

## **Control de incrustaciones y corrosiones en diferentes tipos de instalaciones**

---

El agua en las instalaciones hidráulicas de edificios está expuesta a muchos metales y a diferentes condiciones de temperatura, velocidad y presión. Para corregir los problemas que causa el agua en las instalaciones hidráulicas de edificios, los ingenieros, operarios tendrán que darle importancia a los siguientes aspectos:

1. La importancia de la calidad y el tratamiento del agua para prevenir y controlar la corrosión y las incrustaciones.
2. La posibilidad de que sea necesario instalar equipo de tratamiento de aguas para la aplicación de productos químicos en el agua y monitorear los resultados.
3. La importancia de seleccionar los materiales de construcción apropiados.

---

### **11.1 Causas más comunes de la corrosión e incrustaciones**

Las causas más comunes de los problemas de corrosión e incrustaciones en las instalaciones hidráulicas internas son las siguientes:

1. La suavización completa de la totalidad del suministro de agua. En general esto incrementa la corrosividad del suministro. Sin embargo ciertos equipos y lugares, como calderas lavanderías laboratorios y sistemas abiertos y cerrados, pudieran requerir de agua suavizadas por completo con el fin de mantener controlada la formación de incrustaciones.
2. La selección de materiales inadecuados para la tubería o una combinación errónea de materiales, lo que produce fallas en los tubos debido a la corrosión.
3. Soslayar el efecto de la velocidad al seleccionar los materiales de la tubería y los tamaños de los tubos.
4. No instalar equipos adecuados para el tratamiento de aguas ni disponer un acceso que facilite las reparaciones o reposiciones (o no aplicar los productos químicos indicados para el tratamiento de agua).
5. El manejo del agua caliente doméstica a una temperatura demasiado alta ( $> 57^{\circ}\text{C}$ ).
6. No aplicar los productos químicos recomendados para el tratamiento de los sistemas de agua caliente doméstica, calderas, torres de enfriamiento y sistemas cerrados, además no supervisar en forma minuciosa y cotidiana el tratamiento.
7. Omitir la disposición de un sitio para efectuar pruebas de corrosión, donde puedan instalarse testigos de corrosión con el fin de observar y vigilar el sistema de tubería para determinar si es necesario aplicar químicos o cambios en el tratamiento.

8. El diseño de un sistema nuevo que no se pueda limpiar, pasivar ni enjuagar adecuadamente antes de usarlo.
9. Soslayar el efecto del diseño original del edificio sobre el diseño de futuras ampliaciones.
10. Inspeccionar en forma inadecuada las instalaciones originales de plomería para asegurarse de que:
  - a) No se instalaran conexiones que reduzcan el flujo.
  - b) Se usaran adecuadamente fundentes o compuestos para tubería no corrosivos.
  - c) Se efectuaran en forma competente el escariado de los tubos y la soldadura, lo que permitirá que el agua fluya con una turbulencia mínima por la tubería.
11. La existencia de aguas estancadas en un edificio nuevo, durante varios meses, antes de que lo ocuparan sus habitantes.

---

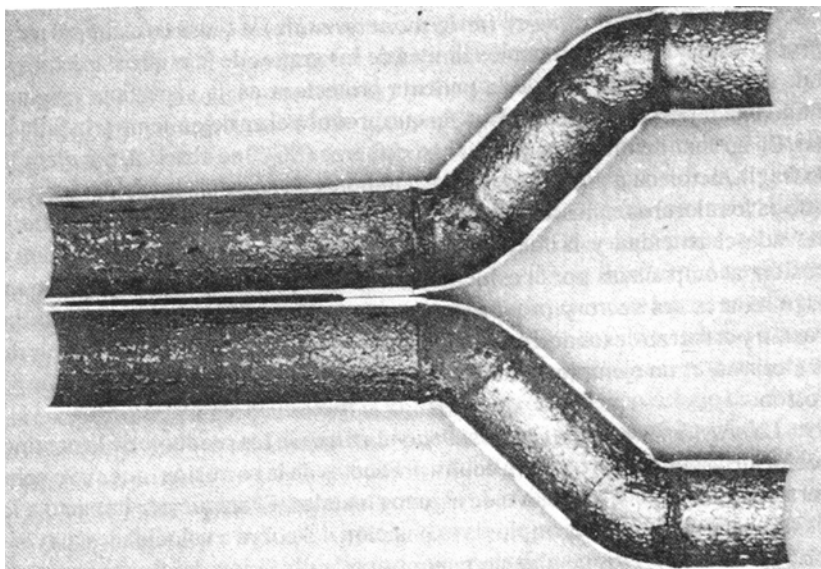
## 11.2 Tipos de corrosión

Hay varios tipos de corrosión, a continuación les nombraremos algunas:

1. **LA CORROSIÓN UNIFORME O GENERAL:** Tiene como particularidad que se desarrolla con la misma rapidez por toda la superficie, y puede describirse mejor como la corrosión que causan los ácidos en un medio con agua cuyas propiedades protectoras son mínimas y no han sido identificadas.
2. **LA CORROSIÓN POR PICADURA:** No es uniforme, ocurre en un área anódica localizada, puede ser aguda y profunda y es un ejemplo de un ambiente que ofrece algunas propiedades protectoras, pero no una inhibición completa de la corrosión. Se la asocia con la corrosión por celdas de concentración, la corrosión galvánica y la corrosión en hendiduras.
3. **LA CORROSIÓN GALVÁNICA:** Es el resultado de la exposición de dos metales distintos en el mismo ambiente, y es más notable cuando están conectados eléctricamente en forma directa. Un ejemplo es la corrosión que sufren las partes de las tuberías de acero cercanas al cobre que se encuentra en las válvulas. La corrosión galvánica se incrementa ante una mayor diferencia en el potencial, una mayor cercanía de los metales y una mineralización o conductividad aumentadas en un agua.
4. **LA CORROSIÓN POR CELDAS DE CONCENTRACIÓN:** probablemente el tipo más común de corrosión, ocurre cuando hay diferencias en mineralización, acidez, concentración de iones metálicos, concentración de aniones, oxígeno disuelto y temperatura en la exposición de un metal a su ambiente. Estas diferencias causan discrepancias en el potencial de solución del mismo metal.
5. **LA CORROSIÓN EN HENDIDURAS:** Es un ejemplo de la corrosión por celdas de concentración, en ella el oxígeno se vuelve deficiente en la hendidura o grieta, lo que causa una diferencia en potencial y provoca corrosión. El ejemplo más obvio es el caso de suciedad o escombros que se precipitan en una superficie metálica y causan una diferencia en la difusión del oxígeno hacia la superficie metálica. Esto determina el desarrollo de una diferencia en el potencial debajo de la suciedad y entre la superficie debajo de ésta y la superficie limpia cercana (aireación diferencial); el resultado es que la corrosión ocurre debajo del depósito. La corrosión debajo de depósitos es otro ejemplo en el que unos depósitos, crecimientos

bacterianos, suciedad (del polvo en el aire) y material en suspensión, se adhieren a una superficie metálica, formando una celda electrolítica entre el área debajo del depósito y el área limpia vecina.

6. **LA CORROSIÓN POR DESZINCADO:** De las aleaciones de cobre-zinc, como el latón, ocurre porque el zinc es más anódico que el cobre y se corroe en ambientes hostiles, mientras que el cobre queda en su sitio. El latón amarillo en aguas blandas e inestables es particularmente sensible a este tipo de corrosión; sin embargo, el latón rojo, cuyo contenido de zinc es menor, es mucho menos propenso a este tipo de corrosión.
7. **LA CORROSIÓN GRAFÍTICA:** Ocurre en el hierro colado expuesto a aguas mineralizadas o con pH bajo. El grafito disperso en el hierro vaciado funge como el cátodo y la aleación de hierro-silicio como ánodo. Esto provoca la disolución de la aleación de hierro y queda un grafito negro, como esponja, como material de estructura deficiente.
8. **LA CORROSIÓN CON ESFUERZO (fatiga con corrosión):** La causa un esfuerzo tensor externo, y suele evidenciarse en los límites de los granos de la microestructura del metal. La ruptura frecuente de la película protectora en la superficie origina a menudo una región anódica continua, lo que provoca el agrietamiento y la falla del metal. El agrietamiento por corrosión con esfuerzo (SCC) se observa, por ejemplo, en la fragilización cáustica de los tubos y tambores de acero de las calderas y en el ataque de los cloruros en los aceros inoxidable. En el caso de las aguas de calderas, la elevada causticidad y la falta de concentraciones necesarias de inhibidor de corrosión, acompañadas por el esfuerzo, pueden causar ataques intergranulares o transgranulares del acero y provocar rupturas en el metal. El agrietamiento por corrosión y esfuerzo de los aceros inoxidable austeníticos (aceros de extrema dureza) expuestos a los cloruros, es un ejemplo común de la susceptibilidad del acero inoxidable a la corrosión.
9. **LA EROSIÓN-CORROSIÓN (corrosión por cavitación):** Es producto de la continua remoción de la película protectora contra productos de la corrosión, que sirve como barrera contra el ataque corrosivo de algunos metales. El ataque por impacto a los tubos de cobre es un buen ejemplo; la exposición del cobre a velocidades mayores que 1.2 m/s y los cambios repentinos en la dirección del flujo causan una severa corrosión que se manifiesta en forma de agujeros hondos y redondeados. La corrosión por cavitación, la alta velocidad los cambios de dirección producen burbujas de gases en los puntos de baja presión y la resolución de los gases en los de alta. El atrancado de virutas delgadas es otro ejemplo de cavitación o erosión-corrosión.



Fuente: CONTROL DE INCRUSTACIONES "RUSSELL W. LANE", 1995

**Fig. 11.1** Erosión y corrosión de tuberías de cobre.

### 11.3 Corrosión de la tubería galvanizada por el agua

Hay cinco fallas por las cuales preocuparse en la corrosión de la tubería galvanizada por el agua, a saber:

1. Corrosión general o uniforme.
2. Liberación de metales a la solución.
3. Picadura y tuberculación.
4. Corrosión galvánica o inducida por el cobre.
5. Corrosión por celdas de concentración.

En el caso de la corrosión *general o uniforme*, la pérdida de zinc para proteger al acero puede conducir a una corrosión seria por picadura y tuberculación. Por ejemplo, un agua con pH alto (>9.5) causaría una mayor disolución del zinc como zincato de sodio soluble, tal como ocurre en aguas de pH alto suavizadas con cal y en torres de enfriamiento galvanizadas a un pH algo menor.

En aguas con *baja dureza* (20 a 80 mg/l como  $\text{CaCO}_3$ ) y baja alcalinidad (10 a 60 mg/l como  $\text{CaCO}_3$ ), la tubería galvanizada está sujeta a una corrosión tipo picadura provocada por la falta de bicarbonato de calcio adecuado para formar una película protectora de carbonatos de calcio o zinc. En la presencia de mayor cantidad de cloruros más sulfatos (200 a 1000 mg/l), la tubería estará más expuesta a la corrosión tipo picadura.

Se ha observado que las aguas con pH por debajo de 7.0 (incluyendo el agua desionizado) corroen en forma notable el zinc del acero galvanizado, por lo que no proveen la protección catódica necesaria para el acero subyacente. La tubería galvanizada también está sujeta a la corrosión en las cuerdas de los tubos, ya que mucha de la galvanización la remueve la operación de roscado, lo que deja un acero descubierto con un espesor más delgado y una cantidad de zinc inadecuada para conferir la protección catódica. Esto también se puede considerar como ejemplo de la corrosión en hendiduras. En este tipo de corrosión el área debajo de la hendidura tiene deficiencia de oxígeno y el área que la rodea cuenta con la cantidad adecuada, lo que origina una celda electroquímica que fomenta el proceso corrosivo.

Las investigaciones han revelado la posibilidad de que la capa de zinc se corroe al principio con rapidez, causando una acelerada acumulación de hierro en la capa de incrustación protectora, y después lo haga más lentamente mientras se forma la capa protectora de zinc-hierro. La protección catódica más eficaz del acero por parte del zinc se obtiene cuando éste es un ánodo cuya superficie es mayor que la del cátodo de acero. Por lo general ocurre una aceleración de la corrosión del zinc en aguas cuyo contenido de oxígeno es mayor (como las aguas superficiales), esto es resultado de la despolarización acrecentada que ocurre en las áreas catódicas.

En aguas con un elevado contenido de bicarbonato de calcio, como es normal en muchas aguas de pozo, el acero galvanizado es bastante resistente a la corrosión; sin embargo, a un pH menor que 8.0 y en la ausencia de silicatos y oxígeno disuelto, se puede esperar que el zinc entre a la solución como iones de zinc. La disolución anódica del zinc forma una película de carbonato básico de zinc a un pH por encima de 8.0; sin embargo, se puede formar una película de carbonato de calcio en las áreas de hierro expuestas, lo que reduce las tendencias corrosivas. Tales películas no son tan eficaces si hay concentraciones altas de cloruros y sulfatos (150 a 700 mg/l) y las de calcio y alcalinidad son insuficientes.

## 11.4 Corrosión en los tanques

La instalación de sistemas de protección catódica, ha resultado un medio eficaz para reducir la corrosión en tanques metálicos, donde las condiciones de estancamiento, los metales distintos y las temperaturas mas altas pueden incrementar las tendencias corrosivas. Ha sido demostrado que el acoplamiento con un pequeño ánodo de sacrificio de aluminio impide la picadura de tanques y cilindros de cobre.

Actualmente el uso de tanques de asbesto, plástico y hormigón armado ha resultado beneficioso para instalaciones que dependen de tanques o cisternas, pero si el caso fuera de uso de un tanque metálico he aquí alguna recomendación para prevenir la corrosión.

---

## 11.5 Corrosión por agua potable fría

El agua de los enfriadores y de los sistemas centrales de agua fría para beber que se instalen en edificios grandes debe estar libre de sabores raros y con cierta coloración. En algunos casos se instalaron para este servicio tuberías de acero galvanizado, cobre o latón, y se reportaron serias condiciones insatisfactorias, entre ellas sabores raros y aguas con cierta coloración. Estos sistemas pudieran tener áreas donde haya poco o ningún flujo, lo que podría corroer la tubería, en particular en condiciones de estancamiento. El resultado es que pueden estar a la vista aguas con colores indeseables, y sabores raros y productos de corrosión. El acero inoxidable es el material apropiado para instalar en tales sistemas entonces será posible proveer agua potable libre de cierta coloración y turbidez.

Los sistemas de enfriamiento de agua consistentes en un ensamble de refrigeración mecánica, difieren de los enfriadores en que utilizan agua potable y no fría para propósitos de acondicionamiento de aire. Pueden incluir un enfriador de agua tipo botella, tipo presión o tipo remoto.

Hay muchos tipos de máquinas automáticas para hacer hielo, pero todos están sujetos a innumerables problemas si el suministro de agua no es de la mejor calidad respecto a la tendencia hacia las incrustaciones, turbidez o contenido de sólidos disueltos (si excede de 400 mg/l). Si bien la desmineralización es el mejor método general para acondicionar el agua, la suavización de ciclo del sodio será adecuada para eliminar los problemas de incrustaciones, salvo que el agua exceda los 400 mg/l de contenido de sólidos disueltos; lo que puede producir un hielo opaco o suave. Es posible usar polifosfatos para reducir el problema de incrustaciones, pero puede ser preferible comunicarse con una compañía local de tratamiento de aguas con el fin de llegar a la solución más sencilla.

Las aguas muy duras y con un alto índice de saturación Langelier (LSI por sus siglas en inglés) para carbonato de calcio pueden formar incrustaciones y tal vez obstruir la tubería, aunque esto no es probable a las temperaturas de los sistemas de agua potable fría.

---

## 11.6 Corrosión por agua caliente doméstica

La corrosión y la formación de incrustaciones pueden causar mayores problemas cuando el agua se calienta para usarla en excusados, baños, lavanderías y lavavajillas. El mantener la temperatura no mayor de 57°C minimizará los problemas de corrosión e incrustaciones; sin embargo, el requerimiento de 84°C en lavavajillas puede necesitar la instalación de materiales más resistentes a la corrosión (acero inoxidable o una aleación de cobre y níquel), lo mismo que equipos para suavizar el agua. En el caso de aguas moderadamente duras, es preferible limpiar la tubería, en forma periódica, con alguna formulación del tipo ácido inhibido.

Como las instalaciones domésticas de agua caliente están mucho más sujetas a problemas de corrosión e incrustaciones, no es inusual que ocurran la obstrucción de la tubería por la acumulación de incrustaciones y productos de la corrosión, agua con cierto color, una transferencia de calor ineficiente en los equipos de calefacción y enfriamiento y corrosiones serias que causan la penetración de la tubería y fugas en las instalaciones hidráulicas de edificios. También pueden presentarse reducciones en la presión y el flujo, una menor capacidad para calentar agua y el mal funcionamiento de componentes de control, máquinas elaboradoras de cubos de hielo y equipos misceláneos, todo a partir de la turbidez del agua, las incrustaciones y los productos de la corrosión. La vida (duración) de la instalación puede ser seriamente afectada por estas deficiencias del agua.

Es útil observar el aspecto y el color de las deposiciones que causan interrupciones del flujo o turbidez en el agua para determinar el tratamiento correctivo necesario. En general, una capa continua de un depósito casi blanco se identifica como incrustación de carbonato de calcio. Esto es verificable si ocurre un burbujeo (evolución de bióxido de carbono) al aplicar una gota de ácido clorhídrico al depósito. Esta evidencia de una deposición de carbonato de calcio indica la probabilidad de que deba instalarse un suavizador, de intercambio de iones de sodio, por ejemplo, para eliminar la dureza del agua. Estos suavizadores suprimen la dureza del agua mediante el contacto de ésta con la resina de intercambio iónico y por medio del intercambio de la dureza de calcio y magnesio de sodio durante el paso del líquido a través del lecho de la resina; son relativamente poco costosos y puede especificarse que incluyan la regeneración automática y periódica de sal (iniciada por un temporizador o por el volumen), lo cual sólo requiere una adición ocasional de sal al tanque de salmuera para regenerar la resina de intercambio iónico.

---

## 11.7 Corrosión por cloración

El sabor que la cloración confiere al agua puede ser desagradable para algunas personas, pero en lo personal notar este sabor asegura que es creíble que el agua haya sido tratada adecuadamente.

Muchas ciudades dependen en la actualidad del tratamiento con cloramina, una combinación de amoniaco y cloro, para la desinfección. Se prefiere este método de tratamiento para abastecimientos de aguas de superficie, ya que el cloro reacciona con el alto contenido orgánico, que muchas veces se asocia con los suministros de aguas superficiales. En algunas investigaciones han indicado que estos productos químicos son cancerígenos. Sin embargo, hay preocupación acerca de que el agotamiento del cloro residual, en condiciones de temperaturas más tibias y un flujo relativamente estancado, lo que se explica el crecimiento bacteriano, tanto como dos o tres veces, en los sistemas de plomería de los edificios. La planta de tratamiento de aguas municipal es responsable de tratar el agua para volverla estable y dejarla libre de bacterias, de tal manera que no ocurran ningún agotamiento apreciable del cloro ni alguna contaminación bacteriana en las instalaciones hidráulicas de los edificios.

---

## 11.8 Corrosión del cobre y su papel en la corrosión del acero galvanizado

El cobre suele preferirse más que el acero galvanizado en la mayoría de las aguas calientes, si bien el segundo resulta satisfactorio en aguas altas en bicarbonatos y alcalinidad. No se deben mezclar tuberías de cobre y acero galvanizado, ya que éste es anódico respecto a aquél y puede ser el metal de sacrificio cuando ambos metales estén adyacentes. En los sistemas de tuberías se deben instalar siempre materiales iguales o compatibles para evitar la corrosión galvánica. La mínima corrosión del cobre y su solubilización, aun tan pequeña como 0.5 mg/l, se puede precipitar sobre el acero galvanizado y originar una celda electrolítica en él y la subsecuente picadura.

Es práctica es común instalar válvulas de latón en los sistemas de tubería galvanizada y después advertir la falla de las cuerdas de los tubos galvanizados en la unión con la válvula. Este es un

caso esperado de corrosión galvánica en la cual el acero (el galvanizado se elimina en la operación del roscado) es el ánodo y el cobre el cátodo. Una solución sería instalar un acoplamiento aislador entre los dos metales. Si bien hay numerosos factores que inciden en la rapidez de la corrosión galvánica, los sólidos disueltos (o la conductividad) pueden ser particularmente importantes. Una conductividad alta ( $>600 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) puede causar fallas dentro de los 5 años, mientras que una más baja y un agua menos agresiva tal vez no causen problemas durante 25 años. Considerando esto, el constructor tiene que decidir si el beneficio de instalar acoplamientos aislados entre metales distintos en la instalación del edificio justifica el costo adicional.

---

## 11.9 Protección catódica

La instalación de sistemas de protección catódica, diseñados en forma apropiada, que consistan en ánodos sacrificatorios en tanques de almacenamiento para aguas fría y caliente y calentadores, ha resultado beneficiosa para controlar la corrosión en estas áreas. En esencia, esta técnica involucra ya sea la instalación de ánodos de sacrificios, como magnesio o zinc, más reactivos químicamente que los componentes de acero o la aplicación de una corriente eléctrica a través de ánodos no sacrificatorios como grafito, para contrarrestar la corriente de corrosión natural entre el acero y el agua. El agua almacenada en los tanques de aguas fría y caliente suele estar estancada, lo que vuelve ineficaz el tratamiento químico en general.

En el diseño de un sistema de protección catódica, el diseñador debe asegurarse de que los ánodos queden espaciados en forma apropiada y sean los adecuados para proveer la corriente contraria necesaria, además tiene que disponer los ánodos de tal manera que cubran la superficie entera del tanque sujeto a la corrosión. También pueden aplicarse pinturas y recubrimientos para que las superficies de acero activas sean mínimas y se requiera una corriente menor o menos ánodos para lograr una prevención eficaz. Si bien son deseables los ánodos de magnesio, pues son más reactivos que otros ánodos, muchas veces causan un olor a sulfuro de hidrógeno, en apariencia debido a la reducción del sulfato en el suministro de agua. La sustitución de ánodos de zinc elimina este problema, aunque tal elemento no es un metal tan reactivo como el magnesio y, por lo tanto, es menos eficiente.

Es aconsejable considerar la instalación de protección catódica para controlar la corrosión presente o posible en los tanques de almacenamiento de aguas fría y caliente, ya que es un método de control eficaz y poco costoso.

---

## 11.10 Tierras eléctricas

Las investigaciones han revelado que las conexiones eléctricas a tierra de las tuberías de agua pueden causar una corrosión seria, particularmente si se han instalado uniones aislantes en ambos lados del medidor de agua. Si una corriente eléctrica pasa a través del agua y llega al tubo conector provocará una corrosión severa donde la corriente salga del tubo. También los inspectores del medidor de agua podrían sufrir una sacudida eléctrica severa al darle mantenimiento.

Las temperaturas mantenidas del agua caliente doméstica que rebasen los  $57^{\circ}\text{C}$  causarán un incremento en la rapidez de corrosión y, por lo tanto, se deben evitar.

---

## 11.11 Pruebas de corrosión

Es aconsejable instalar niples de prueba o probadores de corrosión, para supervisar la instalación

hidráulica. Estos dispositivos le permiten al operador del edificio determinar si los materiales instalados son apropiados en la actualidad o requieren reemplazo o si el tratamiento de aguas en uso debe cambiarse para asegurar que la instalación tendrá una larga vida útil.

---

### 11.12 Control de la formación de incrustaciones

Es necesario considerar la solubilidad de los componentes del agua, ya que la dureza acumulada en ella, debido a la evaporación, se podría precipitar al calentarla y depositar como incrustación o lodo sobre las superficies de transferencia de calor. Es indispensable tratar el agua para evitar que las incrustaciones y los lodos causen una menor eficiencia en la transferencia de calor, el deterioro del metal y rupturas en los tubos de las calderas. Suele ser necesaria la instalación de un suavizador de agua (intercambiador de cationes).

Los suavizadores se llamaban antes suavizadores de zeolita de sodio ya que se llenaban con un mineral de sal sódica del silicato de aluminio hidratado. Estos suavizadores de intercambio de cationes (que se regeneran con cloruro de sodio) todavía se llaman suavizadores de zeolita, aunque tienen una capacidad mucho más baja que los suavizadores con resinas de poliestireno de manufactura actual.

---

### 11.13 Prevención y control de la corrosión

Las instalaciones que usen agua de reemplazo de alcalinidad alta (>50 ppm) pueden experimentar una corrosión acidica en los sistemas de retomo de condensado debido a las condiciones de pH bajo causadas por el bióxido de carbono, cuya presencia en los retornos de condensado la origina la desintegración del contenido natural de bicarbonatos en carbonatos e hidróxidos cuando el agua de reemplazo se somete a las temperaturas del agua de calderas.

Hace años era legal el uso de una combinación de zinc-cromatos muy eficaz para inhibir la corrosión; sin embargo, la EPA de Estados Unidos prohibió los cromatos al considerarlos contaminantes y un peligro contra la salud. La inhibición de la corrosión es esencial para el agua de las torres de enfriamiento, ya que está aireada, contiene altas concentraciones de sales y materiales en suspensión, por la formación de lodos de dureza y la contaminación en el aire y se mantiene a temperaturas tibias. Todos estos factores contribuyen a un ambiente corrosivo.

La MIC (corrosión inducida por microbios) está adquiriendo una importancia considerable y puede volverse seria si hay crecimientos biológicos apreciables y basuras en el sistema de instalaciones. Las bacterias reductoras de sulfato (SRB), que se tratan en forma más completa bajo el encabezado de "Prevención de depósitos de algas y babazas", pueden proliferar debajo de las basuras o biopelículas. Se ha reportado que un ataque severo de MIC puede provocar hasta 0.16 cm de penetración del acero dulce en un periodo de seis semanas. El grado de ensuciamiento (que se presentará después) tiene una influencia directa en la cantidad de MIC que ocurra.

El agua de reemplazo suavizada con zeolita provee un pH alto para el agua concentrada de la torre de enfriamiento y, por lo tanto, requiere de un método algo diferente para inhibir la corrosión. El pH alto es beneficioso para reducir la tendencia corrosiva y disminuye la cantidad de fosfato requerido para la inhibición eficaz.

La corrosión se suprime ante la ausencia del oxígeno, y no se formarán incrustaciones si se mantiene en un nivel mínimo prescrito el agua de reemplazo agregada, la cual contiene ingredientes potencialmente formadores de incrustaciones. El carbonato de calcio es la incrustación más común, pero con probabilidad no será un problema salvo que se permita que ocurran pérdidas continuas de agua. Los productos de la corrosión del hierro y del cobre suelen ser los que más ensucian. Estos ensuciantes pueden causar:



1. Daños erosivos en las empaquetaduras y los sellos mecánicos de las bombas.
2. Obstrucciones en tuberías y coladores.
3. Disminución de la eficiencia de la transferencia de calor, lo que reduce la capacidad del sistema para calentar o enfriar.
4. Controles que llegan a ser no operativos.
5. Corrosión por picadura en los tubos de los enfriadores.
6. Corrosión debajo de los depósitos y crecimientos biológicos cuando se alojan en áreas con velocidad mínima. (En un caso en el cual no se había tratado un sistema cerrado, una herrumbre de hierro del sistema de tubería de acero se alojó en el enfriador, sobre los serpentines del intercambiador de calor de cobre, y causó picaduras y perforaciones debajo de la película de herrumbre al cabo de unos cuantos años.)

Para apreciar mejor el significado de las pequeñas fugas o pérdidas en un sistema cerrado, supongamos que hubiera fugas de 3.78 l/h (alrededor de 30 gotas por minuto). Ante estas condiciones, se calculó que se podría introducir bastante oxígeno disuelto al sistema, por medio del agua nueva de reemplazo (que contiene los 10 mg/l normales de oxígeno disuelto), como para formar suficiente herrumbre y así atascar sólidamente 4.25 m de un tubo de acero de 1".

Los *inhibidores anódicos* conocidos comúnmente, y que controlan la corrosión mediante la inhibición en el ánodo, son los cromatos, nitritos, fosfonatos, ortofosfatos, azoles y molibdatos. Los *inhibidores catódicos*, que controlan la corrosión en el cátodo, son los polifosfatos y el zinc. La tecnología moderna del tratamiento del agua de enfriamiento dicta que unas mezclas complejas de inhibidores, tanto anódicos como catódicos, que incluyan dispersantes son necesarias para lograr una inhibición aceptable de la corrosión y las incrustaciones. A continuación se presentan algunos de los productos químicos que se usan para inhibir la corrosión:

**CROMATOS:** La EPA de Estados Unidos prohibió su uso en las torres de enfriamiento para confort y su descarga al ambiente. Al inicio se encontró que eran necesarias unas concentraciones de 500 a 1000 mg/l de cromato de sodio (como  $\text{CrO}_4$ ) para una satisfactoria inhibición de la corrosión. En años posteriores se encontró que 10 a 100 mg/l de cromato de sodio (como  $\text{CrO}_4$ ) con la adición de sales de zinc y otros suplementos proporcionaban una inhibición de corrosión apropiada.

**FOSFONATOS:** Durante los últimos 15 años, se ha encontrado que estos productos químicos son muy aceptables como inhibidores de las incrustaciones, y también que tienen propiedades inhibidoras de la corrosión razonablemente buenas a concentraciones más altas (15 a 30 mg/l) en el agua de enfriamiento concentrada que aquellas que se requieren para inhibir las incrustaciones.

**FOSFATOS:** Los ortofosfatos, como el fosfato trisódico, que funcionan como inhibidores anódicos son eficaces en presencia de aguas oxigenadas (por ejemplo, el agua de las torres de enfriamiento), pues llenan los vacíos en la formación de una película protectora eficaz y aceleran su crecimiento. Los polifosfatos son menos eficaces, pero mejores a un pH neutro.

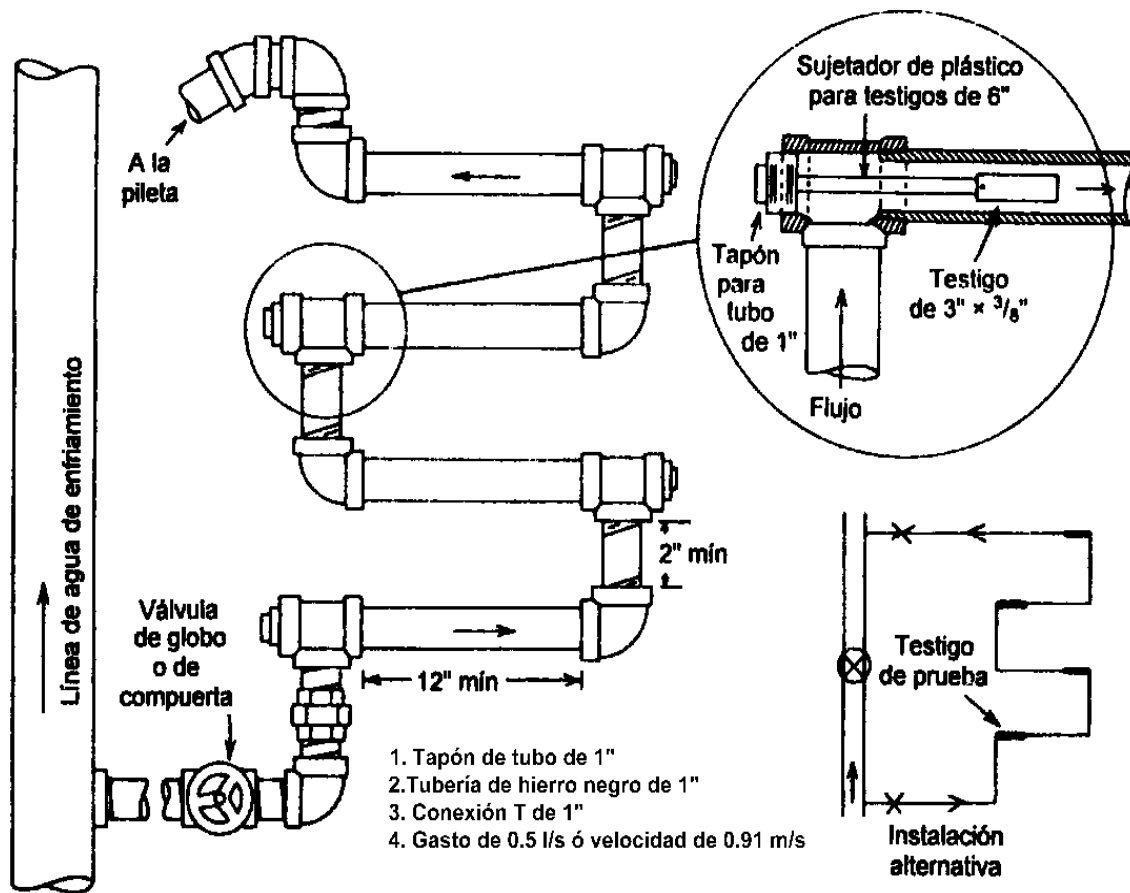
**SALES DE ZINC:** Comportándose como inhibidoras catódicas, las sales de zinc son suplementos eficaces para los productos químicos ya mencionados; proveen en general una reducción de la corrosión en el cátodo mediante la precipitación del hidróxido de zinc. Además, contrarrestan la formación del complejo cobre-fosfonato, el cual puede causar una corrosión seria de los metales que contengan cobre y un incremento en la corrosión del acero (se deposita cobre metálico sobre el acero y esto origina una corrosión galvánica).

**AZOLES:** Estos productos químicos, como el benzotriazol, el mercaptobenzotiazol y el toliltriazol sódico, sirven para inhibir la corrosión de los metales que contengan cobre al crear una película

protectora eficaz en sus superficies. También inhiben en cierto grado la corrosión del acero.

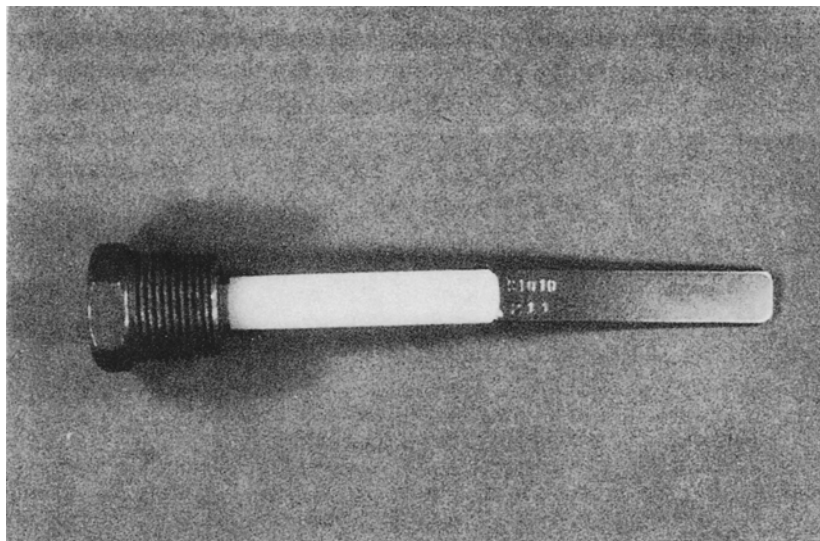
**ACRILATOS:** Hay muchas variables: poliacrilatos, copolímeros y terpolímeros; sirven sobre todo como inhibidores para evitar la formación de incrustaciones compuestas de carbonato de calcio, fosfato de calcio, fosfonato de calcio e hidróxido y fosfato de zinc. Permiten que los principales inhibidores de corrosión provean una película protectora eficaz en presencia de tendencias potenciales hacia la formación de incrustaciones.

**TESTIGOS PARA MONITOREAR EL CONTROL DE CORROSIÓN:** Con el fin de estar seguros de que los productos químicos para el control de la corrosión estén funcionando en forma adecuada, se deben instalar testigos de acero y de aleaciones de cobre durante periodos de 30 a 90 días para determinar la rapidez de la corrosión en mil de penetración por año (mpa). El ensamble con el probador de corrosión, el portatestigos y el testigo (**figura 11.2**). Además de observar la pérdida de peso, se puede examinar con el microscopio el grado de picadura cuando se quiten los especímenes, ya que son particularmente preocupantes las tendencias de la picadura con los diferentes tratamientos. Un programa apropiado incluiría instalar los testigos en la primavera, reemplazarlos a mediados del verano y removerlos en el otoño cuando se pare el acondicionamiento de aire.



Fuente: CONTROL DE INCRUSTACIONES "RUSSELL W. LANE", 1995

Fig. 11.2 Instalación de testigo de corrosión.



Fuente: CONTROL DE INCRUSTACIONES "RUSSELL W. LANE", 1995  
**Fig. 11.3** Testigo de corrosión.

---

### 11.14 El ensuciamiento y su control

El tratamiento químico se debe iniciar cuando los sistemas sean nuevos y estén limpios, ya que es difícil limpiar y tratar los sistemas cerrados después de que hayan quedado sucios.

El ensuciamiento bacteriano puede causar la formación de babazas o biopelículas en los tubos, lo que reduce la transferencia de calor. Tales ensuciamientos podrían causar también la formación de aguas negras, malolientes y corrosivas de pH bajo (ácidas), y fomentar el crecimiento de bacterias reductoras de sulfato (SRB). Respecto a éstas, es esencial un tratamiento apropiado con biocidas para evitar su crecimiento, ya que estas bacterias son capaces de iniciar una corrosión seria tipo picadura y la subsecuente perforación de conductos de cobre y tuberías de acero.

En particular, es necesario vigilar los sistemas cerrados para buscar pérdidas de agua y controlar en forma apropiada las tendencias incrustantes y corrosivas. Son pasos importantes medir el agua de entrada y supervisar la concentración del tratamiento del agua. Dado que los medidores de agua pueden fallar en condiciones de flujos muy bajos (filtraciones, escurrimientos), se deben instalar antes de ellos válvulas de control de nivel que se accionen por medio de un cambio apreciable en el nivel del agua. Así se podrá obtener información más exacta acerca del flujo del medidor de agua durante estas condiciones periódicas con un flujo más alto.

Una técnica recomendada para vigilar en forma apropiada el uso de agua de reemplazo y el tratamiento del agua, es tomar una muestra de ésta en el sistema para determinar la concentración del inhibidor de corrosión. Esto se debe hacer por lo menos cada mes (de preferencia cada semana), y el tratamiento se debe ajustar según sea necesario. Las ventajas adicionales de esta técnica son las siguientes:

1. El porcentaje de pérdidas de agua del sistema se puede estimar a partir de la disminución observada en los resultados de la prueba, y mediante una inspección de las lecturas del medidor de agua.
2. Una estimación del volumen de agua en el sistema se puede calcular si se conocen los kilos y la concentración del producto químico que se agregó, lo que posibilita un control más exacto del tratamiento químico.

## 11.15 Tratamiento químico

Hay diversos programas de tratamiento que se prescriben para sistemas cerrados. El diseño no contempla el control de incrustaciones, porque se supone que el uso de agua de reemplazo será tan bajo que estas no serán un problema. Si el agua de reemplazo que se agregó al sistema tiene una dureza apreciable, se suele recomendar la instalación de un intercambiador iónico de sodio (suavizador de zeolita) para que el agua suavizada se pueda aplicar como reemplazo. No se considera adecuado el tratamiento con fosfonatos o polifosfatos, ya que estos productos se degradan si durante periodos largos no se aplica el tratamiento.

Suponiendo que el agua de reemplazo sea muy poca, la cantidad de incrustaciones que se formen debido al uso de un agua moderadamente dura será mínima y, por lo general, insuficiente para que sea preocupante. El llenado inicial podría causar incrustaciones mínimas, pero luego el potencial para formarlas en forma apreciable se agotará mediante la suavización (precipitación de la dureza) y, por lo tanto, no causará mayores preocupaciones. La inhibición de la corrosión de los metales en el sistema, sobre todo acero y cobre, si es una preocupación mayor. Un método de tratamiento podría ser el siguiente:

- **CONTROL DEL pH**

El mantenimiento de un pH de 9.0 (la escala aceptable es de 9.0 a 10.5) usualmente podrá reducir las tendencias corrosivas a niveles aceptables. Es decir, se requerirá la aplicación de productos químicos alcalinos, como sosa cáustica, cenizas de sosa, o fosfato trisódico, para elevar el pH.

Excepto en los casos de posible contaminación por conexiones cruzadas del sistema de agua potable, este sencillo método para inhibir la corrosión no es el método de tratamiento que por lo general se recomienda, debido al potencial para formar incrustaciones y porque hay disponibles métodos mejores y de mayor alcance como:

- **INHIBIDORES SECUESTRANTES DE OXÍGENO**

Estos inhibidores de sulfitos e hidrazina (catalizados de preferencia) son convenientes por su capacidad para reducir la concentración de oxígeno y la corrosión consecuente. Se puede preferir el sulfito de sodio más que la hidrazina debido a la toxicidad de esta, pero tiene la desventaja de que suministra sulfatos derivados de la oxidación del sulfito; el sulfato promueve el crecimiento de bacterias reductoras de sulfato. En general, los productos químicos secuestrantes de oxígeno no se consideran satisfactorios para aplicarlos en sistemas cerrados, ya que son necesarias una adición continua y pruebas frecuentes para mantener el control apropiado para afrontar el ingreso de oxígeno en estos sistemas.

- **INHIBIDOR DE SILICATO**

La adición del silicato de sodio líquido para incrementar la sílice ( $\text{SiO}_2$ ) desde 20 hasta 50 mg/l y mantenimiento del pH dentro del intervalo de 7.5 a 9.5 proporciona una inhibición eficaz contra la corrosión del acero y los metales que contienen cobre. Las desventajas del inhibidor de silicato pueden ser el desarrollo de una capa delgada de incrustación aislante el largo lapso requerido para desarrollar una inhibición de corrosión eficaz y la reacción dispersante con el óxido de hierro que origina agua con aspecto sucio. Las ventajas son que no es tóxico ni contribuye al crecimiento bacteriano.

## 11.16 Limpieza de los sistemas

Los nuevos sistemas se deben enjuagar por completo para eliminar incrustaciones de la fábrica de

tubos, aceites para herramientas de corte, productos de la corrosión, pedacería de metales, compuestos de las juntas de tubería, fundentes y salpicaduras de soldadura, suciedades y otros desechos antes de ponerlos en operación. Este tipo de limpiezas implica un proceso complicado si se hacen bien, por ello deben ponerse, sin duda, en manos de alguna compañía de limpieza química o tratamiento de aguas con experiencia en este campo. En muchos edificios viejos los sistemas nunca recibieron ningún tratamiento de aguas y, por lo tanto, han quedado obstruidos en parte con productos de la corrosión. Éstos en general son difíciles de suprimir, y si se someten a solventes fuertes, como ácidos, el resultado puede ser fugas en las tuberías y pérdidas de bienes.

También hay escamas duras de óxido de hierro (magnetita), abrasivas en particular para las partes y los impelentes de las bombas, pero se pueden eliminar con eficacia mediante la instalación de imanes en los coladores. Además de los métodos químicos convencionales que ofrecen las compañías de limpieza química, hay algunas técnicas nuevas, descritas en trabajos recientes, que se han presentado en conferencias sobre el agua.

El reemplazo completo de la tubería, aunque costoso, puede resultar la mejor solución. Desde luego que se debe determinar la causa de la corrosión para que el reemplazo se haga con un material más resistente. El nuevo sistema se debe limpiar en forma apropiada, y es necesario disponer la instalación de un sistema adecuado de tratamiento de aguas y de un medio para inspeccionar la tubería nueva.

Es frecuente la instalación de sistemas de filtros de flujo lateral (5 a 10% del flujo total) y de flujo completo para eliminar los sólidos suspendidos; son eficaces en particular durante los arranques del sistema. El material suspendido en el agua circulante puede originar la formación de depósitos, los que pueden conducir al desarrollo de celdas de corrosión debajo de los depósitos y causar picaduras profundas. En los sistemas cerrados que requieren considerables volúmenes de agua de reemplazo debido a las pérdidas, ha sido necesario instalar, antes de las bobinas de inducción de los cuartos, filtros en línea capaces de eliminar partículas hasta de 1 m de tamaño para evitar la obstrucción de líneas y válvulas de pequeño diámetro.

Durante el proceso de enjuague se debe drenar por completo el agua del sistema en el punto más bajo. Entonces, cuando se reanude el proceso de enjuague, deberá asegurarse la eliminación completa de los materiales de limpieza. Esto se puede verificar probando el agua con indicador de fenoltaleína, el cual debe reaccionar "incolore" en lugar de color rosa cuando el pH sea inferior a 8.2. Si se desea una seguridad sobre el sistema cerrado esta protegido por completo contra la corrosión, entonces se deben instalar testigos o niples de corrosión.

---

### 11.17 Tuberías de plástico

Entre los materiales, la tubería de plástico es una opción importante para limitar la corrosión en un ambiente corrosivo, y cada vez es más aceptable como sustituto de los metales. Se han mejorado sus propiedades físicas y se han reconocido y entendido mejor sus limitaciones.

- Las tuberías de plástico incluyen tanto a los termoplásticos como a los termofijos.
- Las tuberías termoplásticas son principalmente extruidas, si bien las conexiones se moldean por inyección (se fabrican a partir de tubos extruidos). Las termofijas, o tuberías de resinas termofijas reforzadas, se fabrican mediante cuatro procesos diferentes: enrollado de filamentos, vaciado centrífugo y moldeados de contacto y de compresión.

Los materiales termoplásticos tienen varias ventajas: son resistentes contra la corrosión y la deposición; ligeros, económicos y tienen un módulo de elasticidad y un coeficiente de fricción más bajos que las tuberías metálicas. Sin embargo, estos materiales han mostrado las siguientes deficiencias:

- 1) permeabilidad a solventes orgánicos (como los derivados del petróleo) y
- 2) un alto coeficiente de expansión térmica.

Numerosos casos en que derivados del petróleo u otros solventes orgánicos han permeabilizado tuberías de plástico subterráneas han causado severas contaminaciones, sabores raros y olores en el agua potable. Su alto coeficiente de expansión térmica obliga a instalar numerosas juntas de expansión, lo que entraña una mayor probabilidad de que haya fugas. Con una menor resistencia mecánica, la necesidad de soportes más juntos, y la unión de las conexiones podría complicar la instalación y conducir a un mayor problema de fugas.

Hay seis diferentes composiciones para tuberías de plástico que se usan en los sistemas de agua potable:

1. **PVC (cloruro de polivinilo):** *tipo 1, grado 1.* Esta tubería es la que se especifica con mayor frecuencia y se ha usado durante más de 30 años en procesamiento químicos, galvanoplastias industriales, sistemas de distribución fríos, tuberías de agua desionizada, drenajes químicos y tuberías de irrigación. Es resistente contra ácidos, álcalis y sales, pero lo atacan solventes polares, como cetonas, hidrocarburos aromáticos y sustancias aromáticas. Su máxima duración en servicio se alcanza por debajo de los 60°C, pero tiene la máxima resistencia hidrostática de largo plazo a los 23°C (esfuerzo de diseño de 2000 psi) entre los principales termoplásticos. Se une mediante cementos de solventes, roscas o bridas.
2. **CPVC (cloruro de polivinilo clorado):** *tipo 4, grado 1.* Sus propiedades físicas son similares a las del PVC, pero las de resistencia química son algo mejores. También posee propiedades de esfuerzo para diseño hasta 2000 psi. Su máxima duración en servicio se alcanza por debajo de una temperatura máxima de 99°C, y se ha usado con éxito para la distribución de aguas caliente y fría durante 30 años. Se une por medio de los mismos procedimientos que el PVC, y su instalación es considerablemente más barata, en lo que respecta a mano de obra, que la de la tubería metálica.
3. **PP (polipropileno):** *tipo 1.* Esta es una poliolefina ligera. Tiene, por lo general, alta resistencia química contra ácidos, álcalis y solventes orgánicos, pero está en un nivel algo más bajo en sus propiedades físicas. No se puede usar con ácidos oxidantes fuertes, solventes aromáticos ni sustancias aromáticas. Tiene un esfuerzo de diseño de 1000 psi 23°C. Es resistente contra aguas que contengan azufre en las líneas de desecho del agua de mar y en tuberías que lleven petróleo crudo y gases de baja presión. Se une mediante fusión de sellado por calor, roscas y bridas.
4. **ABS (acrilonitrilo-butadieno-estireno):** *tipo 1, grado 3.* El ABS es una combinación o mezcla de polímeros cuyos mínimos de butadieno, acrilonitrilo y estireno son 6, 15, 15% respectivamente; y todos los demás monómeros no rebasan el 5%; contiene también otros aditivos. Es una resma excelente para tuberías, debido a su tenacidad resistencia y rigidez. Estas propiedades explican su uso extenso en conductos de drenajes, desechos, respiraderos, alcantarillados y comunicaciones.
5. **PB (polibutileno):** El PB se produce mediante la polimerización del butileno y contiene usualmente un 2% de negro de humo como inhibidor ultravioleta. Es muy adecuado para tuberías debido a estas propiedades. Es flexible con resistencia de largo plazo; es notable en que conserva mejor su resistencia a la tensión a temperaturas desde 23°C hasta 94°C en sistemas bajo presión; y es resistente contra la abrasión.
6. **PE (polietileno):** Este es el segundo material termoplástico que se usa más. Los aditivos normales son antioxidantes y negro de humo para protegerlo contra la luz ultravioleta. Hay tres tipos: el tipo 1 tiene baja densidad, es relativamente blando y flexible y posee una resistencia baja contra el calor; el tipo II tiene una densidad mediana, es ligeramente más duro y tiene una

resistencia mucho mayor contra el calor y la tensión; el tipo III es el material preferido para tuberías debido a su tenacidad y propiedades físicas superiores.

---

### 11.18 Corrosión de válvulas

Como es necesario que los asientos de las válvulas conserven su exactitud dimensional y estén libres de picaduras, las partes móviles deben ser catódicas en relación con el cuerpo de la válvula, por lo que, el cuerpo de ésta debe ser de acero y no de hierro colado. La corrosión gráfica del cuerpo hecho con este material puede conducir al desarrollo de cátodos gráficos y la corrosión subsecuente de las partes móviles o los asientos de las válvulas.

Conferirle características aerodinámicas a la instalación eliminando el mayor número posible de curvas, válvulas, ramales, y controladores de flujo, con el fin de reducir la inclusión de aire y la turbulencia, dará como resultado una menor erosión corrosión. La instalación de válvulas de diafragma, y no de globo o compuerta, también causará menos turbulencia. Se deben instalar válvulas recubiertas de plástico cuando se espere una corrosión en condiciones turbulentas.

Un factor importante para el mantenimiento de las válvulas es la instalación de válvulas apropiadas para el servicio en particular. Se deben usar válvulas de compuerta para proveer condiciones de abertura-cierre, pero no para regular el flujo; las de globo están diseñadas para la regulación. El material suspendido puede erosionar los asientos de las válvulas; por tanto, si en el flujo hay algún material en suspensión significativo (por ejemplo, productos de la corrosión), se debe considerar la instalación de un pequeño filtro en línea para eliminarlo.

Cuando se planeen materiales óptimos para fabricar válvulas, se tienen que considerar por separado el cuerpo de la válvula y la parte interior (incluyendo los asientos), pues en ambos la velocidad del líquido es diferente. Por lo general, es aceptable utilizar materiales extremadamente duros en los asientos o tapones. Para el servicio de agua a temperaturas y presiones bajas, el hierro, el bronce o el plástico son los materiales usuales que se recomiendan. Los aceros inoxidables son los indicados para condiciones extremas de presión y temperatura. Como los nuevos materiales, en particular los plásticos, pueden ser aplicables, es necesario comunicarse con el proveedor para que sugiera una válvula para un fin específico.

---

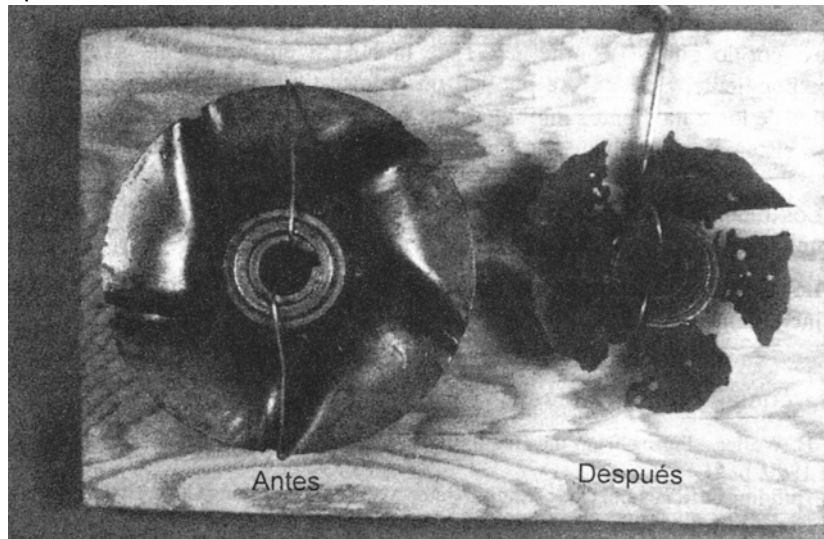
### 11.19 Corrosión de bombas

Las bombas presentan un problema particular de corrosión debido a las altas velocidades y la turbulencia involucradas. La cavitación, una forma de corrosión por impacto, se presenta en los impelentes de las bombas, en cuyas superficies metálicas se desintegran las burbujas de aire o vapor debido a que se crean reiteradamente áreas de baja y alta presión. La **figura 11.4** ilustra muy bien el efecto de la corrosión en un impelente de bronce que estuvo expuesto a un agua durante unos cuantos meses, en un servicio doméstico de agua caliente circulante. El reemplazo del impelente de bronce con uno de acero, un metal mucho más duro, corrigió este problema de erosión-corrosión. Si bien la alta velocidad por lo general incrementa la corrosión, una velocidad mínima o un estancamiento como ocurre durante la inactividad en las plantas, también son una causa seria de que la corrosión aumente.

El extremo de las bombas centrífugas que entra en contacto con el líquido se construye por lo general con bronce, todas de bronce o todas de hierro. El impelente la manga del eje, y los anillos de desgaste son de bronce y el casco de hierro vaciado en construcción equipada con bronce.

La bomba aspirante impelente es aquella que tiene el embolo macizo y que durante su retorno impulsa con fuerza el agua embolada a través de una válvula del cilindro. En nuestro caso para caudales pequeños y especialmente de líquidos corrosivos se usan bombas de membrana, con el

embolo constituido por una membrana elástica.



Fuente: CONTROL DE INCRUSTACIONES "RUSSELL W. LANE", 1995

**Fig. 11.4** Erosión - corrosión de un impelente de bronce para bombas.