



**TOGETHER**  
*for a sustainable future*

## OCCASION

This publication has been made available to the public on the occasion of the 50<sup>th</sup> anniversary of the United Nations Industrial Development Organisation.



**TOGETHER**  
*for a sustainable future*

## DISCLAIMER

This document has been produced without formal United Nations editing. The designations employed and the presentation of the material in this document do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of the Secretariat of the United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) concerning the legal status of any country, territory, city or area or of its authorities, or concerning the delimitation of its frontiers or boundaries, or its economic system or degree of development. Designations such as “developed”, “industrialized” and “developing” are intended for statistical convenience and do not necessarily express a judgment about the stage reached by a particular country or area in the development process. Mention of firm names or commercial products does not constitute an endorsement by UNIDO.

## FAIR USE POLICY

Any part of this publication may be quoted and referenced for educational and research purposes without additional permission from UNIDO. However, those who make use of quoting and referencing this publication are requested to follow the Fair Use Policy of giving due credit to UNIDO.

## CONTACT

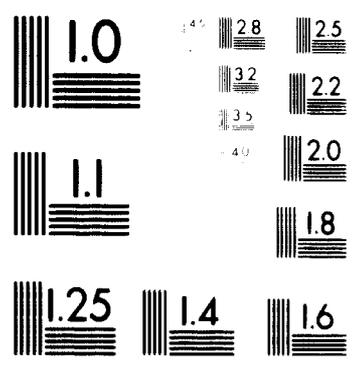
Please contact [publications@unido.org](mailto:publications@unido.org) for further information concerning UNIDO publications.

For more information about UNIDO, please visit us at [www.unido.org](http://www.unido.org)

1 OF 1

U  
N  
I  
D  
O

24X  
G



MICROCOPY RESOLUTION TEST CHART  
 NATIONAL BUREAU OF STANDARDS  
 STANDARD REFERENCE MATERIAL 1010a  
 (ANSI and ISO TEST CHART No. 2)

**We regret that some of the pages in the microfiche copy of this report may not be up to the proper legibility standards, even though the best possible copy was used for preparing the master fiche**

5498-S

*TECNICAS PARA  
EL AHORRO DE AGUA  
EN LAS FABRICAS  
DE ELABORACION DE  
ALIMENTOS*

ESTUDIOS "INDUSTRIA ALIMENTARIA" Nº 3



NACIONES UNIDAS

*TECNICAS PARA EL AHORRO  
DE AGUA EN LAS FABRICAS DE  
ELABORACION DE ALIMENTOS*

ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO INDUSTRIAL  
VIENA

ESTUDIOS "INDUSTRIA ALIMENTARIA" Nº 3

*TECNICAS PARA EL AHORRO  
DE AGUA EN LAS FABRICAS DE  
ELABORACION DE ALIMENTOS*



NACIONES UNIDAS  
Nueva York, 1970

**ID/SER. I/3**

**PUBLICACION DE LAS NACIONES UNIDAS**

**Nº de venta: S.69.II.B.16**

**Precio: \$ 1,00 (EE.UU.)**

**(o su equivalente en la moneda del país)**

**Printed in Austria**

## PREFACIO

Pertenece la presente monografía a una serie de estudios preparados para uso de las empresas industriales de elaboración de alimentos en los países en desarrollo. El enfoque de las cuestiones tratadas y los criterios seguidos para su estudio se basan en la idea de que es necesario adoptar procedimientos y técnicas adecuados para la producción de bienes que puedan competir en calidad, precio y regularidad de suministro con los de países de industrialización más avanzada. Esta idea se considera válida aun cuando el capital para inversiones y la mano de obra especializada sean escasos, y aunque los actuales mercados para los productos sean limitados o inexistentes. Ningún país, y muy especialmente ningún país en desarrollo, puede permitirse dilapidar sus recursos estableciendo industrias cuyos productos sean demasiado caros, o de calidad demasiado baja para tener aceptación en el mercado mundial.

El propósito de la ONUDI al publicar esta serie de estudios sobre la industria de la elaboración de alimentos es, por consiguiente, ayudar a los países en desarrollo a lograr una visión clara de las características técnicas de ciertos sectores de la elaboración de alimentos, y a evitar procedimientos y métodos anticuados. Es de esperar que estos estudios sean un medio de información fidedigna y práctica para las autoridades y los posibles inversionistas privados y corporativos.

La presente monografía ha sido preparada por el Sr. Lavoslav Richter, del Instituto de Técnicas de Elaboración de Zagreb (Yugoslavia), consultor de la ONUDI. Las observaciones y opiniones expresadas en la presente monografía son las del consultor y no representan necesariamente las de la Secretaría de la ONUDI.

## INDICE

	<i>Página</i>
<i>Introducción</i> . . . . .	1
<i>Capítulo I</i> TIPOS DE AGUA, ORIGEN Y ABASTECIMIENTO . . . . .	3
Características del agua natural . . . . .	4
Calidad de los distintos orígenes del agua natural . . . . .	9
Equipo para el abastecimiento de agua a las fábricas de elaboración de alimentos . . . . .	10
<i>Capítulo II</i> CALIDAD DEL AGUA PARA USOS TECNOLOGICOS Y DE OTRA INDOLE EN CADA RAMA DE LA INDUSTRIA DE ELABORACION DE ALIMENTOS . . . . .	12
Agua para aplicaciones tecnológicas . . . . .	12
Agua potable . . . . .	18
Agua para equipo de centrales de energía térmica . . . . .	19
<i>Capítulo III</i> , METODOS DE PURIFICACION DEL AGUA . . . . .	25
Clarificación y decoloración del agua . . . . .	25
Desinfección del agua . . . . .	38
Eliminación del hierro del agua . . . . .	39
Eliminación del aceite del agua . . . . .	40
Ablandamiento del agua . . . . .	40
<i>Capítulo IV</i> CONTAMINACION DEL AGUA EN LAS DISTINTAS RAMAS DE LA INDUSTRIA DE ELABORACION DE ALIMENTOS . . . . .	50
Indicadores de la calidad de aguas residuales . . . . .	51
Características de las aguas residuales que descargan diversas ramas de la industria de elaboración de alimentos . . . . .	53
<i>Capítulo V</i> PURIFICACION DE AGUAS RESIDUALES EN LA INDUSTRIA DE ELABORACION DE ALIMENTOS . . . . .	60
Las masas de agua como recipientes de aguas residuales . . . . .	60
Depuración de aguas residuales: sistemas y equipo . . . . .	62
<i>Capítulo VI</i> AHORRO DE AGUA EN LAS INDUSTRIAS . . . . .	72
Utilización escalonada del agua . . . . .	72
Reutilización del agua . . . . .	72
Consideraciones de costo en el funcionamiento de instalaciones depuradoras de agua . . . . .	74
<i>Bibliografía</i> . . . . .	75

### Abreviaturas empleadas en esta publicación

mg = miligramo

g = gramo

l = litro

meq = equivalente en miligramos

ppm = partes por millón

t = tonelada métrica

ml = mililitro

## INTRODUCCION

El consumo de agua en el mundo ha venido aumentando mucho últimamente debido a la explosión demográfica, al mayor nivel de la higiene pública, y a la expansión de la industria. Al mismo tiempo, ese precioso don natural que es el agua pura no sólo se desperdicia, sino que se contamina cada vez más por los desechos de las ciudades y de las industrias. Esa contaminación es un ejemplo patente de cómo la actividad social del hombre altera su medio ambiente.

Las plantas industriales de elaboración de alimentos son uno de los mayores usuarios de agua industrial. Para ellas, el agua es una materia prima tecnológica que se emplea como disolvente en diversos procesos tecnológicos, para lavar y enfriar, y como agente calorífero.

Los requisitos concretos de la calidad del agua dependen de las características específicas del proceso tecnológico. Es raro que las propiedades del agua sin tratar satisfagan tales requisitos; en la mayoría de los casos es necesario un tratamiento para utilizarla en el proceso de producción.

La descarga del agua, ya utilizada en los procesos, a la red normal de alcantarillado o a los ríos plantea también un enorme problema. La contaminación de los sistemas de agua natural aumenta de día en día y, por razones de salud pública, es preciso dedicar más atención en el futuro a la purificación del agua. Por motivos económicos, se trata cada vez más el agua ya utilizada y, cuando es posible, se la introduce de nuevo en el proceso industrial.

Hoy es cuestión urgente para la industria el descubrir sistemas más económicos para llevar agua a las plantas industriales de elaboración de alimentos, para tratar con éxito las aguas residuales, y para tratar con la mayor eficacia posible el agua natural

## TIPOS DE AGUA, ORIGEN Y ABASTECIMIENTO

Según la forma en que el agua aparezca en la naturaleza, cabe distinguir entre agua atmosférica, superficial, subterránea y salada.

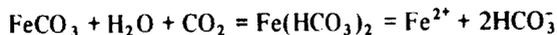
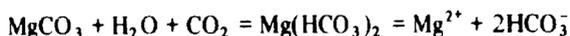
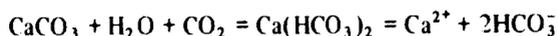
El agua atmosférica es la más pura en cuanto a la cantidad de cuerpos extraños en ella disueltos. Sin embargo, también contiene impurezas, entre ellas gases (oxígeno, nitrógeno, anhídrido carbónico) que toma del aire y de materias orgánicas e inorgánicas cuya composición y cantidad dependen de la composición de la atmósfera. El agua atmosférica de zonas habitadas y de centros industriales contiene óxido sulfúrico, hollín y partículas de polvo. La concentración total de sales no suele rebasar los 50 mg/l.

El agua superficial, la subterránea y la del mar contiene más minerales que la atmosférica, y casi nunca se puede aprovechar directamente para procesos tecnológicos: hay que tratarla antes. El agua superficial de lagos, ríos y sistemas de embalses para uso industrial contiene siempre materia disuelta y agregados mecánicos insolubles.

El agua se satura, en la superficie del suelo, por la acción de las materias en suspensión, las impurezas y las sustancias orgánicas; al atravesar las capas minerales subyacentes se filtra y libera de agregados mecánicos bastos y, al mismo tiempo, se enriquece con sales, gases e ingredientes orgánicos procedentes de la descomposición de organismos vegetales y animales.

La oxidación de la materia orgánica en el suelo consume oxígeno y produce anhídrido carbónico, lo cual es importante porque enriquece el agua con carbonatos poco solubles.

Agentes excepcionales de enriquecimiento del agua son los depósitos sedimentarios de caliza, dolomita y yeso. Las aguas subterráneas disuelven el NaCl, el  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , el  $\text{MgSO}_4$  y otras sales fácilmente solubles. El proceso de enriquecimiento del agua con carbonatos de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), de magnesio ( $\text{MgCO}_3$ ) y de hierro ( $\text{FeCO}_3$ ) se efectúa con arreglo a las fórmulas:



Como resultado de estas reacciones se forman sales bivalentes fácilmente solubles, bicarbonatos de calcio, magnesio y hierro que se disocian en cationes  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y anión  $\text{HCO}_3^-$ .

A temperaturas ordinarias, estas sales se disuelven en el agua; a temperaturas más altas, dan los carbonatos correspondientes, que se depositan en la superficie de tubos, aparatos y accesorios, desprendiendo oxígeno al mismo tiempo.

Las aguas subterráneas, que a su paso por las distintas capas de terreno se enriquecen con ingredientes minerales, aparecen luego en la superficie limpias, libres de cuerpos extraños mecánicos, pero su contenido de sales minerales suele ser mayor que el de las aguas superficiales.

De todas las aguas naturales, las de los océanos (mares y lagos salados) son las que contienen la mayor cantidad de sales solubles.

Además de la circulación natural del agua, hay también sistemas industriales de consumo y aprovechamiento de agua.

La necesidad de agua que tienen las distintas ramas de la industria (para alimentar calderas, enfriar, lavar, etc.) se atiende desviando el agua procedente de fuentes naturales como ríos, corrientes subterráneas, mares y lagos y conduciéndola al consumidor mediante bombas y tuberías. Cuando este agua ha cumplido su misión, se devuelve a los ríos como desecho, de calidad siempre inferior a la que tenía al iniciarse el proceso. Sobre todo es baja la calidad del agua aprovechada por las refinerías de petróleo, las fábricas de elaboración de alimentos y las industrias metalúrgicas.

Debido a la descarga continua de las aguas aprovechadas, empeora sin cesar la calidad general de las aguas brutas, naturales, cercanas a centros industriales y zonas habitadas, por lo que es preciso una vigilancia más estricta. El problema cada vez más grave de la contaminación del agua bruta exige, pues, un equipo de tratamiento más seguro y complicado.

## Características del agua natural

### *Cuerpos extraños en el agua natural*

Todos los cuerpos extraños que se encuentran en el agua natural como consecuencia de su circulación en la naturaleza pueden dividirse en tres grupos, si atendemos al grado de dispersión: *a)* partículas bastas, mayores de 100 milimicrones, *b)* partículas coloidales, de 1 a 100 milimicrones, *c)* partículas moleculares de orden inferior a 1 milimicrón.

Las partículas bastas y los coloides forman con el agua un sistema heterogéneo, es decir, hay una frontera entre las fases líquida y sólida; en cambio, las partículas molecularmente dispersas en solución forman un sistema homogéneo. Entre ambas categorías no hay una línea clara de separación.

La materia dispersa en partículas bastas, que enturbia el agua natural, se compone de arena, arcilla, y otras partículas de origen mineral y orgánico que se desprenden de la superficie del suelo durante fuertes lluvias, deshielos, o inundaciones fluviales.

El agua natural es todavía transparente cuando la concentración de las partículas bastas es inferior a 5 mg/l. Esas partículas llegan a sedimentarse en el agua cuando su densidad es mayor que la de ésta.

La materia dispersa en partículas coloidales ocupa, según las dimensiones de las partículas, un lugar de transición entre los sistemas de dispersión en partículas bastas y moleculares. No está sujeta a sedimentación, ni siquiera después de largo tiempo. Los coloides existentes en el agua natural son compuestos de silicio, aluminio y

hierro, y también materia orgánica resultante de la descomposición de organismos vegetales y animales.

Las soluciones de sales, ácidos y bases constituyen los sistemas de dispersión molecular. Los iones más comunes en el agua natural son  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{HSiO}_4^-$ . De otros iones, como  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{OH}^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ , suelen existir sólo trazas en el agua natural, aunque a veces influyen decisivamente en las propiedades del agua y en el comportamiento de ésta a altas temperaturas, en las calderas, durante la cocción en la elaboración de alimentos, y en las superficies de enfriamiento.

Los iones cálcicos son los que más abundan en el agua que no contenga grandes cantidades de sales (aguas débilmente mineralizadas). La fuente fundamental de iones de calcio en el agua bruta es la caliza, que se compone de carbonatos cálcicos y que es soluble bajo la influencia del anhídrido carbónico del agua.

El agua está enriquecida con iones de calcio y de yeso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ).

Los iones de magnesio entran en el agua bruta como resultado, sobre todo, de la descomposición de dolomitas ( $\text{MgCO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$ ) en presencia del anhídrido carbónico libre en el agua.

Al aumentar el grado de mineralización del agua bruta, desciende el contenido relativo de iones cálcicos. Debido a la evaporación del agua, aumentan las concentraciones de carbonato y sulfato cálcicos, y los sólidos se precipitan de la solución.

Por la mayor solubilidad del sulfato magnésico, puede haber grandes concentraciones de iones de magnesio en el agua natural, en las aguas muy mineralizadas, la concentración puede ser de varios gramos por litro.

De los metales alcalinos, el sodio es el que más abunda en el agua natural. La concentración de iones sódicos crece al aumentar el contenido mineral del agua.

Los iones de cloro existen en casi todas las aguas naturales, y su contenido varía en una gama amplia. Al igual que los iones de sodio, los de cloro son muy característicos de aguas con mucho contenido de sales.

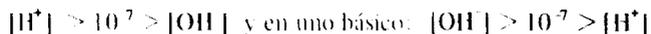
Los iones sulfurosos, como los de cloro, abundan mucho. En las aguas subterráneas, las concentraciones sulfurosas suelen ser mucho mayores que en las aguas lacustres y fluviales. La fuente básica de iones sulfurosos es el yeso.

En el agua hay iones de hidrógeno ( $\text{H}^+$ ) y oxhidrilo ( $\text{OH}^-$ ), como resultado de la disociación del agua:



En el agua hay también iones de hidrógeno, debido a la disociación de ácido:  $\text{HCl} = \text{H}^+ + \text{Cl}^-$ , e iones de oxhidrilo como producto de la disociación de álcalis:  $\text{NaOH} = \text{Na}^+ + \text{OH}^-$ .

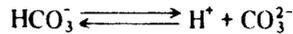
En el agua químicamente pura, a temperatura de  $23^\circ\text{C}$ , la concentración de iones ( $\text{H}^+$ ) y ( $\text{OH}^-$ ) es igual a  $10^{-7}$  g ión/l, y caracteriza la reacción neutra del líquido. En un medio ácido prevalece el estado siguiente:



Es más cómodo expresar la reacción en una solución en forma de indicadores pH y pOH, cada uno de los cuales representa un logaritmo negativo de las concentraciones correspondientes. En un medio neutro,  $\text{pH} = 7 = \text{pOH}$ .

Un medio ácido se caracteriza por la desigualdad  $\text{pH} < 7 < \text{pOH}$ , y uno alcalino por  $\text{pH} > 7 > \text{pOH}$ .

El ácido carbónico de bivalencia se disocia en dos fases:



En el agua natural puede haber iones de bicarbonato y, en ciertos casos, iones de carbonato, además del llamado "ácido carbónico libre" que se encuentra en forma de gas  $\text{CO}_2$  disuelto, y moléculas no disociadas de ácido carbónico  $\text{H}_2\text{CO}_3$ .

Las proporciones cuantitativas entre  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{HCO}_3^-$  y  $\text{CO}_3^{2-}$  determinan pH del agua. Estas interdependencias se muestran en el cuadro 1, que figura a continuación.

CUADRO 1. PORCENTAJES DE DIVERSAS FORMAS DE ACIDO CARBONICO EN AGUA A 25°C

Forma de ácido carbónico	pH									
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
$\text{CO}_2, \text{H}_2\text{CO}_3$	100	95	70	20	2					
$\text{HCO}_3^-$		5	30	80	98	95	70	17	2	
$\text{CO}_3^{2-}$						5	30	83	98	

En las soluciones de agua hay un equilibrio cinético entre las distintas formas de ácido carbónico:  $2\text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ . De esta ecuación se deduce que, para mantener una concentración determinada de un ión de bicarbonato, deberá haber en el agua la concentración correspondiente de anhídrido carbónico libre ( $\text{CO}_2$ ). Si el contenido real de ácido carbónico libre en el agua es mayor que la concentración gracias a la cual se mantiene el equilibrio, su exceso puede producir la disolución del carbonato cálcico cuando entre en contacto con dolomitas calizas. Tal agua es "químicamente activa". Por otra parte, la escasez de  $\text{CO}_2$  en el agua conduce a la descomposición de los iones de carbonato, es decir, a que el equilibrio se desplace hacia la izquierda.

En el agua natural se encuentran compuestos de nitrógeno en forma de iones amónicos ( $\text{NH}_4^+$ ), iones de nitrato y de nitrito. Las fuentes principales de estos iones son los productos de descomposición de la materia orgánica de origen animal y vegetal. Además, los iones amónicos entran en el agua con las aguas residuales. En presencia de una cantidad suficiente de oxígeno y de determinado tipo de bacterias, los iones amónicos se oxidan formando iones de nitrito y después de nitrato. Así pues, los iones de nitrito y de nitrato son el producto final de un complejo proceso de mineralización de la materia orgánica.

En el agua natural se encuentran compuestos de hierro, como iones bivalentes y trivalentes. Estos compuestos pueden adoptar la forma de verdaderas soluciones, coloides y suspensiones.

El agua subterránea contiene predominantemente bicarbonato de hierro ( $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ ), que se hidroliza y oxida fácilmente en presencia del oxígeno del agua. En las aguas de superficie se encuentra hierro en forma de compuestos orgánicos

complejos o como hidróxido de hierro trivalente ( $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ). Puede hallarse hierro en el agua natural como resultado, en parte, del contacto con aguas residuales industriales.

Los compuestos de silicio existen en el agua en diversos grados de dispersión. El anhídrido silíceo puede combinarse con distintas cantidades de agua, formando así diversos ácidos que se engloban en la fórmula general:  $m \text{SiO}_2 \cdot n \text{H}_2\text{O}$ . Las sales de estos ácidos dan una serie de minerales cuya disolución en el agua natural produce derivados de los ácidos silíceos, de diversa composición.

La solubilidad de los ácidos silíceos en el agua natural depende de una serie de factores, sobre todo de la composición iónica del agua y del pH. La presencia de cationes de calcio y magnesio en el agua hace que se formen silicatos poco solubles y rebaja la concentración de ácido silíceo en la solución. La presencia de cationes de sodio en el agua, y un aumento del pH, aumentan la solubilidad de los ácidos silíceos. En las aguas superficiales (ríos, lagos y sistemas de embalse, canales), así como en las aguas subterráneas, el contenido de silicio clasificado como  $\text{SiO}_3^{2-}$  suele oscilar entre 0,6 y 40 mg/l, y sólo excepcionalmente alcanza el valor de 65 mg/l. Una parte de los compuestos de silicio se hallan en estado coloidal, como partículas de ácido polisilíceo. Los ensayos han demostrado que la cantidad de formas coloidales de este ácido varía del 3 al 15% de su contenido total en el agua.

En el agua natural puede haber también cationes  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  y muy raramente  $\text{K}^+$ .

Los gases más difundidos en el agua son el nitrógeno, el oxígeno y el anhídrido carbónico. La solubilidad de gases en el agua depende de la temperatura y de la presión parcial del gas de que se trate en el espacio situado encima del agua.

La fuente de oxígeno del agua natural es la atmósfera; el oxígeno del aire penetra en el agua cuando se tocan ambos elementos. El contenido de oxígeno está regulado por la presión que tenga en la atmósfera, y en el agua se consume en diversos procesos oxidantes.

El anhídrido carbónico en el agua aparece como producto de la oxidación de la materia orgánica en el agua misma y en el suelo por el que pasa el agua. En aguas profundas, pueden desprenderse mayores cantidades de  $\text{CO}_2$  de las reacciones químicas que lleva consigo el cambio del contenido mineral. El contenido de ácido carbónico puede reducirse porque una parte del anhídrido carbónico escapa del agua a la atmósfera, o por formarse compuestos químicos entre el anhídrido carbónico y los carbonatos cálcico y magnésico procedentes de la caliza y de la dolomita.

#### *Indicadores de la calidad del agua*

Los principales indicadores de calidad del agua que utiliza la industria de elaboración de alimentos son: composición de la materia en suspensión, sólidos, dureza total y sus componentes, alcalinidad total con sus componentes, capacidad oxidante, concentración de iones de hidrógeno, composición de los gases disueltos en el agua, y estado microbiológico del agua.

La materia en suspensión ensucia el agua con mezclas duras e insolubles, cuya cantidad se expresa en mg/l de agua.

Por residuo seco del agua se entiende la cantidad total de materias (minerales y orgánicas) insolubles y no evaporables, con dispersión molecular y coloidal, y se expresa en mg/l de agua. Se determina evaporando la muestra de agua, previamente filtrada, y secando después el residuo a  $110^\circ\text{C}$  hasta que se llega a un peso constante. Si se produce la ignición del residuo seco a  $800^\circ\text{C}$ , su peso disminuye, y se

convierte en residuo fijo. La disminución de peso obedece a la descomposición de materia orgánica y de los carbonatos destructibles, y a la evaporación total del agua.

El residuo mineral es la cantidad total de todos los cationes y aniones así como de los óxidos  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  y  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

La dureza del agua es uno de los más importantes indicadores de su calidad cualquiera que sea el fin a que se destine. La dureza total es la suma de las concentraciones de cationes de calcio (dureza cálcica) y de magnesio (dureza magnésica), expresada en meq/l o equivalente en  $\text{g/m}^3$ . La dureza del agua se expresa también en grados de dureza alemanes, franceses o ingleses. Por ejemplo, 1° de dureza alemán es igual a 10 mg/l, o a 10 ppm de CaO. En el cuadro 2 se da la relación entre valores de los diversos grados de dureza del agua.

CUADRO 2. GRADO DE DUREZA DEL AGUA

1° alemán	1,79° francés	1,25° inglés	10,0 ppm <sup>a</sup> CaO
1° francés	0,70° inglés	0,56° alemán	7,0 ppm CaO
1° inglés	0,80° alemán	1,43° francés	8,0 ppm CaO

<sup>a</sup>ppm = partes por millón = mg/l

$$\text{meq/l} = \frac{\text{mg/l}}{\text{peso equivalente}}$$

Para calcular la concentración de calcio y de magnesio se utilizan las siguientes relaciones:

$$\text{dureza cálcica} = \frac{(\text{Ca}^{2+})}{20,04} \quad (\text{meq/l})$$

$$\text{dureza magnésica} = \frac{(\text{Mg}^{2+})}{12,16} \quad (\text{meq/l})$$

donde  $(\text{Ca}^{2+})$  y  $(\text{Mg}^{2+})$  indican la concentración de iones de calcio y magnesio en el agua, expresada en ppm; 20,04 y 12,16 son los pesos equivalentes de calcio y magnesio.

La dureza total del agua se divide en dureza bicarbonatada y en dureza no carbonatada. La primera se caracteriza por la presencia de bicarbonato cálcico y magnésico, así como de carbonatos de todo mineral poco soluble en agua. La dureza no carbonatada (dureza permanente) proviene de la presencia de cloro, sulfatos y otras sales no carbonatadas de calcio y magnesio, como  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{CaSiO}_3$ . La dureza total del agua puede expresarse, bien como la suma de la dureza bicarbonatada y no carbonatada bien como la suma de la dureza de calcio y magnesio. A veces ocurre que en el agua natural la concentración de  $\text{HCO}_3^-$  expresada en meq/l es mayor que la dureza total; en tales casos, la dureza total es igual a la dureza bicarbonatada, y la dureza permanente es cero. La diferencia entre la dureza bicarbonatada y la dureza total es atribuible a los bicarbonatos sódicos existentes en el agua.

Según el grado de dureza total se ha establecido una clasificación aproximada del agua, como sigue:

<i>Dureza total (en meq/l)</i>		<i>Clasificación</i>
0	1,5	muy blanda
1,5	3,0	blanda
3,0	6,0	dureza normal
6,0	12,0	dura
más de 12,0		muy dura

La alcalinidad suele venir dada por los componentes de bicarbonato y oxhidrilo del agua natural o tratada, expresada en meq/l. Se determina por titración con una solución-tipo de un ácido mineral fuerte, utilizando fenolftaleína como indicador. Esta cantidad de ácido permite medir la fracción de alcalinidad aportada por el oxhidrilo y la mitad del carbonato presente en el agua.

La titración con una solución-tipo de ácido mineral indicada por el anaranjado de metilo determina la alcalinidad total del agua.

Los resultados obtenidos de las determinaciones de fenolftaleína y alcalinidad total ofrecen el medio de clasificar estequiométricamente las tres formas principales de alcalinidad de muchas aguas:

- a) Existe alcalinidad carbonatada si la alcalinidad de la fenolftaleína es mayor que cero, pero menor que la alcalinidad total.
- b) Existe alcalinidad oxhidrítica si la alcalinidad de la fenolftaleína es mayor que la mitad de la alcalinidad total.
- c) Existe alcalinidad bicarbonatada si la alcalinidad de la fenolftaleína es menor que la mitad de la alcalinidad total.

Como determinar directamente la concentración de materia orgánica en el agua es prácticamente imposible, el contenido se mide indirectamente, determinando la llamada oxidabilidad del agua, expresada como la cantidad de solución-tipo de permanganato potásico ( $\text{KMnO}_4$ ) consumida durante la titración en medio ácido. Esta solución de  $\text{KMnO}_4$  puede oxidar no sólo la materia orgánica del agua, sino también parte de la materia fácilmente oxidable de origen mineral. Por ello, la oxidabilidad caracteriza el contenido de materia orgánica de un modo aproximado nada más; esencialmente, caracteriza la presencia de materia fácilmente oxidable, por lo que aparece como un indicador condicional.

### Calidad de los distintos orígenes del agua natural

Ríos, lagos y otras masas de agua son fuentes de la mayor importancia para el suministro de agua a la industria. La calidad de esas fuentes está determinada por la cantidad y calidad del agua procedente de caudales subterráneos y superficiales, y del agua procedente de diversos centros industriales y comunales. Lo mismo que el caudal de agua superficial varía mucho durante el año (periodo de fuertes lluvias,

deshielos, sequías), también varía la calidad del agua fluvial. Además, la calidad del agua varía en el curso del río, detalle de cierta importancia si se trata de ríos largos a los que se unen afluentes de calidad diversa.

El agua de los ríos no suele contener gran cantidad de sales: las concentraciones de éstas vienen a representar de 500 a 600 mg/l. Los ríos con mayores concentraciones suelen hallarse en regiones muy áridas. Los principales cuerpos disueltos en el agua fluvial son los cationes  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  y los aniones  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  y  $\text{Cl}^-$ . El agua fluvial ligeramente mineralizada contiene sobre todo los iones  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{HCO}_3^-$ .

Al aumentar el contenido total de las sales en el agua, aumenta también la concentración de los iones  $\text{Na}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  y  $\text{Cl}^-$ . La concentración del oxígeno disuelto en el agua se acerca al límite de solubilidad a una temperatura dada.

El indicador pH del agua no rebasa los límites 6.5 - 7.5. El agua de río suele contener cierta dosis de materia en suspensión cuya concentración varía mucho según la estación del año y la cantidad de precipitaciones. En invierno, el agua fluvial se caracteriza por mayores concentración y dureza de las sales disueltas.

El agua de los océanos y mares viene a tener la misma concentración de cationes y aniones. La concentración de sal en el océano y en mares abiertos se acerca a los 35 g/l, mientras que en los lagos salados oscila entre 8 y 16 g/l. Los principales cuerpos disueltos en el agua de mar son los iones de sodio y de cloro. La dureza total del agua de los océanos y de mares abiertos es de 215 a 225 meq/l, lo que incluye una dureza bicarbonatada de 15 meq/l, aproximadamente. Escogiendo con acierto el sitio de toma de agua marina para usos industriales se puede hallar agua que contenga muy poca materia en suspensión. En verano, hay casos en que el contenido de materia en suspensión en el agua del mar aumenta por el desarrollo del planktón. El agua de mar sin tratar que se emplea en las fábricas de la industria elaboradora de alimentos se destina sobre todo a enfriar las unidades motrices; la tratada, en cambio, se usa para alimentar los diversos evaporadores. El agua de mar plantea el problema especial de que es muy corrosiva para casi todos los materiales que toca.

Las aguas subterráneas se forman por filtración del agua atmosférica y de superficie en el suelo. En zonas de estratos acuíferos, la filtración origina confluencias subterráneas cuya índole depende de la composición geológica, del relieve, del clima y de otras circunstancias. El agua subterránea se distingue por la mayor variedad de su composición química. El grado de mineralización del agua subterránea depende de las condiciones en que se formó la confluencia bajo el suelo y oscila entre 100 mg/l y varios gramos por litro.

### **Equipo para el abastecimiento de agua a las fábricas de elaboración de alimentos**

El equipo de abastecimiento de agua se compone principalmente de colectores de agua para recoger el líquido procedente de fuentes naturales, y de estaciones de bombeo. Estas últimas se construyen cerca de los colectores, para servir a los usuarios mediante un sistema de tuberías. El lugar de recepción se elige después de ensayos cuidadosos, con los que se pretende determinar las condiciones hidrogeológicas, hidroquímicas e hidrobiológicas que mejor se presten al caso particular. Un lugar adecuado para instalar un colector de agua es una bahía o un lugar tranquilo en la orilla de un río, pero es preciso que la bahía sea lo bastante profunda para que no haya mucha sedimentación.

No conviene situar colectores en lugares donde la margen del río esté inclinada. Si cerca del colector hay un afluente, o una isla, habrá que determinar la dirección de la corriente tributaria permanente y la estabilidad del cauce del río. Al elegir la ubicación de un colector de agua hay que considerar la fuente de contaminación de esta última. Si un río no puede en ciertos períodos aportar la cantidad necesaria de agua a la fábrica, debe preverse la regulación estacional o a largo plazo del curso fluvial, o bien elegirse una fuente de suministro más adecuada. Si el río no tiene profundidad suficiente, habrá que regular el cauce. La profundidad normal del agua en el punto donde el río se desvía del caudal principal para pasar a los colectores deberá ser por lo menos de 2,5 metros en verano y de 3 metros en invierno. La altura del nivel del líquido determina el tipo y el tamaño del colector de agua. Si el agua está muy turbia, no se permitirá su entrada al colector sino después de purgar la mayor parte de las materias bastas en suspensión.

Desde el colector situado junto al curso del río, se transporta el agua por gravedad mediante tuberías, o canales de cemento, a la estación de bombeo, desde donde es bombeada a la fábrica. Las tuberías suelen ir enterradas en todo su recorrido desde la estación de bombeo al usuario, para evitar que el agua se hiele en invierno.

Atendiendo a la seguridad de funcionamiento y a la continuidad del trabajo, las estaciones de bombeo pueden dividirse normalmente en las tres clases siguientes:

- a) Estaciones de bombeo cuyo funcionamiento no puede interrumpirse porque los trastornos que ello ocasionaría en los complicados procesos tecnológicos energéticos no son permisibles.
- b) Estaciones de bombeo en las que son permisibles breves paradas de las bombas, por ejemplo cuando es necesario conectar el otro generador.
- c) Estaciones de bombeo en que se permiten interrupciones durante el funcionamiento.

Las estaciones de las clases primera y segunda deben instalarse de manera que reciban energía de dos fuentes distintas; por ejemplo, de una central eléctrica y de otra de vapor; así, en caso de fallar una, la otra puede conectarse sin demora. Las bombas de las estaciones pueden ser de distinta capacidad, es decir, desde varios  $m^3$  de agua por hora hasta varios miles de  $m^3/h$ . La diferencia de presión que estas bombas pueden vencer oscila entre unos metros hasta varios centenares de metros de la columna líquida. La capacidad de las bombas está determinada por el tamaño y la capacidad de la factoría. La diferencia de presión que las bombas pueden vencer depende de la diferencia de alturas, de la distancia entre la fábrica y las estaciones de bombeo, del diámetro de la tubería, de las pérdidas por fricción, y de otras circunstancias.

El tipo de instalaciones (tuberías, accesorios, aparatos de medida y de control), así como los materiales que la componen, dependen de la calidad requerida de agua y de la presión a que se someta el sistema. Por ejemplo, en un sistema que suministre agua potable y agua para aplicaciones tecnológicas en las industrias de elaboración de alimentos pueden utilizarse tuberías de hierro, acero, asbestocemento, hormigón, cerámica o plástico. Los cálculos hidráulicos para bombas y tuberías se basan en las condiciones técnicas y económicas, las circunstancias de la explotación, la calidad del agua, la dureza de los materiales, etc.

## CALIDAD DEL AGUA PARA USOS TECNOLOGICOS Y DE OTRA INDOLE EN CADA RAMA DE LA INDUSTRIA DE ELABORACION DE ALIMENTOS

El agua para usos tecnológicos que entra en contacto con los productos de la industria de elaboración de alimentos ha de satisfacer los requisitos exigidos para el agua potable.

Sin embargo, cada rama de la industria impone requisitos concretos para la calidad del agua. La industria de elaboración de alimentos suele utilizar agua que satisfaga las normas para el agua potable en las instalaciones de abastecimiento de agua. En los lugares donde no es posible utilizar agua natural procedente de las instalaciones de abastecimiento, hay que valerse del agua natural de superficie o subterránea, pero sometiéndola a comprobaciones y tratamiento sanitarios antes de que intervenga en el proceso de la producción. El tratamiento del agua abarca las siguientes operaciones: decantación y decoloración; eliminación de gases corrosivos, hierro, aceite, sales de calcio y magnesio, y desinfección mediante diversos reactivos y métodos no reactivos. La desinfección del agua (eliminación de bacterias y microorganismos) se consigue con el cloro, el hipoclorito, la cal clorada y los iones de plata y de cobre. El tratamiento con rayos ultravioleta es también un método muy eficaz.

### Agua para aplicaciones tecnológicas

#### *Agua para la producción de alcohol*

En el cuadro 3 se clasifican las aguas según el grado en que pueden utilizarse para la producción de alcohol. La concentración de impurezas en el agua y las propiedades de esas impurezas influyen decisivamente en el proceso tecnológico de producción de alcohol.

El pH del agua influye en la preparación del mosto, por la mejor solubilidad del almidón en agua alcalina. Los carbonatos cuya concentración no rebase los 300 mg/l influyen poco en el mosto, pero concentraciones mayores rebajan considerablemente la actividad de la diastasa. La diastasa del mosto es activada por sales sulfúricas como  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4$  y  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , si la concentración de éstas se acerca a los 400 mg/l. Por otra parte, el agua alcalina (con un pH superior a 7,5) retarda la hidrólisis del almidón, sobre todo a temperaturas relativamente elevadas.

CUADRO 3. CLASIFICACION DEL AGUA SEGUN SU POSIBLE USO PARA LA PRODUCCION DEL ALCOHOL  
Un litro de agua contiene (mg)

Clasificación del agua	mg de O <sub>2</sub> por oxidación de materia orgánica en 1 litro de agua	Materia disuelta	Calcio	Magnesio	Hierro en Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Sulfatos	Cloruros	Nitratos	Nitritos	Amonio	Dureza total en meq/l	Número de bacterias en 1 ml
Excelente	0	263	135	15	2	3	Indicios	0	0	0	5,6	60
Muy buena	1,5	453	143	40	8	35	13	Indicios	0	0	7,1	750
Adecuada	2,5	750	196	51	8	90	42	80	9	0	9,5	800
Utilizable sólo en caso de extrema necesidad	3,0	800	118	71	10	100	88	-	-	-	9,7	46.000

Los cloruros, nitratos, fosfatos y nitritos con una concentración hasta de 200 mg/l y la presencia de ácido sulfúrico y de anhídrido carbónico no influyen mucho en la diastasa de la malta. La concentración total de sales disueltas puede llegar hasta 3.000 mg/l sin influir especialmente en la diastasa de la malta. Sulfatos y cloruros influyen en la hidrólisis. De 200 a 400 mg/l, elevan el rendimiento del extracto y el porcentaje de azúcar. Nitratos y nitritos, fosfatos y silicatos (hasta 200 mg/l), el amonio (menos de 20 mg/l), y concentraciones de NaCl de 2 a 2,5 g/l, no ejercen gran influencia en la hidrólisis.

Los bicarbonatos de calcio, magnesio y hierro en concentraciones de hasta 300 mg/l no influyen mucho en el proceso de fermentación, en dosis mayores, aumentan la cantidad de azúcar no fermentada y de rendimiento alcohólico. Con concentraciones de cloro de 400 a 800 mg/l, aumenta el porcentaje de azúcar sin fermentar, pero el rendimiento alcohólico no disminuye en nada. La mayor concentración de sulfato que todavía no influye en el porcentaje de fermentación oscila entre 400 y 800 mg/l.

Un aumento de hasta 2.000 mg/l en la concentración total de sales del agua influye favorablemente en el proceso de fermentación, pero todo aumento ulterior provoca un empeoramiento.

#### *Agua para fábricas de cerveza y para la producción de bebidas no alcohólicas*

El agua que se utiliza en la fermentación de la malta de cerveza representa el componente básico de la cerveza, y de sus características depende primordialmente la calidad de la cerveza. Las normas de calidad del agua en la fermentación de las cervezas son aún más estrictas que las del agua potable: no ha de contener materia alguna en suspensión, ni impurezas mecánicas, ni desprender olor alguno; tampoco debe contener cantidad grande de materia orgánica, microorganismos, ni compuestos de hierro o de manganeso.

La composición de sales del agua cambia la acidez del mosto y de la malta, influyendo así en los procesos bioquímicos de la fermentación de la cerveza y en la calidad de este producto. Todos los procesos tecnológicos de la producción cervecera se efectúan en un medio débilmente ácido, porque un medio alcalino influiría adversamente en el proceso de fermentación. Por ello es esencial que el agua contenga pocas sales de potasio (carbonatos, sobre todo) y sales de los ácidos sulfúrico y clorhídrico. Todo aumento de concentración de esas sales estropea el sabor de la cerveza.

La dureza del agua afecta al color de la cerveza. Para producir cerveza ligera del tipo Pilsen, de sabor suave y poco amarga, se necesita agua blanda, por su insignificante alcalinidad y porque tiene muy poco yeso. Pueden también utilizarse aguas duras para fabricar cerveza ligera, pero sólo después de haberlas ablandado y de haber reducido su alcalinidad mediante ácido láctico. Para producir el tipo Munich cerveza oscura, débilmente fermentada, de sabor dulce lo mejor es el agua de dureza mediana (de 5 a 5,5 meq/l). Los bicarbonatos cálcico y magnésico son las sales predominantes en el agua que tiene también cantidades moderadas de yeso. La cerveza de tipo *ale* ligera, de alto contenido alcohólico y amargor mediano, se obtiene de aguas muy duras de Dortmund (15 meq/l), cuya dureza es exclusivamente no carbonatada. Para producir cerveza oscura de gusto amargo se puede utilizar agua dura sin tratamiento previo alguno, ya que la malta oscura posee mayor acidez y contiene más fosfatos y aminoácidos, que ejercen un efecto moderador.

Para macerar el grano lo mejor es usar agua natural que contenga pocos cloruros y sulfatos. Los cloruros de calcio, de magnesio y, sobre todo, de sodio, retardan el proceso de dilatación; el yeso, que reacciona con sustancias procedentes del grano, disminuye su solubilidad. Además, las sales cálcicas forman un diafragma en el grano e impiden el proceso de maceración. La presencia de hierro y manganeso en el agua ocasiona sedimentos de hidróxidos de esos metales en el grano de cebada y además produce un color oscuro. La influencia que otras sales tienen en la calidad de la malta no se ha estudiado aún del todo, pero cuando el contenido de sales del agua es el normal no se ha observado influencia grande en los procesos fisiológicos que se producen durante la maceración del grano, lo cual obedece a que la envoltura del grano de cebada tiene las propiedades de una membrana semipermeable, que permite la entrada del agua, pero no de las sales, en el endosperma de la semilla.

En el cuadro 4 se indican las características del agua utilizada en la producción de algunas de las mejores marcas mundiales de cerveza.

CUADRO 4. COMPOSICIÓN DEL AGUA UTILIZADA EN LA PRODUCCIÓN DE ALGUNOS TIPOS DE CERVEZA

<i>Indicador de calidad</i>	<i>Unidad</i>	<i>Pilsen</i>	<i>Monich</i>	<i>Dortmund</i>	<i>Viena</i>
Residuo seco	mg/l	51,2	284,2	1.110	947,8
Oxido de calcio	mg/l	11,2	106	367	227,5
Oxido de magnesio	mg/l	3,3	30	38	112,7
Cloruros	mg/l	5	2	107	39
Sulfatos	mg/l	3,2	7,5	240,8	180,3
Nitratos	mg/l	Indicios	Indicios	Indicios	Indicios
Amonio	meq/l	0	0	0	0
Dureza total	meq/l	0,57	5,3	15	14
Dureza carbonatada	mg/l	0,45	5,1	6,1	11
Oxidabilidad (O <sub>2</sub> )	mg/l	2	2	2	2
Compuestos de hierro	mg/l	0,2 0,5	0,2 0,5	0,2 0,5	0,2 0,5
Compuestos de manganeso	mg/l	Indicios	Indicios	Indicios	Indicios

Las propiedades del agua son sólo uno de los factores determinantes de la calidad de la cerveza; son importantes también la composición de las materias primas y los detalles concretos del proceso de producción.

En el cuadro 5 se indica el consumo de agua de las empresas cerveceras de Checoslovaquia.

Se emplean cantidades considerables de agua para disolver productos químicos auxiliares y para lavar aparatos (bateas de maceración, recipientes de almacenamiento del mosto, tuberías, serpentines calefactores) y las prensas de filtrado. Se consume también gran cantidad de agua para enfriar la malta en los refrigeradores de pulverización. El agua que se utiliza para lavado queda en las paredes de los

CUADRO 5. CONSUMO DE AGUA EN LAS FABRICAS DE CERVEZA DE CHECOSLOVAQUIA

<i>Modos de consumo del agua</i>	<i>Litros de agua consumidos por litro de cerveza producido</i>	
Maceración de semillas para producir la malta	7	8
Fermentación de la malta, incluyendo el lavado del equipo de fermentación	2	2,5
Enfriamiento de la malta	2	3
Lavado de tanques y barriles	3	5
Instalación refrigeradora	10	15
Consumo de vapor:		
Máquinas de vapor de contrapresión	1	2
Máquinas de vapor de condensación	20	25
<b>TOTAL</b>	<b>45</b>	<b>60,5</b>

recipientes y se mezcla con la malta o el producto final; por ello ha de estar exenta de bacterias y ser inodora e insípida.

Resulta muy económico que el agua utilizada en las fábricas de cerveza tanto para el producto como para la energía se purifique en una sola instalación. Se emplean métodos corrientes de tratamiento, con ciertas operaciones adicionales que dan la calidad deseada para determinado tipo de cerveza.

Como el agua que se emplea para producir bebidas no alcohólicas ha de satisfacer los mismos requisitos que se exigen del agua potable, se toma casi siempre del sistema municipal de abastecimiento.

#### *Agua para la industria conservera*

La mayor parte del agua que emplea la industria conservera se dedica a fines tecnológicos (preparación de salsas, jarabes, salmueras), y el resto al lavado de recipientes, etc. Es preciso que este agua satisfaga todos los requisitos exigibles al agua potable.

Son especialmente inleseables la presencia de cloruro magnésico, así como una elevada dureza del agua por contener más de 40 mg/l de calcio y magnesio. Con aguas de ese tipo, las leguminosas sobre todo (guisantes, alubias, habas, etc.) y la carne requieren más tiempo de cocción y toman un gusto desagradable. El agua no deberá contener una cantidad excesiva de hierro, sobre todo si se trata de envasar manzanas, peras, guisantes o cerezas agrias, ya que el hierro da a todos los productos un tono parduzco muy desagradable.

Por otra parte, hay operaciones que requieren aguas duras, como la maceración de pepinos en salmuera. Los pepinos se endurecen y recobran su color natural. Si el agua es demasiado alcalina, los productos se ablandan y pierden su forma; si es demasiado dura, las materias primas se endurecen y es difícil tratarlas. El agua dura es

inadecuada para preparar zumos y jarabes. Los compuestos de calcio y magnesio en ella existentes producen un "curtimiento" (endurecimiento de la cáscara o envoltura de frutas y legumbres, sobre todo guisantes y judías). Como aquellos compuestos suelen presentarse también en la sal común, se recomienda, al envasar legumbres, emplear sal purificada con un contenido máximo de calcio del 0,3%. Así, la salmuera se prepararía con la mínima concentración aceptable de sal, para reducir al mínimo los efectos del calcio y del magnesio. Esta recomendación debe seguirse también cuando se trate de envasar productos cárnicos.

El empleo de aguas duras para lavar las materias primas antes del envasado no afecta a la calidad del producto final.

En el cuadro 6 se indica la composición del agua que requiere esta rama de la industria de elaboración de alimentos.

#### *Agua para panaderías*

Las panaderías requieren agua transparente e incolora, insípida e inodora. No debe contener materia orgánica de ninguna clase, fermentos ni bacterias. Las máximas concentraciones permisibles de otras sustancias son: amonio y ácido nítrico, indicios; hierro, 0,1 mg/l; manganeso, 0,005 mg/l; la dureza oscilará entre 7 y 10 meq/l. Los demás indicadores de la calidad deberán ser los mismos que los del agua potable.

#### *Agua para fabricar almidón y derivados*

En la industria del almidón se emplea agua de dureza no superior a 7,5 meq/l. Ha de ser transparente, inodora y estar exenta de cuerpos en suspensión. No contendrá agentes de fermentación. Cuando el almidón tiene un color parduzco ello se debe a materias orgánicas de origen animal, y si el color es amarillo, a compuestos de hierro. No conviene usar aguas duras en esta rama de la industria de elaboración de alimentos. El cuadro 6 muestra la calidad de agua necesaria.

#### *Agua para la industria azucarera*

El agua que se emplee en las fábricas azucareras ha de estar escrupulosamente limpia, ser blanda en lo posible, y sin olor ni sabor extraños. Sólo se permite en este agua la mínima cantidad posible de sulfatos, sales cálcicas, o sales alcalinas. La materia orgánica puede causar dificultades descomponiendo el azúcar al extraerse éste de la remolacha. Por tal motivo, las aguas que contengan compuestos orgánicos no son adecuadas para lavar las prensas de filtro ni los filtros mismos, ni tampoco para desleír la cal que utiliza el proceso de extracción del azúcar. Los sulfatos dan al azúcar un color gris. Las sales alcalinas fácilmente solubles pasan en gran parte al agua de cristalización, aumentando su cantidad y elevando la cantidad de sedimentos del azúcar bruto. Los nítricos estorban la cristalización del azúcar. La presencia de hierro y de manganeso en el agua colorea el azúcar. En el cuadro 6 se dan las normas que ha de cumplir el agua destinada a la producción azucarera.

#### *El agua en la industria lechera*

Para producir mantequilla, queso y productos afines, así como para pasteurizar la leche, se empleará sólo agua impecable (incolora, inodora, de dureza no superior a 7,5 meq/l). El agua que se destine a lavar la mantequilla no contendrá más de 40 meq de magnesio por litro, porque las sales magnésicas dan un gusto amargo a la

CUADRO 6. CARACTERÍSTICAS DEL AGUA USADA EN LAS DISTINTAS RAMAS DE LA INDUSTRIA DE ELABORACION DE ALIMENTOS

Indicador de la calidad	Unidad	Conservas	Almidón	Azúcar	Leche
Residuo seco	mg/l	500	600	300 500	500 600
Oxido de calcio	mg/l	120	120	200	200
Oxido de manganeso	mg/l	30	20		Indicios
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	mg/l	0	Hasta 0,5	Indicios	Hasta 0,5
Cloruros	mg/l	30	60	50	30
Sulfatos	mg/l	36	70	60	120
Nitratos	mg/l	Indicios	0	Indicios	Hasta 15
Nitritos	mg/l		0	0	0
Alcalinidad	mg/l	2,5 4,5	4 5	60	4,5 5,5
Oxidabilidad	mg/l	2	2,5	2,5	2,5
Amonio	mg/l	0	0	0	Indicios
Dureza	meq/l	6 7	7	Hasta 7,5	Hasta 7,5

mantequilla. El hierro y el manganeso se toleran sólo en cantidades insignificantes (hasta 9,05 mg/l), ya que dan sabor metálico a los productos lácteos y provocan la descomposición de las grasas, rebajando mucho su calidad.

De todas las bacterias halladas en el agua, es especialmente perjudicial para los productos lácteos la cepa *B. fluorescens*, que descompone las grasas. Además, hace que el queso y la leche se descompongan, dejando una costra amarillo-verdosa que desprende olor a putrefacción muy desagradable. En el cuadro 6 se indican los datos correspondientes a la calidad del agua que requiere la industria lechera.

#### *Agua para mataderos y para el tratamiento de carnes y pescados*

El agua usada en estas industrias debe ser transparente, incolora, insípida e inodora. Su dureza no pasará de 7 meq/l, y la concentración de calcio (que forma una corteza dura en los productos cárnicos y de pescado) deberá ser la menor posible. La concentración de hierro no rebasará 0,05 mg/l, ya que da un matiz parduzco a los productos. La sal comestible no contendrá más del 0,3% de yeso.

En el agua destinada a lavar la carne cruda, el pescado sucio y los aparatos usados en esas industrias, el contenido de sal no tiene una importancia fundamental. Sin embargo, hay que eliminar por completo la materia en suspensión (incluida la orgánica) y las bacterias que causan fermentación.

#### **Agua potable**

En todas las ramas de la industria, el agua potable debe cumplir el requisito básico de ser inofensiva para el hombre. En el cuadro 7 se indican las normas que ha de cumplir el agua potable en los sistemas de abastecimiento, y las normas de calidad después de cada operación de tratamiento para la potabilización.

CUADRO 7. INDICADORES DE CALIDAD DEL AGUA POTABLE

<i>Indicador de la calidad</i>	<i>Unidad</i>	<i>Parámetro</i>
<b>a) Agua de los sistemas de abastecimiento</b>		
Coloración (escala Pt - Co)	Grado	Más de 20
Transparencia (según Schrifft)	cm	Hasta 20
Dureza total	meq/l	Hasta 7
Contenido de plomo (Pb)	mg/l	Hasta 0,1
Contenido de arsénico (As)	mg/l	Hasta 0,05
Contenido de flúor (F)	mg/l	Hasta 1,5
Contenido de cobre (Cu)	mg/l	Hasta 3
Contenido de zinc (Zn)	mg/l	Hasta 5
Número total de bacterias a la temp. de 37°C		Hasta 120
<b>b) Agua potable tratada por separado después de cada operación</b>		
Turbiedad después de la purificación	mg/l	Hasta 2
Cloro activo residual después de la desinfección del agua	mg/l	0,3-0,5
Hierro después de la desferrificación		0,3
Reacción activa después de la purificación y del ablandamiento	pH	6,5-9,5

Sólo en casos excepcionales y con la aquiescencia de las autoridades sanitarias se tolera que la turbiedad rebase los 3 mg/l, la coloración los 35° C, y la dureza los 14 meq/l. Si esos límites se rebasan en el agua natural destinada a la bebida, será preciso un tratamiento para ablandarla.

### Agua para equipo de centrales de energía térmica

En las centrales de energía térmica que forman parte integrante de una empresa de elaboración de alimentos, el agua se usa para alimentar calderas, enfriar condensadores de las turbinas de vapor, y para calefacción. Las impurezas contenidas en el agua cruda ocasionan toda una serie de fenómenos indeseables en las instalaciones: formación de incrustaciones en tuberías y superficies de caldeo, sedimentos dentro de las máquinas de vapor, turbinas y precalentadores, corrosión de la chapa de las calderas, conductos del vapor, termopermutadores, etc.

#### *Agua para sistemas de calderas de vapor*

Las incrustaciones en las calderas son fuente de muchos inconvenientes en las centrales de energía térmica. Su coeficiente de termoconductividad es muy inferior al del acero, y por ello disminuye mucho la transmisión del calor. El creciente grosor de

CUADRO 8. PROMEDIO DE AUMENTO DE CONSUMO DEL COMBUSTIBLE EN FUNCION DEL ESPESOR DE LAS INCRUSTACIONES DE LAS CALDERAS

<i>Espesor de la capa de incrustaciones (en mm)</i>	<i>Aumento del consumo (en %)</i>
0,5	1,0 - 1,5
1,0	2,0 - 3,0
2,0	4,0 - 5,0
3,0	6,0 - 7,0
4,0	7,0 - 8,0
5,0	8,0 - 9,0
6,0	9,0 - 10,0

CUADRO 9. COEFICIENTE DE CONDUCTIVIDAD TERMICA DE VARIOS TIPOS DE INCRUSTACIONES

<i>Tipo de incrustación</i>	<i>Kcal/mh grados C</i>	<i>Estructura y composición química</i>
Incrustación impregnada de aceite	0,1	Contiene mucha materia orgánica
Incrustación de silicatos	0,07-0,2	Dura; se forma en las superficies sometidas a mayor esfuerzo térmico; consiste sobre todo en sedimentos del tipo $5CaO \cdot 5SiO \cdot H_2O$ y $CaSiO_3$ .
Incrustación de yeso	0,2-2,0	Se distingue por su gran dureza y compacidad. A baja presión, se deposita en forma de $2CaSO_4 \cdot H_2O$ o $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ , y a alta presión lo hace en forma de $CaSO_4$ .
Carbonato cálcico de cristalización muy fina	0,2-1,0	En las condiciones de evaporación del agua en las calderas, y cuando contiene exceso de $Na_2CO_3$ , se forma $CaCO_3$ en forma de fango que se fija parcialmente en las paredes.
Carbonato cálcico de cristalización basta	0,5-5,0	Cuando no hay evaporación de agua, el $CaCO_3$ se deposita en forma de incrustación cristalizada dura en las paredes del economizador y del calefactor, y dentro del condensador y de las tuberías de alimentación.

las incrustaciones en la chapa de acero provoca pérdidas de calor en el sistema de calderas. Por ello, aumenta el consumo de combustible para mantener la temperatura necesaria del vapor. En el cuadro 8 se indica el aumento de consumo de combustible en función del espesor de la capa de incrustaciones.

Uno de los motivos principales de que se formen sedimentos en las calderas es el aumento de concentración de sustancias disueltas que quedan al evaporarse el agua. En este proceso, las sustancias que antes llegan al estado de saturación son las primeras en formar sedimentos. Los distintos tipos de incrustaciones de las calderas dependen de la composición de las sales del agua bruta. Si en el agua predomina la dureza de carbonatos, se forman incrustaciones carbonatadas. Si hay disuelta gran cantidad de sales de sulfato, las incrustaciones serán sulfatadas. Si en el agua bruta abundan los silicatos, se producirá la incrustación correspondiente. Todas estas clases de incrustación difieren entre sí en cuanto a dureza, porosidad y características de transmisión del calor. Las incrustaciones porosas o laminadas, y las impregnadas de aceite o que contengan gran cantidad de silicatos, son las que peor conducen el calor.

La formación de incrustaciones en las paredes de las calderas, tuberías de éstas, etc., dificultan la transmisión del calor desde las tuberías al agua. El sobrecalentar las tuberías da lugar a reducciones en la dureza del material, lo que a su vez suele provocar explosiones. En el cuadro 9 se indican los coeficientes de conductividad térmica de tipos clásicos de incrustaciones.

Si se supone que el coeficiente para el acero es de 30 kcal/mh grados C, tendremos una idea más clara del efecto de las incrustaciones.

Como recomienda la *Vereinigung der Grosskesselbesitzer im Bund Deutscher Technik (VGB)*, de la República Federal de Alemania, las calidades del agua de alimentación y de calderas no deberán rebasar los valores que se dan en los cuadros 10 y 11.

CUADRO 10. NORMAS DE CALIDAD DEL AGUA PARA ALIMENTACION DE CALDERAS (VGB)

Indicador de calidad	Agua para alimentación de calderas con circulación monofásica (Durchlaufkessel)	Agua para alimentación de calderas con circulación forzada			
		20 atm	40 atm	60 atm	80 o más atm
Condiciones generales	Pura e incolora				
Oxígeno (mg/l)	Hasta 0,03				
Dureza (meq/l)	Indicios	0,02	0,01	0,01	Indicios
Hierro (mg/l)	Hasta 0,02	Hasta 0,05, si es posible			Hasta 0,03
Cobre (mg/l)	Hasta 0,005	Hasta 0,01			Hasta 0,005
Total CO <sub>2</sub> (mg/l)	Hasta 1	Hasta 20, si es posible			Hasta 1
pH a 20°C	7-9,5	7-9,5			7-9,5
Acido silícico (mg/l)	En funcionamiento permanente, hasta 0,02	Si no hay desenlodamiento, hasta 0,3 como máximo en funcionamiento permanente			
Aceite (mg/l)	Hasta 0,3	Hasta 10,5 si es posible			Hasta 0,5

CUADRO 11. NORMAS DE CALIDAD DEL AGUA PARA CALDERAS (VGB)

<i>Presión de manómetro</i>	20	40	64	80	125	160
Valor p (meq/l)	Hasta 10	Hasta 6	Hasta 3	Hasta 1	Hasta 0,3	Hasta 0,1
Acido silícico (mg/l)	Calcular según el valor p por la fórmula (70 + 7,0)					
Fosfatos (mg/l)	Hasta 25	Hasta 10	Hasta 10	Hasta 4	Hasta 1,2	Hasta 0,4
Electroconductividad específica ms/cm	Hasta 8.000 D=0,4° Bé	Hasta 5.000 D=0,25° Bé	Hasta 2.500	Hasta 1.500	Hasta 250	Hasta 50

Según las normas de la Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas, el agua para calderas de vapor debe permitir el buen funcionamiento de las calderas sin daño alguno para los elementos de éstas por sedimentación de incrustaciones, lodos, o corrosión del metal. Para toda caldera cuya capacidad sea de 2 t/h o más, el agua y el vapor deben estar sometidos a normas. Para las de capacidad inferior a 2 t/h alimentadas por agua sin tratar o con una mezcla de este agua con un condensado o con agua ablandada, deberán quitarse periódicamente las incrustaciones de las superficies de caldeo.

Además, los evaporadores y los termopermutadores de las fábricas de elaboración de alimentos tendrán sus correspondientes normas para el agua.

### *Agua para refrigeración*

La industria de elaboración de alimentos, y otras industrias, utilizan termopermutadores, condensadores y reactores refrigerados por agua. La temperatura del agua en tales casos suele ser baja y oscila entre 50 y 60°C.

El enfriamiento se realiza mediante el agua que circula por el sistema. Cuando el agua se ha calentado mucho, puede descargarse a la red de alcantarillado, o bien puede enfriarse e introducirse de nuevo en el sistema. El primero de ambos procedimientos se vale de un sistema de refrigeración abierto ("flow-trough"); el segundo lo emplea del tipo cerrado (recirculación).

En el segundo caso el agua se lleva a las torres de refrigeración, o a las torres de pulverización, donde se enfría hasta la temperatura inicial, y se devuelve después al ciclo refrigerante. El agua utilizada para refrigeración no debe dejar sedimento alguno en las tuberías ni en los aparatos. La formación de incrustaciones en las paredes rebaja mucho la eficacia refrigerante, al reducir la conductividad del calor. Es preciso que el agua de refrigeración no contenga partículas inorgánicas (arena) que podría quedarse en el sistema. La materia en suspensión más blanda (arcilla) no suele sedimentarse, pero sus partículas quedan adheridas a los sedimentos de incrustación y luego caen con éstos, en forma de depósito amorfo, en las superficies de caldeo e impiden una buena conducción térmica.

Los organismos vivos (bacterias, hongos) pueden proliferar en agua que contenga gran cantidad de materia orgánica, cuando ésta se emplee para refrigeración en condensadores a temperaturas de 30 a 40°C. Diversos organismos pueden multiplicarse y desarrollarse en el agua de mar que se utilice para refrigerar. El sedimento de incrustaciones y otros depósitos sólidos es raro en sistemas refrigerantes en los que la temperatura de las paredes oscile entre 30 y 40°C. En los sistemas de recirculación, el riesgo de que se formen sedimentos en las superficies refrigerantes aumenta con la pérdida de ácido carbónico producida como resultado del calentamiento del agua y de la pulverización en las torres de refrigeración. En tal caso, el equilibrio del ácido carbónico se mueve hacia la derecha:



Otro resultado es la formación de sedimentos poco solubles de carbonato cálcico. Las probabilidades de que se forme sedimento no depende sólo de la concentración de bicarbonato cálcico; en el proceso influyen también la temperatura del agua del sistema, la pérdida de ácido carbónico durante la pulverización, la presencia de sustancias orgánicas, y la estabilidad del agua.

En el cuadro 12 se indican las normas de calidad del agua para refrigeración que rigen en la Unión Soviética.

CUADRO 12. NORMAS DE CALIDAD DEL AGUA PARA REFRIGERACION

<i>Indicador de calidad</i>	<i>Unidad</i>	<i>Sistema abierto</i>	<i>Sistema de recirculación</i>
Contenido total de sales	mg/l	Hasta 3.000	Hasta 3.000
Contenido de iones de cloro	mg/l	Hasta 1.000	Hasta 1.000
Contenido de iones de sulfato	mg/l		Hasta 400
Contenido de ácido silícico	mg/l		Hasta 200
Contenido de yeso	mg/l	Hasta 17,8	Hasta 25,6
Dureza carbonatada	meq/l	Hasta 2,5	Hasta 1,45
Alcalinidad del agua	meq/l		Hasta 15
Dureza carbonatada al introducir polifosfato en el agua	meq/l	Hasta 5,35	Hasta 5,35
pH		6,5 7,0	6,5 7,0

#### *Agua para incendios*

Al diseñar y construir fábricas de elaboración de alimentos, hay que contar con un suministro de agua para combatir incendios. Es normal que el agua para este uso se tome del sistema de abastecimiento ya existente. En la estación misma de bombeo que abastece de agua a la fábrica se instala cierto número de bombas contra incendios. Este dispositivo se denomina "sistema de agua de alta presión contra incendios".

En las fábricas donde es grande el riesgo de incendio, las normas vigentes en caso de siniestro al aire libre (edificios) exigen un cierto volumen de agua por cada metro cuadrado de superficie de la factoría; o bien, en caso de fuego interior (instalaciones, maquinaria, materias primas), por cada grado de peligro, según el tipo de producción industrial.

## MÉTODOS DE PURIFICACION DEL AGUA

Cuando el agua bruta no cumple las normas que exige la industria de elaboración de alimentos, o no satisface los requisitos del agua potable, es preciso purificarla por un sistema apropiado.

Para la eliminación parcial de las materias en suspensión y del planktón, se somete el agua a microfiltración mediante rejillas o emparrillados con orificios de 20 a 40 micrones. La clarificación se logra por coagulación, con decantación del sedimento y filtrado subsiguiente. La decoloración del agua se efectúa con cloro u ozono, o por coagulación especial con la filtración subsiguiente. La separación de las sustancias en suspensión (clarificación) y la decoloración suelen realizarse al mismo tiempo y con el mismo equipo.

Los olores y sabores pueden eliminarse del agua bruta tratándola con cloro o con carbón vegetal. El olor a fenol puede suprimirse agregando amoníaco y cloro. Las bacterias pueden eliminarse por tratamiento con cloro, rayos ultravioletas y ozono.

Las aguas duras suelen ablandarse primero mediante reactivos (con eal) y, si es preciso, también mediante resinas de intercambio de iones.

Las sales de hierro bivalentes pueden eliminarse del agua por oxidación con el aire. El hidróxido de hierro precipitado debe suprimirse por filtración.

El ácido silícico puede eliminarse por desmineralización, o mediante compuestos magnésicos si el agua tratada se destina a alimentar calderas de alta y media presión.

El sulfuro de hidrógeno se separa por aireación del agua, o mediante cloruración y ulterior filtración.

Para impedir la corrosión y las incrustaciones en el sistema de tratamiento del agua, se estabiliza ésta cambiando el pH o añadiendo metafosfato sódico. Para evitar la formación de sedimentos biológicos, se añade cloro al agua.

### Clarificación y decoloración del agua

#### *Microfiltración del agua*

La microfiltración de aguas que contienen planktón aumenta la capacidad del equipo de tratamiento al reducir la cantidad de agua pura necesaria para lavar el filtro. De este modo se reduce el consumo del coagulante. Casi el 100% del zooplanktón, del 70 al 90% del fitoplanktón y el 25 de la turbiedad originada por materia dispersa en partéculas finas quedan eliminados.

En el cuadro 13 se indican los resultados de la microfiltración de agua con fitoplanktón y algas verdeazuladas de los géneros "microcystis" y "anabaena", hasta 3.270 organismos por ml.

CUADRO 13. EFECTOS DE LA MICROFILTRACION, POR NUMERO TOTAL DE CELULAS

Microfiltro Capacidad en m <sup>3</sup> /h	Efecto normal del microfiltro, en porcentajes		
	máximo	mínimo	medio
40 75	86,4	46,5	72,1
60	91	75	83

Un microfiltro es un aparato que funciona continua y automáticamente. Consiste en un tambor con elementos filtrantes, canales de recogida del agua, y un sistema de tuberías de desagüe del agua filtrada. El agua entra en el tambor por el tubo de admisión y sale, previo paso por filtros bastos, a la cámara de microfiltración. Los filtros se componen de tamices metálicos con aberturas cuadradas de 40 micrones por lado. Para detener la células de fitoplanktón y las partículas más finas (turbiedad), los tamices de microfiltrado tienen orificios de 20 micrones.

#### Coagulación del agua

Las sustancias en suspensión en el agua bruta pueden eliminarse por sedimentación en depósitos y cisternas, casi siempre, pero este método es muy poco eficaz, porque las partículas más finas en suspensión y los coloides sólo pueden separarse del agua destruyendo la carga eléctrica de esos cuerpos. Por ello, la sedimentación natural se aplica únicamente cuando hay que suprimir partículas bastas. Para aumentar la eficacia de la clarificación y de la decoloración del agua, se recurre a la coagulación. Los agentes coagulantes empleados son: el sulfato de aluminio (Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>), el sulfato de hierro (FeSO<sub>4</sub>), y el cloruro de hierro (FeCl<sub>3</sub>).

Cuando se introduce un coagulante en el agua se forman sistemas coloidales. En el proceso de coagulación se forman floculos o grumos (partículas activas que absorben la materia suspendida y se hunden con ella como sedimento). Los cationes polivalentes del coagulante alteran la carga eléctrica del coloide y disminuyen su estabilidad.

Al introducir en el agua sulfato de aluminio se produce la disociación:



Los iones de aluminio reaccionan químicamente con los iones presentes en el agua y son parcialmente absorbidos por los coloides y por las partículas en suspensión. El exceso de sulfato de aluminio sufre hidrólisis, formando hidróxido de aluminio, poco soluble:



El sulfato hidroxilo de aluminio resultante lleva carga eléctrica positiva, que ocasiona la coagulación de las partículas suspendidas, de carga negativa. Los iones de hidrógeno liberados por la hidrólisis del sulfato de aluminio pueden entorpecer o impedir por completo la hidrólisis del coagulante. Análogamente, en la coagulación de aguas naturales, los iones de hidrógeno se combinan con los de bicarbonato, produciendo una molécula de agua y una molécula de anhídrido carbónico, que se libera de la solución en forma de gas. Cuando la concentración de iones de bicarbonato en el agua es insuficiente para reaccionar con todos los iones del hidrógeno, es esencial alcalinizar el agua con cal apagada, hidróxido sódico o carbonato sódico.

La coagulación deberá efectuarse con pH óptimo, lo cual depende de las sales solubles en el agua, como indica el cuadro 14.

CUADRO 14. VALORES OPTIMOS DEL pH PARA LA COAGULACION DEL AGUA MEDIANTE  $Al_2(SO_4)_3$

<i>Características del agua</i>	<i>pH</i>	
Tratamiento de aguas blandas con alcalinidad hasta 1,5 meq/l	5	6
Tratamiento de aguas de dureza mediana con alcalinidad 3 a 4 meq/l	6	7,2
Tratamiento de aguas duras, ligeramente turbias, con alcalinidad superior a 6 meq/l	6,5	7,5

Si en el agua se introduce sulfato ferroso como coagulante, se produce hidrólisis. El hidróxido ferroso se oxida con el oxígeno del agua, formando hidróxido férrico, que es una sustancia coloidal.

Para que la oxidación del hidróxido ferroso siga un curso normal, es preciso que el pH del agua sea inferior a 8. Para alcanzar este valor de pH, el proceso oxidante del hidróxido ferroso se efectúa introduciendo simultáneamente cal apagada. Otra manera de acelerar la oxidación del hierro bivalente (ferroso), transformándolo en trivalente (férrico), consiste en aplicar simultáneamente cloro en dosis de unos 150 g por kilo de  $FeSO_4$  comercial.



Característica importante de la coagulación del agua es que toda disminución de temperatura del agua coagulada reduce también la tasa de hidrólisis del coagulante.

La dosis óptima de coagulante para un agua de composición dada se determina experimentalmente en cada caso particular.

En el cuadro 15 se indican las dosis aproximadas de sulfato de aluminio anhidro ( $Al_2(SO_4)_3$ ) necesarias para clarificar el agua. Las dosis menores se aplican a las aguas que contengan sustancias en dispersión basta (turbiedad). Si la coagulación del agua se realiza mediante la solución de sulfato de hierro y cloro, puede reducirse en un 15 o un 20% la dosis que indica el cuadro. Para la destrucción preliminar de las impurezas orgánicas que retardan el proceso de coagulación debe introducirse en el agua bruta de 3 a 5 mg/l de cloro como  $Cl_2$ .

CUADRO 15. DOSIS DE  $Al_2(SO_4)_3$  ANHIDRO NECESARIAS PARA LA CLARIFICACION DEL AGUA

<i>Turbiedad del agua (mg/l)</i>	<i>Dosis (mg/l)</i>	<i>Turbiedad del agua (mg/l)</i>	<i>Dosis (mg/l)</i>
100	25 35	1.000	60 90
200	30 40	1.400	65 105
400	40 60	1.800	75 115
600	45 70	2.200	80 125

Si es necesario desodorizar el agua bruta antes de que entre en el aparato de coagulación, se agregará carbón activado en dosis de unos 20 mg/l. Si se desodoriza el agua después del proceso coagulador, es decir, antes de que el agua entre en la instalación para su ulterior tratamiento (descarbonización, intercambio de iones), la dosis no deberá pasar de 5 mg/l.

#### *Clarificación y decoloración del agua*

Que la clarificación del agua sea total o parcial depende de los requisitos de calidad. En los sistemas de abastecimiento de agua industrial se procede a la clarificación completa cuando se requiere que la concentración de cuerpos extraños en suspensión no llegue a 2 mg/l (límite superior del agua potable). Únicamente ese agua podrá usarse en la industria de elaboración de alimentos. Para clarificar y decolorar por completo el agua es esencial coagularla, con la separación y filtración subsiguientes.

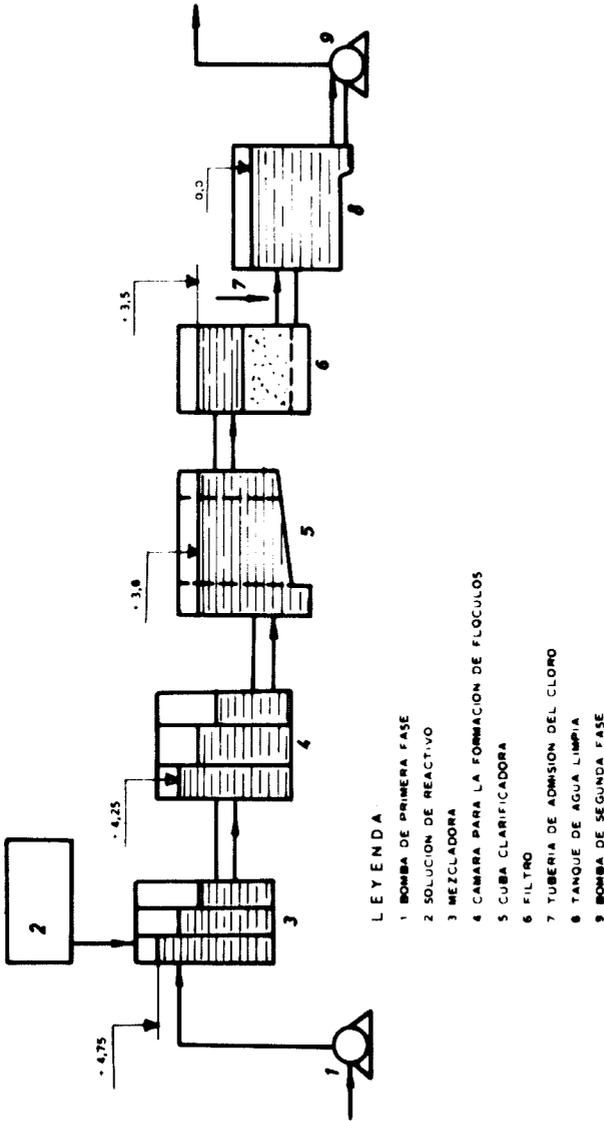
El agua para la que no se exige ninguna norma de calidad, es decir, cuando se tolere que el límite superior de concentración de cuerpos extraños alcance de 50 a 100 mg/l, se emplea para equipo industrial, como el utilizado para la refrigeración y la termotransferencia. En tales casos, ni siquiera se requiere que disminuya la coloración del agua por bajo de 4°C de la escala platino-cobalto.

El equipo destinado a las operaciones simultáneas de clarificación y decoloración del agua puede ser de dos tipos: abierto o a presión.

En el tipo abierto, la instalación consiste en una serie de elementos abiertos, siendo el nivel del agua, en cada elemento sucesivo, más bajo que en el anterior. La llamada "bomba de primer nivel" eleva el agua hasta el nivel requerido en el primer depósito, desde donde fluye por gravedad atravesando toda la instalación clarificadora hasta entrar en el depósito destinado al agua clarificada y decolorada. Allí, una "bomba de segundo nivel" la eleva a un nuevo depósito, de donde fluye por gravedad atravesando la segunda parte de la instalación.

La figura 1 es un esquema de una gran estación de tratamiento de agua, en la que ésta es completamente clarificada y decolorada; en la figura se indican los puntos de toma del reactivo, del coagulante y del cloro.

La figura 2 muestra la clarificación y decoloración completas del agua mediante coagulantes. La clarificación se efectúa en los reactores de sedimentación, en los que el agua entra después de atravesar la capa de lodo sedimentado y los filtros. El contacto del agua coagulada con la capa de sedimento compuesta de coagulante y turbiedad antes formado en el reactor de sedimentación, acelera considerablemente el



LEYENDA:

- 1 BOMBA DE PRIMERA FASE
- 2 SOLUCION DE REACTIVO
- 3 MEZCLADORA
- 4 CAMARA PARA LA FORMACION DE FLOCULOS
- 5 CUBA CLARIFICADORA
- 6 FILTRO
- 7 TUBERIA DE ADMISION DEL CLORO
- 8 TANQUE DE AGUA LIMPIA
- 9 BOMBA DE SEGUNDA FASE

Figura 1. Instalación de clarificación y decoloración de aguas, con cuba clarificadora y cámara para la formación de floculos; tipo abierto

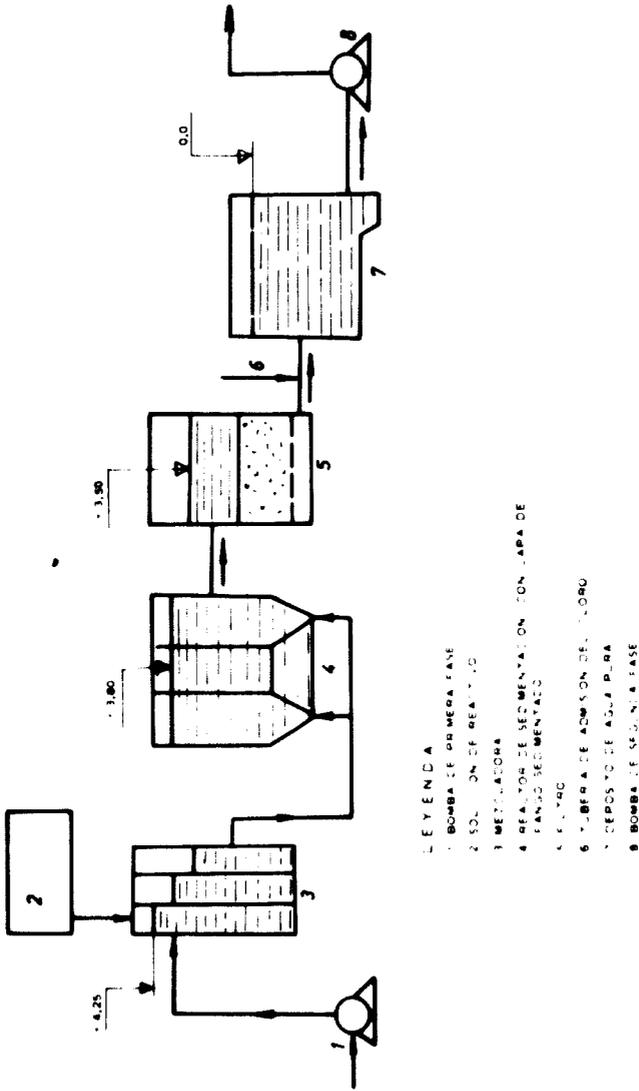


Figura 2. Instalación de clarificación y decoloración de tipo abierto, con reactor de sedimentación.

proceso de coagulación y favorece la clarificación. El tamaño de esta clase de equipo de tratamiento de aguas es notablemente inferior al indicado en la figura 1. Otra ventaja es que no se necesita cámara de formación de flocúlos de coagulante hidrolizado.

En la clarificación del agua por coagulantes (figura 2), el caudal no deberá variar en más del 15% por hora, ni alterarse en más de 1°C por hora la temperatura del agua de alimentación.

Existe también el llamado "reactor de sedimentación por contacto", para clarificar el agua. Su característica importante es que puede solamente clarificar aguas cuya turbiedad sea baja (hasta 150 mg/l). Todos los reactores de clarificación de agua ya mencionados funcionan únicamente por el principio de regulación del caudal, lo que hace que la velocidad de éste sea más lenta que la de los flocúlos de sedimentación del coagulante y las partículas de turbiedad.

Los lodos se descargan periódica o continuamente cuando su densidad alcanza de 50.000 a 100.000 mg/l, es decir, cuando la demanda del agua que se descarga con el lodo oscila del 1,5 a 3,5% de la capacidad total del reactor.

Hay tanques de sedimentación (espesadores) que poseen un mecanismo rotatorio especial, con palas. Girando despacio, las palas recogen el sedimento, que se convierte en lodo muy espeso en el fondo del tanque. De ese modo, la cantidad de agua descargada con el lodo es muy pequeña. Pero estos reactores requieren mecanismos especiales para impulsar y mantener los elementos rotativos, lo cual complica mucho su fabricación y eleva su precio.

En los sistemas de tipo abierto, la altura de cada elemento ha de determinarse correctamente para compensar la caída de presión dentro de cada unidad del equipo y de las tuberías que las comunican entre sí. Por ejemplo, en el caso del tanque de sedimentación, el descenso de presión es de 0,2 a 0,3 m de columna de agua (m CA); para el reactor de sedimentación con capa de lodo es de 0,8 a 0,9 m CA; para el reactor de sedimentación de contacto, viene a ser de 2,2 m CA; para el filtro de arena, de 2,5 a 3 m CA, etc.

Si no es posible alcanzar la diferencia de altura necesaria entre los distintos elementos del equipo clarificador de tipo abierto, convendrá usar un sistema a presión (figura 3). Si en lugar del reactor-filtro (posición 5), se utiliza un tanque de sedimentación-reactor abierto clásico, también éste habrá de tener un depósito y, además, bombas de segundo nivel.

Al determinar la capacidad nominal de las instalaciones de clarificación de agua, ya sean del tipo abierto o con sistema a presión, hay que prever un exceso de capacidad del 5 al 10% para el agua que dentro del sistema se destina a descargar lodos del reactor de sedimentación, lavar el filtro, disolver los reactivos, etc.

En el cuadro 17 (pagina 37) se indican los datos básicos provisionales para un equipo de clarificación y decoloración del agua.

Todas las tuberías y todos los accesorios destinados a la solución coagulante han de ser de materiales ácidosresistentes: cloruro de polivinilo, poli-iso-butileno, etc. Las tuberías que suministran la lechada de cal a los reactores de sedimentación con objeto de conseguir el pH necesario, han de tener diámetro mayor de 25 mm, y su caudal ha de rebasar los 0,8 m/seg para evitar atascos.

Las soluciones de reactivos se introducen en los sitios siguientes: el coagulante, en las tuberías que conducen al reactor de sedimentación, o directamente dentro del reactor; la lechada de cal que sirve de estabilizador del pH, directamente en el reactor de sedimentación; el cloro destinado a exterminar las bacterias, en el interior de los

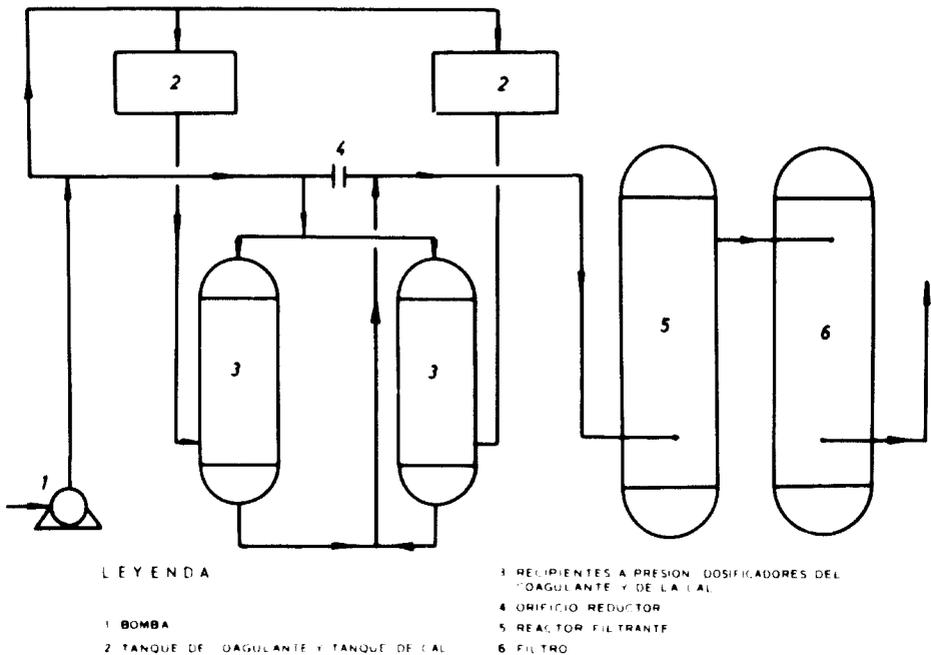


Figura 3. Instalación de clarificación y decoloración, a presión

tubos aspirantes situados detrás de las bombas de primer nivel; y el cloro para la cloración secundaria, después del filtro, o sea en agua ya clara.

Si al mismo tiempo se introduce en el agua coagulada una solución de poliacrilamida, se acelera perceptiblemente el proceso de coagulación. La poliacrilamida forma partículas con algunos cuerpos extraños del agua y con productos de la hidrólisis coagulante. Esas partículas, por ser de gran peso específico, se depositan muy deprisa.

#### *Cubas de clarificación y reactores de sedimentación con capa de lodos*

Tanto las cubas de clarificación como los reactores de sedimentación con capa de lodos se destinan a eliminar la mayor parte de las sustancias en suspensión (turbiedad) existentes en el agua bruta. Desde ellos, el agua fluye hacia filtros abiertos o cerrados, que eliminan el resto de la materia en suspensión. El agua que sale de las cubas de clarificación no debe contener más de 30 a 40 mg/l de turbiedad. Se emplean hoy día dos tipos de cubas de clarificación: el horizontal y el vertical. El primero puede funcionar con o sin coagulación; el segundo, solamente con carga coagulante. Como los reactores de sedimentación con capa de lodos han demostrado ser más eficaces que las cubas de clarificación, estas últimas sólo se usan cuando el tratamiento del agua se realiza a temperatura variable. En la figura 4 se presenta el esquema de una cuba de clarificación horizontal y de otra vertical.

La diferencia fundamental entre las cubas de clarificación y los reactores de sedimentación con capa de lodos consiste en que, en este último caso, el agua atraviesa una capa de lodo ya formado. Allí, los nuevos flóculos o grumos se unen a los ya existentes, terminando rápidamente el proceso de coagulación, con una buena

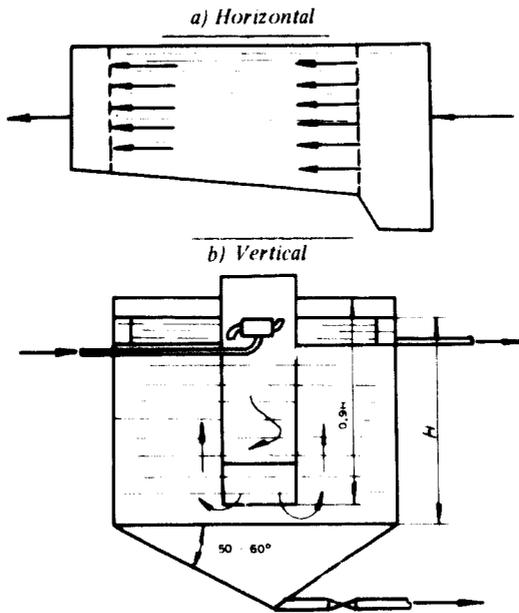


Figura 4. Esquema de una c'iba de clarificación

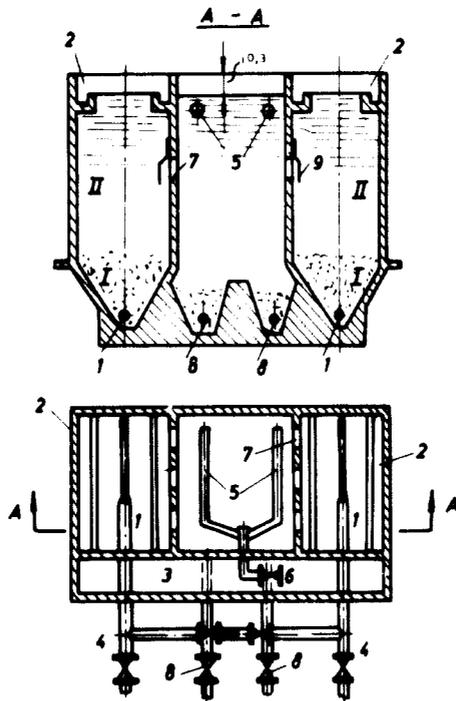


Figura 5. Tanque de sedimentación del tipo "de pasillo"

clarificación del agua. En el funcionamiento normal del reactor de sedimentación es importante que el sedimento formado esté en vibración en todo momento, para que las partículas sedimentarias recién formadas puedan atravesar con facilidad el lodo ya existente. Al franquearlo, aumentan de tamaño y se quedan en él. Debido a que el lodo se forma de esta manera, conviene que no haya repentinos cambios en la temperatura y en la capacidad del equipo. Además, es preciso que el agua no contenga burbujas de aire. Para eliminar éstas, el reactor de sedimentación tiene lo que se llama "cámara de separación de aire", en la que el caudal de agua es de 0,05 m/seg, en vez de 0,75 a 1 m/seg de la tubería de admisión.

En la figura 5 se muestra un reactor de sedimentación del tipo llamado "de pasillo". Este tipo de aparato se compone de dos partes laterales y otra central, que es la zona de concentración de lodos. El agua sometida a tratamiento entra en las secciones operacionales (derecha e izquierda) mediante tubos perforados (1) situados en el fondo del reactor. Los canales o conductos (2) recogen el agua clarificada, que acto seguido pasa por tuberías (4) al filtro. La capa superior clarificada del agua sale de la parte central de concentración de lodos, recorre las tuberías perforadas (5) provistas de válvula de control (6) y entra en el colector (3). Al descargarse en el colector (3) el agua clarificada, el lodo puede fluir desde las secciones operacionales atravesando el orificio (7), hacia la parte o sección central. El lodo espeso se descarga continua o periódicamente por los tubos perforados (8).

CUADRO 16. CAUDAL DE DESCARGA DE AGUA DEL REACTOR DE SEDIMENTACION

<i>Contenido de cuerpos en suspensión en el agua bruta (mg/l)</i>	<i>Caudal de descarga de agua (mm/seg)</i>	
	<i>Invierno</i>	<i>Verano</i>
Hasta 100	0,7 - 0,8	0,9 - 1,0
100 - 400	0,8 - 1,0	1,0 - 1,1
400 - 1.000	1,0 - 1,1	1,1 - 1,2
1.000 - 2.500	1,1 - 1,2	1,1 - 1,2

En el cuadro 16 se dan los datos del caudal de descarga del agua desde la zona de clarificación encima de la capa de lodos. Si en lugar del sulfato de aluminio (a que se refiere el cuadro), se emplea cloruro férrico, pueden permitirse caudales de un 10 a un 15% superiores.

El área de la zona de concentración de lodos se elige tomando como base el máximo volumen de agua y máxima turbiedad que pueden esperarse. El área total del reactor no deberá rebasar 1.500 m<sup>2</sup>, y la altura de la zona de concentración de lodos vendrá a medir de 2 a 2,5 m. La altura de la zona de clarificación del agua oscila entre 1,5 y 1,75 m.

Algunos reactores de sedimentación tienen un diseño distinto. Por ejemplo, los reactores de forma cilíndrica, con la parte del fondo cónica como espesador de lodos, no necesitan sección separada para sedimentar lodos o clarificar el agua. En

comparación con los reactores del tipo "de pasillo", su superficie es menor para el mismo rendimiento, lo que significa que pueden tolerar un movimiento más rápido del agua hacia arriba. En ambos casos, el agua pasa a la parte baja del reactor, y luego asciende con un caudal determinado, mientras las partículas de lodo descienden hacia la parte baja del reactor. Los reactores del tipo "de pasillo" no se usan más que cuando la clarificación y decoloración del agua se efectúan por coagulación; el tipo cilíndrico, en cambio, se emplea para efectuar simultáneamente la clarificación y la descarbonización, punto del que trataremos luego. El sedimento procedente de la coagulación y descarbonización simultáneas tiene mayor peso específico porque el lodo de  $\text{CaCO}_3$  y de  $\text{Mg(OH)}_2$  proviene de la descarbonización. Por ser más denso el lodo así formado, cabe tolerar mayor movimiento del agua en esta clase de reactor.

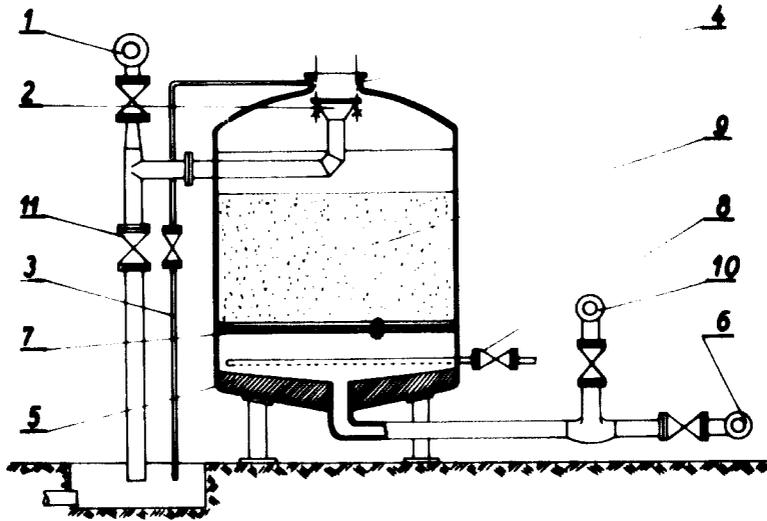
### *Filtración del agua*

En el agua que sale de las cubas de clarificación o de los reactores de sedimentación sigue habiendo todavía de 8 a 15 mg/l de cuerpos extraños en suspensión. A fin de obtener la calidad necesaria para el agua potable, para la destinada a fines tecnológicos y para la alimentación de calderas de vapor, hay que filtrar ese agua.

Pueden emplearse también filtros para clarificar parcialmente el agua de turbiedad hasta 300 mg/l. Los filtros pueden ser rápidos o lentos. Los primeros pueden funcionar con un caudal de 5 a 15 m/h, los lentos admiten de 3 a 5 m/h. En cuanto a su diseño, los filtros rápidos suelen ser del tipo cerrado, a presión, mientras que los lentos son del tipo abierto. Constan de un vaso cilíndrico con capas de arena de cuarzo como medio filtrante y un sistema de desagüe en el fondo. El agua que ha de filtrarse entra por arriba, se dispersa, cae por igual sobre la capa arenosa y, al atravesarla, deja en ella las partículas de materia en suspensión; por el sistema de desagüe pasa al depósito de agua filtrada.

Inevitablemente se forma una costra de lodo que disminuye la sección transversal libre entre los poros de los materiales filtrantes y presenta una resistencia cada vez mayor a la filtración del agua. Cuando los manómetros de admisión y salida indiquen exceso de diferencia de presión, habrá que limpiar la capa filtrante. En un sistema de filtración continua hay que usar un filtro de repuesto mientras se limpia el sucio. La limpieza de los elementos filtrantes se realiza primero con chorro de aire, seguido de corriente ascendente de agua limpia. Se puede obtener agua para el lavado mediante un depósito elevado, o a nivel del suelo con bomba, o bien de la cañería principal de filtro a presión, donde se utiliza una batería de cuatro o más filtros.

El tamaño de los granos de arena oscila entre 0,7 y 1,5 mm. La altura total de la capa filtrante varía de 0,7 hasta 2 m, según las condiciones de funcionamiento. El sistema de desagüe lleva una capa-base de cascajo graduado, cuyo tamaño de grano es de 2 a 4 mm y sobre la cual va la capa de elementos filtrantes. Recientemente vienen difundiendo los llamados "filtros de doble capa". La capa superior, de 0,4 a 0,5 m, es de carbón de antracita molido (granos de 0,5 a 1,2 mm), y la capa de fondo de la misma altura se compone de arena. Las impurezas del agua quedan detenidas en la primera de las capas, lo cual no ocurre con los filtros de capa única. Los resultados de filtración de agua obtenidos con los filtros de doble capa son de 2 a 2,5 veces mejores que los de filtros de capa única. También se emplean filtros de grano basto, cuya carga consiste en arena con un diámetro de grano de 1 a 2,5 mm; la altura de la capa



## LEYENDA

- |   |                               |
|---|-------------------------------|
| 1 ADMISION DEL AGUA BRUTA                             | 7 PLACA DE ACERO PERFORADA    |
| 2 EMBUDO  | 8 DISTRIBUCION DEL AIRE       |
| 3 TUBERIA DE ESCAPE DEL AIRE                          | 9 MEDIOS FILTRANTES           |
| 4 ORIFICIO DE REVISOR                                 | 10 ADMISION DE AGUA DE LAVADO |
| 5 FONDO REVESTIDO DE CEMENTO                          | 11 SALIDA DE AGUA DE LAVADO   |
| 6 SISTEMA DE DESAGÜE CON SALIDA PARA EL AGUA FILTRADA |                               |

Figura 6. Filtro de arena a presión para la clarificación de agua

es de hasta 3 m. Los filtros a presión tienen uso limitado (para 25 a 50 mg/l de turbiedad, con lavado automático de la capa arenosa y con un caudal de filtración de 50 a 100 m<sup>3</sup>/h). Estos filtros no se fabrican en serie y se emplean sólo en instalaciones de tratamiento de agua reguladas por un mando automático especial.

En la figura 6 se ve la estructura de un filtro vertical de capa única, funcionando a la presión de 6 atm. El cilindro de acero de este filtro va soldado en el fondo, que tiene forma esférica. La tubería de admisión (1) con embudo (2) para la alimentación y dispersión del agua por toda la superficie del filtro, y la tubería de escape del aire (3), están en la parte superior. La tapa del cilindro tiene un orificio (4) para comprobar, reparar y nivelar los materiales filtrantes (9), que están colocados en la placa de acero perforada (7). El fondo del filtro tiene un grueso revestimiento de cemento (5), encima del cual va el sistema de desagüe con salida para el agua filtrada (6). Un mecanismo de presión (8) para la distribución del aire afloja las partículas de arena antes de la operación de lavado a partir del fondo (10). Para lavar el filtro se invierte el sentido de paso del líquido, y el agua del lavado sale por el orificio correspondiente (11).

Se fabrican filtros de presión con arena con diámetros hasta de 3.000 mm y con capacidad hasta de 70 m<sup>3</sup>/h, aproximadamente.

En el cuadro 17 se dan los datos fundamentales aproximados para un equipo de filtración de agua.

CUADRO 17. DATOS APROXIMADOS DE UN EQUIPO DE CLARIFICACION Y FILTRACION DE AGUA

<i>Equipo básico</i>	<i>Condiciones de empleo del indicador de calidad del agua</i>		
	<i>Cuerpos en suspensión (mg/l)</i>	<i>Coloración (grado)</i>	<i>Capacidad de la instalación (m<sup>3</sup>/h)</i>
Reactores de contacto	Hasta 150	Hasta 150	La que se desee
Filtros de sedimentación, a presión	Hasta 50	Hasta 70	Hasta 125
Reactores de sedimentación con capa de lodos, y filtros	100-2.500	Hasta 150	85-2.100
Tratamiento del agua sin coagulación			
Filtros lentos	Hasta 50	Hasta 50	Hasta 45
Filtros preliminares y filtros lentos	50-250	Hasta 50	Hasta 45
Cubas de clarificación y filtros lentos	250-500	Hasta 50	Hasta 45

En el cuadro 18 se indica la composición granulométrica de la carga del filtro y de la altura de la carga.

CUADRO 18. COMPOSICION GRANULOMETRICA DE LA CARGA DEL FILTRO

<i>Tipo de filtro</i>	<i>Diámetro de los granos (mm)</i>			<i>Altura de la capa de arena (mm)</i>
	<i>mín.</i>	<i>máx.</i>	<i>medio</i>	
Filtros de capa	0,5	1,2	0,7-0,8	700
única, con arena	0,7	1,5	0,9-1,0	1.200-1.300
de cuarzo	0,9	1,8	1,1-1,2	1.800-2.000
Arena de cuarzo				
Filtro de dos capas	0,5	1,2	0,8	400-500
Antracita				
	0,8	1,8	1,1	400-500

El ciclo operativo del filtro entre los dos lavados no debe ser inferior a ocho horas. Sin embargo, este tiempo puede reducirse a seis horas en temporadas de intensa lluvia y fuerte deshielo, en que el agua se enturbia mucho.

## Desinfección del agua

El agua se trata con oxidantes (cloro, ozono), bactericidas, rayos ultravioletas u ondas ultrasónicas, para destruir microbios y bacterias. El procedimiento más común en la industria hoy día es la clorización (tratamiento con cloro).

En la clorización pueden emplearse dos tipos de residuos de cloro: el primero, que es la cloramina o cloro residual combinado, se define como cloro en el agua en combinación química con amoníaco o compuestos nitrogenados orgánicos; el segundo tipo cloro residual libre, es el cloro residual existente en el agua como ácido hipocloroso e ión de hipoclorito. La dosis aproximada de cloro capaz de destruir las bacterias del agua filtrada oscila entre 0.75 y 2 mg/l. En la cloración normal del agua potable, el contenido de cloro residual a los 30 minutos de haber aplicado la dosis inicial no debe afectar al sabor del agua, pero tampoco debe ser inferior a 0.1 mg/l. La dosis de cloro para el tratamiento preliminar de aguas con alto contenido de materia orgánica es de 3 a 5 mg/l, o más. La denominada "cloración secundaria del agua", con una dosis inicial hasta de 20 mg/l, elimina sabores y olores y purifica el agua contaminada. En este caso, la dosis residual de cloro deberá ser de 1 a 10 mg/l. En la subsiguiente deoloración, se trata el agua con sulfito sódico ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ) o con anhídrido sulfuroso ( $\text{SO}_2$ ).

Se puede clorar el agua no sólo con cloro gaseoso, sino también con cal clorada ( $\text{CaOCl}_2$ ). La dosificación con esta última es más sencilla y se procede como si fuese lechada de cal o una solución coagulante.

En la figura 7 se muestra la clorización para capacidades hasta de  $125 \text{ m}^3/\text{h}$ . La instalación de clorización consiste en un tanque de disolución (A), dos depósitos (B) y un recipiente de dosificación, o dosímetro (C). Para pequeñas capacidades, este último accesorio es de madera; para grandes capacidades se construye de cemento.

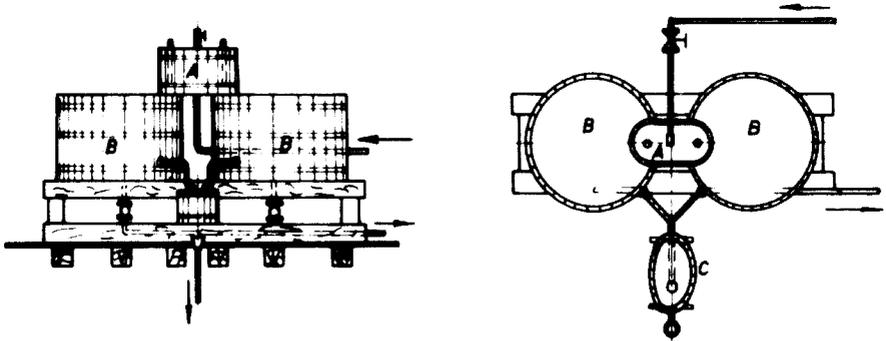


Figura 7. Esquema de una instalación de desinfección de aguas por el sistema de la cal clorada

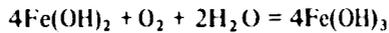
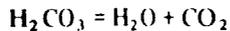
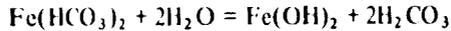
En el depósito (A) se prepara la solución de cal clorada; desde allí fluye por gravedad al depósito (B), donde es diluida hasta determinada concentración. Acto seguido se lleva al dosímetro (C), cuyo volumen habrá de ser por lo menos un décimo del de (B); desde el dosímetro, la solución se descarga al agua bruta, sea con bombas o mediante un diafragma de presión.

### Eliminación del hierro del agua

Actualmente, las normas por las que se regula la calidad del agua son muy estrictas en cuanto al contenido de hierro, sea cual fuere el uso a que se destine el agua. La eliminación del hierro del agua puede realizarse por aireación, coagulación, tratamiento con cal, o por intercambio de iones. La esencia del proceso de aireación y del tratamiento con cal radica en la transformación del hierro bivalente en trivalente, convirtiéndose en hidróxido férrico, que desciende al fondo. El sistema más difundido para extraer el hierro de aguas subterráneas es la aireación; para eliminarlo de las aguas superficiales se prefiere la coagulación. El tratamiento con cal, combinado con el sistema de intercambio de iones, se aplica cuando es esencial no sólo eliminar el hierro, sino también ablandar el agua.

La eliminación de sales de hierro bivalentes por aireación se efectúa en dos etapas: primero se obtiene hidróxido ferroso por hidrólisis de la sal bivalente; después se forma un sedimento de hidróxido férrico, debido a la oxidación con el aire.

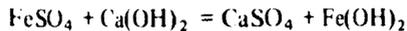
Cuando el agua contiene bicarbonato ferroso inestable, las reacciones para su eliminación son las siguientes:



Además de saturar el agua con oxígeno, la aireación libera el  $\text{CO}_2$  del agua. Si se reduce el pH, se retarda el efecto producido por la aireación del agua.

La unidad para la eliminación del bicarbonato ferroso por aireación se compone de a) un aparato especial que asegura la oxidación del hierro y la liberación del  $\text{CO}_2$ ; b) tanques de contacto donde llega a su fin el proceso oxidante; y c) filtros de arena para retener el fango que la oxidación del hierro ocasiona.

Si el hierro del agua existe en forma de sulfato se empleará el tratamiento con cal. Esta reacciona en el agua con hierro bivalente:



que continúa oxidándose formando hierro trivalente, por la acción del oxígeno del agua.

Si el hierro del agua adopta la forma coloidal, el agua contendrá también una cantidad considerable de turbiedad finamente dispersa y de compuestos orgánicos complejos. En tal caso se tratará el agua por coagulación, que se realiza del mismo modo que la coagulación para clarificar y decolorar.

Como coagulante se utiliza sulfato de aluminio, cloruro férrico, o quizá el mejor sistema una mezcla de ambos. El pH óptimo para esta coagulación oscila entre 5,7 y 7,5.

## Eliminación del aceite del agua

La eliminación del aceite del agua suele realizarse por métodos mecánicos. A veces se aplican métodos de absorción que utilizan carbono activo, sobre todo cuando el contenido de aceite del agua es muy bajo (de 5 a 10 mg/l). Cuando la concentración de aceite es más fuerte (superior a 10 mg/l), se emplean cubetas para la separación (método mecánico). En estos separadores, el agua es retenida cierto tiempo para que pueda separarse el aceite, que afluye a la superficie por su menor peso específico. El aceite es extraído de la capa superior, y el agua se vacía por el fondo. La toma de aire en esos separadores acelera la velocidad de separación.

Recientemente vienen empleándose, en casos especiales, separadores centrífugos para eliminar el aceite del agua, pero ese procedimiento es muy caro.

Los filtros de carbono activo con un grosor de 1.000 a 2.000 mm pueden adsorber aceite en cantidades de hasta el 10% de su propio peso. El caudal de agua que pasa por esos filtros es de 5 a 6 m/h.

## Ablandamiento del agua

El ablandamiento del agua es el proceso de eliminación de los iones de calcio y magnesio, que son los que dan dureza al agua. Hay varios sistemas: el que más se emplea es el de intercambio de iones, precedido a menudo por el tratamiento del agua con reactivos. La formación de incrustaciones en las calderas de vapor de baja y mediana presión se impide mediante el tratamiento electromagnético del agua de alimentación, procedimiento que, al destruir la estructura cristalina de las sales que forman las incrustaciones, hace que estas sales pasen al estado amorfo.

### *Método de ablandamiento del agua por permutación de iones*

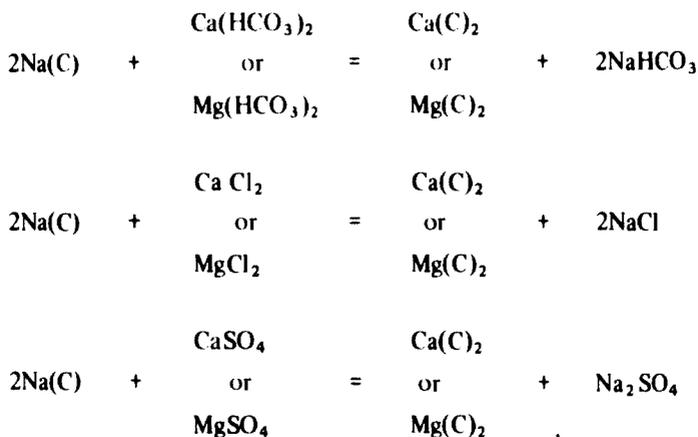
Las resinas de permutación iónica son polímeros sintéticos que reaccionan con los iones en soluciones diluidas. Según que se intercambien aniones o cationes entre el agua y la resina, ésta se llama resina de permutación aniónica o catiónica.

La índole de los iones permutables en contacto con la resina de permutación iónica suele determinarla el usuario. Si, por ejemplo, se desea una resina que cambie los iones de sodio por algún otro catión del agua, el permutador se tratará primero con una solución que contenga una concentración bastante alta de iones sódicos, generalmente cloruro sódico. Este tratamiento se llama regeneración.

Las impurezas químicas más comunes y menos tolerables del agua son quizá los iones que producen dureza, es decir, los de calcio y magnesio. A ellos se deben las incrustaciones que se producen en calderas, tuberías, camisas de condensadores, sistemas de circulación, utensilios de cocina, y demás equipo en contacto con agua muy caliente. Además, la presencia de sales cálcico-magnésicas da mal sabor a muchos productos alimenticios.

Si se hace pasar el agua dura por el filtro de intercambio iónico de una sola capa, los cationes  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  son sustituidos por los cationes  $\text{Na}^+$  o  $\text{H}^+$  procedentes de la resina de intercambio iónico, con lo que la dureza del agua puede disminuirse en 0,01 a 0,02 meq/l. La capacidad de ablandamiento del permutador de cationes disminuye gradualmente durante el proceso, pero puede restaurarse haciendo pasar por el cambiador de cationes sal común o ácido clorhídrico.

Al atravesar el agua la capa única del permutador de cationes sódicos, se producen las reacciones siguientes:



El símbolo (C) denota la resina de permutación de cationes. Como resultado de la permutación de cationes sódicos, aparecen cantidades equivalentes de sales sódicas, que dan mayor alcalinidad al agua. El calentamiento de este agua provoca la descomposición parcial de los bicarbonatos en carbonatos y, ulteriormente, en los hidróxidos correspondientes.

Si el agua se filtra a través de un permutador de cationes de hidrógeno (H), las anteriores ecuaciones tendrán, en vez de sales de bicarbonato sódico, cloruro y sulfato, los ácidos libres correspondientes (carbónico, clorhídrico y sulfúrico). La presencia de estos ácidos en el agua ablandada después del intercambio de cationes H hace que disminuya el pH del agua ablandada.

Tratando una porción del agua bruta con la forma sódica del permutador de cationes, y mezclando el efluente con el que procede de la forma hidrogenada del permutador de cationes, puede obtenerse agua completamente blanda y con cualquier grado de alcalinidad. Este método conviene sobre todo a las aguas brutas de gran dureza, que contengan sulfatos y cloruros. Hay varios productores mundiales de resinas sintéticas para intercambio de iones: Levatit y Permutit en la República Federal de Alemania, Warion en Hungría, Ionac y Amberlite en los Estados Unidos, etc. Todas estas resinas pueden actuar a una temperatura máxima de 80°C. Vienen en forma de bolitas de 0,5 a 1,0 mm de diámetro, con un peso específico de 0,8 a 0,95 g/cm<sup>3</sup>. El agua que se desee ablandar habrá de tener turbiedad inferior a 5-8 mg/l y estar exenta de coloides.

La capacidad de intercambio de una determinada resina permutadora de iones se expresa en gramo-equivalencia de los cationes retenidos por m<sup>3</sup> del permutador de cationes en estado disperso.

La unidad de ablandamiento de agua suele consistir en uno o más filtros llenos de la correspondiente resina de intercambio iónico (permutadores de iones).

Además de los permutadores de iones, la instalación de ablandamiento del agua deberá tener un sistema de regeneración, almacenamiento y disolución, y la unidad de dosificación. Si se trata de un permutador de cationes de Na, la solución NaCl se prepara en un receptáculo aparte, unido por tuberías al filtro. Se hace pasar la

solución por el filtro, a presión. Si se utiliza como regenerante HCl o  $H_2SO_4$ , el traslado de la solución preparada exigirá bombas y eyectores ácido resistentes, tanques con aislamiento especial, y tuberías de caucho. El propio permutador de cationes H deberá tener un aislamiento de caucho y ser resistente a los ácidos.

La resina está regenerada cuando los primeros indicios de dureza aparecen en el efluente que proviene del permutador iónico. La resina permutadora de iones se disemina primeramente mediante lavado por corriente de agua limpia. Después se hace pasar una solución al 8 ó 10% del NaCl o HCl (según se trate de intercambio de catión Na o de catión H). Por último, se lava bien la masa para liberarla de sales o ácidos, operación que se efectuará de arriba a abajo.

Los permutadores iónicos de cationes pueden ser de tipo abierto o cerrado (estos últimos son a presión). Como los filtros de arena, se suministran con accesorios, acoplamiento de admisión y salida del agua, entrada para el regenerante y conducto de descarga. Además, están provistos de un registro para inspección y de una abertura de control.

En el cuadro 19 se dan los tamaños característicos de una serie de permutadores iónicos.

CUADRO 19. TAMAÑOS CARACTERÍSTICOS DE FILTROS PERMUTADORES DE CATIONES DE Na

<i>Diámetro exterior (mm)</i>	<i>Altura de columna (mm)</i>	<i>Superficie de la sección transversal del filtro (m<sup>2</sup>)</i>	<i>Peso del agua y de la resina (t)</i>
1.000	2.200	0,78	4,4
1.000	3.400	0,78	6,2
1.500	2.200	1,77	9,4
1.500	3.400	1,77	13,2
2.000	2.800	3,14	19,2
2.000	4.000	3,14	25,5

La figura 8 es el esquema de un filtro de cationes que funciona con una presión máxima de 6 atm. Al diseñar el filtro hay que cuidar de que el régimen de filtración (de 10 a 35 m/h) sea el correcto. Si el régimen de paso es inferior a 5 m/h, el agua no entra en contacto con toda la masa resinosa, sino sólo con las partes que forman canales y pasos autónomos, con lo que se desaprovecha la capa de resina. Regímenes de paso superiores a 40 m/h imponen excesiva sobrecarga a la resina permutadora, lo que también va en detrimento de su pleno aprovechamiento.

En la figura 9 se reproduce una instalación de ablandamiento de agua que utiliza un método paralelo con permutación de cationes Na-H.

Las instalaciones en que no sólo se efectúa el ablandamiento de aguas, sino también la eliminación de todas sus sales (denominadas "desmineralizadoras") tienen unidades de filtro de permutación iónica capaces de intercambiar  $CO_2$ ,  $SiO_3$  y todos los aniones procedentes del agua. Estas instalaciones alimentan únicamente calderas de muy alta presión, como ocurre en las centrales térmicas.

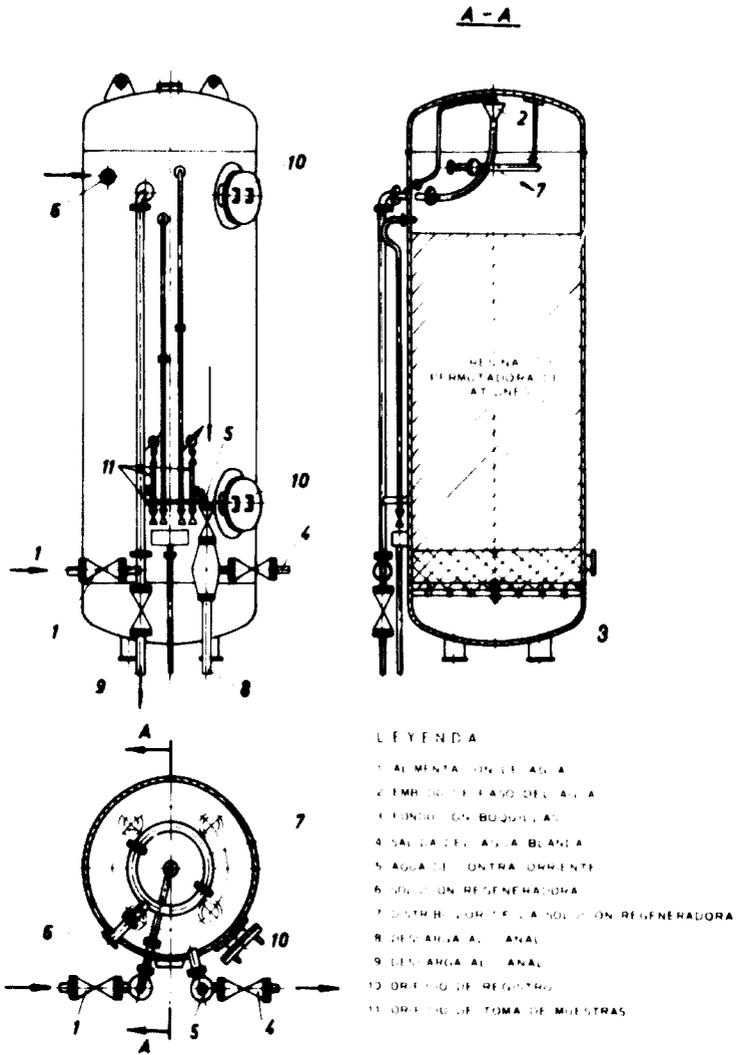


Figura 8. Permutador de cationes, a presión

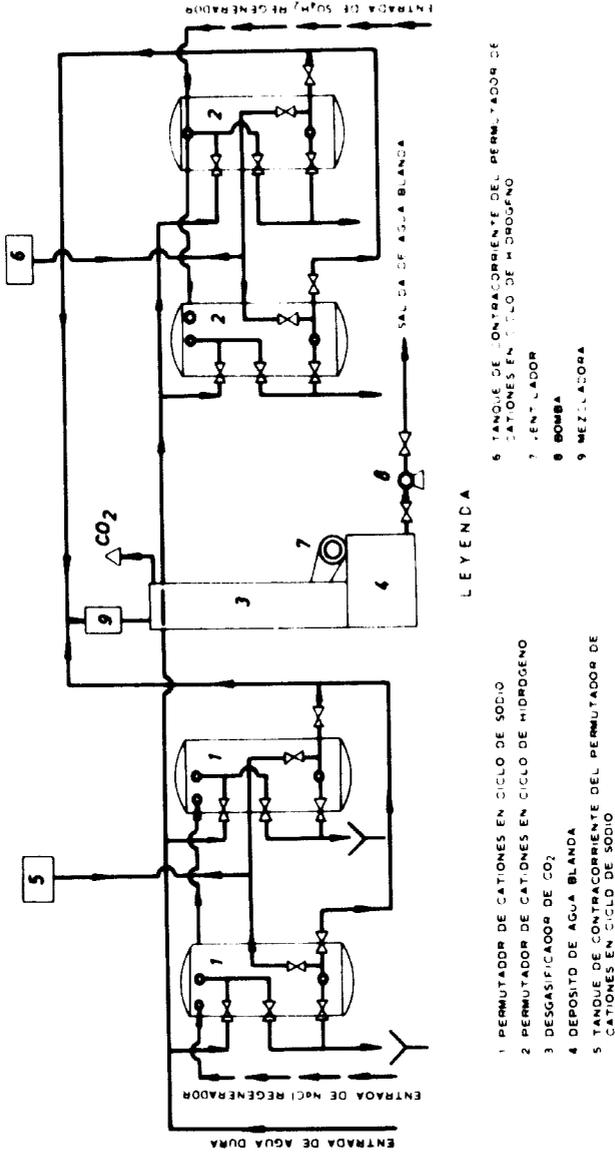


Figura 9. Instalación de ablandamiento de aguas con permutación de cationes en ciclo paralelo sodio-hidrógeno

### *Métodos para ablandar el agua mediante reactivos*

Las aguas duras pueden ablandarse mediante agentes activos cuyos aniones formen con los cationes de calcio y magnesio compuestos poco solubles, como  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{Mg(OH)}_2$ ,  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ . Estas sustancias se separan luego como sedimento en unidades de diseño especial.

Las partículas finas que no se hayan sedimentado en esta unidad se eliminan del agua mediante filtro de arena. La supresión de los iones cálcicos y magnésicos del agua se efectúa con hidróxido cálcico y ceniza de sosa ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) y se denomina ablandamiento sódico-cálcico.

Las instalaciones que utilizan este principio de ablandamiento del agua pueden funcionar a la temperatura ambiente y entonces se llaman "instalaciones de proceso en frío", o a temperaturas próximas a los  $100^\circ\text{C}$ , y en tal caso se llaman "instalaciones de proceso en caliente".

El proceso sódico cálcico, que convierte en sólidos insolubles las sales cálcico-magnésicas del agua bruta, requiere:

- a) Correcta proporción de reactivos químicos y agua bruta.
- b) Fomento de las reacciones químicas que precipitan las sales; ello requiere una combinación adecuada de la coagulación, la sedimentación, el calor o el contacto con el lodo.
- c) Filtración del agua químicamente ablandada, para eliminar todo resto de turbiedad.

Como el completo ablandamiento del agua no puede conseguirse por el sólo procedimiento de los reactivos, se combina este sistema con el de la permutación de iones. Primero se ablanda el agua con cal para eliminar la dureza de bicarbonato; después, los permutadores iónicos suprimen la dureza permanente.

La eliminación del bicarbonato se denomina *descarbonatación*. Esta puede efectuarse al mismo tiempo que la coagulación cuando el agua bruta está turbia, pero en el caso del agua clara se realiza en una unidad descarbonatadora especial. En el proceso paralelo de descarbonatación y coagulación queda eliminado del 30 al 40% del ácido silícico. Se puede acelerar considerablemente la descarbonatación si se calienta el agua hasta  $30$  ó  $40^\circ\text{C}$ . Si no se calienta, el agua ablandada por los reactivos suele ser inestable y probablemente depositará en las tuberías los productos de las reacciones incompletas. Como las impurezas orgánicas y la turbiedad del agua bruta retardan el proceso de ablandamiento, se recurre a la coagulación, o a clorización preliminar. La dosis de cal que se aplica en el proceso ablandador del agua depende de la proporción de iones magnésicos y cálcicos y de los iones de bicarbonato.

Cuando hay que ablandar con cal aguas subterráneas, o aguas de superficie limpias (que no tengan más de  $10$  mg/l de cuerpos en suspensión), se emplea el llamado "reactor rápido", con ulterior filtración del agua ablandada, mediante filtros de arena. Los reactores rápidos pueden emplearse cuando la dureza cálcica es muy superior a la dureza magnésica o a la de carbonatos. Los reactores rápidos son tanques cónicos que pueden ser del tipo abierto, pero que suelen ser cerrados; en su parte más baja y estrecha tienen entradas para el agua bruta y la cal. El ángulo del cono de embudo del reactor puede ser de  $15$  a  $20^\circ$ . La figura 10 representa en esquema uno de estos reactores rápidos.

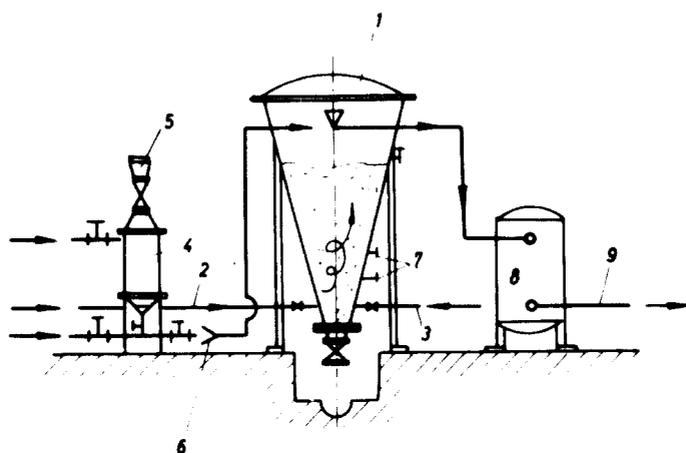
## TRATAMIENTO CON CAL

	<i>Impureza</i>	<i>Reactivo</i>	<i>Precipitado</i>
1) Eliminación del bicarbonato cálcico	Ca(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> Bicarbonato cálcico	+ Ca(OH) <sub>2</sub> Cal hidratada	= 2CaCO <sub>3</sub> + 2H <sub>2</sub> O Carbonato cálcico
2) Eliminación del bicarbonato magnésico <sup>a</sup>	Mg(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> Bicarbonato magnésico	+ 2Ca(OH) <sub>2</sub> Cal hidratada	= Mg(OH) <sub>2</sub> + 2CaCO <sub>3</sub> + 2H <sub>2</sub> O Hidróxido magnésico Carbonato cálcico
3) Eliminación del anhídrido carbónico libre del agua bruta	CO <sub>2</sub> Gas ácido carbónico disuelto	+ Ca(OH) <sub>2</sub> Cal hidratada	= CaCO <sub>3</sub> + H <sub>2</sub> O Carbonato cálcico
4) Eliminación de la dureza permanente ocasionada por las sales de magnesio <sup>b</sup>	MgSO <sub>4</sub> MgCl <sub>2</sub> Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	+ Ca(OH) <sub>2</sub>	= CaSO <sub>4</sub> CaCl <sub>2</sub> + Mg(OH) <sub>2</sub> Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
	Sulfato magnésico Cloruro magnésico Nitrato magnésico	Cal hidratada	Hidróxido magnésico

<sup>a</sup> La eliminación del bicarbonato magnésico requiere doble cantidad de cal que la del bicarbonato cálcico.

<sup>b</sup> Las sales cálcicas formadas en este proceso se eliminan por reacción con ceniza de sosa.





## LEYENDA

- |                                |                   |
|--------------------------------|-------------------|
| 1 REACTOR RAPIDO               | 6 EYECTOR         |
| 2 AGUA BRUTA                   | 7 SALIDA DE ARENA |
| 3 ALIMENTACION DE REACTIVO     | 8 FILTRO          |
| 4 DOSIFICADOR DE ARENA         | 9 AGUA BLANDA     |
| 5 EMBUDO PARA LLENADO DE ARENA |                   |

Figura 10. Instalación de ablandamiento de aguas, con reactivos y reactor rápido

La cal se va añadiendo continuamente, en proporción con el caudal del agua bruta y con la dureza de bicarbonatos. Se aplica en forma de lechada de cal, con densidad de 5 a 6° Beaumé; también se aplica en forma de agua de cal saturada.

Los precipitados de carbonato cálcico e hidróxido magnésico son retenidos por las partículas de arena, que, cuando adquieren cierto tamaño, descienden al fondo del reactor y son descargadas periódicamente. El tamaño de los granos de arena al entrar en el reactor rápido es de 0,3 a 0,4 mm; al ser descargados, miden de 1,5 a 2,0 mm.

El proceso de ablandamiento del agua consume de 5 a 10 minutos en los reactores rápidos. El caudal de admisión del agua a la sección inferior es de 0,8 a 1,0 m/seg, mientras que el nivel del agua sube hacia las salidas de descarga una vez descarbonatada de 4 a 6 mm/seg.

Para descarbonatar con éxito, es preciso que la instalación posea albercas para apagar la cal, mezcladoras para preparar la lechada de cal, bombas dosificadoras de la lechada de cal, e instrumentos para medir el caudal de paso, la presión y la concentración de las soluciones.

#### *Elección del método de tratamiento del agua*

La elección de un método acertado de tratamiento del agua es la consideración principal que debe regir el diseño de una unidad tratadora. La elección se basa en la composición de las impurezas del agua bruta y en el grado requerido de calidad del agua.

Es preciso analizar física y químicamente el agua superficial no tratada durante todo el año y, en caso necesario, durante una serie de años. Según cuales sean la turbiedad y coloración del agua, se aplicarán la clarificación y la decoloración de fase única o en dos fases. En el tratamiento de dos fases, la masa principal de cuerpos extraños queda en los tanques de sedimentación, y los filtros sirven para completar el proceso. Siempre hay que tener en cuenta la capacidad máxima de cada sección de una fábrica; por ejemplo, los tanques de sedimentación con capa de lodos funcionan dentro de la gama de 100 a 2.500 mg/l de turbiedad del agua bruta. En períodos de gran enturbiamiento hay que purificar y clarificar el agua en grandes cubas clarificadoras horizontales que funcionan sin coagulación, para que en ellas se depositen los elementos enturbiadores más groseros. Con este sistema se puede economizar mucho en reactivos. Los filtros de arena no pueden aplicarse sino cuando la turbiedad del agua es inferior a 50 mg/l.

Si el agua tiene gran dureza carbonatada, se emplea el tratamiento combinado. Cuando sólo hay que ablandar parcialmente el agua, se recurre al intercambio de cationes de Na, mezclándose el agua ablandada con la no ablandada en la proporción requerida.

El procedimiento para eliminar el hierro del agua bruta depende de la forma que adopte el hierro disuelto.

## **CONTAMINACION DEL AGUA EN LAS DISTINTAS RAMAS DE LA INDUSTRIA DE ELABORACION DE ALIMENTOS**

En las zonas del mundo muy industrializadas y densamente pobladas, los ríos están convirtiéndose en colectores de impurezas industriales y de otro origen, con efectos perjudiciales para la salud humana, para la vida vegetal y animal de los cursos de agua y para la propia industria. Al crecer constantemente la demanda de agua y continuar la contaminación de las fuentes de abastecimiento, disminuyen cada vez más las reservas de agua pura. Por ello es esencial purificar el agua residual antes de descargarla a los ríos.

La concentración de las sustancias contaminadoras del agua depende del sistema de producción, de las materias primas iniciales, y de los reactivos empleados en el proceso tecnológico. De ahí que las impurezas del agua residual varíen mucho según las industrias.

La concentración de cuerpos contaminantes en las aguas residuales industriales puede dividirse en tres grupos principales:

- a) Agua limpia, procedente de la refrigeración de las superficies calientes de las instalaciones tecnológicas, etc.; suele contener cantidades insignificantes de sustancia contaminante. Por su calidad, este agua se aproxima mucho al agua inicial de alimentación.
- b) Agua ligeramente contaminada, procedente sobre todo del lavado de los productos finales; que contiene principalmente impurezas mecánicas, minerales y orgánicas, así como bacterias. La mayor parte del agua que se emplea para transporte y lavado en las plantas tratadoras de las industrias azucarera, alcoholera y del almidón pertenece a esta categoría.
- c) Agua contaminada, cuyo grado de contaminación depende de muchos factores, como el consumo de agua, la calidad de los productos, la estabilidad de los procesos tecnológicos, etc. En una misma fábrica, el grado de contaminación del agua puede variar, según las temporadas, para una misma operación. El agua perteneciente a esta categoría está contaminada por impurezas mecánicas y materia orgánica sujeta a rápida fermentación. A este tipo de aguas pertenece la procedente de prensas de filtrado, del lavado de equipo tecnológico en las industrias lechera y azucarera, etc.

Las aguas residuales de las dos primeras categorías se utilizan para recirculación o para diluir agua muy contaminada. Todas las modalidades de agua residual aquí mencionadas existen en la mayoría de las fábricas.

## Indicadores de la calidad de aguas residuales

Los datos sobre la calidad de las aguas residuales son el punto de partida que ha de considerarse cuando se trata de purificar este tipo de aguas, reutilizarlas y eliminarlas, así como de recobrar sus impurezas útiles. No menos importante son los datos cuantitativos, como son la información referente a las cantidades diarias de agua residual y las irregularidades de formación de este tipo de agua.

La calidad de las aguas residuales suele caracterizarse por los indicadores siguientes:

- a) Color.
- b) Olor.
- c) Temperatura (en grados C).
- d) Transparencia (determinada por la transparencia de una capa líquida vertida en tubo graduado, expresada en cm).
- e) Materia en suspensión (mg/l).
- f) Sedimento por volumen (mg/l): se determina después de dos horas de sedimentación del agua residual, en cilindro graduado.
- g) Sedimento por peso (mg/l): se obtiene secando el sedimento y la materia en suspensión, a temperatura de 105°C.
- h) Pérdida por ignición a 600°C.
- i) Gasto de  $\text{KMnO}_4$  (mg  $\text{O}_2$  por litro). Esto indica la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar los compuestos fácilmente oxidables del agua residual. Expresa solamente una parte del oxígeno que requiere la mineralización del agua residual contaminada.
- j) Demanda química de oxígeno (DQO). Denota la cantidad de oxígeno (mg/l) necesaria para oxidar por completo el agua residual contaminada. Mediante esta oxidación, efectuada con  $\text{KIO}_3$  y ácido sulfúrico concentrado, el nitrógeno procedente de la materia orgánica se convierte en amoníaco, que al reaccionar con el ácido sulfúrico forma sulfato amónico. El hidrógeno de la materia orgánica se transforma en agua; el carbono, en anhídrido carbónico, y el azufre orgánico, en dióxido de azufre (anhídrido sulfuroso).
- k) Demanda bioquímica de oxígeno (DBO). Indica la cantidad de oxígeno en mg/l necesaria para oxidar la materia orgánica del agua residual por la acción de las bacterias aerobias. La cantidad se mide a 20°C, diluyendo la muestra con agua destilada que contenga considerable cantidad de oxígeno y sustancias nutritivas.
- l) Estabilidad relativa. Este dato caracteriza la resistencia del agua residual a la putrefacción. Se expresa en porcentajes e indica la proporción que el oxígeno disuelto en el líquido y el oxígeno procedente de nitratos y nitritos guardan con respecto a la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar totalmente el agua residual contaminada.
- m) Oxígeno disuelto (mg/l).
- n) Reacción activa del agua (pH).
- o) Acidez o alcalinidad. Se expresa en ml, N o N/10 de la solución ácida o básica utilizada para neutralizar un litro del agua residual.

- p) Cantidad (mg/l) de:
- Cloruros ( $\text{Cl}^-$ )
  - Fosfatos ( $\text{PO}_4$ )
  - Sulfatos ( $\text{SO}_4^-$ )
  - Nitratos ( $\text{NO}_3^-$ )
  - Nitritos ( $\text{NO}_2^-$ )
  - Calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ )
  - Magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ )
  - Acido carbónico ( $\text{CO}_2$ )
  - Bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ )
- q) Número de gérmenes por ml.
- r) Número más probable de *B. coli* por litro (contaminación por heces).

La contaminación de las aguas residuales puede ser de origen mineral, orgánico o bacteriano. Entre los contaminantes minerales, la arena, las partículas de arcilla, las sales minerales y los ácidos y bases disueltos surten el mayor efecto.

La contaminación orgánica puede ser de origen vegetal o animal. La de origen vegetal es la que más abunda en las aguas residuales de las fábricas de elaboración de alimentos (restos de plantas, frutos, legumbres y hierbas, papel, aceites vegetales). El carbono es el elemento químico fundamental de esos contaminantes. Entre la contaminación de origen animal figuran los excrementos, el tejido animal, ácidos orgánicos, etc. El nitrógeno es el componente fundamental de estos compuestos.

La contaminación bacteriana proviene sobre todo de microorganismos vivos, como los fermentos y mohos, pequeñas algas y diversas bacterias.

El grado de dispersión en las aguas residuales puede clasificarse en materia en suspensión, solución coloidal y solución real.

#### *Sustancias en suspensión*

La materia en suspensión el componente que más abunda en las aguas residuales se compone de impurezas mecánicas, materia no disuelta, etc. Las sustancias en suspensión pueden tender a flotar o a hundirse.

La materia en suspensión (turbiedad) no sólo da al agua de ríos y arroyos un aspecto ingrato, sino que además impide que penetre la luz solar, lo que perjudica a la vida acuática. Por ello, se retarda mucho el desarrollo de la microflora y fauna, sobre todo en las capas más bajas de la corriente. Cierta parte de la materia en suspensión se deposita en el lecho del río cuando éste fluye despacio. Los sedimentos así formados son, sobre todo, materia orgánica descompuesta por los procesos metabólicos de los seres vivos. En las partes de la corriente lentas y turbias, que no reciben oxígeno de la superficie, el alto contenido de materia en suspensión ocasionará condiciones anaerobias que dan al agua el desagradable aspecto característico, olores y gases ofensivos, etc.

#### *Materia coloidal y disuelta*

Las aguas residuales están además contaminadas por coloides y materia disuelta. Los coloides (partículas de  $10^{-5}$  a  $10^{-7}$  cm de diámetro) suelen ser de origen orgánico (proteínas, grasas e hidratos de carbono). Como no es posible separarlas del agua por el procedimiento ordinario de sedimentación, hay que añadir un coagulante.

Entre la materia disuelta en las aguas residuales figuran sales, ácidos y bases inorgánicos, algunas materias orgánicas, y gases. Esa materia se elimina mediante reactivos, o bien recurriendo a los permutadores de iones si ello resulta más económico.

#### *Materia orgánica y demanda bioquímica de oxígeno*

Las aguas residuales de diversas industrias de elaboración de alimentos y de otro tipo contienen distintas clases de materia orgánica. Por ser a menudo difícil o imposible determinar directamente la concentración de esas sustancias, suelen utilizarse métodos indirectos de análisis, sobre todo cuando se trata de determinar el oxígeno necesario para oxidar las sustancias orgánicas que contiene el agua.

La cantidad de materia orgánica se determina por la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) o por la demanda química de oxígeno (DQO).

La mayoría de las sustancias orgánicas sirven de alimento a diversos microorganismos. Como resultado de las actividades metabólicas de estos últimos, las sustancias orgánicas se mineralizan, convirtiéndose el carbono en anhídrido carbónico, el hidrógeno en agua, el nitrógeno en nitratos, el azufre en sulfatos y el fósforo en fosfatos.

La cantidad de oxígeno que los microorganismos consumen en la oxidación total del carbono y del hidrógeno, al convertirse éstos en anhídrido carbónico y agua, se denomina demanda total bioquímica de oxígeno. En general, la demanda bioquímica de oxígeno es proporcional a la cantidad de carbono e hidrógeno de las sustancias orgánicas.

### **Características de las aguas residuales que descargan diversas ramas de la industria de elaboración de alimentos**

La mayor parte del agua que requieren las industrias de elaboración de alimentos se usa para el lavado (remolacha, patatas, fruta, equipo tecnológico), para el transporte de la materia prima (remolachas, cereales), y para la refrigeración. Buena parte de ese agua se contamina en el proceso. Al abordar el problema de la descarga de aguas residuales en las corrientes es esencial atenerse a los reglamentos y recomendaciones existentes para la rama industrial de que se trate. Las aguas residuales de la industria azucarera, por ejemplo, pueden ser peligrosas para los peces si su dilución es inferior a 1 : 25 cuando se descargan en las corrientes de agua. Ese tipo de aguas contiene, en efecto, gran cantidad de sustancias fácilmente oxidables, que consumen mucho oxígeno del agua.

Las impurezas mecánicas, sobre todo arena, tierra, follaje y raíces, abundan en las aguas de desecho procedentes del lavado y transporte en las factorías que elaboran alcohol, azúcar y productos pesqueros.

#### *Aguas residuales de la industria lechera*

Las diversas unidades productoras de la industria lechera descargan aguas residuales que contienen diversos tipos y cantidades de contaminantes. Por ello hay que determinar en cada caso particular las condiciones de tratamiento del agua residual.

CUADRO 20. CONTENIDO APROXIMADO DEL AGUA RESIDUAL DE INDUSTRIAS LECHERAS

	Tipo de instalación de tratamiento						
	Pasteurización	Envasado	Queso	Mantequilla	Leche agria	Leche en polvo	Helados
Volumen del agua residual, en m <sup>3</sup> por tonelada de leche tratada	1,5	2,10	1,67	0,92	1,25	1,25	-
Propiedades del agua residual							
Total de sólidos (mg/l)	1.141	1.483	1.582	2.422	2.793	2.407	-
Materia en suspensión (mg/l)	-	536	751	664	754	-	-
DBO (mg/l)	509	567	998	1.246	1.291	485	-
Contaminantes del agua residual	Leche, Agua de lavado	Leche, Agua de lavado	Suero Caseína, Agua de lavado	Residuos del tratamiento de la leche, Agua de lavado	Leche es-tropeada, Agua de lavado	Leche es-tropeada, Agua de lavado	Caseína, Agua de lavado

Una instalación lechera puede componerse de unidades donde se prepara, pasteriza y envasa la leche líquida y se produce leche en polvo, queso, mantequilla y nata, etc.

La pasterización de la leche produce desechos que contienen cierta cantidad de leche junto con el agua que se emplea para lavar las botellas y el equipo. El tratamiento de la leche para su transformación en mantequilla o queso deja un residuo de suero, por lo que el agua de desecho contiene caseína, lactosa, albúminas y grasas. La lactosa es uno de los componentes especialmente indeseables en las aguas residuales de las industrias lácteas. Si el agua residual no contiene una cantidad suficiente de oxígeno para permitir la destrucción aerobia, la lactosa se convierte en ácido láctico, el agua de desecho se vuelve muy ácida, y con el tiempo la caseína sedimentada empieza a pudrirse y desprende olor intenso y desagradable.

El agua procedente del lavado del equipo contiene, además, álcalis y otras sustancias químicas limpiadoras.

El contenido básico de las aguas residuales típicas procedentes de industrias lecheras se enumera en el cuadro 20.

#### *Aguas residuales del envasado de frutas y hortalizas*

Al envasar y deshidratar las frutas y hortalizas frescas se emplean grandes cantidades de agua. El agua de desecho contiene cantidades considerables de jugos de frutas y hortalizas. A esto se añade el agua utilizada para mantener condiciones higiénicas en los locales de las fábricas. De ahí que el agua residual esté muy contaminada por cuerpos en suspensión y sustancias orgánicas disueltas, y que no sea fácil descargarla sin contaminar la corriente receptora. Estas aguas residuales pueden clasificarse aproximadamente como sigue:

- a) Agua procedente de pasterización y refrigeración del equipo.
- b) Agua procedente del lavado y blanqueado de productos, y de la limpieza de instalaciones y equipo.
- c) Desechos sólidos.
- d) Desechos procedentes de determinados productos o de ciertos métodos de envasado.

El agua residual de la fábricas de conservas lleva también arena y barro (del lavado de los productos), y desperdicios (cáscaras de fruta, vainas de legumbres, fibras vegetales).

Como las fábricas de conservas vegetales y de fruta funcionan cuando está madurando una determinada clase de fruta u hortaliza, el agua residual sólo plantea problemas durante la temporada correspondiente. La mayoría de las fábricas son capaces de tratar y envasar varias clases de hortalizas y frutas, pudiendo así operar continuamente durante toda la temporada. En tal caso, suelen funcionar las 24 horas del día para evitar que se deteriore el género, pero esto produce enormes cantidades de agua residual que requieren purificación y eliminación rápidas.

El volumen y las características del agua residual de la industria conservera varían mucho, según los productos. Los estudios de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) del agua residual de ramas determinadas de la industria han dado resultados muy diversos. En el envasado de espárragos, la DBO no rebasa los 100 mg/l; en la producción de zumos de fruta, alcanza 4.000 mg/l, y con residuos muy concentrados que llegan a los 75.000 mg/l. En cambio, el agua residual de los servicios municipales tiene una DBO de 200 mg/l, aproximadamente.

CUADRO 21. CANTIDADES DE AGUA NECESARIAS, DBO Y CANTIDAD DE MATERIA EN SUSPENSIÓN, PARA VARIOS PRODUCTOS

Producto	Volumen de agua residual (galones/caja)		DBO (mg/l)		Materia en suspensión (mg/l)	
Albaricoques	57	80	200	1.000	260	
Espárragos	70		100		30	
Alubias	26	44	160	600	60	85
Remolachas	27	65	1.600	5.500	750	2.200
Zanahorias	23		520	3.000	1.850	
Cerezas (agrias)	12	40	700	2.100	20	600
Toronjas	5	56	310	2.000	170	290
Melones	20	42	2.850	6.900	790	2.500
Setas	6.600		75	400	50	250
Melocotones	45	60	1.350		600	
Guisantes	14	56	380	4.700	272	400
Col fermentada	20	43	6.300		630	
Espinacas	160		280	730	90	580
Tomates	38	100	180	3.400	170	1.200
Trigo	25	70	1.150	6.000	300	4.000

El cuadro 21 indica las cantidades necesarias de agua y algunas de sus propiedades para el tratamiento de varias frutas y legumbres.

Pese a la gran contaminación que difunden estas aguas residuales, son muchas las factorías conserveras que aún no han iniciado la purificación intensiva de sus aguas de desecho, y ello por varios motivos. La mayoría de esas fábricas funcionan por temporadas, por lo que sería demasiado caro efectuar una inversión en una planta purificadora de sus propios desechos. Al mismo tiempo, la índole del agua residual varía mucho, incluso en un solo día. La remolacha, por ejemplo, produce agua residual coloreada; el agua residual de la col fermentada tiene olor fuerte; el tratamiento de tubérculos produce alto contenido de materia en suspensión en el agua; el tratamiento del trigo da un agua residual blanca, denominada leche de trigo; el tratamiento de los limones da gran acidez al agua de desecho, etc. Es difícil montar una instalación satisfactoria para el tratamiento de tan diversas aguas residuales.

#### *Agua residual de la industria cárnica*

El agua residual de la industria cárnica tiene una concentración muy alta de sustancias orgánicas fácilmente putrescibles. La cantidad de agua necesaria se suele calcular según el número de animales que vaya a tratarse, pero tanto esa cantidad como el grado de contaminación pueden variar mucho.

En el cuadro 22 se indica el promedio de valores de contaminación del agua de desecho procedente de mataderos.

CUADRO 22. PROMEDIO DE CONTAMINACION DEL AGUA RESIDUAL DE MATADEROS

<i>Ganado</i>	<i>Cantidad de agua necesaria (m<sup>3</sup>/t)</i>	<i>DBO (mg/l)</i>	<i>Materia en suspensión (kg/t)</i>	<i>Nitrógeno (kg/t)</i>	<i>Grasas (kg/t)</i>
Vacuno	12,3	12,5	11,4	1,45	0,98
Porcino	16,3	14,2	9,2	1,43	1,50

Esta clase de agua residual contiene secreciones del estómago y vientre, sangre, grasas y otras sustancias orgánicas. Igual que en el caso de otras fábricas de elaboración de alimentos, la cantidad de agua varía no sólo diariamente, sino cada hora.

*Agua residual de la industria azucarera*

El agua residual de la industria azucarera contiene gran cantidad de desperdicios venenosos, putrescibles. El agua residual procedente del lavado y transporte de las remolachas tiene una DBO baja y una concentración de sustancias en suspensión alta; la procedente de los recipientes difusores y las prensas tiene una DBO muy alta y contiene partículas finas en suspensión. El agua procedente del tratamiento propiamente dicho del azúcar representa sólo el 15% del volumen total de aguas residuales de la industria azucarera.

En el cuadro 23 se indican las cantidades relativas y las propiedades de estas aguas de desecho.

El mejor procedimiento de purificar el agua residual de la industria azucarera es hacerla pasar por tamices, cámaras de sedimentación de partículas bastas y cubas de clarificación.

CUADRO 23. CANTIDADES RELATIVAS Y COMPOSICION DEL AGUA RESIDUAL DE LA INDUSTRIA AZUCARERA

<i>Características</i>	<i>Agua para el transporte de la remolacha azucarera</i>		<i>Precipitado calizo</i>	<i>Agua residual del proceso</i>
	<i>Caso A</i>	<i>Caso B</i>		
Volumen del agua (m <sup>3</sup> /t de remolachas)	7,5	7,5 11	0,3	1,2
Materia en suspensión (mg/l)	800	400	450	1.300
Materia volátil (%)		35		75
Sustancia total (mg/l)	1.200	1.200	3.310	...
DBO (mg/l)	200	200	1.420	1.600
DQO (mg/l)	110	175	500	1.500

*Agua residual de los procesos de fermentación*

En las industrias de fermentación (alcoholes, cerveza, vino, levadura, etc.) se usa el agua para lavar y clasificar materias primas, para refrigerar y para fines tecnológicos, como lavado de botellas y equipo. El agua residual contiene productos de fermentación sumamente nocivos, que jamás deben descargarse en masas de agua.

En el cuadro 24 se indica la composición de los residuos de fermentación y el agua residual de la industria alcoholera.

Por cada 100 kg de patatas sometidas a tratamiento en una fábrica alcoholera, se obtienen 10 kg de sedimento húmedo, cuyo peso específico viene a ser de 1.800 kg/m<sup>3</sup>. Sin embargo, según las normas sanitarias, las aguas residuales que se descarguen en masas de agua no deberán contener más de 30 mg de minerales ni más de 10 mg de sustancia orgánica, por litro.

CUADRO 24. CONCENTRACION DE LOS RESIDUOS DE FERMENTACION Y DEL AGUA RESIDUAL DE LA INDUSTRIA ALCOHOLERA

	<i>Residuo de fermentación</i>	<i>Lavado y transporte de materias primas</i>	<i>Lavado de barriles</i>
Residuo seco (mg/l)	25.510	540	2.450
Residuo de ignición (mg/l)	6.218	320	956
Oxidabilidad (O <sub>2</sub> mg/l)	28.258	45	280
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	41.340		1.210
pH	6,4	7,05	7,21
Alcalinidad (meq/l)	4,8	4,5	10,6

CUADRO 25. CARACTERISTICAS DEL AGUA RESIDUAL DE FABRICAS DE CERVEZA Y MALTA

<i>Indicador de calidad</i>	<i>Unidad</i>	<i>Fábrica de cerveza</i>	<i>Fábrica de malta</i>
Turbiedad	cm	6,5	16
Color		Amarillo-grisáceo	Amarillo claro
pH		5,6	6,52
Oxidabilidad	mg/l	608	625
Oxígeno libre	mg/l		
DBO	mg/l	1.800	1.600
Residuo seco	mg/l	481	1.526
Residuo de ignición	mg/l	237	414
Pérdida por ignición	mg/l	244	1.112
Materia en suspensión, secada a 105°C	mg/l	88	62

El contenido de las aguas residuales procedentes de las fábricas de cerveza y malta figura en el cuadro 25.

El agua residual de las instalaciones de fermentación de vinos contienen agua de desecho de las prensas, cieno de las cubas y agua residual resultante del mantenimiento higiénico de la instalación. Estas aguas de desecho tienen color intenso y no deben descargarse en cursos de agua.

El agua residual de las fábricas productoras de levadura presenta grandes problemas por el alto contenido de proteínas, que rápidamente se descomponen y desprenden gases desagradables.

En el cuadro 26 se indica el tenor de agua residual de las fábricas de levadura.

CUADRO 26. CARACTERISTICAS DEL AGUA RESIDUAL DE FABRICAS DE LEVADURA

<i>Indicador de calidad</i>	<i>Unidad</i>	<i>Después de la primera extracción de levadura</i>	<i>Después de la segunda extracción de levadura</i>	<i>Al final del proceso</i>
Color		Amarillo oscuro	Amarillo oscuro	Amarillo oscuro
pH		6,0	6,5	4,1
Nitrógeno total (N <sub>2</sub> )	mg/l	271	56	42
Oxidabilidad	mg/l	2.430	40	450
DBO	mg/l	8.300	1.100	1.100
Residuo seco	mg/l	9.178	1.746	1.696
Residuo de ignición	mg/l	3.086	578	1.012
Pérdida por ignición	mg/l	6.092	1.168	684
Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/l	938	113	...

## PURIFICACION DE AGUAS RESIDUALES EN LA INDUSTRIA DE ELABORACION DE ALIMENTOS

La ciencia de la purificación de aguas residuales es relativamente nueva, porque el problema sólo ha empezado a suscitar interés hace muy poco tiempo. Sin embargo, se ha formado ya un conjunto de principios que deben observarse rigurosamente.

Cuando la composición de las aguas residuales industriales es tal que la interacción química libera diversos gases tóxicos o produce gran cantidad de sedimentos insolubles en el colector, ese agua no debe descargarse en el alcantarillado. La eliminación de las soluciones concentradas se decidirá por separado en cada caso, ya que su expulsión directa al sistema de alcantarillado no es permisible.

Cuando el agua industrial de desecho es muy ácida, los conductos del alcantarillado deberán recubrirse con materiales ácidosresistentes, como cemento o plásticos. Los materiales protectores a base de asfalto y bitumen no suelen resistir a las soluciones orgánicas (gasolina, bencol) ni a las altas temperaturas.

Ciertas instalaciones industriales descargan agua residual a intervalos, de manera sistemática o en épocas de avería. Han de tener grandes depósitos, de volumen adecuado para regular la descarga del agua al alcantarillado y a la planta purificadora. Los tanques de homogeneización, en los que se consigue la necesaria uniformidad de la composición del agua residual mediante mezcla mecánica y acción química recíproca, son también esenciales.

Si en una misma localidad hay diferentes fábricas, es muy conveniente organizar el tratamiento conjunto de las aguas residuales. A veces, el agua residual de una fábrica puede utilizarse muy eficazmente como reactivo en el tratamiento del agua residual de otra, en tal caso son evidentes las ventajas de un sistema común de alcantarillado.

### Las masas de agua como recipientes de aguas residuales

El medio más sencillo y económico de eliminar las aguas residuales es descargarlas en la masa de agua más cercana (ríos, lagos, etc.).

Cuando en las masas de agua se descargan aguas residuales no tratadas (o insuficientemente purificadas) procedentes de fábricas industriales y comunidades municipales, sobrevienen las siguientes alteraciones de la calidad del agua en las masas receptoras:

- a) Cambian las características físicas del agua (turbiedad, color, olor).
- b) Aparecen sustancias flotantes en la superficie, y cieno en el fondo.

- c) Cambian las propiedades químicas de la masa líquida (pH, contenido de impurezas orgánicas e inorgánicas, formación de sustancias tóxicas).
- d) Disminuye la cantidad de oxígeno disuelta en el agua.
- e) Cambian el número y el tipo de bacterias.
- f) Se destruye la vida acuática

Entre los procesos físicos de este tipo de eliminación de desechos figura la dilución del agua residual en la masa líquida, lo que puede ocasionar una importante disminución de la concentración de los contaminantes. El proceso químico resultante es la neutralización de los ácidos o de las bases por los bicarbonatos y el anhídrido carbónico del agua de la masa receptora. Los procesos bioquímicos se reflejan en la mineralización de los contaminantes orgánicos por los procesos metabólicos de los organismos vivos de la masa de agua.

Mediante esos procesos disminuye hasta desaparecer a veces la concentración de contaminantes. Por eso se dice que las masas de agua tienen capacidad autopurificadora y que pueden considerarse como fábricas naturales de purificación. Pero el poder autopurificador de la masa líquida es limitado; depende sobre todo de su volumen, de la cantidad y composición del agua residual que se descargue en ella, y del tiempo disponible para el proceso de purificación. La facultad purificadora de la masa tiene gran importancia sanitaria y económica.

La cantidad de aguas residuales de determinada composición que la masa de agua puede recibir sin que sobrevengan efectos perjudiciales debe determinarse en cada caso mediante cálculos basados en el poder purificador de esa masa. Cuando la facultad purificadora de ésta no basta, es indispensable purificar el agua de desecho, o de lo contrario no se podrá verter en la masa.

Alrededor del 60% de la contaminación producida por las aguas residuales se debe a materia orgánica muerta, de la cual está disuelta la mayor parte (aprox. el 55%), pero una parte flota en la superficie líquida (un 18%). Esta materia se mineraliza continuamente por la actividad de microorganismos aerobios, si el oxígeno disponible es mayor que el consumo en el proceso oxidante. De no ser así, la cantidad de oxígeno disuelto en el agua disminuirá y puede agotarse; en tal caso se producen condiciones anaerobias.

La temperatura influye mucho en la situación del oxígeno y en el poder autopurificador de la masa de agua. Si la temperatura sube, la tasa de oxidación de materia orgánica aumenta y al mismo tiempo desciende la solubilidad del oxígeno. En los meses de verano, la concentración de contaminantes llega al máximo.

A temperaturas altas, el equilibrio del oxígeno en las masas de agua se perturba fácilmente, sobre todo si la aireación es insuficiente. En los meses de invierno aumenta la solubilidad del oxígeno en la corriente y se debilita la intensidad de los procesos bioquímicos de los microorganismos. Esto retarda la descomposición de la materia orgánica y, por consiguiente, la autopurificación de las masas de agua.

El pH de la masa de agua tiende a mantenerse cerca del punto neutro si contiene cantidad razonable de los bicarbonatos  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  y  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ , ya que estas sustancias pueden neutralizar cantidades correspondientes de ácidos o bases.

#### *Condiciones para la descarga de aguas residuales en las masas de agua*

El agua de desecho que se descargue en las masas de agua habrá de tener el grado de pureza suficiente para no dañar a la vida acuática y poder usarse con fines industriales, y hasta para beber en ciertos casos. La concentración máxima permitida se determina en cada país con arreglo a sus circunstancias particulares.

CUADRO 27. CONCENTRACION MAXIMA DE SUSTANCIAS PERJUDICIALES EN EL AGUA CORRIENTE

<i>Elemento o compuesto</i>	<i>Concentración (mg/l)</i>	
	<i>Agua para usos sanitarios y consumo humano</i>	<i>Agua para la piscicultura</i>
Plomo	0,1	0,1
Arsénico	0,05	0,05
Flúor	1,5	No hay normas
Cianuros	0,1	0,05
Cobre	0,1	0,01
Zinc	5,0	0,01
Níquel	0,1	0,01
Cobalto	1,0	No hay normas
Cloro (libre)	Ninguna	Ninguna
Sulfuro de hidrógeno	1,0	1,0
Trementina	0,2	No hay normas
Estireno	0,1	No hay normas
Cromo	0,1	No hay normas
Hierro	0,1	No hay normas
Manganeso	No hay normas	No hay normas
Amonio	No hay normas	50,0
Sales amónicas	No hay normas	0,1
Tanino	No hay normas	10,0

Las masas de agua pueden clasificarse en: *a)* destinadas a usos sanitarios y consumo humano, y *b)* destinadas a la piscicultura. La composición y las propiedades del agua corriente han de cumplir las normas que se enuncian en el cuadro 27, en un punto de control situado por lo menos a 1 km aguas arriba de la toma de la estación de bombeo.

El aumento inicial de concentración de la materia en suspensión no debe rebasar 0,25 mg/l en las masas de agua de la primera categoría, ni 0,75 mg/l en las de la segunda. Cualquiera que sea la estación del año, es preciso que la concentración de oxígeno disuelto no sea inferior a 4 mg/l en ninguna masa de agua, ni inferior a 6 mg/l en las que se utilicen para la piscicultura.

### Depuración de aguas residuales: sistemas y equipo

Para eliminar parcial o totalmente las sustancias tóxicas del agua residual existen diversos métodos y equipos. En el cuadro 28 se indican los efectos de los sistemas más sencillos de depuración del agua residual, expresados en disminución de los porcentajes de DBO, materia en suspensión y bacterias.

CUADRO 28. EFICACIA DE LOS SISTEMAS DE DEPURACION, EXPRESADA EN PORCENTAJES DE LAS SUSTANCIAS ELIMINADAS DEL AGUA RESIDUAL

<i>Sistema de depuración</i>	<i>DBO</i>	<i>Materia en suspensión</i>	<i>Bacterias</i>
Tamices finos	2-20	15-20	10-20
Clorización del agua residual clarificada	15-30	—	90-95
Sedimentación normal (2h)	25-40	40-70	25-75
Precipitación química (coagulación y sedimentación)	50-85	70-90	40-80
Sedimentación normal con filtración rápida	50-90	80-95	—
Clarificación normal, biofiltro y sedimentación secundaria	80-95	70-92	90-95
Clarificación normal, carbono activo y sedimentación secundaria	85-95	85-95	90-98
Tratamiento biológico y clorización	—	—	98-99

Este cuadro permite elegir el método más adecuado de depuración del agua residual, en los casos más sencillos. El contenido exacto del agua residual se determina por análisis químicos y tablas de normas aproximadas de la composición media del agua residual municipal e industrial, teniendo en cuenta la disolución dada (consumo de agua).

Los métodos elementales que pueden utilizarse para depurar las aguas residuales se dividen en mecánicos, químicos, físico-químicos, y biológicos.

Mediante la depuración mecánica se eliminan los contaminantes que suelen hallarse en forma insoluble o parcialmente coloidal. Un tamiz retiene las partículas más groseras y los desperdicios industriales (papel, trapos). Los desperdicios finos existentes en suspensión en el agua se eliminan con un cedazo o una caja de fangos. La mayoría de los contaminantes son de origen mineral, y su peso específico es bastante mayor que el del agua (arena, escoria, etc.), por lo cual quedan separados en las cajas de fangos. Los contaminantes de origen orgánico en suspensión se eliminan principalmente en cubas de clarificación. Las sustancias más ligeras que el agua (grasas, nafta, alquitrán) suben a la superficie y son eliminadas. Para separar del agua residual de la industria esas sustancias se recurre muy a menudo a los separadores de aceites y grasas.

Con métodos químicos y físicos (neutralización, flotación, adsorción, extracción, etc.), se eliminan sobre todo materias solubles e insolubles, como los contaminantes parcialmente coloidales de las aguas residuales.

La depuración biológica es resultado de la actividad metabólica de los microorganismos que descomponen la materia orgánica haciéndola pasar al estado de

dispersión coloidal. Por este sistema puede eliminarse casi totalmente la materia orgánica que queda después de la depuración mecánica. Una instalación depuradora biológica puede funcionar: *a)* en condiciones parecidas a las existentes en la naturaleza (campos de regadío, lagos), o *b)* en condiciones creadas artificialmente (biofiltros, aerofiltros, aerotanques).

La depuración mecánica y biológica produce gran cantidad de fangos, que tiende a pudrirse. Por ello se necesita equipo especial para tratar este tipo de fango (fosas sépticas, depósitos de metano, piletas de secado de fango, etc.).

#### *Equipo para la depuración mecánica de aguas residuales*

El equipo para la purificación mecánica se compone de tamices, trituradoras, sedimentadoras de arena, cajas de retención de aceites y grasas, cubas clarificadoras y el tanque de mezcla y homogeneización de aguas residuales.

En el efluente de las instalaciones de elaboración de aceites comestibles y para usos técnicos (mataderos, e industrias cárnicas) abundan siempre los desperdicios de aceites y grasas. Se eliminan del agua residual mediante un equipo especial denominado cajas de retención de grasa. Tal equipo es necesario para evitar atascos en las tuberías, aliviar el esfuerzo impuesto al equipo biológico que trata los restantes contaminantes orgánicos, y reutilizar los aceites y grasas recobrados.

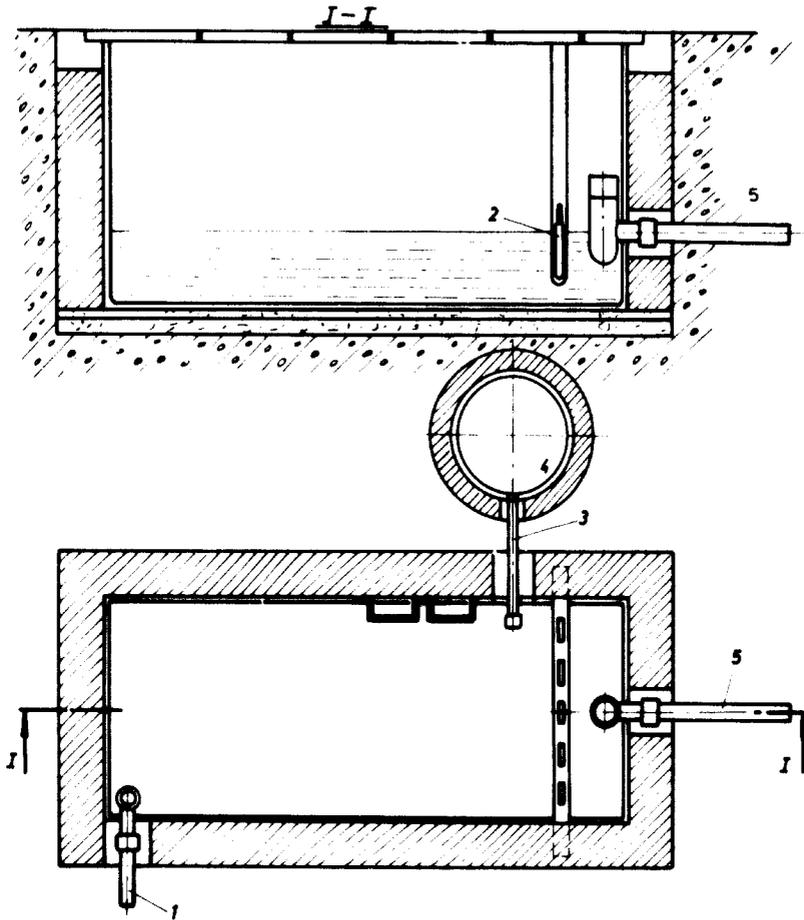
Una caja de retención de grasas (figura 11) es un depósito rectangular cuya profundidad media es de 2 m. El agua residual suele detenerse en estos tanques de 5 a 7 minutos. Hay un tabique sumergido especial, situado a 30 ó 40 cm del fondo. En tipos especiales de cajas se introduce aire para mejorar la separación de los antedichos materiales.

Las cubas de clarificación se usan para separar los cuerpos en suspensión y los coloides. Se emplean cuando las normas sanitarias exigen sólo la eliminación de las impurezas mecánicas. También pueden utilizarse para una depuración preliminar, si el agua residual ha de someterse después a tratamiento biológico. Por su colocación, las cubas clarificadoras se dividen en dos categorías: las situadas antes del equipo depurador biológico (primarias) y las situadas después (secundarias).

Las cubas de clarificación pueden ser horizontales, radiales o verticales. Las primeras en las que la eliminación se efectúa horizontalmente se emplean cuando hay que tratar cantidades relativamente grandes de aguas residuales (hasta 20.000 m<sup>3</sup>/día). Las radiales funcionan según el mismo principio que las horizontales, pero la corriente horizontal de agua es dirigida desde el centro a la periferia; se usan también para tratar grandes cantidades de agua residual (más de 20.000 m<sup>3</sup>/día). Las cubas verticales están diseñadas de manera que el agua fluya por contracorriente (desde el fondo hacia arriba); se emplean para tratar cantidades relativamente pequeñas de agua residual (menos de 10.000 m<sup>3</sup>/día).

Al decidir qué tipo de cuba clarificadora conviene utilizar, hay que tener en cuenta varios factores: cantidad de agua residual; cantidad de fango y características de éste (capacidad de condensación, tendencia a la putrefacción); eliminación del fango del tanque y ulterior tratamiento del mismo; circunstancias locales (relieve del terreno, nivel de las aguas subterráneas, materiales de construcción); y toda una serie de parámetros técnico-económicos.

El equipo capaz de clarificar aguas residuales industriales de todo tipo, sobre todo si primero se coagula el agua residual, se instala contiguo a las cubas clarificadoras. En contraste con éstas, que son relativamente insensibles a los cambios de alimentación del agua residual y a la temperatura de ésta, el equipo de



LEYENDA

- 1 ALIMENTACION DE AGUA RESIDUAL
- 2 TABIQUE SUMERGIDO
- 3 TUBO DE SALIDA DE GRASAS
- 4 RECIPIENTE DE GRASAS
- 5 TUBERIA DE EXPULSION DEL AGUA

Figura 11. Planta de una caja de retención de grasas

clarificación puede averiarse si se producen cambios aunque sean relativamente pequeños en la temperatura del efluente.

Los datos fundamentales para efectuar los cálculos hidráulicos y tecnológicos de las cubas clarificadoras de todas clases son: la calidad del agua residual, la densidad del agua y del fango, y la cinética de sedimentación de las impurezas insolubles.

La composición y cantidad del agua residual industrial suelen ser muy variables, por el desigual uso que se hace del agua en el proceso de producción. Esa variabilidad complica mucho el diseño de un sistema de alcantarillado para la eliminación de los residuos industriales, y sobre todo el funcionamiento de las instalaciones depuradoras. Las grandes variaciones en la descarga de agua residual perturban el funcionamiento normal de las cubas clarificadoras y de los filtros, y los cambios de contenido del agua residual estorban la actuación normal del equipo neutralizador y oxidante. Por ello es necesario casi siempre homogeneizar el contenido del agua residual, lo que se realiza, ora mezclando aguas residuales de distintos contenidos, ora introduciendo diversos reactivos en el agua residual. En el primer caso se utiliza equipo de homogeneización, y en el segundo se recurre a un aparato mezclador.

Para homogeneizar la concentración de aguas residuales se utilizan lagos naturales, o bien lagos artificiales pequeños, y tanques especiales de homogeneización. Pese al volumen relativamente grande de éstos últimos, el efecto homogeneizador obtenido no suele ser grande, por depender del régimen de paso del agua, de los cambios de temperatura, del viento, etc.

El equipo mezclador consta casi siempre de unas piletas estrechas, con tabiques perforados, o mezcladoras mecánicas. Estas últimas son bastante más eficaces debido a una caída de presión mucho menor en el caudal principal del agua residual. Además, son eficaces incluso cuando la descarga es desigual. En algunos aspectos son ventajosas cuando debe introducirse después un reactivo en el agua residual.

#### *Métodos químicos para la depuración de aguas residuales*

Los métodos químicos más importantes para la depuración de aguas residuales son la coagulación, la neutralización y la clorización (que puede también considerarse como procedimiento depurador de tipo biológico).

En el proceso de coagulación se depositan las sustancias suspendidas y coloidales que no quedaron separadas por sedimentación normal. Para ello se añaden al agua residual (antes de introducir ésta en la cuba clarificadora) ciertos reactivos (sulfato de aluminio, sulfato ferroso, cloruro férrico, y a veces mezclas de estas sustancias).

La neutralización es indispensable en el tratamiento de aguas residuales que contengan gran cantidad de ácidos y bases, en caso de no tolerarse su expulsión a la red de alcantarillado o las aguas libres. He aquí algunos de los procedimientos de neutralización:

- a) Mezcla directa de aguas residuales ácidas y básicas, antes de ser descargadas a la red de alcantarillado.
- b) Mezcla del agua residual ácida con agua del alcantarillado que contenga bases.
- c) Adición de un reactivo neutralizante (cal).

El agua residual ácida abunda más que la alcalina. Las aguas residuales de alto contenido ácido son nocivas para los seres vivos, las aguas libres y para el equipo depurador. El agua residual de las industrias contiene: ácidos fuertes (clorhídrico y

nítrico) cuyas sales cálcicas se disuelven fácilmente en el agua; ácidos fuertes (sulfúrico) cuyas sales cálcicas se disuelven mal en el agua; y ácidos débiles (acético).

La neutralización de los ácidos fuertes cuyas sales cálcicas sean poco solubles es sumamente complicada, por la gran cantidad de fango resultante. Este fango, además de requerir una instalación clarificadora, retarda el proceso de neutralización porque se acumula en la superficie de la sustancia que se quiere neutralizar. La neutralización de los ácidos cuyas sales cálcicas se disuelven fácilmente es relativamente fácil.

#### *Métodos físico-químicos de depuración de aguas residuales*

Los métodos físico-químicos para la depuración de aguas residuales son: la extracción, la adsorción y la flotación.

La extracción se basa en la diferencia de solubilidad del contaminante en dos líquidos no miscibles que se pongan en íntimo contacto. Los disolventes orgánicos que no se mezclan con el agua (benceno, aceite mineral, tetracloruro de carbono, etc.) son los que más se utilizan como agentes extractores. La extracción se efectúa en tanques metálicos de columna. Desde abajo se añade para que ascienda a la superficie un disolvente cuyo peso específico sea menor que el del agua. El agua residual se introduce por arriba y desciende al fondo, donde es expulsada. En su descenso, el agua entra en contacto con el disolvente y es gradualmente liberada del contaminante. Hoy día, el procedimiento de la extracción se emplea casi siempre para eliminar el fenol, sobre todo en la República Federal de Alemania.

Muchos desechos industriales contienen sustancias orgánicas poco concentradas y es difícil o imposible eliminar esas sustancias por tratamiento biológico normal. Ejemplos de ello son los detergentes y algunos compuestos orgánicos heterocíclicos. Con frecuencia se puede eliminar estos materiales por adsorción en una superficie activa sólida. Los adsorbentes que más se usan son el carbono activado y la sílice gelatinosa. Hay dos maneras principales de aplicar el tratamiento adsorbente: mezclar el agua residual a una cierta dosis del adsorbente, con sedimentación adicional (adsorción estática); o filtrar el agua residual a través de la capa de un adsorbente (adsorción dinámica).

El procedimiento de la flotación se emplea para eliminar sólidos del agua residual. Esta es saturada con aire comprimido. Cuando la mezcla aerolíquida a presión pasa al elemento de flotación (que está a la presión atmosférica), se desprenden de la solución diminutas burbujas de aire, que se unen a las partículas flocculentas y hacen subir a éstas a la superficie, donde forman una capa que se elimina. El líquido clarificado se extrae del fondo del elemento de flotación, y una porción del efluente puede recircular a la cámara de presión.

#### *Métodos biológicos para la depuración de aguas residuales*

Biológicamente el agua puede purificarse por dos procedimientos: el anaerobio y el aerobio. La descomposición anaeróbica (que se produce en ausencia del oxígeno) entraña la descomposición de los desechos orgánicos por la acción de organismos contingentes y anaerobios que los transforman en ácidos orgánicos, con subsiguiente descomposición de estos ácidos en metano y anhídrido carbónico. Los organismos del metano son estrictamente anaerobios. La descomposición aeróbica (que tiene lugar en presencia del oxígeno) es producida por toda una serie de micro y macroorganismos, mientras que en el proceso de la autodepuración anaerobia intervienen casi exclusivamente bacterias.

El agua residual de muchas instalaciones industriales contiene gran cantidad de sustancias orgánicas, cuyas concentraciones pueden rebasar hasta en el décuplo las que se dan en el agua residual doméstica. Sólo la depuración biológica es capaz de eliminar por completo esas sustancias orgánicas. Los procesos bioquímicos de la depuración de aguas residuales de la industria son los mismos que en la depuración de aguas residuales domésticas, pero sus tasas suelen ser más bajas, sobre todo si el agua residual de la industria contiene sustancias tóxicas para el proceso biológico.

Los factores fundamentales que influyen en la depuración biológica son:

- a) Susceptibilidad de la materia orgánica a la descomposición por microorganismos.
- b) Concentración del contaminante.
- c) Presencia de sustancias concentradas que puedan surtir efectos tóxicos en los microorganismos.
- d) Presencia de la materia nutricia necesaria (nitrógeno, fósforo, potasio).
- e) Reacción activa (pH) del agua residual.

Los microorganismos descomponen bioquímicamente la mayoría de los compuestos orgánicos, con algunas excepciones como ciertos compuestos orgánicos del cloro. La actividad biológica de los microorganismos depende de la concentración de materia orgánica en el agua residual. Para cada compuesto existe una concentración óptima, por encima de la cual se debilita y termina por extinguirse la actividad biológica de los microorganismos. Muchas aguas residuales de la industria contienen compuestos que son tóxicos para los microorganismos. Por ejemplo, con una concentración de cobre de 0,1 mg/l, el proceso bioquímico no se altera a la concentración de 0,5 mg/l, los procesos de descomposición se retrasan considerablemente, y se detienen a los 10 mg/l. Los cianuros afectan a la oxidación del amoníaco en nitratos, ya cuando la concentración de aquéllos es sólo de 0,5 mg/l.

Los dos procesos principales en la depuración biológica de las aguas residuales (y a veces cabe combinar ventajosamente ambos) son: el tratamiento con filtros de percolación y el tratamiento con fango activado. Ambos métodos requieren oxígeno.

En los filtros de percolación, el aire asciende libremente a través del medio filtrante desde la base, como resultado de la diferencia de temperaturas naturales, interna y externa. Esa diferencia la acentúa la propia actividad bacteriana. El líquido que se haya de tratar se extiende por igual sobre la superficie del medio filtrante, mediante distribuidores rotativos. En su descenso a través del medio filtrante se forma una película biológica donde prosperan los organismos esenciales para el proceso. Dicha película fomenta además el crecimiento de gusanos, larvas y otros seres vivos que de ella se nutren, impidiendo así que obstruyan los intersticios del medio filtrante. Debido a esa actividad, parte de la película se rompe y es expulsada con el efluente como humus o materia en suspensión fina.

El proceso del fango activado depende de la aireación mecánica del efluente, en un depósito adecuado. En una de las modalidades de este procedimiento, se inyecta aire comprimido en el líquido, mediante difusores porosos; en otra, la superficie líquida es agitada violentamente por energía eléctrica, para que absorba el oxígeno atmosférico. El fango que sale con el efluente es recogido e introducido de nuevo en el tanque de aireación. Esta mezcla de fango activo y efluente en presencia de oxígeno, oxida la materia orgánica. Algunos efluentes no forman fácilmente un fango activo y pueden requerir una "siembra" de bacterias adecuadas. La red doméstica de

alcantarillado contribuye mucho a formar fango, pero no se suele disponer de cantidad suficiente.

El lodo de humus procedente de los filtros de percolar debe separarse antes de descargar el efluente en un río. El proceso se realiza en cubas clarificadoras parecidas a las que se utilizan en la sedimentación primaria. Después se suele obligar al lodo de humus a volver a los tanques de sedimentación primaria, donde se deposita junto con el lodo primario, que es mucho más basto.

En las instalaciones de fango activado, es preciso que las cubas de clarificación sean de un tipo que permita desenlodarlas continuamente. El fango se descompone con rapidez, y hay que apresurarse a eliminarlo de la cuba clarificadora mediante rasquetas mecánicas, que deben ser de diseño especial para que alcancen a todos los puntos del suelo. El exceso de fango activado que se forma durante el proceso debe eliminarse; casi siempre se devuelve al tanque primario.

Sea cual fuere el procedimiento de eliminación que se adopte, es preciso ante todo reducir el volumen de material, quitando tanta agua como sea posible. Lo más sencillo es hacer que el fango húmedo pase a lechos secadores, que son capas poco profundas de cenizas, bajo las cuales desagua el líquido procedente del fango. Este se seca y puede extraerse en volquetes. Casi siempre, este sistema requiere mucho espacio, por lo cual puede ser más económico eliminar el agua del fango mecánicamente, mediante filtros de presión o de vacío continuo.

Estos procedimientos pueden emplearse también combinados con la digestión anaerobia. En este proceso, se deja que el fango permanezca varios días en un tanque adecuado, donde fermenta en circunstancias apropiadas. Ello reduce considerablemente el volumen del fango, que pierde su naturaleza ofensiva y resulta mucho más fácil de manejar.

Tal proceso de "digestión" libera gases con gran proporción de metano. Si la escala de la fábrica justifica el gasto de capital, pueden recogerse esos gases y dedicarse a la producción de energía.

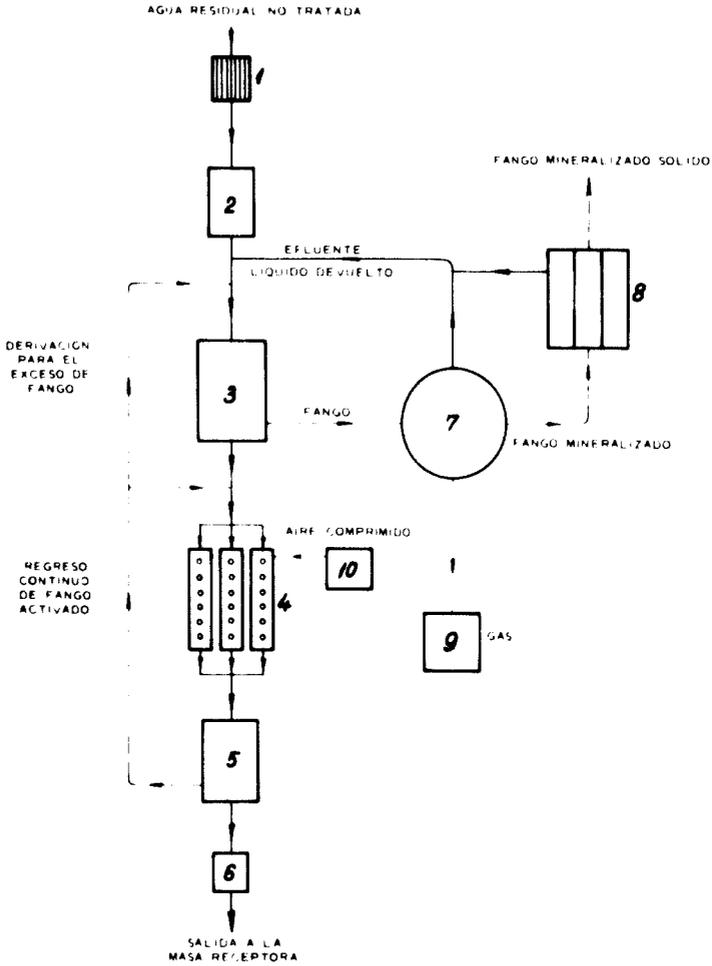
Las figuras 12 y 13 son esquemas de los procesos mencionados de purificación biológica de las aguas residuales.

#### *Desinfección de aguas residuales: cloración*

Aunque aproximadamente el 95% de las bacterias del agua residual son destruidas por la depuración biológica, sólo la desinfección es capaz de acabar con todas. El procedimiento desinfectante más corriente es la cloración, pero a veces se emplean las electrólisis, los rayos ultravioleta, etc.

Las dosis de cloro expresadas en gramos de cloro por  $m^3$  de agua residual—dependen de las circunstancias locales, del procedimiento de depuración de aguas residuales, y de la masa de agua a la que se descargan. Puede clasificarse así: para aguas residuales depuradas mecánicamente,  $25 \text{ g/m}^3$ ; para aguas residuales no completamente depuradas en los tanques de aireación y filtros de percolar, de  $10$  a  $15 \text{ g/m}^3$ ; y para las aguas residuales completamente depuradas en los tanques de aireación y filtros de percolar, de  $5$  a  $10 \text{ g/m}^3$ .

Una instalación de cloración que utilice cal clorada se compone de un elemento donde se prepara la solución de la cal clorada, accesorios, mezcladora y un recipiente de contacto. La solución, concentrada del 10 al 15%, pasa al tanque de dosificación, donde es diluida al 2 ó 3%. Después se envía al reactor de sedimentación donde además de actuar como desinfectante, favorece la coagulación y la sedimentación complementaria.



## LEYENDA

- |                                      |                              |
|--------------------------------------|------------------------------|
| 1 TAMIZ                              | 6 DESINFECCION POR CLORACION |
| 2 ELIMINACION DE GRASAS              | 7 DIGESTOR                   |
| 3 TANQUE DE SEDIMENTACION PRIMARIA   | 8 LECHOS DE SECADO           |
| 4 TANQUE DE AIREACION                | 9 CENTRAL DE ENERGIA         |
| 5 TANQUE DE SEDIMENTACION SECUNDARIA | 10 SOPLANTE DE AIRE          |

Figura 12. Instalación de fango activado para tratamiento de aguas residuales de la industria cárnica



## **AHORRO DE AGUA EN LAS INDUSTRIAS**

Buen ejemplo de la conservación industrial del agua es el sistema de refrigeración cerrado (de recirculación) ya estudiado. Este sistema se está convirtiendo en el único económico en regiones industriales donde no abunda el agua. Los costos de construcción, funcionamiento y mantenimiento de este tipo de sistema son ventajosos frente a los que supondría la busca de nuevas fuentes de agua bruta.

### **Utilización escalonada del agua**

Cuando el agua escasea, o cuando su tratamiento es muy caro, puede utilizarse la misma agua en varias operaciones tecnológicas, si el grado de contaminación en la operación anterior es menor que en la siguiente (utilización escalonada del agua). Así, el agua pura o depurada se emplea primero en aquellos procesos que no la contaminan, o sólo ligeramente, después en aquellos que la contaminan algo más, y así sucesivamente hasta llegar a la máxima contaminación en el proceso de la producción.

La figura 14 muestra un esquema general de utilización escalonada del agua en la industria de elaboración de alimentos.

### **Reutilización del agua**

Dadas las estrictas normas que se aplican a la contaminación del agua, y dado también el creciente consumo de agua dulce, tiene cada vez más importancia eliminar las aguas contaminadas. La completa recirculación del agua contaminada puede al principio parecer un objetivo inasequible, y hasta superfluo, pero en estos últimos tiempos viene preocupando a los expertos en tecnología hidráulica.

Cuando resulta evidente que la recirculación de aguas ya utilizadas puede ser menos cara que transportar agua desde la toma de aguas brutas, la industria aprovechará forzosamente las posibilidades que ofrece el funcionamiento en ciclo cerrado. Algunas acerías, refinerías, y centrales eléctricas, así como varias fábricas de elaboración de alimentos que funcionan todo el año, han conseguido, en efecto, ciclos cerrados perfectos.

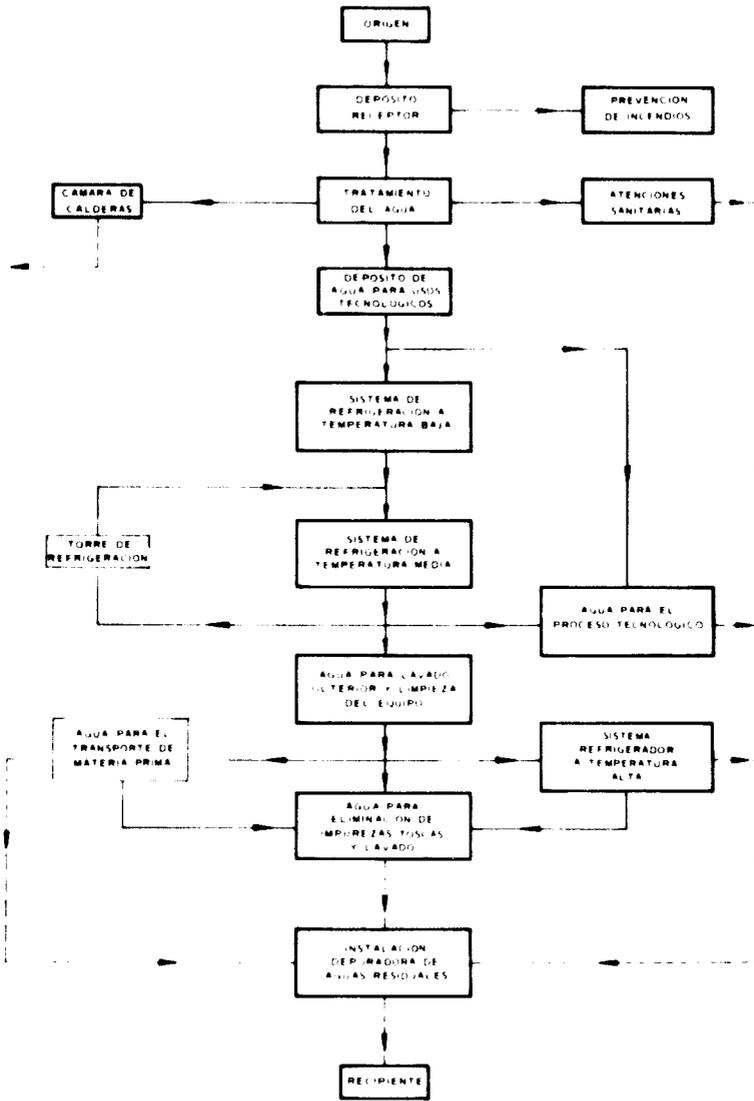


Figura 14. Utilización escalonada del agua en la industria de elaboración de alimentos

Cada vez es más frecuente volver a utilizar el agua después de haberla depurado lo suficiente para satisfacer los requisitos de calidad de un determinado proceso. La decisión de utilizar ese sistema depende de varios factores:

- a) Costo del agua desde el origen; ello incluye los costos de transporte y los de purificación.
- b) Gastos compensatorios debidos a la contaminación del curso de agua que recibe las aguas residuales descargadas; ese curso debe ser tratado por los usuarios ulteriores.
- c) Pérdida de materiales valiosos del proceso de producción que se desechan como agua residual.
- d) Normas de calidad del agua residual impuestas por las autoridades locales y que muy a menudo son más severas que las aplicables a los usos industriales.

### **Consideraciones de costo en el funcionamiento de instalaciones depuradoras de agua**

Un factor importante al elegir la ubicación óptima de una fábrica es la posibilidad de asegurarse el suministro más económico de agua de la mejor calidad, así como el medio más barato de descargar las aguas residuales en masas de agua adecuadas. Es importante saber qué concentración de materiales de desecho permitirán las autoridades descargar en el curso de agua receptor.

Los costos de tratamiento del agua varían mucho y dependen de la calidad del agua de origen y de la calidad requerida para un determinado tipo de producción. Asimismo, los costos del tratamiento de aguas residuales dependen del grado de contaminación y de las normas de pureza obligatorias para la descarga de aguas residuales en una vena líquida. Esos costos varían según las industrias, y hasta para un mismo tipo de producción cuando cambian las circunstancias locales. Hay que elegir el sistema depurador más económico, pero sin perder de vista las posibilidades de futura ampliación, que entrañará una mayor demanda de agua y mayores cantidades de agua residual contaminada.

Cuando la industria empieza a desarrollarse en regiones donde el agua abunda, se cumplen sólo las normas mínimas de calidad al descargar aguas residuales en las masas receptoras. A medida que la industria se desarrolla, empieza a escasear el agua, antes abundante, y empeora la calidad de la que se extrae de la vena líquida. Hay que tener esto presente al considerar el aspecto económico de la utilización del agua.

Dados los costos de inversión relativamente altos que llevan consigo las instalaciones depuradoras de agua, es necesario calcular si será más provechoso tomar más cerca agua de peor calidad e instalar una central depuradora de agua, o acarrear agua de mejor calidad desde más lejos. Consideraciones análogas se aplican a la depuración de las aguas residuales y a la expulsión de éstas a la masa receptora.

## BIBLIOGRAFIA

- GURNHAM, C.F. (1965) *Industrial Waste Water Control* (Control de las aguas residuales de la industria), Nueva York.
- KOLOSKOV, P. y F. KOMAROV (1967) *Podgotovka vodi dlja piščevoj promišljenosti* (Tratamiento del agua destinada a la industria de elaboración de alimentos), Moscú.
- KUJSKI, L.A. (1963) *Osnovi tehnologii kondicirovania vodi* (Principios del tratamiento del agua, Tecnología), Kiev.
- RANDOLF, R. (1965) *Kanalisation und Abwasserbehandlung* (Canalización y tratamiento de aguas residuales), Berlín.
- SCHMIDT, O. (1952) *Eignung von Speisewasser-Aufbereitungsanlagen im Dampfkesselbetrieb* (Requisitos de las instalaciones de tratamiento de agua para alimentación de calderas de vapor), Düsseldorf.
- SKROB, P.A. y M. VIHEREV (1966) *Vodopodgotovka* (Tratamiento del agua), Moscú.

## ESTUDIOS "INDUSTRIA ALIMENTARIA"

*de la Organización de las Naciones Unidas  
para el Desarrollo Industrial*

- ID/SER.I/1      Uso de evaporadores de modelo "centri-therm", de corriente expansiva y de circulación forzada, en las industrias alimentarias y bioquímicas  
*por Bengt Halström, Alfa-Laval AB, Suecia*
- ID/SER.I/2      Industrialización de agrios  
*por Zeki Berk, Technion, Israel*
- ID/SER.I/3      Técnicas para el ahorro de agua en las fábricas de elaboración de alimentos  
*por Lavoslav Richter, Instituto de Técnicas de Elaboración, de Zagreb (Yugoslavia)*
- ID/SER.I/4      Métodos modernos de esterilización de la leche  
*por Sune Holm, Alfa-Laval AB, Suecia*
- ID/SER.I/5      Envasado y materiales de envasado, con especial referencia al envasado de alimentos  
*por Anton Petrišić, del Instituto de Técnicas de Elaboración, de Zagreb (Yugoslavia)*

#### HOW TO OBTAIN UNITED NATIONS PUBLICATIONS

United Nations publications may be obtained from bookstores and distributors throughout the world. Consult your bookstore or write to: United Nations, Sales Section, New York or Geneva.

#### COMMENT SE PROCURER LES PUBLICATIONS DES NATIONS UNIES

Les publications des Nations Unies sont en vente dans les librairies et les agences dépositaires du monde entier. Informez-vous auprès de votre librairie ou adressez-vous à: Nations Unies, Section des ventes, New York ou Genève.

#### COMO CONSEGUIR PUBLICACIONES DE LAS NACIONES UNIDAS

Las publicaciones de las Naciones Unidas están en venta en librerías y casas distribuidoras en todas partes del mundo. Consulte a su librero o diríjase a: Naciones Unidas, Sección de Ventas, Nueva York o Ginebra.

Printed in Austria

Price: \$U.S. 1,00  
(or equivalent in other currencies)

United Nations publication

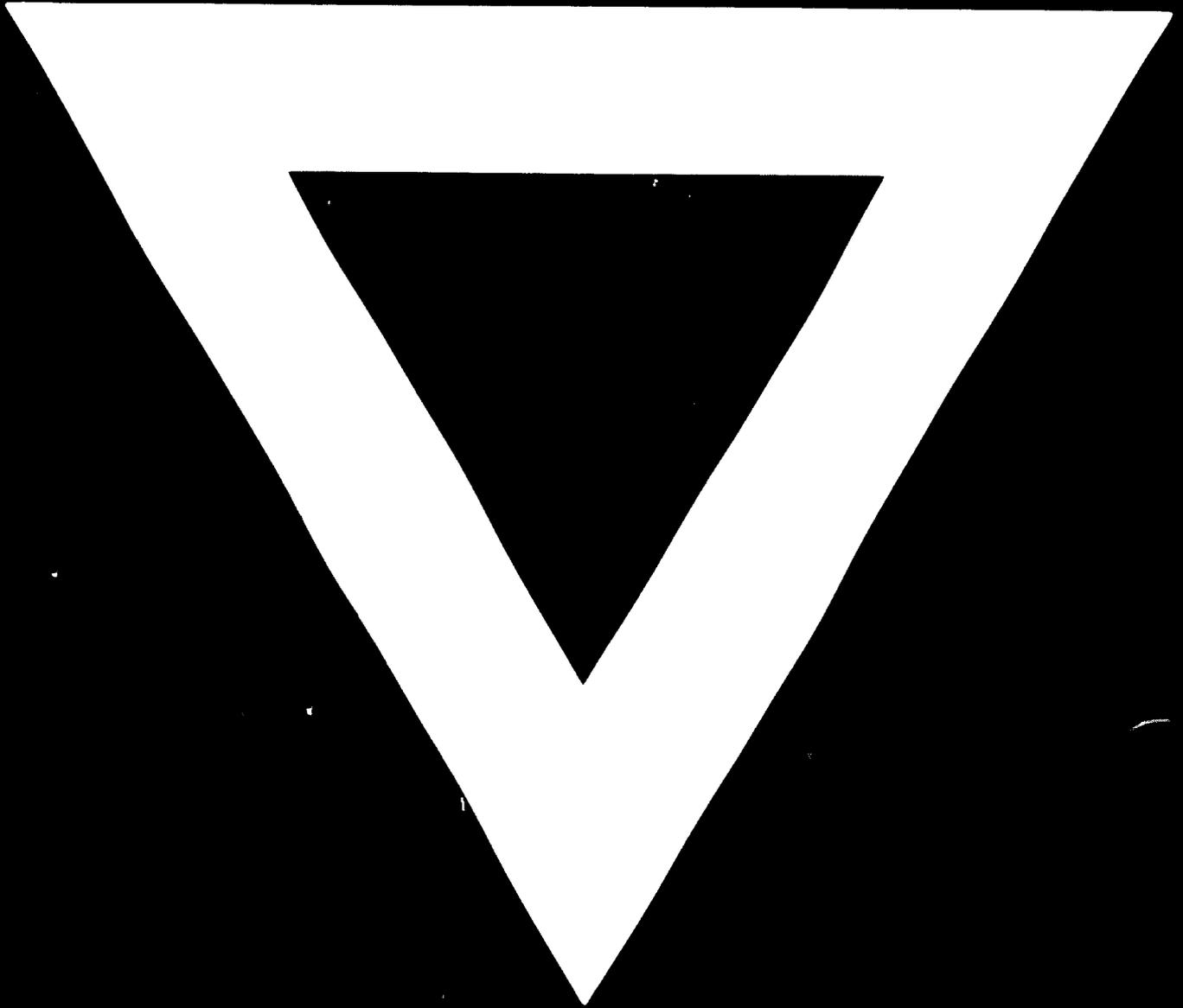
69-473—August 1970—1,100

Sales No.: S.69.II.B.16

**ID/SER.I/3**

H

T051



92

11

20

AD

94

05

CAL

840