberías de agua fría.

- La presencia de partículas sólidas en suspensión

Las partículas sólidas que se depositan en el interior de una tubería metálica originan una diferencia de oxidación entre el metal de la tubería, al cual le llega el oxígeno disuelto en el agua, y la pequeña superficie cubierta por la partícula, a la cual no le puede llegar el oxígeno disuelto.

En este proceso se crea una micropila que da lugar a la corrosión y disolución del material metálico en la zona situada bajo la partícula.

- La velocidad de circulación del agua

Velocidades del agua inferiores a 0,5 m/seg, favorecen deposiciones de partículas sólidas que propician la formación de pilas de aireación diferencial, mientras que velocidades del agua por encima de 2 m/seg, pueden favorecer, para ciertos metales, los fenómenos de corrosión por erosión.

- La presencia de oxígeno

El oxígeno disuelto en el agua favorece la oxidación de los metales, pero también en muchos casos es indispensable para la formación de una capa de protección.

En los circuitos abiertos normalmente la concentración de oxígeno se halla cercana al nivel de saturación (aproximadamente 10 mg/L, valor que varía en función de la temperatura) y se favorece la formación de capas pasivantes; no obstante cuando la concentración de oxígeno es inferior a 4 mg/L pueden formarse zonas con aireación diferencial que originarán procesos de corrosión.

En los circuitos cerrados normalmente la concentración de oxígeno es mucho más reducida y su presencia, principalmente cuando el circuito no es totalmente cerrado, favorece en forma muy significativa los procesos de corrosión.

- Las mezclas de metales.

Este fenómeno tiene lugar cuando dos metales diversos entran en contacto físico directo en una tubería de agua. En este caso el metal menos noble se corroe.

Las mezclas más habituales de metales se producen entre el cobre y el acero galvanizado, cuando se realizan reparaciones y son sustituidos, por ejemplo, tramos de acero galvanizado por tuberías de cobre. Asimismo también es muy frecuente en circuitos de agua caliente sanitaria con mezclas de metales cuando existe un circuito de retorno del agua.

Al ser el cobre un metal más noble que el hierro, siempre tenderá a corroerse la parte de acero galvanizado.

Para evitar el contacto directo normalmente la conexión se realiza mediante manguitos electrolíticos de plástico. No obstante, incluso utilizando un manguito, debe recordarse que siempre debe instalarse el material menos noble (acero galvanizado) antes del más noble (cobre), pues al depositarse las partículas de cobre arrastradas por el agua sobre el hierro se originan pilas galvánicas de corrosión.

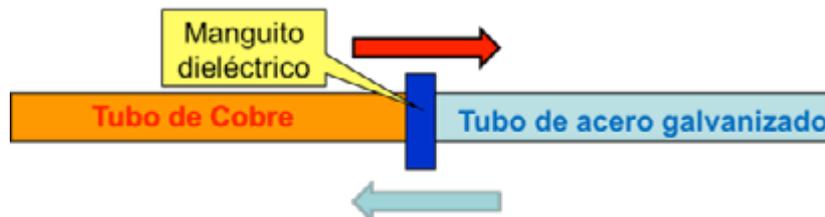


Fig. C.2. Corrosión galvánica

Por ello en circuitos abiertos de recirculación de ACS con partes de cobre y partes de acero galvanizado, los manguitos dieléctricos no evitan los procesos de corrosión.



## Apéndice D - Determinación del carácter incrustante del agua. Índices de Langelier y de Ryznar.

La predicción de la agresividad de un agua ha sido y sigue siendo una preocupación para los técnicos de las empresas distribuidoras de agua de todos los países. Autores como Langelier, Ryznar, Tillmans...etc., han constituido diagramas y han deducido ecuaciones para resolver este problema, que la legislación actual empieza ya a considerar.

**El Real Decreto 140/2003 por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano, especifica en su Anexo I Parte C que “El agua en ningún momento podrá ser ni agresiva ni incrustante. El resultado de calcular el Índice de Langelier debería estar comprendido entre  $\pm 0,5$ ”.**

Veremos a continuación algunos de los más utilizados: el Índice de Langelier y el de Ryznar.

### Índice de Langelier

El índice de Langelier se basa en el cálculo del valor del pH de saturación o de equilibrio (pHs) de la reacción de precipitación de la cal (ver Apéndice B).

El valor obtenido en unas determinadas condiciones corresponde al pH en el cual la reacción de precipitación del carbonato cálcico se halla en equilibrio; el agua no tiene tendencia a ese pH ni a formar precipitados de cal (agua incrustante) ni a disolverlos (agua agresiva).

De esta forma el índice de Langelier nos permite determinar el carácter del agua.

$$LSI = pH - pHs$$

**LSI: Índice de Langelier**

**pH: pH real del agua**

**pHs: pH de saturación o de equilibrio**

A partir del valor obtenido existen tres posibilidades:

$$LSI > 0$$

El pH real del agua es superior al de saturación y, por consiguiente, el agua tiene carácter incrustante

$$LSI < 0$$

El pH real del agua es inferior al de saturación y, por consiguiente, el agua tiene carácter agresivo.

$$LSI = 0$$

El pH real del agua es igual al de saturación y, por consiguiente, el agua tiene carácter equilibrado.



Como veremos a continuación, en el cálculo del índice de Langelier intervienen diversos factores variables, por ello, en la práctica se establece un cierto margen para determinar el carácter del agua:

**LSI > 0,5 equivale a un agua incrustante**  
**LSI < -0,5 equivale a un agua agresiva**

El valor del pHs puede determinarse por cálculo matemático o mediante un gráfico de cálculo, a partir de los siguientes valores: temperatura, pH, dureza cálcica y alcalinidad total (bicarbonatos en aguas naturales) en mg/L como CaCO<sub>3</sub> y sólidos totales en mg/L.

Matemáticamente, puede calcularse basándose en la siguiente expresión:

$$\text{pHs} = 9,3 + A + B - C - D$$

$$A = (\log (\text{Total de sólidos disueltos en mg/L}) - 1) / 10$$

$$B = -13,12 * \log (\text{Temperatura en } ^\circ\text{C} + 273) + 34,55$$

$$C = \log (\text{concentración de ión calcio expresada como carbonato cálcico}) - 0,4$$

$$D = \log (\text{alcalinidad expresada como carbonato cálcico})$$

La alcalinidad es básicamente el contenido en hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos y, en la práctica, se asimila al contenido en bicarbonatos del agua.



#### EJEMPLO DE CÁLCULO BASADO EN FÓRMULA

Se desea conocer el Índice de Langelier y el carácter incrustante del agua a partir de los siguientes datos:

- pH del agua = 7,8
- Total de sólidos disueltos = 500 mg/L
- Temperatura = 25 °C
- Contenido en ión calcio = 100 mg/L = 250 mg/L expresada como carbonato cálcico
- Alcalinidad = 200 mg/L expresada como carbonato cálcico

Con estos datos se obtienen los siguientes valores:

$$\bullet A = (\log (500) - 1) / 10 = (2,70 - 1) / 10 = 0,17$$

$$\bullet B = -13,12 * \log (25 + 273) + 34,55 = -13,12 * 2,47 + 34,55 = - 32,40 + 34,55 = 2,15$$

$$\bullet C = \log (250) - 0,4 = 2,40 - 0,4 = 2,00$$

$$\bullet D = \log (200) = 2,30$$

$$\text{pHs} = 9,3 + A + B - C - D = 9,3 + 0,17 + 2,15 - 2,00 - 2,30 = 7,32$$

LSI = 7,8 - 7,23 = + 0,57 lo cual equivale a un agua incrustante o moderadamente incrustante.

Debido a su complejidad matemática, también se utilizan frecuentemente sistemas gráficos de cálculo del pHs como el de Hoover-Langelier.

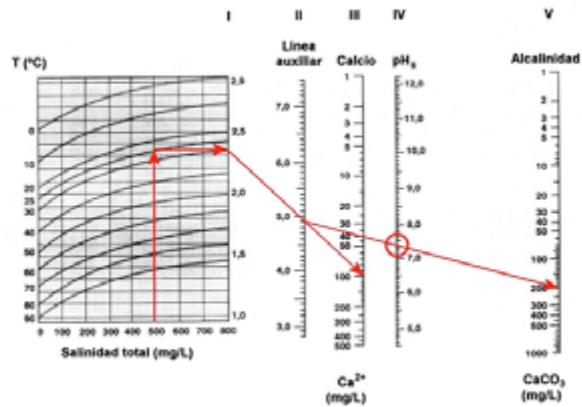


Fig. D.1. -Diagrama de Hoover - Langelier

### EJEMPLO DE CÁLCULO BASADO EN DIAGRAMA

Para la determinación del pHs en este gráfico y con el ejemplo anteriormente propuesto se realizarían los siguientes pasos (ver figura C.1):

- A partir del valor de la salinidad del agua en mg/L (500 mg/L en el ejemplo), trazar una recta vertical hasta cortar la curva correspondiente a la temperatura de trabajo (25 °C).
- En el punto de corte, trazar una línea horizontal hasta cortar la escala I y desde allí trazar una recta hasta la concentración en ión calcio (100 mg/L como ión calcio)
- La recta trazada corta a la línea auxiliar II en un punto. Unir ese punto con la alcalinidad expresada como carbonato cálcico (200 mg/L en el ejemplo). Esta última recta al cortar a la escala IV, nos dará el valor del pHs

### Índice de estabilidad de Ryznar

J.W. Ryznar propuso un índice empírico

$$RSI = 2pHs - pH$$

el cual, según la experiencia, parece más representativo del carácter incrustante o agresivo de un agua.

Para:

- $RSI < 6$  agua incrustante
- $6 < RSI < 7$  agua próxima al equilibrio
- $RSI > 7$  agua agresiva

Matizando más se obtiene la siguiente clasificación:

$RSI < 4$	<b>muy incrustante</b>
$4 < RSI < 5$	<b>bastante incrustante</b>
$5 < RSI < 6$	<b>moderadamente incrustante</b>
$6 < RSI < 7$	<b>en equilibrio</b>
$7 < RSI < 7,5$	<b>moderadamente agresiva</b>
$7,5 < RSI < 9$	<b>bastante agresiva</b>
$9 < RSI$	<b>muy agresiva</b>

## EJEMPLO DE CÁLCULO DEL ÍNDICE DE RYZNAR

En el ejemplo anteriormente propuesto:

- pH del agua = 7,8
- $pH_s = 7,32$

$RSI = 2 * 7,32 - 7,8 = 14,64 - 7,8 = 6,84$  lo cual correspondería a un agua en equilibrio.

## Apéndice E - Principales equipos, sistemas de protección y tratamientos en circuitos abiertos

### E.1. - Filtración de protección

Los principales tipos de filtros de protección usados son los siguientes:

- Filtro de bobinado.  
En este tipo de filtros un soporte central sostiene la malla filtrante sobre el cual se realiza el enrollamiento de un hilo. El tejido así constituido actúa como medio filtrante. En estos filtros cuando el elemento filtrante se ensucia o colmata, simplemente se sustituye por uno nuevo.
- Filtro de malla lavable.  
En este tipo un soporte sostiene el elemento filtrante el cual está tejido con hilo de material sintético. El elemento filtrante puede ser lavado periódicamente, por lo que al contrario del anterior podrá ser reutilizado, siendo su coste de mantenimiento notablemente más bajo.
- Filtro autolimpiante.  
Para evitar el problema que presenta la continua limpieza o sustitución del elemento filtrante han sido desarrollados los filtros autolimpiantes, los cuales realizan su lavado simplemente apretando o girando un mando o sin necesidad de manipulación alguna en los modelos automáticos.

Se trata generalmente de filtros de malla de tejido sintético en los cuales y mediante una simple operación manual o automática, se consigue la limpieza total del elemento filtrante evitando su sustitución. Los modelos automáticos están desarrollados para realizar el lavado en forma automática por tiempo o bien por presión diferencial (pérdida de carga) una vez que el elemento filtrante se haya colmatado.

### E.2. - Prevención de las incrustaciones calcáreas

Los tratamientos tradicionales para la prevención de incrustaciones calcáreas se basan normalmente en los siguientes tratamientos:

- Descalcificación mediante resinas de intercambio iónico
- Dosificación de inhibidores de incrustaciones
- Aplicación de equipos físicos



### E.2.1. - Descalcificación mediante resinas de intercambio iónico

La descalcificación se basa en la utilización de resinas de intercambio iónico que incluyen en su composición el ion sodio y que poseen la característica de poder intercambiar este ión por otros similares.

De esta forma, cuando el agua atraviesa estas resinas, los iones calcio y magnesio se intercambian por el ion sodio de tal forma que los primeros quedan retenidos en la resina y este último se incorpora al agua de acuerdo con la reacción:



(el mismo intercambio ocurre con el ión magnesio)

Este proceso continúa hasta que la mayor parte de los iones sodio de la resina se han intercambiado, en cuyo momento la resina ya no es capaz de retener por completo los iones calcio y magnesio y se empiezan a producir fugas de dureza. En este momento se considera que la resina está agotada y es preciso proceder a su regeneración para volver a iniciar el ciclo.

Para regenerar la resina simplemente se invierte la reacción de intercambio mediante una concentración muy elevada de sodio. Esto se consigue a partir de una disolución saturada de cloruro sódico (salmuera). En este proceso se invierte el intercambio y la resina se vuelve a cargar con iones sodio cediendo el calcio y magnesio retenidos que, conjuntamente con el ion cloruro restante, se conducirán a desagüe.



Al descalcificar el agua debe considerarse que un agua excesivamente agresiva y descalcificada puede ser agresiva e incrementar el riesgo de corrosión en algunos metales, en función de la composición del agua. Para minimizar el riesgo de corrosión puede ser aconsejable que el agua descalcificada tenga una cierta dureza residual, orientativamente de 6 °HF a 15 °HF.

Teniendo en cuenta que a la salida de un descalcificador el agua tiene una dureza de 0 °HF a 0,5 °HF, generalmente los descalcificadores incorporan una válvula para mezclarla con agua dura en la proporción adecuada. Cuando sea necesario deben tomarse medidas complementarias contra la corrosión interior de tubos y depósitos.

Los descalcificadores están generalmente constituidos por una botella de material plástico que contiene el lecho de resinas de intercambio iónico, un depósito para acumulación de sal y preparación de salmuera y un sistema electrónico de control.

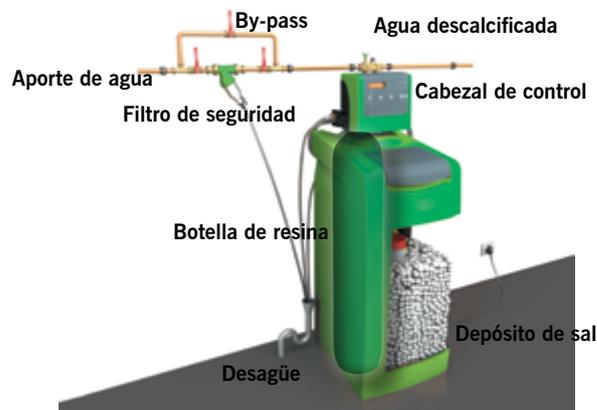


Fig. E.1. - Componentes de un descalcificador

La botella de resina es independiente del depósito de salmuera y puede situarse unida a éste formado un único cuerpo para facilitar la instalación del equipo o bien totalmente separada.

El proceso de regeneración se realiza normalmente por tiempo o por volumen. Debe tenerse presente que durante la regeneración el descalcificador generalmente abre automáticamente una válvula de by-pass para no cortar el suministro de agua, pero el agua que entonces se envía a consumo es agua dura sin tratar, por este motivo, en ocasiones puede ser importante establecer la hora en que se producirá la regeneración, como veremos a continuación.

- Regeneración por tiempo

En este caso la regeneración tiene lugar por tiempo programado sin que el consumo influya. Es el sistema más económico y permite fijar la hora exacta de regeneración. No obstante tiene la desventaja de que cuando no existe consumo o éste es muy reducido, el equipo regenera igualmente a la hora prefijada sin que sea preciso y, por el contrario, en caso de consumos importantes el equipo no regenera hasta la hora y día predeterminados con lo cual puede estar suministrando agua dura al agotarse la capacidad de la resina.

- Regeneración por volumen

En este otro caso la regeneración tiene lugar al llegar a un volumen programado. Si bien el sistema tiene un coste mayor pues requiere la instalación de un contador, a corto plazo repercute positivamente en el consumo de sal ya que si no hay servicio no regenera y, por consiguiente, no gasta sal y si el servicio es superior al previsto regenera antes.

Una variante del sistema volumétrico es por volumen estadístico. Es el sistema más adecuado cuando se desea controlar la hora en que tendrá lugar la regeneración. En este caso se introduce el volumen programado y también la hora en que debe realizarse la regeneración. El microprocesador de control realiza un cálculo estadístico del consumo por día de la semana de tal forma que al llegar la hora prefijada para la regeneración determina si debe proceder a regenerar la resina o bien si puede suministrar agua descalcificada durante un día más.



### E.2.2. - Dosificación de inhibidores de incrustaciones

En la técnica de dosificación de inhibidores de incrustaciones se adiciona en el agua un producto (sustancia o mezcla), en cantidades muy reducidas, que evita que las sales insolubles presentes en el agua incrusten.

Con la dosificación de un inhibidor de la incrustación la dureza no se reduce pero no precipita en los calentadores ni forma depósitos en las tuberías ni en los electrodomésticos.

Los productos que normalmente se utilizan deben tener propiedades antincrustantes y deben cumplir con las exigencias de la legislación vigente (Orden Ministerial SSI 304/2013) cuando el agua se destina a consumo humano.

La eficacia de la dosificación de estos productos depende de la dureza del agua a tratar, así como de su alcalinidad, pH y temperatura. En general en la inmensa mayoría de aguas se pueden evitar prácticamente en su totalidad las incrustaciones de calcio / magnesio e incluso eliminar progresivamente las incrustaciones ya existentes.

Las dosis que generalmente se aplican de estos inhibidores de incrustación en el agua destinada a consumo humano son muy reducidas. Su dosificación no modifica en absoluto las características organolépticas de olor, sabor y color, manteniendo su condición de agua apta para el consumo humano.

En circuitos cuya agua no se destina a consumo humano (por ejemplo, los de calefacción o los de las torres de refrigeración), además de las sustancias indicadas se utilizan frecuentemente otro tipo de inhibidores.

### E.2.3. - Equipos físicos

Los equipos físicos se utilizan para evitar incrustaciones calcáreas sin adición de productos químicos y sin modificar la composición del agua.

Como concepto general, su principio de operación en muchos casos se basa en la formación de cristales microscópicos de cal que permanecen en suspensión en el agua y que se repelen entre sí.

Cuando el agua así tratada llega, por ejemplo, a un calentador en el cual la elevación de la temperatura produciría la formación de incrustaciones, la cal que precipita no incrusta sobre las paredes sino que lo hace sobre estos cristales los cuales se arrastran por la corriente.

El efecto anti-incrustante que se crea en el agua es normalmente temporal y su duración y efectividad son muy variables según el tipo de equipo y principio de funcionamiento.

**La amplia gama de equipos existentes en el mercado y sus diversas eficacias queda reflejada en la Guía técnica para la prevención y control de la legionelosis en instalaciones, la cual, en su Capítulo 2: Agua fría de consumo humano, indica que: «Bajo el concepto de equipos físicos pueden englobarse diversas técnicas y procedimientos algunos de los cuales solamente funcionan en unas determinadas condiciones. Es aconsejable que la eficacia de este tipo de equipos, esté contrastada con algún método de ensayo europeo reconocido, por ejemplo, el test DVGW W-512 (Alemania), ÖVGW W-35 (Austria) u otro test europeo equivalente».**



### E.3. - Prevención de los procesos de corrosión

El agua en determinados casos, incorpora algunas sustancias que, sin afectar a su calidad como agua apta para el consumo humano, pueden interaccionar con algunos metales y favorecer los procesos de corrosión.

**Este concepto figura especialmente descrito en el Código Técnico de la Edificación, Documento HS4:**

#### **6.3 Incompatibilidades - 6.3.1 Incompatibilidad de los materiales y el agua**

- 1 Se evitará siempre la incompatibilidad de las tuberías de acero galvanizado y cobre controlando la agresividad del agua. Para los tubos de acero galvanizado se considerarán agresivas las aguas no incrustantes con contenidos de ión cloruro superiores a 250 mg/L. Para su valoración se empleará el índice de Langelier. Para los tubos de cobre se consideraran agresivas las aguas dulces y ácidas (pH inferior a 6,5) y con contenidos altos de CO<sub>2</sub>. Para su valoración se empleará el índice de Lucey.
- 2 Para los tubos de acero galvanizado las condiciones límites del agua a transportar, a partir de las cuales será necesario un tratamiento serán las de la tabla 6.1:

Tabla 6.1

Características	Agua fría	Agua caliente
Resistividad (Ohm x cm)	1.500 – 4.500	2.200 – 4.500
Título alcalimétrico completo (TAC) meq/L	1,6 mínimo	1,6 mínimo
Oxígeno disuelto, mg/L	4 mínimo	-
CO <sub>2</sub> libre, mg/L	30 máximo	15 máximo
CO <sub>2</sub> agresivo, mg/L	5 máximo	-
Calcio (Ca <sup>2+</sup> ) mg/L	32 mínimo	32 mínimo
Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ), mg/L	150 máximo	96 máximo
Cloruros (Cl <sup>-</sup> ), mg/L	100 máximo	71 máximo
Sulfatos + Cloruros, meq/l	-	3 máximo

- 3 Para los tubos de cobre las condiciones límites del agua a transportar, a partir de las cuales será necesario un tratamiento serán las de la tabla 6.2:

Tabla 6.2

Características	Agua fría y agua caliente
pH	7,0 mínimo
CO <sub>2</sub> libre, mg/L	no concentraciones altas
Índice de Langelier (IS)	debe ser positivo
Dureza total (TH), °f	5 mínimo (no aguas dulces)



- 4 Para las tuberías de acero inoxidable las calidades se seleccionarán en función del contenido de cloruros disueltos en el agua. Cuando éstos no sobrepasen los 200 mg/L se puede emplear el AISI-304. Para concentraciones superiores es necesario utilizar el AISI-316.

Así pues, conociendo las características analíticas del agua y el material de las instalaciones será posible establecer el sistema de protección o el tratamiento más adecuado del agua para evitar los procesos de corrosión.

Ello generalmente se basará en las siguientes actuaciones principales:

#### E.3.1. - La modificación de determinados parámetros del agua

Este tratamiento se realiza modificando algún parámetro del agua; por ejemplo ajustando el valor del pH o aumentando su dureza residual.

#### E.3.2. - El uso de inhibidores de corrosión

La utilización de inhibidores de corrosión no modifica sensiblemente las características fisicoquímicas del agua ya que actúan a dosis muy débiles. Generalmente el inhibidor interacciona con el metal promoviendo la formación de una capa protectora y forma una barrera compacta entre éste y el agua, con lo cual queda protegido.

**Es muy importante recordar que los productos químicos (sustancias o mezclas) utilizados en el tratamiento del agua de consumo humano, deben cumplir con las exigencias de la legislación vigente (actualmente la Orden Ministerial SSI 304/2013).**

### E.3.3. - La protección catódica de los acumuladores de ACS

La protección catódica de los acumuladores de ACS actúa a nivel preventivo contra la corrosión de los mismos y en algunos casos permite rehabilitar y frenar los procesos de corrosión de los acumuladores existentes.

La protección catódica de los acumuladores de ACS debe cumplir la Norma UNE-EN 12499.

Realizando una protección catódica correcta, la velocidad de corrosión es inferior a 10 micras/año.

El sistema debe ser capaz de proteger el acumulador durante el tiempo estipulado, a pesar de la posible gradual degradación del revestimiento. Para ello debe asegurarse que se dispone en cada momento de la intensidad de corriente necesaria y de que la distribución de la misma es homogénea en toda la superficie interna del acumulador.



Fig.E.2

A través de la boca de hombre, se observa a la izquierda el ataque interior por corrosión de un depósito existente antes de ser protegido y a la derecha los ánodos de la protección catódica y el aspecto del interior del acumulador dos años después.



## Apéndice F - Cálculo de un descalcificador

En este apartado se indican unos criterios básicos que permiten efectuar el diseño y la selección de un equipo descalcificador.

El sistema de cálculo que a continuación se describe contempla los principales parámetros implicados en el diseño del equipo, no obstante debe considerarse que la capacidad de tratamiento de un equipo depende además de su contenido en resina y de la dureza del agua a tratar, de otros factores adicionales que pueden presentar variaciones, por ejemplo, la velocidad de paso del agua, su salinidad y composición, su concentración en sodio, su temperatura, etc. Por todo ello, los valores obtenidos deben considerarse siempre como orientativos.

Para realizar un cálculo simplificado utilizaremos los siguientes datos de partida:

- **Dureza a tratar**

Corresponde a la dureza que deseamos eliminar en el agua y se calcula restando a la dureza de entrada la dureza residual que deseamos obtener (usando la válvula mezcladora).

La dureza del agua de aporte se puede determinar con un analizador de dureza total. Para ello, se utiliza normalmente un reactivo químico que se añade al agua de gota en gota y que cambia de color al reaccionar con toda la cal del agua. El número de gotas requeridas indica la dureza total del agua.



Fig. F.1. Analizador de dureza

La dureza residual debe seleccionarse en función de las características y de los materiales del circuito a proteger. Para minimizar el riesgo de corrosión puede ser aconsejable que el agua descalcificada tenga una cierta dureza residual, orientativamente de 6 °f a 15 °f.

### Consumo diario de agua

Son los m<sup>3</sup> de agua que vamos a consumir en un día. Para su cálculo en una vivienda se estima que por cada persona habitualmente se consumen unos 150 - 200 litros al día (duchas, lavabos, limpieza, consumo, etc.). En casos específicos este valor, puede modificarse para adaptarse a las condiciones particulares de cada suministro.



### Caudal a tratar

Son los m<sup>3</sup>/h que va a tratar habitualmente el descalcificador y se definen en función de los puntos de consumo (grifos) que simultáneamente pueden estar abiertos. Como orientación un grifo totalmente abierto puede consumir unos 0,72 m<sup>3</sup>/h

En caso de varias viviendas, en donde no se conozca el caudal máximo a tratar, es posible utilizar la Tabla que a continuación se facilita. Los valores indicados en ella deben considerarse exclusivamente como orientativos ya que en el caudal punta de varias viviendas influyen múltiples factores (tipo de vivienda, diámetro y material de las tuberías, existencia de depósito de acumulación, etc.)

Tabla F. 1. - Caudal máximo en función del número de viviendas

Nº de viviendas	Caudal máximo	Nº de viviendas	Caudal máximo
1	1,8 m <sup>3</sup> /h	2	2,5 m <sup>3</sup> /h
3	3,0 m <sup>3</sup> /h	4	3,3 m <sup>3</sup> /h
5	3,6 m <sup>3</sup> /h	6	3,9 m <sup>3</sup> /h
7	4,1 m <sup>3</sup> /h	8	4,3 m <sup>3</sup> /h
9	4,5 m <sup>3</sup> /h	10	4,7 m <sup>3</sup> /h
11	5,0 m <sup>3</sup> /h	12	5,2 m <sup>3</sup> /h
13	5,3 m <sup>3</sup> /h	14	5,5 m <sup>3</sup> /h
15	5,7 m <sup>3</sup> /h	16	5,9 m <sup>3</sup> /h
17	6,1 m <sup>3</sup> /h	18	6,3 m <sup>3</sup> /h
19	6,5 m <sup>3</sup> /h	20	6,7 m <sup>3</sup> /h
21	6,9 m <sup>3</sup> /h	22	7,1 m <sup>3</sup> /h
23	7,2 m <sup>3</sup> /h	24	7,4 m <sup>3</sup> /h
25	7,6 m <sup>3</sup> /h	26	7,8 m <sup>3</sup> /h
27	8,0 m <sup>3</sup> /h	28	8,2 m <sup>3</sup> /h
29	8,4 m <sup>3</sup> /h	30	8,5 m <sup>3</sup> /h
31	8,7 m <sup>3</sup> /h	32	8,9 m <sup>3</sup> /h
33	9,1 m <sup>3</sup> /h	34	9,3 m <sup>3</sup> /h
35	9,5 m <sup>3</sup> /h	36	9,6 m <sup>3</sup> /h
37	9,8 m <sup>3</sup> /h	38	10,0 m <sup>3</sup> /h
39	10,2 m <sup>3</sup> /h	40	10,4 m <sup>3</sup> /h

Una vez disponemos de los datos anteriores, determinaremos en primer lugar la capacidad de intercambio necesaria para un día con la siguiente operación:

$$\text{Cap. intercambio diaria (m}^3\cdot\text{ºf)} = \text{Consumo diario (m}^3) \times \text{Dureza a eliminar (ºf)}$$

Con la capacidad de intercambio diaria necesaria buscaremos, a continuación, en los datos técnicos de los modelos seleccionados, el equipo que dispone de la capacidad de intercambio requerida para que el descalcificador proporcione agua para un día. Si deseamos que la regeneración se efectúe cada dos días necesitaremos un equipo con el doble de la capacidad de intercambio diaria; para una regeneración cada tres días, el triple, etc.

No es adecuado que el equipo regenere con una frecuencia superior a los cuatro días ya que la regeneración, en sí misma, es un proceso de limpieza y sanitización de las resinas y es conveniente realizarlo con una cierta frecuencia.

Cuando realicemos la selección del equipo, al comprobar su capacidad de intercambio hemos de tener muy presente que normalmente está calculada considerando un agua de aporte aproximadamente de 30 ºf.

Para durezas superiores la capacidad de intercambio disminuye y es necesario usar los factores de corrección considerados en la siguiente Tabla para seleccionar el equipo más adecuado:

Tabla E.2 - Factores de corrección en función de la dureza del agua

DUREZA	FACTOR
< 30 ºf	1
31 - 40 ºf	0,95
41 - 60 ºf	0,90 - 0,80
61 - 80 ºf	0,80 - 0,70
81- 100 ºf	0,70 - 0,60

Por encima de 100 ºf es conveniente realizar siempre un estudio previo ya que descalcificar este tipo de aguas en muchos casos no es generalmente rentable por el elevado consumo de sal.

Seleccionado el equipo, su ciclo real se calcula con la siguiente fórmula:

$$\text{Ciclo del equipo (m}^3) = \text{Cap. de intercambio real (m}^3\cdot\text{ºf)} / \text{Dureza a eliminar (ºf)}$$

Una vez determinado el equipo más adecuado, deberemos también considerar el caudal a tratar; el descalcificador seleccionado a partir de los litros de resina debe ser capaz de tratar el caudal medio y punta deseado (según sus datos técnicos).



## EJEMPLO DE CÁLCULO

Consideraremos los siguientes datos de partida:

- Tipo de vivienda: 1 vivienda de 8 personas
- Dureza de entrada: 70 °f
- Dureza residual deseada: 10 °f
- Caudal medio estimado: 2,4 m<sup>3</sup>/h
- Cantidad de sal para la regeneración: 100 g/L de resina

Y los siguientes equipos para realizar la selección:

Modelo	A	B	C	D	E
Caudal nominal m <sup>3</sup> /h	2,0	2,4	2,6	2,8	3,0
Capacidad de intercambio(*) m <sup>3</sup> .°f	150	225	300	375	450

(\*) Capacidad regenerando con 100g de sal por litro de resina.

A partir de estos valores se determinarían:

### Cálculos de diseño:

- Consumo diario: 200 L/pers. x 8 p = 1.600 L = 1,6 m<sup>3</sup>
- Dureza a eliminar: 70 – 10 °f = 60 °f
- Capacidad de intercambio para 1 día: 1,6 m<sup>3</sup> x 60 °f = 96 m<sup>3</sup>.°f

A partir de la tabla de datos realizaremos la selección del equipo.

Como la dureza del agua es superior a 30 °f deberemos aplicar a las capacidades de intercambio indicadas en los Datos Técnicos un factor de corrección.

En concreto para una dureza de 70 °f corresponde un factor de:

Dureza	Factor
61 - 80 °f	0,80 - 0,70

En este caso seleccionaríamos un factor de 0,75 con lo cual las capacidades cíclicas de los equipos para la descalcificación de un agua de 70 °f de dureza quedarían con los siguientes valores:

Modelo	A	B	C	D	E
Cap. intercambio a 30 °f m <sup>3</sup> .°f	150	225	300	375	450
Factor a 70 °f	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Cap. intercambio a 70 °f m <sup>3</sup> .°f	112	168	225	281	337

### Selección del equipo

- Capacidad de intercambio necesaria para 1 día: 96 m<sup>3</sup>.°f
- Modelo con regeneración cada día: "A"
- Ciclo real del equipo = 112 m<sup>3</sup>.°f / 60 °f = 1,87 m<sup>3</sup>
- Capacidad de intercambio necesaria para 2 días: 192 m<sup>3</sup>.°f (96 x 2)
- Modelo con regeneración cada 2 días: "C"
- Ciclo real del equipo = 225 m<sup>3</sup>.°f / 60 °f = 3,75 m<sup>3</sup>
- Capacidad de intercambio necesaria para 3 días: 288 m<sup>3</sup>.°f (96 x 3)
- Modelo con regeneración cada 2 días: "E"
- Ciclo real del equipo = 337 m<sup>3</sup>.°f / 60 °f = 5,62 m<sup>3</sup>



En todos los casos se verifica que el caudal nominal del equipo es adecuado para el caudal medio estimado.

Los equipos indicados son adecuados para el tratamiento deseado; en función de la valoración económica de los equipos podrá determinarse si se prefiere utilizar un equipo de menor capacidad de intercambio, ajustado a las necesidades actuales, o prever un equipo con un dimensionamiento algo superior para prever posibles variaciones de dureza del agua, caudal punta, consumos superiores, etc.



DUREZA	CARÁCTER INCRUSTANTE (ORIENTATIVO)
0 - 10 °f	Generalmente el carácter incrustante será nulo o muy reducido
11 - 20 °f	Estas aguas pueden poseer un moderado carácter incrustante, especialmente al aumentar la temperatura
21 - 30 °f	Para estas durezas, el agua habitualmente tendrá un carácter incrustante significativo y originará incrustaciones al aumentar la temperatura
31 - 40 °f	Este rango de durezas corresponde generalmente a aguas con un importante carácter incrustante que requerirá siempre un tratamiento adecuado para evitar la formación de incrustaciones
41 - 50 °f	Al igual que en el caso anterior, generalmente serán aguas incrustantes que requerirán un tratamiento adecuado para evitar la formación de incrustaciones, aunque también pueden ser aguas con un contenido en sales significativo que precise un tratamiento adicional para evitar procesos de corrosión
> 50 °f	Para durezas elevadas es aconsejable efectuar un análisis más completo del agua para determinar el tipo de sales que contiene y poder establecer su carácter incrustante/agresivo/corrosivo

## Apéndice G - Principales equipos y tratamientos en circuitos cerrados

### G.1. - Sistemas de separación de circuitos según UNE EN 1717

El agua en el interior de los circuitos cerrados de climatización no es lógicamente apta para su consumo y en función del tratamiento de que disponga, puede incorporar productos que incluso sean tóxicos; por ello es imprescindible que disponga de un sistema de separación, según la norma UNE-EN 1717, que evite retornos de agua del interior del circuito a la red de consumo humano.

**Esta exigencia queda recogida en el Real Decreto 865/2003 para la prevención de la legionelosis y es, por consiguiente, de obligado cumplimiento en todas las instalaciones afectadas.**

**Este sistema de separación no debe confundirse con una simple válvula anti-retorno, ya que la mencionada norma especifica claramente que en circuitos de calefacción en los cuales existan sustancias tóxicas o se desarrollen microorganismos que puedan afectar a la salud humana, deben aplicarse sistemas de doble pared con una zona intermedia (normalmente de aire o de un fluido inocuo) que separe el circuito de calefacción del de agua de consumo humano.**



Fig.G.1. Separador de circuitos con cámara intermedia según UNE-EN 1717

### G.2. - Limpieza inicial de los circuitos

Cuando se efectúa la instalación y montaje de un circuito cerrado, en algunos casos, en su interior pueden quedar restos de:

- Grasas y aceites de corte
- Residuos de soldadura
- Virutas de fundición
- Residuos de montaje
- Polvo metálico.

Estos elementos, si permanecen en el circuito pueden originar procesos de corrosión así como averías en las válvulas, las bombas, etc.

Para evitar estos problemas es conveniente, antes de su puesta en servicio definitiva, efectuar una limpieza del circuito con un producto de acción desengrasante y detergente.

El producto se introduce normalmente en forma manual en el circuito y una vez incorporado, se pone en funcionamiento la instalación con todas las válvulas abiertas, durante un breve periodo de tiempo (2/3 días como máximo), durante el cual la instalación también puede llevar a cabo su función de forma regular.

Una vez finalizado el proceso de limpieza, se vacía la instalación, se aclara y se llena de nuevo con agua considerando los tratamientos que a continuación se describen.

### G.3. - Limpieza inicial de los circuitos

La evolución de la eficiencia energética de las calderas que se instalan en los sistemas de calefacción y el aumento del volumen de agua acumulado originan un contenido de sales incrustantes que puede requerir un tratamiento adecuado, en función de la potencia de la caldera y de la dureza del agua como puede verse en el siguiente ejemplo.

#### EJEMPLO DEL CONTENIDO DE CAL EN UN CIRCUITO CERRADO

Consideremos, para este ejemplo, los siguientes datos:

- Volumen de agua en el circuito = 500 litros
- Dureza del agua = 30 °f

Con estos datos se obtienen los siguientes valores

Dureza del agua = 30 °f = 300 mg/L expresado como Carbonato cálcico (cal)

Total de "cal" en el circuito = 300 mg/L x 500 L = 150.000 mg = 150 g

**Con una dureza relativamente reducida, en un circuito de pequeño tamaño, se forman 150 gramos de cal que llegarán a la caldera.**

Esta cantidad de cal puede acumularse en el quemador de la caldera y afectar en forma muy significativa a la estabilidad del metal, al intercambio térmico y al rendimiento energético.



Fig. G2. Efecto de una incrustación en una caldera de alto rendimiento

La importancia de los efectos de la cal que contiene el agua en una caldera dependerá principalmente de la dureza del agua y de la potencia de la caldera.

La siguiente tabla indica la dureza máxima recomendada del agua que alimenta una caldera (según Guía VDI 2035 - Parte 1), en función de su potencia:



Potencia de la caldera	Dureza máxima recomendada
≤ 50 kw	No especificada
De 50 kw a 200 kw	20 °f
De 201 a 600 kw	15 °f
> 600 kw	0,2 °f

**En cualquier caso deben respetarse en todo momento las especificaciones del fabricante de la caldera.**

### G.3.1. - Sistemas de tratamiento

Los tratamientos más adecuados para evitar la formación de depósitos de cal en la caldera son:

- La descalcificación del agua mediante resinas de intercambio iónico
- La desalinización parcial del agua mediante ósmosis inversa o intercambio iónico.

La descalcificación del agua se realiza con los equipos descritos en el Apéndice D.

Para la reducción parcial de la salinidad del agua pueden emplearse equipos de ósmosis inversa, para grandes circuitos, o bien sistemas de desalinización mediante cartuchos de desalinización por intercambio iónico.

Debe destacarse que no es conveniente una desalinización completa del agua ya que esto aumenta significativamente su carácter agresivo/corrosivo. Una conductividad en el agua tratada alrededor de 50 - 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  puede representar un valor óptimo en función de la potencia de la caldera.



Fig. G.3. Ejemplo de sistema de separación y desalinización parcial del agua

Conviene tener presente en el diseño del tratamiento que:

**Se precisa un equipo de una capacidad adecuada para la carga del circuito en el tiempo deseado. Este equipo sólo se usa durante el proceso de la primera carga por lo cual frecuentemente es un sistema móvil transportable.**

**Se precisa un equipo muy reducido para las recargas esporádicas por fugas, pérdidas, etc. Éste debe ser un equipo fijo.**



### G.3.2. - Evolución del valor del pH en un circuito cerrado

Es importante considerar que los tratamientos de descalcificación o de desalinización parcial del agua afectarán posteriormente a la evolución del valor del pH del agua del circuito.

El agua en un circuito cerrado, pierde progresivamente el contenido en gas carbónico disuelto con lo cual su pH se eleva gradualmente hasta valores alrededor de 8,5 - 8,8, no obstante este valor puede variar en función del tratamiento previo existente.

#### Evolución del pH en el agua descalcificada

Si el agua se ha descalcificado, el valor del pH en el circuito tiende a elevarse progresivamente ya que se producen las siguientes reacciones químicas:

**1.** La descalcificación del agua convierte los bicarbonatos de calcio y de magnesio en bicarbonatos de sodio.



**2.** Al elevarse la temperatura el bicarbonato de sodio se transforma en carbonato sodio, el cual aumenta el valor del pH del agua.



### **Evolución del pH en el agua parcialmente desalinizada**

Por otra parte, si el agua se ha desalinizado parcialmente su contenido en bicarbonatos se habrá reducido y este hecho unido a la baja mineralización del agua hará que el pH tienda a estabilizarse en valores algo inferiores.

En resumen:

**En un agua no descalcificada ni parcialmente desalinizada, el pH del agua en el circuito se elevará gradualmente hasta valores alrededor de 8,5 - 8,8.**

**En un agua descalcificada el pH del agua en el circuito se elevará gradualmente hasta valores alrededor de 9,0 o superiores.**

**En un agua parcialmente desalinizada el pH del agua en el circuito se elevará gradualmente hasta valores alrededor de 8,2 - 8,5.**

Estos valores son importantes y deben ser considerados para una adecuada protección de los metales presentes frente a la corrosión, como veremos en el siguiente apartado.

#### **G.4. - Prevención de los procesos de corrosión**

En un circuito cerrado, para la prevención eficaz de los procesos de corrosión se deben considerar los siguientes criterios:

- Hermeticidad del circuito
- Limpieza de los circuitos con problemas en su funcionamiento
- Protección de los metales

Veamos cada uno de los siguientes conceptos.

##### **G.4.1. - Hermeticidad del circuito**

Un circuito cerrado de calefacción debe ser lo más hermético posible para evitar que existan aportes significativos de agua; además en ningún caso pueden existir zonas abiertas por donde pueda entrar constantemente el oxígeno del aire.

La entrada de agua de aportación incorporaría oxígeno que podría generar áreas con diferente oxidación superficial y dar lugar a procesos de corrosión, así como sales cálcicas y magnésicas que favorecerían la acumulación de incrustaciones calcáreas.

En un circuito cerrado es muy importante comprobar que no existan aportes significativos de agua y en caso contrario verificar el motivo y corregirlo.

El mejor modo de controlar el agua de aportación es la instalación de contadores de agua en los puntos de llenado del circuito cerrado.

En general no son aconsejables los sistemas de llenado automático de los circuitos cerrados sin ningún tipo de control, pues ante cualquier fuga se incrementa el agua de aportación y ello es difícil de detectar. Deberían instalarse presostatos que den señal de alarma en caso de pérdidas.



#### G.4.2. - Limpieza de los circuitos con problemas en su funcionamiento

En instalaciones que ya están en funcionamiento, en muchos casos es necesario realizar una limpieza del circuito para eliminar los óxidos y subproductos de corrosión que actúan como aislantes, obstruyen el circuito y generan un gasto adicional de energía.

Para la limpieza se utilizan normalmente productos desincrustantes, complejantes y/o dispersantes. El producto se introduce en el circuito y se deja en su interior durante el tiempo especificado por el fabricante manteniendo todas las válvulas de paso abiertas para que pueda ejercer su función en toda la instalación. Posteriormente se vacía el circuito y se llena de agua de aporte hasta eliminar por completo los restos del producto de limpieza.

Si no se desea utilizar productos de limpieza es posible emplear sistemas de filtración que eliminan progresivamente los óxidos presentes y efectuar finalmente un vaciado y una nueva carga de circuito con agua de aporte.

**Es importante evitar la utilización de ácidos fuertes en el proceso de limpieza ya que pueden provocar graves procesos de corrosión.**



#### G.4.3. - Protección de los metales

Una vez realizada la operación de limpieza, cuando existen problemas de funcionamiento, o bien en caso de circuitos nuevos donde no es preciso efectuarla, deben protegerse los elementos metálicos del circuito para evitar procesos de corrosión.

Esta protección puede efectuarse de dos maneras distintas:

- Mediante la adición de inhibidores de corrosión
- Mediante el mantenimiento de unas condiciones de operación que permitan la propia pasivación de los metales

##### **Adición de inhibidores de corrosión**

En esta técnica se adicionan al circuito inhibidores de corrosión aniónicos, catiónicos, mezcla de ambos así como productos filmantes, los cuales forman una capa protectora que bloquea el proceso de corrosión y evita, consecuentemente, la formación de óxidos y el desprendimiento de hidrógeno.

Habitualmente, al tratarse de circuitos cerrados sin renovación del agua, los productos se incorporan en forma manual en el circuito.

La ventaja de esta técnica es su facilidad de aplicación y su mejor capacidad de protección en el caso de que, por cualquier motivo, se produzca una entrada de oxígeno en el circuito

### **Pasivación de los metales**

En esta técnica se mantiene el agua en unas condiciones óptimas para que se forme una capa de óxido pasivante que se adhiera al metal, lo aisle del agua y lo proteja frente a la corrosión.

Las condiciones óptimas de pasivación dependen de cada metal.

- El acero se pasiva por formación de óxido de hierro (magnetita) en unos valores de pH entre 8,5 - 10,0 (e incluso superiores), en ausencia de oxígeno.
- El aluminio se pasiva por formación de óxido de aluminio en unos valores de pH entre 4,3 - 8,5 sin que sea significativa la presencia de oxígeno
- El cobre en ausencia de oxígeno no reacciona con el agua del circuito.

Por todo ello, considerando la evolución del valor del pH indicada en el apartado anterior:

**En presencia de acero siempre será preferible el uso de la descalcificación como tratamiento para la prevención de las incrustaciones calcáreas**

**En presencia de aluminio (componente frecuente en las calderas de condensación) será preferible la desalinización parcial del agua.**



La ventaja de esta técnica es la ausencia prácticamente total de productos químicos y la eliminación de los problemas que comporta su vertido.

El principal inconveniente de esta tecnología es que si, por cualquier circunstancia, existe presencia de oxígeno en el circuito, éste evitará la formación de la capa pasivante y favorecerá el desarrollo de una corrosión generalizada.

### **G.5. - Tratamientos para circuitos con riesgo de congelación**

En determinadas instalaciones, especialmente si existen paneles solares, la temperatura ambiental puede descender por debajo de 0 °C provocando la congelación del agua del circuito si ésta no está correctamente tratada.

En estos casos es necesaria la utilización de aditivos anti-congelantes, generalmente basados en glicoles. Los más empleados son el etilenglicol y el monopropilenglicol

El etilenglicol es un producto bastante económico pero presenta, como inconveniente, una importante toxicidad; el monopropilenglicol es uno de los productos más utilizados en la actualidad ya que si bien es menos económico que el etilenglicol, como ventaja no es una sustancia peligrosa.

La capacidad de protección de un anti-congelante frente a bajas temperaturas depende básicamente de su concentración en el circuito, como puede observarse en la siguiente imagen:

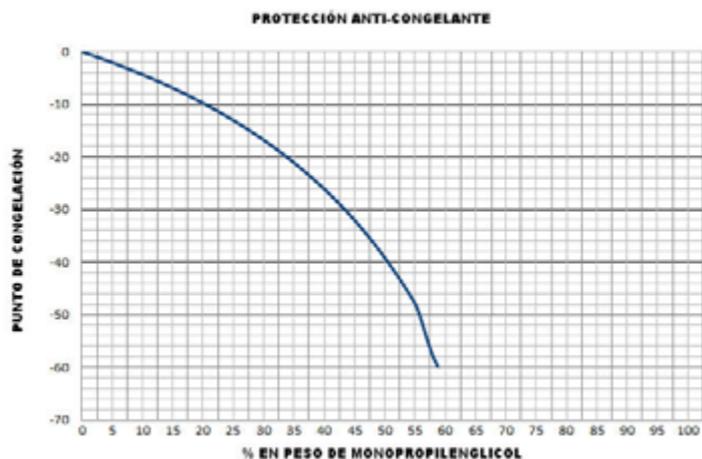
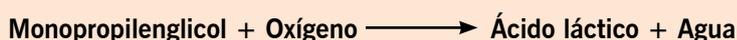


Fig. G.4. Protección anti-congelante del monopropilenglicol

Una vez incorporado en el circuito, la evolución de su concentración, puede determinarse fácilmente a partir de la densidad del agua o de su índice de refracción.

En los circuitos tratados con anti-congelante, debe tenerse presente que los glicoles, con los pequeños aportes de oxígeno que puedan entrar esporádicamente en el circuito (por reparaciones, recargas, etc.), tienden a oxidarse progresivamente a ácido orgánico el cual favorece significativamente los procesos de corrosión.



Este proceso de oxidación debe ser considerado ya que se produce en forma más o menos importante y aumenta significativamente la velocidad de corrosión de la instalación.

**Siempre que se utilicen anticongelantes es muy importante mantener un control del valor del pH del agua del circuito y proceder a su renovación en caso de que el pH del agua evolucione progresivamente hacia valores ácidos (inferiores a 7,0).**

Asimismo debe tenerse presente que el desarrollo de una contaminación microbiológica del circuito también puede favorecer la degradación de los glicoles a ácidos orgánicos.

En la selección de un anti-congelante es importante considerar:

- Si se trata de un producto puro o diluido en agua y en este caso el % de glicol que contiene.
- Si su formulación incorpora inhibidores de corrosión.
- Si su formulación incluye ingredientes que le proporcionen un efecto tampón para estabilizar el pH
- Si dispone de algún aditivo que permita comprobar visualmente (por cambio de color) la formación de ácido

### G.6. - Tratamientos para circuitos con riesgo de congelación

En los circuitos cerrados es también importante considerar el siguiente tratamiento adicional a los ya indicados:

- Un tratamiento de filtración de partículas y restos de óxidos

Es aconsejable la colocación de filtros multiestrato en las zonas bajas de la instalación para eliminar progresivamente las partículas sólidas que puedan circular en el interior del circuito cerrado.

En circuitos de pequeño tamaño pueden usarse equipos de separación de partículas por decantación.

Asimismo para circuitos específicos debe considerarse que:

- En circuitos que trabajen a baja temperatura (por ejemplo, en suelos radiantes) es aconsejable evitar el aporte de nutrientes y si se utilizan inhibidores, seleccionar aquellos que incorporen un biocida para evitar el desarrollo de microorganismos.
- En determinados tipos de circuitos con paneles solares en los cuales se puedan alcanzar elevadas temperaturas, el fluido y el inhibidor de corrosión deben estar específicamente diseñados para estas condiciones de trabajo.



## Apéndice H - Desalinización del agua

Los principales sistemas de desalinización del agua que pueden utilizarse para el llenado de los circuitos cerrados en un edificio son:

- Desalinización mediante ósmosis inversa
- Desalinización por intercambio iónico

Los sistemas basados en ósmosis inversa pueden aplicarse también en el tratamiento general del agua de aporte a un edificio y para mejorar el sabor y las características del agua en el punto de consumo.

Veamos, a continuación, las características de cada proceso.

### H.1. - Desalinización mediante ósmosis inversa

La ósmosis es un fenómeno natural de difusión entre dos soluciones de distinta concentración, a través de una membrana semipermeable que actúa como un elemento de separación.

Una membrana semipermeable es un diafragma que permite la difusión preferente del agua, pero limita parcialmente el paso de las sales minerales disueltas (por ejemplo, nitratos, cloruros, sulfatos, calcio, magnesio, sodio, etc.), los coloides, las sustancias orgánicas y las bacterias y virus.

Si disponemos de un sistema constituido por dos compartimientos separados entre sí por una membrana semipermeable y un sector está lleno con agua con un reducido contenido en sales y el otro con agua salobre, podremos verificar que rápidamente el agua tiende a migrar desde la solución de baja salinidad hacia la de mayor salinidad en un intento de alcanzar un equilibrio.

El equilibrio se alcanzará cuando la diferencia de presión entre los dos líquidos compense la tendencia natural del agua a migrar a través de la membrana semipermeable, como se observa en la figura.

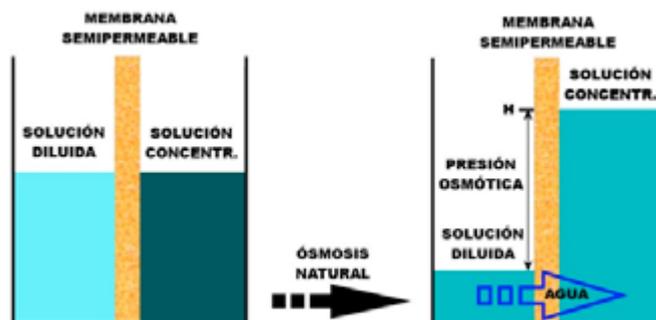


Fig. H.1. - Ósmosis natural

La “ósmosis natural” se manifiesta en la naturaleza, por ejemplo, en las membranas de algunas células fundamentalmente en el mundo vegetal y se utiliza principalmente para la absorción de agua. Muchas plantas absorben agua a través de la raíz por ósmosis.

Si bien como proceso biológico es muy útil para los seres vivos, técnicamente no aporta ninguna ventaja ya que partiendo de un agua de baja concentración en sales y otra de mayor concentración, simplemente se obtienen dos aguas de concentración intermedia.

El proceso de “ósmosis inversa” consiste fundamentalmente en invertir por medios artificiales el proceso de “ósmosis natural” con lo cual, a partir de una solución concentrada en sales, aplicando una presión determinada superior a la presión osmótica de la solución, se obtiene el paso de agua de esta solución a otra más diluida obteniéndose así una solución muy diluida que generalmente será la parte útil y a la que llamaremos “permeado” y otra solución muy concentrada, que normalmente se despreciará, que se denomina “rechazo”.

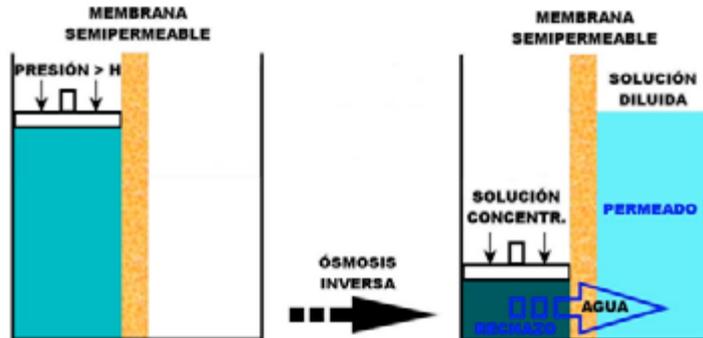


Fig. H.2. - Ósmosis inversa



Este proceso se utiliza en aguas salobres o bien de agua de mar principalmente para limitar el paso de determinados componentes que son difícilmente separables por métodos más simples, como por ejemplo, para la eliminación de cloruros, sulfatos, sodio, etc. Con la aplicación de esta tecnología se obtiene un agua con niveles más bajos de sal a partir de un agua con una concentración elevada de sales.

#### H.1.1. - Membranas y módulos

La ósmosis inversa funciona gracias a una membrana semipermeable, con un tamaño de poro inferior a 0,0001 micras, que permite el paso de líquido, pero limita mucho el de las sales que éste lleva disueltas.

La membrana está generalmente situada sobre un soporte polisulfónico microporoso el cual a su vez se apoya en un material de distribución del permeado.

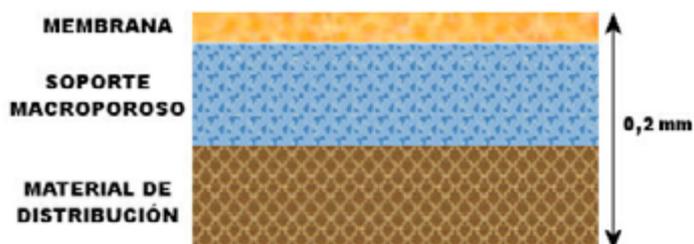


Fig. H.3. - Composición de la membrana

El elemento en el que se dispone la membrana para su utilización se conoce como “módulo”.

Los más utilizados son los módulos con arrollamiento en espiral. Están formados por dos membranas unidas entre sí enrolladas alrededor de un tubo que recoge en su interior el agua permeada y que dispone de unos canales con un espaciador para evitar el contacto entre las membranas y permitir la circulación del agua.

El agua entra por un extremo y circula por los canales con el espaciador. Una parte atraviesa las paredes de la membrana y circula por toda la espiral hasta recogerse en el tubo central (permeado). El agua de rechazo sale por el otro extremo del módulo. Lateralmente las membranas quedan selladas para obtener un correcto aislamiento.

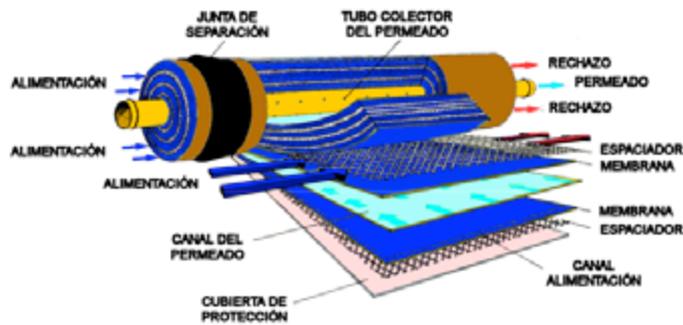


Fig. H.4 – Módulo con arrollamiento en espiral

### H.1.2. - Conversión

La relación entre el caudal de permeado y el caudal de alimentación de una membrana se denomina “conversión” y se expresa en %.

$$\text{Conversión (\%)} = \frac{\text{Permeado}}{\text{Alimentación}} \times 100$$

Cuanto mayor es la conversión de una membrana mayor es el rendimiento obtenido pero también más se concentra el agua en su interior.

La conversión de un equipo es un factor muy importante a considerar ya que a mayor conversión:

- Rendimiento más elevado
- Riesgo más importante de incrustaciones y precipitaciones en las membranas al concentrarse las sales en ella, lo cual obligará a un pre-tratamiento más complejo.
- Mayor presión requerida para que el agua atraviese la membrana y consecuentemente más elevado consumo eléctrico.

Cuando el consumo es muy reducido (por ejemplo, en una vivienda solamente para su consumo) es frecuente que los equipos funcionen a un rendimiento reducido que la cantidad real de agua rechazada, no es muy elevada.

En equipos de mayor capacidad, se trabaja habitualmente con conversiones superiores (normalmente 50 – 75 % según la composición del agua).



### H.1.3. - Pre-tratamientos

Uno de los factores más importantes para conseguir el perfecto funcionamiento de una instalación de ósmosis inversa, y para garantizar una larga vida de las membranas, es un adecuado pre-tratamiento del agua antes de su entrada al equipo.

Este concepto es especialmente importante cuando se utilizan equipos con una alta conversión.

Los procesos del pre-tratamiento tienen como finalidad la prevención de las incrustaciones de materiales biológicos, coloidales y de sales (cal, sílice, etc.) sobre la superficie de las membranas.

Como concepto general, el pre-tratamiento habitualmente incluirá las siguientes etapas:

- Filtración de partículas en suspensión, coloides, etc.
- Prevención de incrustaciones en las membranas, mediante una descalcificación o una dosificación de inhibidores de incrustaciones.
- Eliminación de cloro residual con filtros de carbón activo o bien dosificando un producto reductor.



### H.1.4. - Post-tratamientos

Los post-tratamientos que deben aplicarse en el agua osmotizada dependen, en gran parte, de su utilización posterior.

El agua permeada puede ser de muy baja mineralización, con propiedades agresivas y con un pH algo ácido como consecuencia de la presencia de anhídrido carbónico disuelto que ha atravesado las membranas.

En aplicaciones industriales, riego...etc. en muchos casos no es necesario realizar ningún post-tratamiento pudiéndose utilizar directamente el agua permeada.

Cuando el agua se destina a consumo humano normalmente se efectúan algunos o todos los siguientes post-tratamientos:

- Neutralización de la acidez carbónica, para evitar la agresividad del agua, mediante productos alcalinizantes o bien mediante cartuchos remineralizadores de carbonato cálcico.
- Ajuste de la salinidad residual mediante una válvula mezcladora que incorpore una proporción ajustable del agua de aporte en el permeado.
- Cloración u otro sistema para que su calidad microbiológica sea la adecuada.

### H.2. - Desalinización por intercambio iónico

Se conoce como intercambio iónico al proceso por el que se produce un intercambio de iones entre un sólido (normalmente una resina) y un líquido que fluye a través suyo.

Las resinas de intercambio iónico se clasifican principalmente en dos grandes grupos:

- Resinas intercambiadoras de aniones (resinas aniónicas)
- Resinas intercambiadoras de cationes (resinas catiónicas)

Las resinas aniónicas se representan como R-OH y tienen la capacidad de intercambiar los aniones (iones negativos) con el grupo hidroxilo "OH".

Las resinas catiónicas se representan como R-H y tienen la capacidad de intercambiar los cationes (iones positivos) con el grupo hidrogenión "H".

La desmineralización del agua por intercambio iónico es un proceso que combina una resina aniónica y otra catiónica con lo cual se eliminan prácticamente todos los cationes y los aniones presentes en el agua, de acuerdo con las reacciones:



Y finalmente:



Con lo cual se obtiene únicamente agua como producto final

La desmineralización se puede realizar en forma secuencial mediante una resina aniónica y otra catiónica o bien mediante un lecho mixto formado por una mezcla íntima de resina aniónica y catiónica.

En instalaciones de bajo consumo las resinas se suministran en forma de cartucho no regenerable, de tal forma que una vez se agota su capacidad de intercambio se sustituye por otro nuevo.

**En instalaciones de mayor capacidad las resinas se regeneran in situ o bien externamente; la resina catiónica se regeneran normalmente con un ácido mineral (clorhídrico o sulfúrico) y la aniónica con hidróxido sódico. El proceso de regeneración de los lechos mixtos es algo más complejo ya que antes de efectuar la regeneración de cada resina éstas deben separarse por diferencia de densidad.**



## Apéndice I - Legislación y Normas para consulta

### **Legislación eficiencia energética**

- Procedimiento de certificación de la conformidad de Productos de la Construcción en contacto con el agua destinada a consumo humano, de conformidad con el apartado del artículo 20 de la Directiva 89/106 CEE.

Decisión de la Comisión de 13 de mayo de 2002.  
DOCE de 14 de mayo de 2002.

- Directiva Europea 2010/31/UE del Parlamento europeo y del Consejo, de 19 de mayo de 2010, relativa a la eficiencia energética de los edificios
- Real Decreto 235/2013, de 5 de abril, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios
- Rite - Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios.
- Código Técnico de la Edificación. Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.
- Orden FOM/1635/2013, de 10 de septiembre, por la que se actualiza el Documento Básico DB-HE «Ahorro de Energía», del Código Técnico de la Edificación, aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo.



### **Legislación calidad del agua**

- Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano.
- Real Decreto 865/2003, de 4 de julio, por el que se establecen los criterios higiénico-sanitarios para la prevención y control de la legionelosis.
- Orden SSI/304/2013, de 19 de febrero, sobre sustancias para el tratamiento del agua destinada a la producción de agua de consumo humano.

### **Normas europeas**

- UNE-EN 806-1:2001 - Especificaciones para instalaciones de conducción de agua destinada al consumo humano en el interior de edificios. Parte 1: Generalidades.
- UNE-EN 806-2:2005 - Especificaciones para instalaciones de conducción de agua destinada al consumo humano en el interior de edificios. Parte 2: Diseño.
- UNE-EN 806-3:2007 - Especificaciones para instalaciones de conducción de agua destinada al consumo humano en el interior de edificios. Parte 3: Dimensionamiento de tuberías. Método simplificado.
- UNE-EN 806-4:2010 - Especificaciones para instalaciones de conducción de agua destinada al consumo humano en el interior de edificios. Parte 4: Instalación.
- UNE-EN 806-5:2013 - Especificaciones para instalaciones de conducción de agua destinada al consumo humano en el interior de edificios. Parte 5: Funcionamiento y mantenimiento.



- UNE-EN 12499:2003/AC:2006 - Protección catódica interna de estructuras metálicas.
- UNE-EN 12502-1 - Protección de materiales metálicos contra la corrosión. Recomendaciones para la evaluación del riesgo de corrosión en sistemas de distribución y almacenamiento de agua. Parte 1: Generalidades.
- UNE-EN 12502-2 - Protección de materiales metálicos contra la corrosión. Recomendaciones para la evaluación del riesgo de corrosión en sistemas de distribución y almacenamiento de agua. Parte 2: Factores que influyen para el cobre y aleaciones de cobre.
- UNE-EN 12502-3 - Protección de materiales metálicos contra la corrosión. Recomendaciones para la evaluación del riesgo de corrosión en sistemas de distribución y almacenamiento de agua. Parte 3: Factores que influyen para materiales féreos galvanizados en caliente.
- UNE-EN 12502-4 - Protección de materiales metálicos contra la corrosión. Recomendaciones para la evaluación del riesgo de corrosión en sistemas de distribución y almacenamiento de agua. Parte 4: Factores que influyen para el acero inoxidable.
- UNE-EN 12502-5 - Protección de materiales metálicos contra la corrosión. Recomendaciones para la evaluación del riesgo de corrosión en sistemas de distribución y almacenamiento de agua. Parte 5: Factores que influyen para fundición de hierro, acero no aleado y de baja aleación.
- UNE-EN 13443-1:2003+A1:2009 - Equipo de acondicionamiento del agua en el interior de los edificios. Filtros mecánicos. Parte 1: Partículas de dimensiones comprendidas entre 80  $\mu\text{m}$  y 150  $\mu\text{m}$ . Requisitos de funcionamiento, seguridad y ensayo.
- UNE-EN 13443-2:2005+A1:2008 - Equipo de acondicionamiento del agua en el interior de los edificios. Filtros mecánicos. Parte 2: Partículas de dimensiones comprendidas entre 1  $\mu\text{m}$  y 80  $\mu\text{m}$ . Requisitos de funcionamiento, seguridad y ensayo.
- UNE-EN 14095:2004 - Equipos de acondicionamiento de agua en el interior de edificios. Sistemas de tratamiento electrolítico con ánodos de aluminio. Requisitos de funcionamiento, seguridad y ensayos.
- UNE-EN 14652:2006+A1:2009 - Equipos para el tratamiento de agua en el interior de edificios. Dispositivos de separación de membrana. Requisitos de funcionamiento, seguridad y ensayo.
- UNE-EN 14743:2006+A1:2009 - Equipos para el tratamiento de agua en el interior de edificios. Descalcificadores. Requisitos de comportamiento, seguridad y ensayo.
- UNE-EN 14812:2006+A1:2009 - Equipo de acondicionamiento de agua en el interior de los edificios. Sistemas de dosificación de productos químicos. Sistemas de dosificación pre-ajustados. Requisitos de funcionamiento, seguridad y ensayos.
- UNE-EN 14897:2007+A1:2009 - Equipos para el tratamiento de agua en el interior de edificios. Dispositivos que utilizan radiadores ultravioletas de mercurio de baja presión. Requisitos de funcionamiento, seguridad y ensayo.
- UNE-EN 14898:2007+A1:2009 - Equipos para el tratamiento de agua en el interior de edificios. Filtros de medio activo. Requisitos de funcionamiento, seguridad y ensayo.
- UNE-EN 15161:2008 - Equipo de acondicionamiento del agua en el interior de los edificios. Instalación, funcionamiento, mantenimiento y reparación.
- UNE-EN 15219+A1:2009 - Equipo de acondicionamiento del agua en el interior de los edificios. Dispositivos para eliminar nitratos. Requisitos de prestaciones, seguridad y ensayo.
- UNE-EN 15848:2010 - Equipo de acondicionamiento del agua en el interior de los edificios. Sistemas de dosificación química ajustables. Requisitos de funcionamiento, seguridad y ensayos.

### **Normas nacionales**

- UNE 112076:2004 IN - Prevención de la corrosión en circuitos de agua (incluida en la publicación CTE / Código técnico de la edificación. Normas UNE y legislación aplicables. 4ª edición, así como en DVD Normas UNE del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE). CD-ROM. 2ª edición)

### **Documentos VDI (Asociación ingenieros alemanes)**

- VDI 2035 - Parte 1 - Prevención de daños en instalaciones de calefacción por agua - formación de incrustaciones
- VDI 2035 - Parte 2 - Prevención de daños en instalaciones de calefacción por agua - corrosión en contacto con el agua.



## Apéndice II - Bibliografía

### Guías

- Guías Técnicas de Ahorro y Eficiencia Energética en Climatización - IDAE
- Guía técnica. Agua caliente sanitaria central - IDAE
- Guía de diseño integral de viviendas energéticamente eficientes en Andalucía - Agencia Andaluza de la Energía - Consejería de Economía, Innovación y Ciencia
- Guía integral de desarrollo de proyectos de redes de distrito de calor y frío - Cofely - Institut Català d'Energia - Generalitat de Catalunya.
- Guía para la eficiencia energética de los edificios residenciales - Colegio Oficial de Aparejadores, Arquitectos Técnicos e Ingenieros de Edificación de Cantabria - Gobierno de Cantabria
- Guía de la edificación sostenible para la vivienda en la Comunidad Autónoma del País Vasco - Ente vasco de la energía
- Guía de la Eficiencia Energética en Instalaciones Deportivas - Consejería de Economía e Innovación Tecnológica - Comunidad de Madrid
- Guía de Ahorro y Eficiencia Energética en Establecimientos Hoteleros de la Comunidad Valenciana - Agencia Valenciana de la Energía
- Guía básica. Calderas de condensación - Consejería de Economía y Hacienda - Comunidad de Madrid



### Literatura

- Corrosión y control de corrosión - Ed. Urno - H.H. Uhlig
- Eficiencia energética en los edificios - José María Fernández Salgado - AMV Ediciones
- El libro del agua - Mopu
- Gestión de la eficiencia energética: cálculo del consumo, indicadores y mejora - Antonio Carretero Peña y Juan Manuel García Sánchez. - AENOR.
- Ingeniería sanitaria - Ed. Labor - Metcalf – Eddy - 1994
- La pratique de l'eau - Moniteur Editions
- Manual técnico del agua - Degremont
- Tratamientos de aguas - Stenco - 4ª Edición - Julio 2007
- DTIE 1.05 "Prevención de la corrosión interior de las instalaciones de agua" ATECYR



Av. Corts Catalanes 5, 1ª planta. 08173 Sant Cugat del Vallés - Barcelona  
C/ Diego de León 47. 28006 Madrid.  
Tel. +34 935 041 094 e-mail: [asociacion@aquaespana.org](mailto:asociacion@aquaespana.org)

Miembro de:



AUSTRIAN WATER ASSOCIATION · AQUA ESPAÑA · AQUA SUISSE ·  
AQUA NEDERLAND · AQUA ITALIA · BDZ · BSW · BEAMA · BRITISH WATER ·  
FIGAWA · SYPRODEAU · WQA



European Committee for Standardization  
Comité Européen de Normalisation  
Europäisches Komitee für Normung

**AENOR**

Comité Técnico de Normalización.  
Ingeniería de aguas