



Universidad
Politécnica
de Cartagena

GRADO EN INGENIERÍA CIVIL

Abastecimiento de aguas

TEMA 3 Características físicoquímicas del agua

**Francisco Javier
Pérez de la Cruz**

**Mario Andrés
Urrea Mallebrera**



ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN

2. PARÁMETROS FÍSICOS

Sabor y olor

Color

Turbidez

Conductividad y resistividad

3. PARÁMETROS QUÍMICOS

pH (potencial de hidrógeno)

Dureza

Alcalinidad

Aniones y cationes

Otros parámetros químicos

4. PARÁMETROS ORGÁNICOS Y BIOLÓGICOS

5. PARÁMETROS BACTERIOLÓGICOS

6. BALANCE IÓNICO

7. ÍNDICES DE ESTABILIDAD

Índice de Langelier

Método simplificado pH_{sat}

Método estándar SM2330

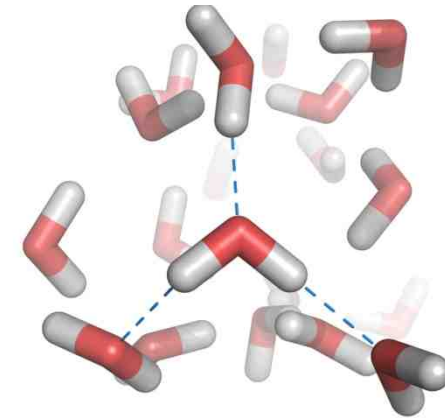
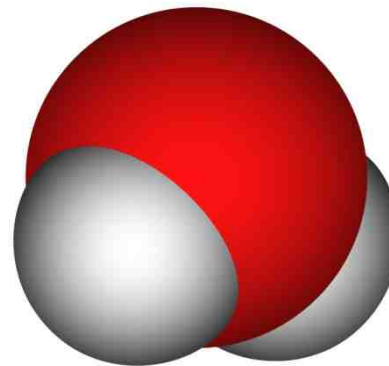
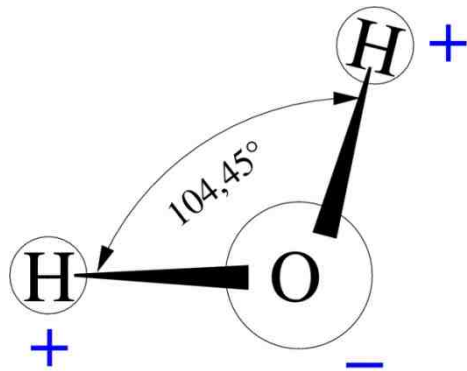
4. EJERCICIOS

5. BIBLIOGRAFÍA



1. INTRODUCCIÓN

La molécula de agua está formada por dos átomos de hidrógeno unidos a un átomo de oxígeno con un ángulo de $104,45^\circ$ presentando, por tanto, una forma asimétrica y dipolar (por la irregular distribución de las cargas eléctricas). Esto produce que las moléculas de agua se atraigan fuertemente, adhiriéndose por donde son opuestas las cargas (enlace de hidrógeno)



A la hora de realizar y controlar los diferentes procesos de tratamiento de aguas, se deben tener en cuenta diferentes parámetros que podremos clasificar en físicos, químicos, orgánicos, biológicos y bacteriológicos.



2. PARÁMETROS FÍSICOS

Sabor y olor

Parámetros indicativos de la calidad estética del agua.

Se determinan mediante valoraciones organolépticas de tipo subjetivo.

En la evaluación de la calidad del agua potable, las sensaciones de sabor y olor son complementarias:

- En general, el sentido del gusto es más útil para detectar constituyentes inorgánicos.
- El sentido del olfato es más útil para detectar componentes orgánicos.

Equipo – Catas con especialistas.

Unidad de medida – Índice de dilución a temperatura normalizada.





EJEMPLO

EVALUACIÓN DEL SABOR DEL AGUA



ESCUELA ESPAÑOLA DE CATA

VINOS | CAVAS | JEREZ | CERVEZAS | DESTILADOS | WHISKYS | JAMONES | QUESOS | ACEITES | CAFÉS | AGUAS | PAN |
Aula de Cata: C/ Alcalá, 142, 1º - planta. 28009 / MADRID - Tel/fax: 91 402 67 04 / 645 82 92 99
www.escueladecata.com



CURSOS 2009/2010

CURSO DE CATA DE AGUAS

¿Sabía usted que En España se comercializan 135 marcas de agua embotellada?. Pueden parecer muchas, pero son sólo la mitad de las que se venden en países como Alemania o Italia. El consumo del agua, de una buena agua, es fundamental en una dieta equilibrada y sana, es el elemento esencial. Y por ello, cada vez el consumo de agua es mayor, y sin embargo, nadie es capaz de fabricar este bien preciado y cada vez más escaso como la madre naturaleza. **!!Conozca sus diferentes tipos, estilos y clases!!**

Tipo: Intensivo-Presencial | **Duración:** 03 horas | **Plazas:** Máximo 20 |

Dirigido a: Aficionados en general y profesionales de la restauración.

Metodología: Curso fundamentalmente práctico. Previa de lectura de Manual de Cata de AGUA en PDF enviado vía e-mail.

Horario: Ver programación en website.

Requisitos: Ninguno.

Docentes especialistas: La E.E.C. y su staff de docentes especialistas con la colaboración de destacados profesionales del sector.

Productos a catar: DIEZ AGUAS 07 sin gas y 03 con gas carbónico.

Programa: Conocimiento básicos sobre el ciclo del agua. El agua puede ser: Mineral natural (brota del manantial de forma natural), Agua de manantial (de menor quieza mineral) y Agua potable. Cata de las siguientes aguas:

Aguas Sin Gas:

- » Aquarel
- » Viladrau
- » Agua de Lanjarón
- » Evian
- » Font Vella
- » Solan de Cabras
- » Fontdor

Aguas con Gas Carbónico:

- » Agua del Rosal
- » Monte Pinos
- » Vichy Catalán.



En cuanto al sabor del agua, la ausencia de este no proporciona garantía de que esté libre de gérmenes patógenos o de algunas sustancias químicas inorgánicas tóxicas.

Los problemas de sabor en los sistemas de abastecimiento de agua potable son los que representan el mayor número de quejas de los consumidores.

En cuanto al olor del agua, este se debe predominantemente a la presencia de sustancias orgánicas o de tipo industrial.

El olor en el agua tratada casi invariablemente está indicando alguna forma de contaminación en la fuente de agua o deficiencias en el sistema de tratamiento o distribución.

La proliferación de organismos en los sistemas de distribución (como las bacterias del hierro y del azufre o los actinomicetos) pueden ser causa de olores desagradables.

Los métodos de purificación del agua pueden convertir algunas sustancias con olores débiles (aminas, fenoles) en sustancias con un olor intenso (cloraminas, clorofenoles).



ABASTECIMIENTO DE AGUAS



Tema 3. Características fisicoquímicas del agua

En un abastecimiento público de aguas, los cambios a corto plazo en el sabor pueden indicar:

- 1) Cambios en la calidad de la fuente de agua natural



- 2) Deficiencias en el método de tratamiento
- 3) Corrosión química, crecimientos biológicos o depósitos minerales en las conducciones.





Color

Es la capacidad de absorber ciertas radiaciones del espectro visible.

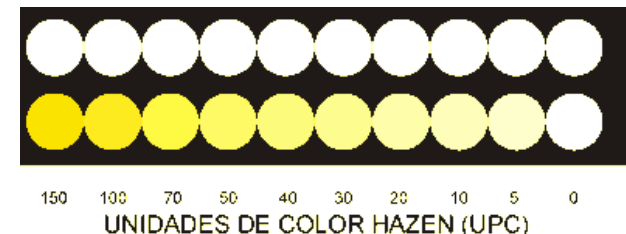
Es una indicación directa de la posible contaminación (natural o no) del agua, que afecta a la calidad estética de la misma.

El color del agua potable puede deberse a la presencia de:

- 1) Sustancias orgánicas coloreadas, por lo general, húmicas (es decir, provenientes del humus, sustancia producida por la descomposición de restos orgánicos)
- 2) Residuos industriales (textil y papel, sobre todo)
- 3) Metales (como el hierro y el manganeso)

Equipo – Colorímetros que utilizan comparaciones con patrones de color a base de platino y cobalto (*Escala de Hazen, 1892*).

Unidad de medida – Unidades de platino - cobalto (unidades Hazen)





EJEMPLO

RÍO TINTO

(Huelva)



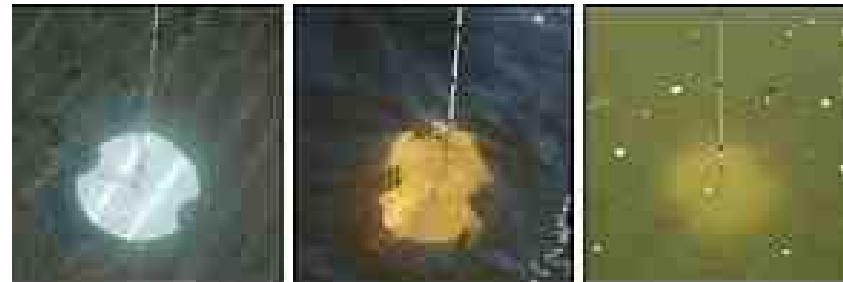
El río Tinto presenta una característica coloración rojiza por su alto contenido en metales pesados (hierro, cobre, manganeso)



Turbidez

Es la dificultad del agua para transmitir la luz debido a materiales insolubles en suspensión, coloidales o muy finos.

Equipo – Nefelómetro (o Turbidímetro) que mide la intensidad de la luz dispersada a 90° cuando un rayo de luz pasa a través de una muestra de agua. En lagos, ríos y mares la turbidez se mide con el disco Secchi.



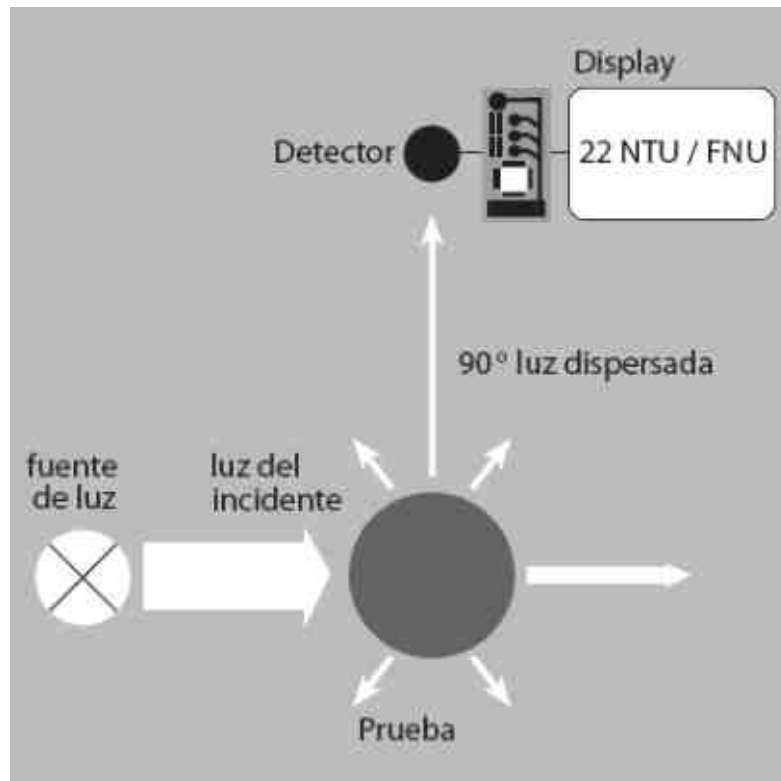
Unidad de medida:

- Unidad Nefelométrica de Turbidez (NTU) que es idéntica a la Unidad de Turbidez de la Formazina (FTU).
- Unidad de Turbidez de Jackson (JTU), obtenida con el turbidímetro de vela de Jackson
- Unidad de Silicio (mg/l SiO_2).



EJEMPLO

NEFELÓMETROS (O TURBIDÍMETROS)



Esquema de funcionamiento



Nefelómetro (Kosán, Corea del Sur)



La turbidez del agua se debe a la presencia de materia en suspensión, tales como arcillas, sedimentos, partículas orgánicas coloidales, plancton y otros organismos microscópicos.

La turbidez también produce olor y sabor, pudiendo tener un efecto significativo en la calidad microbiológica del agua potable.

Una turbidez excesiva puede:

- Proteger a los microorganismos de la acción de los desinfectantes
- Estimular el crecimiento de bacterias en el agua
- Ejercer una significativa demanda de cloro



Agua del Guadalquivir a su paso por Sanlúcar de Barrameda



Conductividad y resistividad

La conductividad es la medida de la capacidad del agua para conducir la electricidad y es un indicador de la materia ionizable total (aniones y cationes) presente en el agua. La resistividad es la medida recíproca de la conductividad.

Equipo – Conductímetro, basado en la medida eléctrica de la resistencia de paso de la electricidad entre las dos caras opuestas de un prisma rectangular, comparada con la de una solución patrón de KCl o NaCl



Unidad de medida – Microsiemens por cm ($\mu\text{siemens/cm}$) en el caso de la conductividad y en el caso de la resistividad megaohms por cm (Mohm/cm)



3. PARÁMETROS QUÍMICOS

pH (potencial de hidrógeno)

Medida de la concentración de iones hidrógeno. El químico danés *Sorensen* (1909) lo definió como $pH = -\log [H^+]$. En el caso del agua pura, el valor del pH es cercano a 7, pudiendo oscilar este valor entre 0 (ácido) y 14 (alcalino o básico).

Es una indicación directa de la posible contaminación (natural o no) del agua

Equipo – Potenciómetros (pHmetros) o indicadores (papel de Litmus, papel Tornasol)



Unidad de medida – El pH no tiene unidades y sus valores han de ser referidos a la temperatura de medición, pues varían con ella.



EJEMPLO

HORTENSIAS Y pH DEL SUELO



Dependiendo del pH del suelo la Hortensia (Hydrangea) puede poseer flores rosas o azules. En suelos ácidos ($\text{pH} < 7$) las flores son azules, mientras que en suelos alcalinos ($\text{pH} > 7$) son rosas



Dureza

Es un indicador la cantidad de sales disueltas de calcio y magnesio en el agua.

- La presencia de dichas sales (aguas duras) puede dar lugar a incrustaciones en conducciones y equipos.
- La escasez de estas sales (aguas blandas) puede dar lugar a aguas agresivas frente a determinados materiales de las conducciones.

Existen diversas formas de dureza:

- 1) Dureza total o título hidrotimétrico (TH) → Mide el contenido de iones Ca^{++} (dureza de calcio, *THCa*) y Mg^{++} (dureza de magnesio, *THMg*)
- 2) Dureza permanente (o no carbonatada) → Mide el contenido de iones Ca^{++} y Mg^{++} después de someter el agua a ebullición y recuperación del volumen inicial con agua destilada (poco exacto)
- 3) Dureza temporal (o carbonatada) → Mide la dureza asociada a iones HCO_3^- , eliminable por ebullición y es la diferencia entre la dureza total y la permanente.



ABASTECIMIENTO DE AGUAS

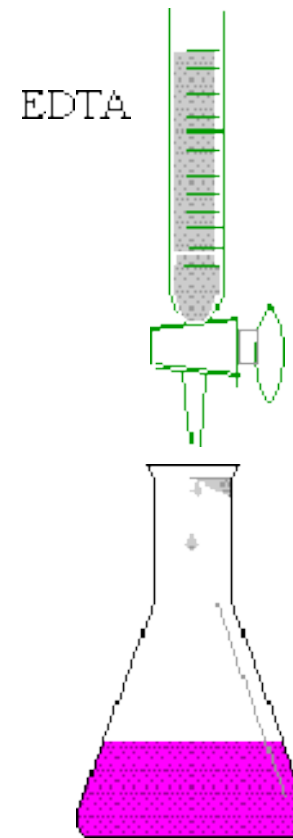


Tema 3. Características fisicoquímicas del agua

Equipos – Espectrofotómetro de absorción atómica o titulación con EDTA (sal disódica que permite valorar tanto la concentración de Ca como la de Mg)

Unidad de medida – Se mide en mg/l (\equiv ppm) de CaCO_3 o en grados hidrotimétricos (Alemán, Americano, Inglés, siendo el más común el Francés).

Para obtener el grado de dureza existen diferentes clasificaciones, siendo una de las más utilizadas la escala de Merck:



Tipo de agua	°F
Muy blanda	< 7.9
Blandas	8 - 14.9
Semiduras	15 - 32.9
Duras	33 - 54.9
Muy duras	> 55

$$1 \text{ } ^\circ\text{F} = 10 \text{ ppm de CaCO}_3 = 10 \text{ mg CaCO}_3 / \text{l} = 0,2 \text{ meq/l}$$



Alcalinidad

Mide la capacidad para neutralizar ácidos. Puede expresarse por:

- Título alcalimétrico o alcalinidad simple (TA o p) → ml de ácido sulfúrico N/50 necesarios para neutralizar 100 ml de agua con viraje a fenolftaleína (pH entre 8,2 y 9,8, pasando de incoloro a rosáceo)
- Título alcalimétrico completo o alcalinidad total (TAC o m) → ml de ácido sulfúrico N/50 necesarios para neutralizar 100 ml de agua con viraje al anaranjado de metilo (pH entre 3,1 y 4,4, pasando de rojo a naranja)

Determinando m y p se pueden obtener las concentraciones de ion carbonato (CO_3^{2-}), bicarbonato (CO_3H^-) e hidróxido (OH^-)

Equipos – Dispositivos de análisis de agua
(múltiples parámetros)

Kits de testado de alcalinidad

Unidad de medida – Igual que la dureza





Aniones y cationes

Aniones → Se engloban todos los iones negativos que pueden estar presentes en el agua.

Los más comunes son:

- *Cloruros* (Cl^-) → Las aguas dulces contienen entre 10 y 250 ppm
- *Sulfatos* (SO_4^{2-}) → Las aguas dulces contienen de 2 a 150 ppm
- *Bicarbonatos* (HCO_3^-)
- *Carbonatos* (CO_3^{2-})

También pueden aparecer en el agua, aunque en menor proporción los siguientes aniones:

- *Nitratos* (NO_3^-) (< 10 ppm)
- *Fosfatos* (PO_4^{3-}) (\approx 1 ppm)
- *Fluoruros* (F^-) (eventualmente)



Cationes → Se engloban todos los iones positivos que pueden estar presentes en el agua.

- Ca^{2+} → El ion calcio contribuye de forma decisiva en la dureza del agua. El agua dulce suele contener de 10 a 250 ppm.
- Mg^{2+} → El ion magnesio tiene propiedades muy similares al ion calcio, pero sus sales son más solubles y difíciles de precipitar. Las aguas dulces suelen contener entre 1 y 100 ppm.
- Na^+ → El ion sodio suele estar asociado al ion cloruro, con un contenido en aguas dulces entre 1 y 150 ppm.
- K^+ → Las aguas dulces no suelen contener más de 10 ppm, por lo que es un catión mucho menos significativo que el sodio.
- Fe → El ion hierro se puede presentar como ion ferroso (+2) o en la forma más oxidada del ion férrico (+3) pudiendo afectar a la potabilidad del agua y a la presencia de incrustaciones.
- Mn → El ion manganeso se comporta de forma similar al hierro



Otros parámetros químicos

Sólidos totales → Los sólidos totales presentes en el agua pueden obtenerse como suma de:

- 1) Sólidos disueltos (salinidad total) → Medida de la cantidad de materia disuelta en el agua determinada por evaporación de un volumen de agua previamente filtrada.
- 2) Sólidos en suspensión → Medida de los sólidos en suspensión que pueden ser retenidos por un filtro (0,45 μm)

Gases disueltos → Los más comunes son:

- *Dióxido de carbono* (CO_2) → Origina carbonato y bicarbonato. Su exceso hace el agua corrosiva.
- *Oxígeno* (O_2) → Su presencia es vital para las diferentes formas de vida y es el parámetro más importante en el control de la calidad de las aguas superficiales.
- *Ácido sulfhídrico* (SH_2) → Serios problemas de olores y corrosión.

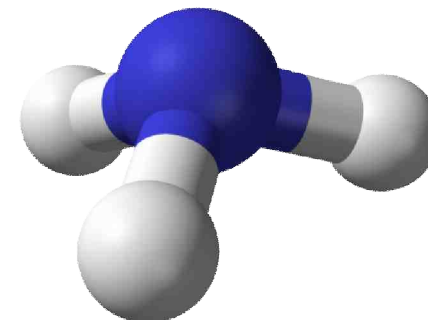
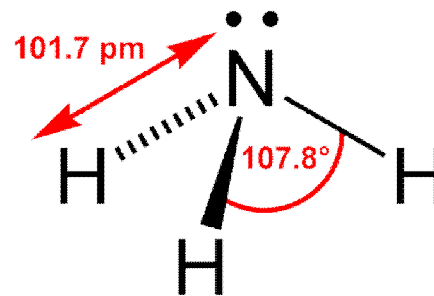


- *Amoniaco* (NH_3) → Es un indicador de la contaminación del agua y, en forma no iónica, es tóxico para los peces.

El amoniaco es un compuesto químico cuya molécula está formada por un átomo de nitrógeno y tres de hidrógeno (NH_3). El químico sueco Torbern Bergman dio este nombre al gas obtenido en los depósitos de sal cerca del templo de Amón, en Libia.

Puede provenir de la degradación incompleta de compuestos nitrogenados orgánicos, del arrastre de abonos en terrenos agrícolas o de la contaminación fecal.

Su presencia en el agua favorece el crecimiento microbiano y provoca un aumento de la demanda del desinfectante necesaria para su depuración.





ABASTECIMIENTO DE AGUAS

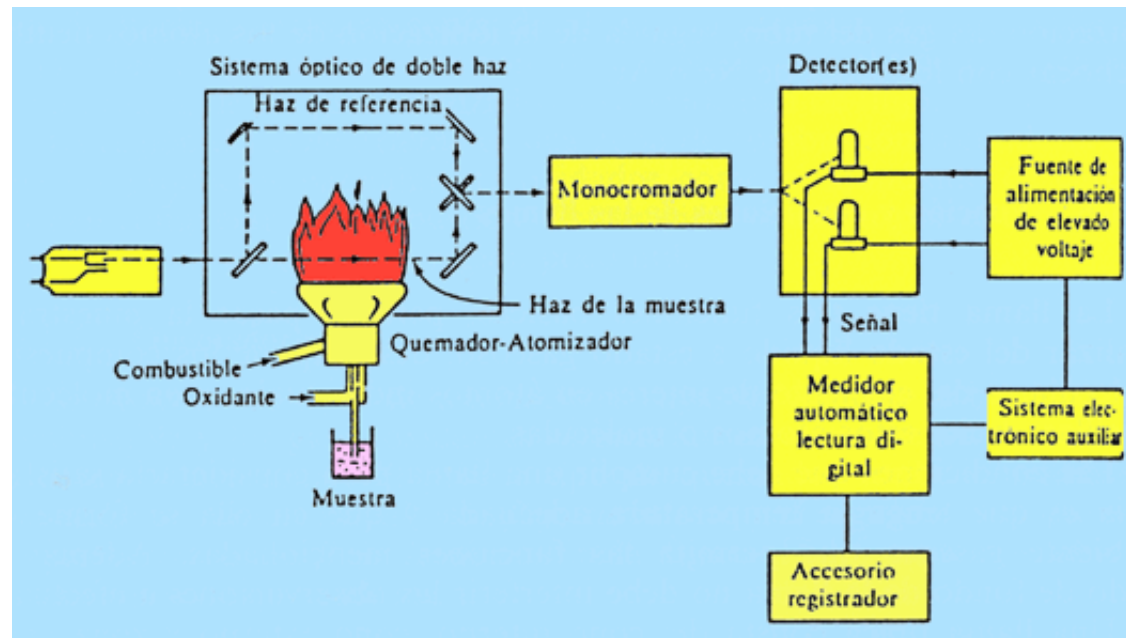


Tema 3. Características fisicoquímicas del agua

Metales tóxicos → Se suelen presentar trazas de arsénico, cadmio, plomo, cromo, bario, cinc, níquel, etc.

Todos ellos deben ser estrictamente controlados en el origen.

Equipos – Al igual que la dureza, se emplea el espectrofotómetro de absorción atómica



Esquema de una espectrofotometría de absorción atómica



4. PARÁMETROS ORGÁNICOS Y BIOLÓGICOS

Tanto la actividad natural como la humana contribuyen a la contaminación orgánica de las aguas:

- Actividad natural (descomposición de materia animal y vegetal) → Da lugar a ácidos y materias colorantes.
- Actividad humana (residuos domésticos, industriales, agrícolas...) → Produce detergentes, microorganismos, aceites, disolventes, herbicidas, pesticidas...



La concentración de estos compuestos orgánicos en el agua no es constante y obliga a ajustes permanentes en las plantas de tratamiento.

El uso de tratamientos biológicos para su eliminación implica el uso de parámetros de medida de la contaminación orgánica y biológica.



ABASTECIMIENTO DE AGUAS



Tema 3. Características fisicoquímicas del agua

Dentro de estos compuestos orgánicos destacan los nitratos, que son sales del ácido nítrico HNO_3 (está presente el ion NO_3^-).

El origen de su presencia en el agua es muy variado. La mayoría suele provenir de los residuos animales, aguas residuales urbanas y fertilizantes químicos.

Los adultos y niños mayores de 6 meses suelen eliminar sin problemas el exceso de nitrato ingerido.

Generalmente, los efectos del nitrato sobre la salud son consecuencia de su conversión en nitritos en el organismo (sales del ácido nitroso HNO_2) .





Demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) → Mide la cantidad de oxígeno (en ppm o mg/l) consumido en la eliminación de la materia orgánica del agua mediante procesos biológicos aerobios.

Condiciones → 5 días, 20° C y en la oscuridad

Es un indicador de la contaminación orgánica biodegradable de aguas residuales

Valores normales para aguas residuales domésticas → 300 – 400 mg/l

Demanda química de oxígeno (DQO) → Se define como la cantidad de oxidante químico (dicromato o permanganato) necesario para la oxidación de las materias oxidables contenidas en el agua, expresado en ppm (mg/l) de O_2 .

Para aguas urbanas se obtienen unos valores de 400 – 600 ppm (↑ industriales)

La relación entre valores de DBO_5 y DQO es un indicador de la biodegradabilidad de la materia contaminante

$DBO_5/DQO < 0,2$ → Vertido de tipo inorgánico

$DBO_5/DQO > 0,6$ → Vertido de tipo orgánico



Carbón orgánico total (TOC) → Medida del contenido en materia orgánica del agua, especialmente aplicable a pequeñas concentraciones.

El carbón orgánico se oxida a CO_2 en presencia de un catalizador y se mide en un analizador infrarrojo.

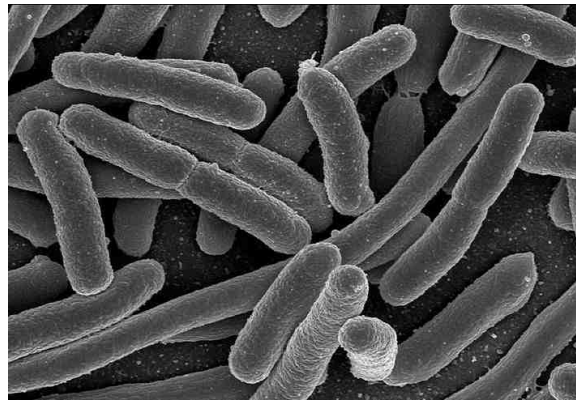
El creciente uso de este parámetro se debe a la rapidez de realización de los análisis.





5. PARÁMETROS BACTERIOLÓGICOS

La bacteria *Escherichia Coli* (y el grupo coliforme en su conjunto) son los organismos más comunes utilizados como indicadores de la contaminación fecal.



Los análisis bacteriológicos de aguas se realizan por el método de los tubos múltiples y se expresan en términos de “número más probable” (índice NMP) en 100 ml de agua. Las aguas con un NMP inferior a 1 son satisfactoriamente potables.

Existe una amplia gama de especies para la determinación de la toxicidad de un agua: bacterias (photobacterium, pseudomonas, etc.), algas (chlorella, dunaliella), invertebrados (crustáceos como la daphnia, artemia, etc.), peces...



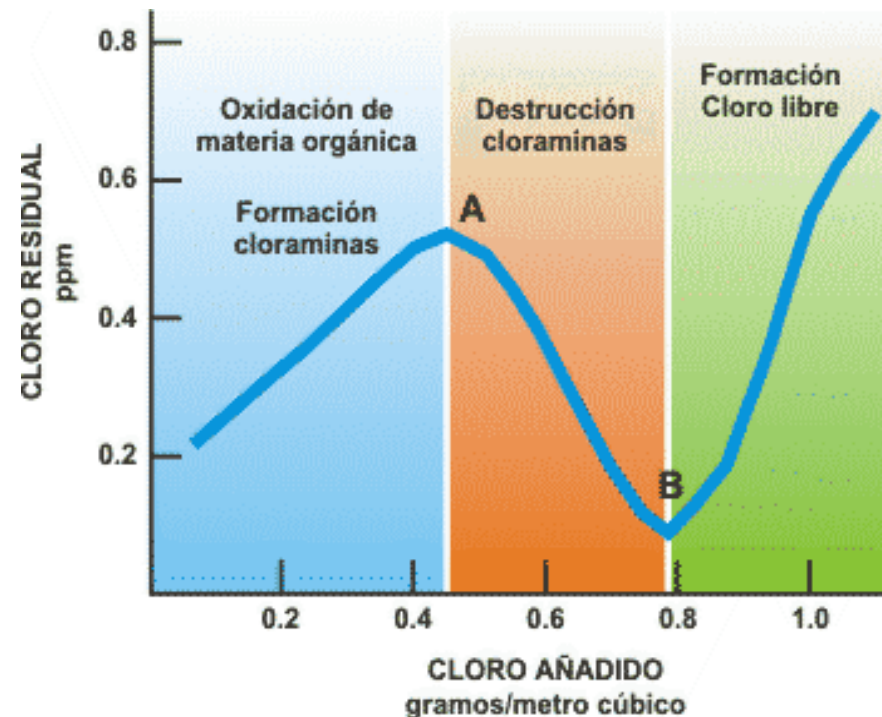
ABASTECIMIENTO DE AGUAS



Tema 3. Características fisicoquímicas del agua

Demanda de cloro (Break Point) → Es una medida del contenido en materia orgánica del agua obtenida al añadir cloro (se mide en ppm de Cl_2).

Inicialmente se forman compuestos de cloro con la materia orgánica, pero que se van destruyendo al aumentar la adición (a partir del punto A). El *breakpoint* o punto de ruptura (punto B) corresponde al inicio de la presencia de cloro libre.





6. BALANCE IÓNICO

El contenido de sales o iones en un análisis de aguas se expresa en ppm o mg/l (unidades equivalentes). También se puede expresar en miliequivalentes por litro (meq/l) definidos como el cociente entre la concentración del ión (en ppm) y su peso equivalente:

$$\text{meq/l} = [\text{i3n}] \text{ ppm} / \text{peso equivalente}$$
$$\text{Peso equivalente} = \text{Peso i3nico} / \text{Valencia}$$

Balance i3nico → Relaci3n entre el contenido en cationes y aniones determinados anal3ticamente en una muestra de agua. En cualquier an3lisis de agua se debe cumplir que la suma de los aniones (en meq/l) es igual a la de los cationes (tambi3n en meq/l). Por los errores anal3ticos se suele asumir un error del 10%:

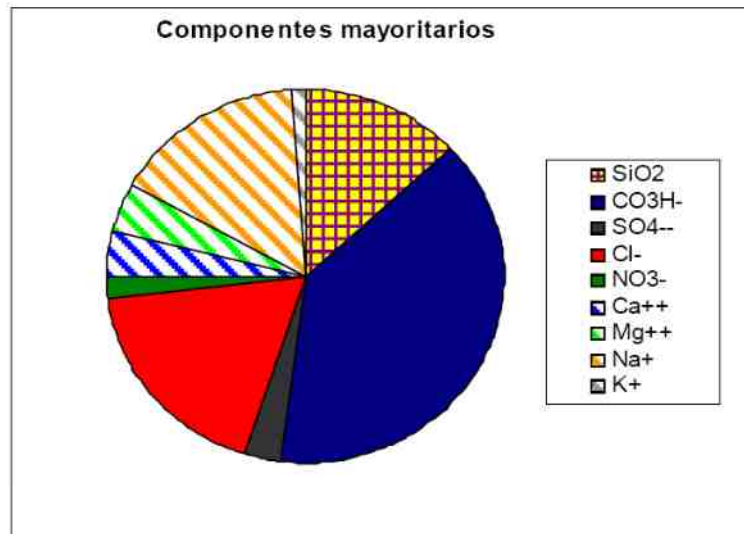
$$\sum [\text{aniones}] \text{ meq/l} = \sum [\text{cationes}] \text{ meq/l} \pm 10\%$$



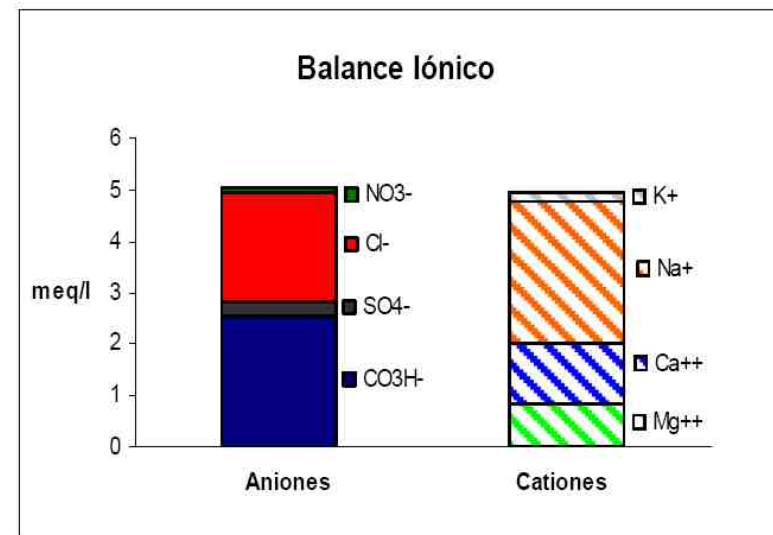
EJEMPLO

AGUAS DEL MANATIAL BRISAS DE ANAGA

(La Laguna, Tenerife)



Porcentajes (en 402 mg/l totales):
bicarbonato (38,46%), cloruro (18,88%),
sodio (15,82%), sílice (12,66%), calcio
(4,08%), magnesio (3,63%), sulfato
(3,08%), nitrato (1,79%), potasio (1,59%)



Concentraciones (en meq/l):
 $CO_3H^- = 2,53$; $Cl^- = 2,14$; $SO_4^{2-} = 0,26$;
 $NO_3^- = 0,12$; $Na^+ = 2,77$; $K^+ = 0,16$; Ca^{++}
 $= 0,82$; $Mg^{++} = 1,20$.

$$\sum \text{aniones} = 5,05. \quad \sum \text{cationes} = 4,95$$



7. ÍNDICES DE ESTABILIDAD DEL AGUA

Los índices de estabilidad del agua son indicadores que nos dan, con suficiente aproximación, la tendencia al depósito del carbonato cálcico o a su disolución, evaluando el estado de equilibrio del agua en relación con su carácter incrustante o agresivo.

De entre todos estos índices destacaremos el de Langelier (LSI) aunque existen otros a considerar (Ryznar, Puckorius, Larson-Skold, etc.)





Índice de Langelier

En el año 1930, el Dr. Wilfred F. Langelier realizó unos trabajos de investigación sobre la formación de incrustaciones en las tuberías de distribución del agua pública.

Como resultado de estas investigaciones, Langelier definió un índice que determinaba las características *incrustantes* (tendencia a depositar carbonato cálcico) o *agresivas* (tendencia a disolver el carbonato cálcico) del agua en función de la dureza, alcalinidad y pH, además de los sólidos disueltos totales y la temperatura.

El Índice de Langelier (o índice de saturación de Langelier) se define como la diferencia entre el pH medido del agua y el pH de saturación (pH_s) del carbonato cálcico:

$$I_{\text{Langelier}} = \text{pH}_{\text{real}} - \text{pH}_s$$

$I_{\text{Langelier}} < 0$ ($\text{pH}_{\text{real}} < \text{pH}_s$) → Agua agresiva

$I_{\text{Langelier}} > 0$ ($\text{pH}_{\text{real}} > \text{pH}_s$) → Agua incrustante



ABASTECIMIENTO DE AGUAS

Tema 3. Características fisicoquímicas del agua

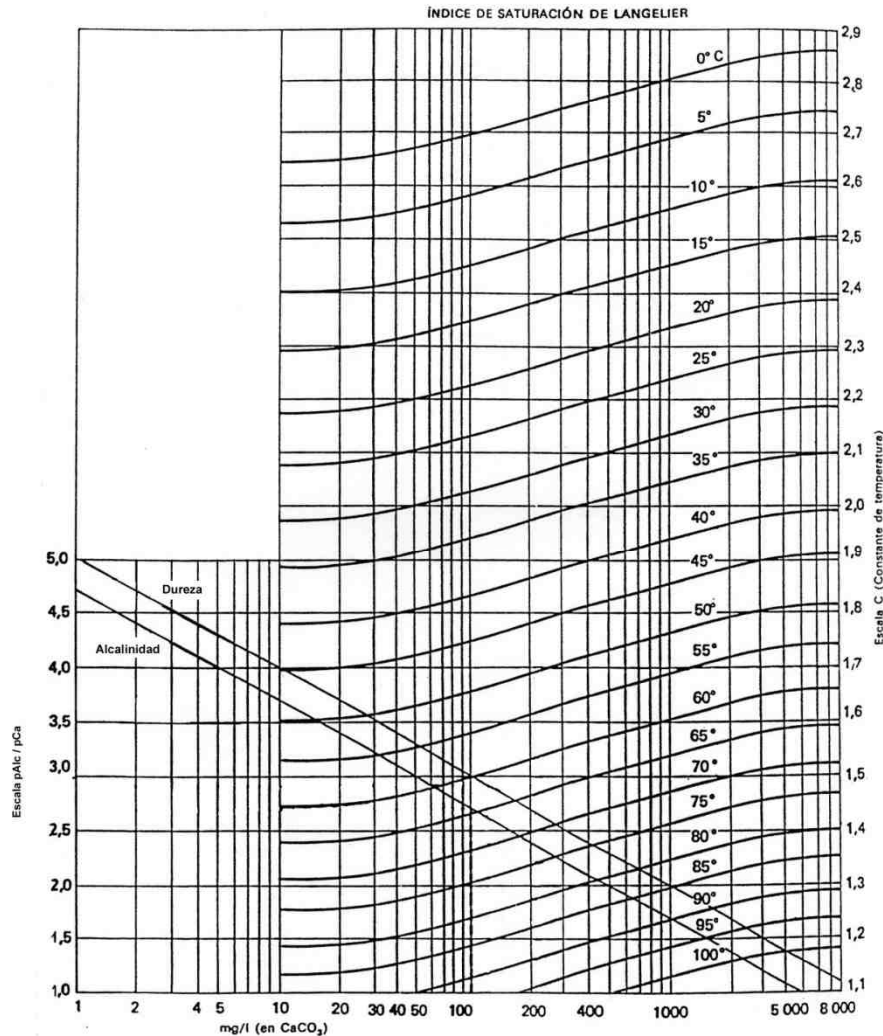


Diagrama de Langelier. Extraído de *Water Conditioning for Industry*, Sheppard T. Powell. Mc Graw-Hill Book Co. Inc. 1954.

El pH de saturación (pH_s) se obtiene de la siguiente expresión:

$$pH_s = pCa + pAlc + cte$$

El valor de la constante (función de la T^a y de los sólidos disueltos totales) se puede obtener de la gráfica adjunta, así como el valor de pCa y $pAlc$.

Hoover transformó la resolución gráfica según Langelier en un ábaco de ejes paralelos de más fácil lectura (ver gráfico en página siguiente).

Posteriormente se han desarrollado otros métodos que consideran otros parámetros como la fuerza iónica.

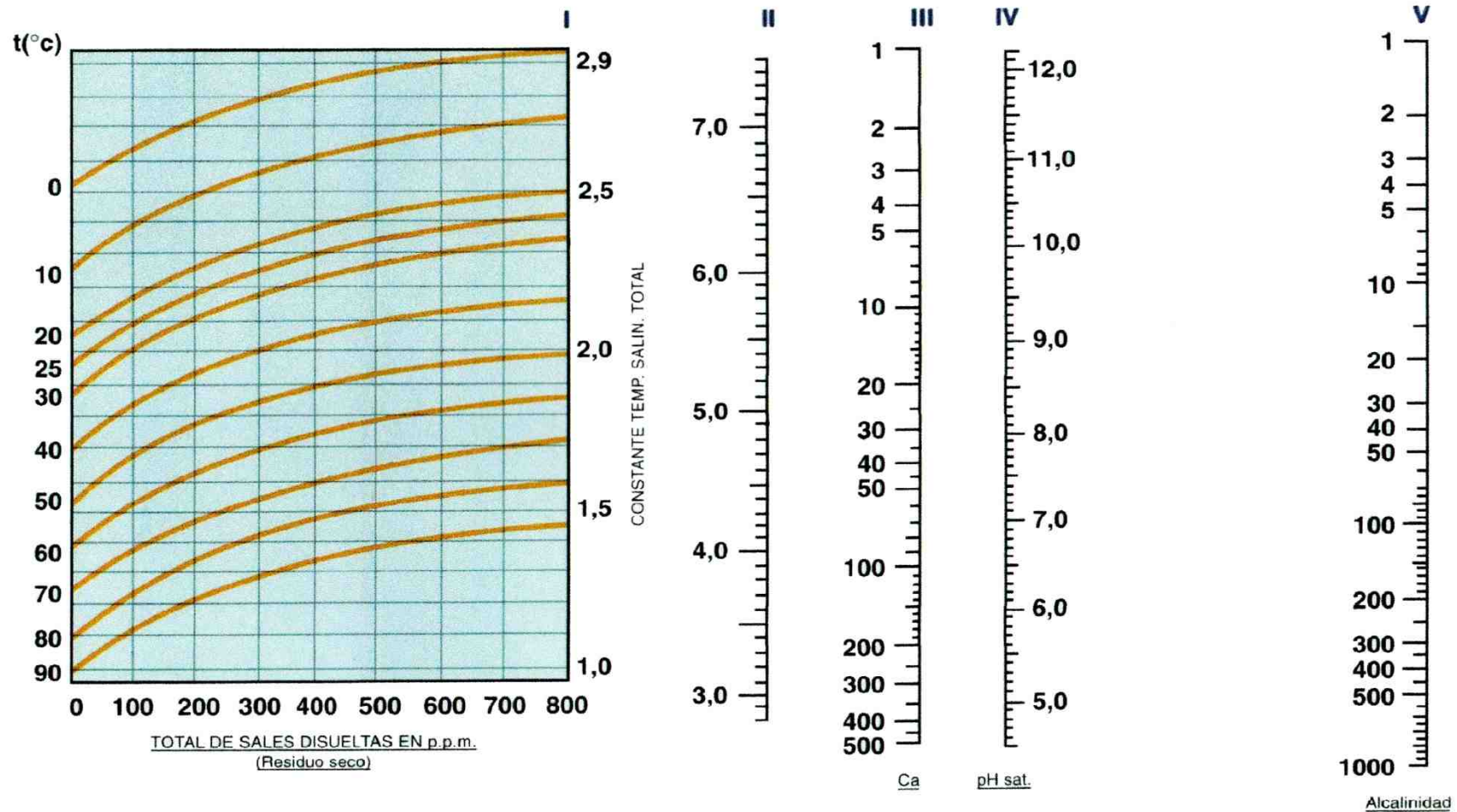


ABASTECIMIENTO DE AGUAS

Tema 3. Características fisicoquímicas del agua



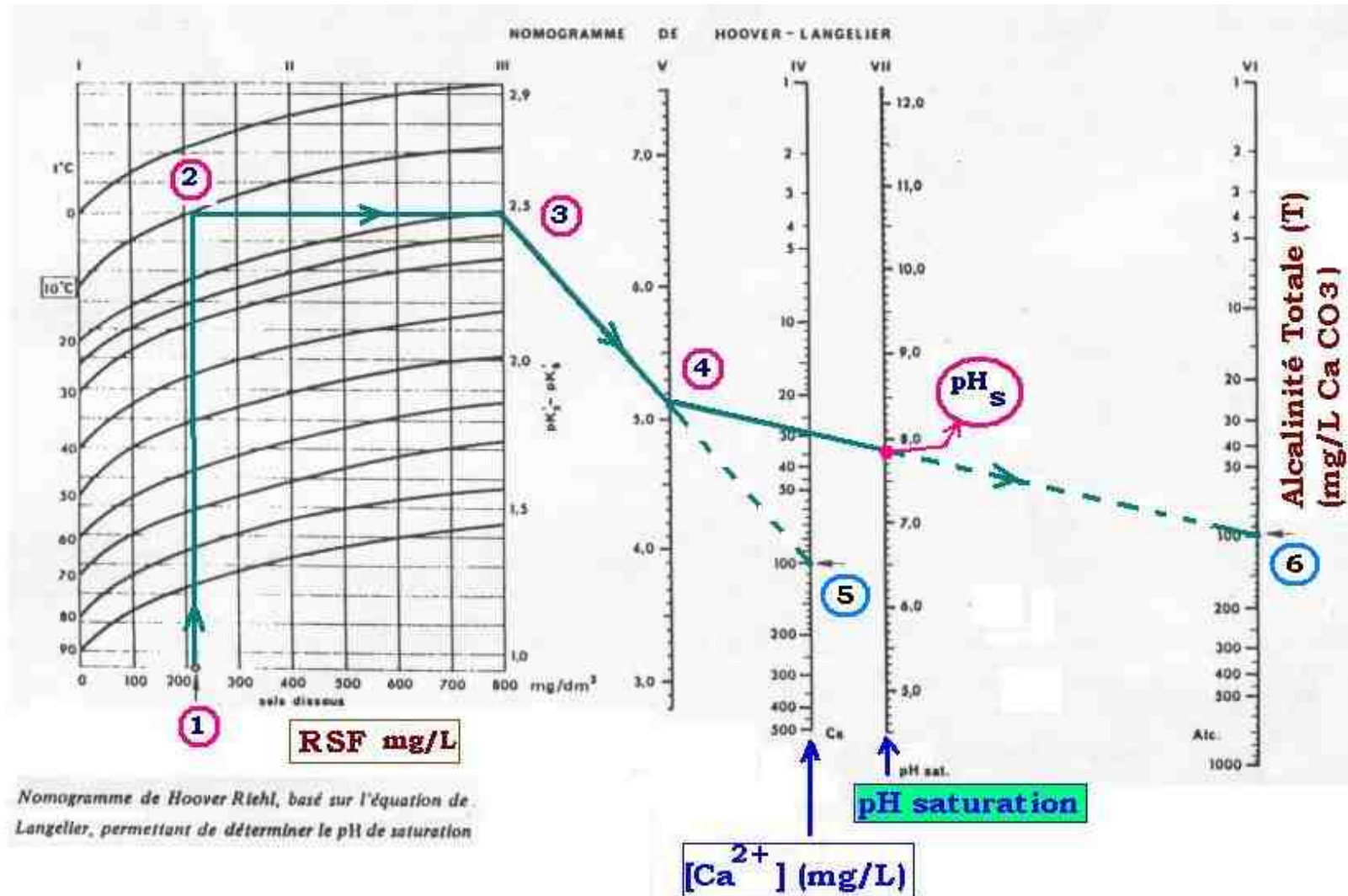
DIAGRAMA DE HOOVER LANGELIER





ABASTECIMIENTO DE AGUAS

Tema 3. Características fisicoquímicas del agua





Método simplificado para el cálculo del pH_{sat}

Ante la demanda de un procedimiento numérico para el cálculo del pH_{sat} y de acuerdo con los trabajos de T. E. Larson y A. M. Buswell (1943) se desarrolló una fórmula empírica simplificada para el cálculo del pH_{sat} que por su sencillez ha alcanzado una amplia difusión, aunque no tiene en cuenta la influencia de la termodinámica del proceso.

Esta fórmula es la siguiente:

$$pH_{sat} = (9,3 + A + B) - (C + D)$$

siendo:

$$A = 1/10 (\log(\text{TDS}) - 1)$$

$$B = -13,12 \log(T(^{\circ}\text{C}) + 273,2) + 34,55$$

$$C = \log(\text{Ca}^{+2}(\text{mg/l de CaCO}_3)) - 0,4$$

$$D = \log \text{Alk}(\text{mg/l de CaCO}_3)$$

Se suelen emplear unas tablas para simplificar los cálculos, que se adjuntan en la diapositiva siguiente.



ABASTECIMIENTO DE AGUAS



Tema 3. Características fisicoquímicas del agua

TSD	A
50-399	0.1
400-1000	0.2
1001-10000	0.3

Temperatura	B
0-1	2.6
2-6	2.5
7-9	2.4
10-13	2.3
14-17	2.2
18-21	2.1
22-27	2.0
28-31	1.9
32-37	1.8
38-43	1.7
44-50	1.6
51-56	1.5
57-63	1.4
64-71	1.3
72-81	1.2

TH Mg	C
0-20	0.05
21-40	0.15
41-60	0.25
61-80	0.35
81-100	0.45
101-120	0.50
121-140	0.60
141-160	0.70
161-180	0.75
181-200	0.80
201-220	0.85
221-240	0.90

TH Ca	D	E
TAC	TH Ca	TAC
10-11	0.6	1.0
12-13	0.7	1.1
14-17	0.8	1.2
18-22	0.9	1.3
23-27	1.0	1.4
28-34	1.1	1.5
35-43	1.2	1.6
44-55	1.3	1.7
56-69	1.4	1.8
70-87	1.5	1.9
88-110	1.6	2.0
111-138	1.7	2.1
139-174	1.8	2.2
175-229	1.9	2.3
230-279	2.0	2.4
280-349	2.1	2.5
350-439	2.2	2.6
440-559	2.3	2.7
560-699	2.4	2.8
700-879	2.5	2.9
880-1000	2.6	3.0

$$\text{TDS} = 0,8 \cdot \text{CE}$$

TAC = Alcalinidad
en mg/l de CaCO_3

TH Ca = Dureza
cálcica en mg/l de
 CaCO_3

TH Mg = Dureza
magnésica en mg/l
de CaCO_3



Método estándar SM2330 para el cálculo del pH_{sat}

El SM2330 implica corregir con un coeficiente de actividad la fórmula original de Langelier:

$$pH_{sat} = pCa^{+2} + pAlk + pK_2 - pK_{sc} + 5 pfm$$

donde:

K_2 = Constante de disociación para el ácido carbónico a la t^a del agua

K_{sc} = Producto de solubilidad para la calcita a la t^a del agua

Ca^{+2} = Calcio

Alk = Alcalinidad

pfm = Coeficiente de actividad a la temperatura especificada.

Para el cálculo de cada uno de los elementos de la ecuación se proponen las siguientes ecuaciones:



$$pK_2 = 107,8871 + 0,03252849T - \frac{5151,79}{T} - 38,92561 \log 10T + \frac{563713,9}{2T}$$

válida para un rango de temperatura de 273 - 373 °K.

$$pK_{sc} = 171,9065 + 0,077993T - \frac{2839,319}{T} - 71,595 \log 10T$$

válida para un rango de temperatura de 273 - 363 °K.

siendo:

$$pfm = \frac{A\sqrt{I}}{1+\sqrt{I}} - 0,3I$$

$$I = 1,6 \cdot 10^{-5} \cdot CE$$

$$A = 1,82 \cdot 10^6 (E \cdot T) - 1,5$$

$$E = [60954 / (T + 116)] - 68,937$$



donde:

I = Fuerza iónica

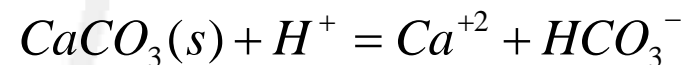
CE = Conductividad eléctrica, $\mu\text{mhos/cm}$ o $\mu\text{S/cm}$

T = Temperatura del agua, $^{\circ}\text{K}$ ($^{\circ}\text{C} + 273,2$)

E = Constante dieléctrica, (adimensional)

Tanto el método simplificado como el método SM2330 se usan en la práctica, por lo que conviene resaltar que ambos métodos difieren en el valor del pH_{sat} obteniéndose a través del método simplificado un LSI aproximadamente 0,2 unidades más bajo que con el SM2330.

El método estándar SM2330 está aceptado internacionalmente como el método más adecuado para el cálculo del pH_{sat} , siendo un modelo exacto y preciso que incluye los conceptos termodinámicos de la reacción que define el proceso de precipitación del CaCO_3





9. BIBLIOGRAFÍA

HERNÁNDEZ MUÑOZ, A. *Abastecimiento y distribución de aguas*. 4ª ed. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 2000. 914 p. Colección Señor nº 6. ISBN: 84-380-0165-3

MARÍN GALVÍN, R. et al. *Fisicoquímica de aguas*. Madrid: Díaz de Santos, 1999. 488 p. ISBN: 84-7978-382-6

RIGOLA LAPEÑA, M. *Tratamiento de aguas industriales: aguas de proceso y residuales*. Barcelona: Marcombo, 1989. 160 p. ISBN: 84-267-0740-8

SHEPPARD, T. *Water conditioning for industry*. Mc Graw Hill, 1954. 548 p. ISBN: 0070505721



REFERENCIAS DE IMÁGENES

DIAPOSITIVA PORTADA

[Imagen tomada de] *Psicoterapia Corporal Integradora* [en línea]. Disponible en: <<http://background-wallpaper.110mb.com/images/Wallpapers1280/water/Water-Wave-Painting4.jpg>>. [Consulta: 3 de junio de 2011]

DIAPOSITIVA página 3

[Imagen tomada de] “Agua = Vida” [blog] *Filosofando sobre todo un poco* [en línea]. 6 de noviembre de 2008. Disponible en:

<http://3.bp.blogspot.com/_IUgAZMnuHzc/SRNINX0YVdl/AAAAAAAAAUo/zXWDfSjMKFE/s1600-h/molecula+de+agua.png+2.png>. [Consulta: 3 de junio de 2011]

“Water molecule 3D” [Imagen tomada de] “Molécula de agua”. *Wikipedia, la enciclopedia libre* [en línea]. 24 de mayo de 2011. Disponible en:

<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/1c/Water_molecule_3D.svg>. [Consulta: 3 de junio de 2011]

“Liquid water hydrogen bond” [Imagen tomada de] “Enlace por puente de hidrógeno”. *Wikipedia, la enciclopedia libre* [en línea]. 21 de mayo de 2011. Disponible en:

<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/43/Liquid_water_hydrogen_bond.png>. [Consulta: 3 de junio de 2011]



DIPOSITIVA página 4

“Photo 5” [Imagen tomada de] “IOBB E-Seminar-04”. *International Organisation for Biotechnology and Bioengineering* [en línea]. Disponible en: <<http://www.biotech.kth.se/iobb/news/kenneth/P5310041s.jpg>>. [Consulta: 3 de junio de 2011]

DIPOSITIVA página 5

[Imagen tomada de] “Curso de cata de aguas cursos 2009/2010”. *Escuela Española de Cata* [en línea]. Disponible en: <<http://www.escueladecata.com/imagenes/Infonovo%20AGUA.pdf>>. [Consulta: 3 de junio de 2011]

DIPOSITIVA página 7

“Trasvase Tajo - Segura” [Imagen tomada de] “*Pura estrategia, política*” [blog] *Izquierda unida de Malpica y Bernuy* [en línea]. 30 de diciembre de 2009. Disponible en: <http://3.bp.blogspot.com/_6claMyqbYWE/SzsMYLRp_3I/AAAAAAAAAVs/kcZimii2ovM/s1600-h/trasvase+tajo+segura.jpg>. [Consulta: 3 de junio de 2011]

[Imagen tomada de] “El proceso de desalinización de aguas salobres reduce en un 50% el impacto medioambiental con respecto a la utilización de agua de mar” [blog] *Tampico* [en línea]. Disponible en: <http://4.bp.blogspot.com/_j5C2fSq3KFQ/R-0anNHQeel/AAAAAAAAHOg/BI50jwDwK7Q/s1600-h/desaladora.jpg>. [Consulta: 3 de junio de 2011]

[Imagen tomada de] “Cómo afecta la sal a las instalaciones”. *Grammar-2* [en línea]. Disponible en: <http://www.grammar-2.net/images/tubo_cal.jpg>. [Consulta: 3 de junio de 2011]

“Corrosión generalizada” [Imagen tomada de] “*Tipos de corrosión*”. *Construnario* [en línea]. Disponible en: <<http://www.construnario.com/notiweb/tematicos/agua/1.jpg>>. [Consulta: 3 de junio de 2011]



DIPOSITIVA página 8

[Imagen tomada de] “Color (Unidades de Platino Cobalto; UPC)” . *Dr. Calderón labs* [en línea]. Disponible en: <http://www.drcalderonlabs.com/Metodos/Analisis_De_Aguas/Images/EscalaColor.gif>. [Consulta: 3 de junio de 2011]

DIPOSITIVA página 9

[Imagen tomada de] “Lugares que no parecen de este mundo (Primera Parte)” [blog] *Colmillo negro* [en línea]. 10 de noviembre de 2010. Disponible en: <http://3.bp.blogspot.com/_DmIQJfAuF7M/TNs-dPqRbfl/AAAAAAAAAQE/3nL239e7NW0/s1600/3119375-md.jpg>. [Consulta: 3 de junio de 2011]

DIPOSITIVA página 10

“Turbidímetro digital portátil” [Imagen tomada de] *Fluxo Tecnología Ltda* [en línea]. Disponible en: <http://www.fluxotecnologia.com.br/lmg/Turbidimetro_2100P-PrtbleTurb-LZ-46500-L.jpg>. [Consulta: 3 de junio de 2011]

[Imagen tomada de] TORRES, M. “Aguas turbias”. *Astroseti* [en línea]. Disponible en: <http://www.astroseti.org/a3img/articulos/im_279_2.jpg>. [Consulta: 3 de junio de 2011]

DIPOSITIVA página 11

[Imagen tomada de] *Instrucciones Turbidímetro TurbiDirect* [en línea]. Enero de 2011. Disponible en: <http://dl.tintometer.de/instructions/turbidirect/ins_turbidirect_es_lovi.pdf>. [Consulta: 3 de junio de 2011]

“Nephelometer” [Imagen tomada de] “Nefelómetro”. *Wikipedia, la enciclopedia libre* [en línea]. 1 de marzo de 2011. Disponible en: <<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c9/Nephelometer.jpg>>. [Consulta: 3 de junio de 2011]



DIAPPOSITIVA página 12

“Un bote con agua turbia extraída del río Guadalquivir a su paso por Sanlucar” [Imagen tomada de] “Res aquae” [blog de] *Julio González* [en línea]. 28 de mayo de 2008. Disponible en: <http://4.bp.blogspot.com/_-mdEPjr49-Q/SDyNh0LyXAI/AAAAAAAAAJA/SJoSX372mns/s800/aqua-blog.jpg>. [Consulta: 5 de junio de 2011]

DIAPPOSITIVA página 13

[Imagen tomada de] “Conductivímetro multi-rango”. *SoloStocks. The Marketplace* [en línea]. Disponible en: <<http://www.solostocks.cl/img/conductivimetro-multi-rango-328568n0.jpeg>>. [Consulta: 5 de junio de 2011]

[Imagen tomada de] “Conductivímetro Hanna Dist3 HI98303”. *Tropiacuarium Bilbao* [en línea]. Disponible en: <<http://www.tropiacuariumbilbao.com/images/dist.jpg>>. [Consulta: 5 de junio de 2011]

DIAPPOSITIVA página 14

[Imagen tomada de] “pHmetro de mesa. Marca Adwa, modelo AD 1020”. *Zelian. Equipamiento de laboratorio* [en línea]. Disponible en: <http://www.zelian.com.ar/zelian/imagenes_productos/0A29C8D2C6F54018A82FBD3903CF86F.jpg>. [Consulta: 13 de junio de 2011]

“Rollo de papel indicador de pH con valores aproximados” [Imagen tomada de] “Ácidos y bases”. *Kalipedia* [en línea]. Disponible en: <http://www.kalipedia.com/kalipediamedia/cienciasnaturales/media/200709/24/fisicayquimica/20070924klp_cnafyq_120.les.SCO.jpg>. [Consulta: 13 de junio de 2011]



DIPOSITIVA página 15

“Hydrangea macrophylla - Hortensia hydrangea” [Imagen tomada de] “Hydrangea”. *Wikipedia, la enciclopedia libre* [en línea]. 9 de junio de 2011. Disponible en:

<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/7f/Hydrangea_macrophylla_-_Hortensia_hydrangea.jpg>. [Consulta: 13 de junio de 2011]

“Hydrangea macrophylla - Bigleaf hydrangea1” [Imagen tomada de] “Hydrangea”. *Wikipedia, la enciclopedia libre* [en línea]. 9 de junio de 2011. Disponible en:

<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/16/Hydrangea_macrophylla_-_Bigleaf_hydrangea1.jpg>. [Consulta: 13 de junio de 2011]

DIPOSITIVA página 17

[Imagen tomada de] *Análisis de Dureza Total por titulación con EDTA* [en línea]. Disponible en:

<<http://arturobola.tripod.com/durmov2.gif>>. [Consulta: 13 de mayo de 2015]

DIPOSITIVA página 18

“Test Kit de Alcalinidad Fenolftaleina y Total” [Imagen tomada de] *SoloStocks. The Marketplace* [en línea].

Disponible en: <<http://www.solostocks.com.mx/img/test-kit-de-alcalinidad-fenolftaleina-y-total-186168n0.jpg>>. [Consulta: 13 de junio de 2011]

DIPOSITIVA página 22

“Ammonia-2D-dimensions” [Imagen tomada de] “Amoniaco”. *Wikipedia, la enciclopedia libre* [en línea]. 9 de junio de 2011. Disponible en: <<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/11/Ammonia-2D-dimensions.png>>. [Consulta: 13 de junio de 2011]



“Ammonia-3D-balls-A” [Imagen tomada de] “Amoniaco”. *Wikipedia, la enciclopedia libre* [en línea]. 9 de junio de 2011. Disponible en: <<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/05/Ammonia-3D-balls-A.png>>. [Consulta: 13 de junio de 2011]

DIPOSITIVA página 23

[Imagen tomada de] *Espectroscopía de absorción atómica* [en línea]. Disponible en: <http://www.xtec.net/~gjimene2/licencia/students/bscw.gmd.de_bscw_bscw.cgi_d32817116-3_____absor_atom.gif>. [Consulta: 13 de junio de 2011]

DIPOSITIVA página 24

[Imagen tomada de] “Aguas residuales”. *Vida en ciudad* [en línea]. Disponible en: <<http://www.vidaenciudad.com/images/contaminacion-de-aguas.jpg>>. [Consulta: 13 de junio de 2011]

DIPOSITIVA página 25

“Nitrato de Chile” [Imagen tomada de] LÓPEZ, O. “Photos”. *Trekearth* [en línea]. Disponible en: <http://i1.trekearth.com/photos/13124/dsc_9235.jpg>. [Consulta: 13 de junio de 2011]

DIPOSITIVA página 27

“CM135” [Imagen tomada de] “Carbon Analysis Systems”. *UIC, Inc.* [en línea]. Disponible en: <http://www.uicinc.com/picts/CM135_01.jpg>. [Consulta: 13 de junio de 2011]



[Imagen tomada de] “La Escherichia Coli y el pepino de Almería” [blog] *La Transición* [en línea]. 31 de mayo de 2011. Disponible en: <<http://4.bp.blogspot.com/-dr9U3emWqPo/TeTlyCBymYI/AAAAAAAAAIE/VJVnRH-qill/s1600/ecoli-image1.jpg>>. [Consulta: 13 de junio de 2011]

DIPOSITIVA página 29

[Imagen tomada de] “Tratamiento del agua: cloración”. *IDEGIS* [en línea]. Disponible en: <http://www.idegis.es/Images/tecnologia/grafico_tratamiento1_esp.gif>. [Consulta: 13 de junio de 2011]

DIPOSITIVA página 31

[Imagen tomada de] “Estudio fisicoquímico y acciones farmacológicas de las aguas Minerales Naturales del Manantial Brisas de Anaga. La Laguna. Tenerife. Islas Canarias”. *III Jornadas sobre Aguas Minerales de Canarias* [en línea]. Noviembre 2007. Disponible en: <<http://sociedadcanariadehidrologiamedica.com/descargas/Congreso2007BrisasdeAnaga.pdf>>. [Consulta: 13 de junio de 2011]

DIPOSITIVA página 32

[Imagen tomada de] “Scale control”. *Aquatec* [en línea]. Disponible en: <http://www.aquatekpro.com/images/aquatek_photos/scale_in_pipe.jpg>. [Consulta: 22 de abril de 2014]

[Imagen tomada de] “What is Limescale or Calcium Scale?”. *Envirofluid* [en línea]. Disponible en: <https://envirofluid.com/themes/default/basemedia/content/user_images/images/pipe.jpg>. [Consulta: 22 de abril de 2014]



DIPOSITIVA página 34

“Diagrama de Langelier”. En: SHEPPARD, T. *Water conditioning for industry*. Mc Graw Hill, 1954. 548 p. ISBN: 0070505721

DIPOSITIVA página 35

“Monograma de Hoover-Langelier” [Imagen tomada de] “Capítulo 7: Cálculos y comprobaciones”. *Manuales AFTA* [en línea]. Disponible en: <<http://www.afta-asociacion.com/documentacion/manual/contenidos/cap7calculoscomprobaciones.pdf>>. [Consulta: 13 de junio de 2011]

DIPOSITIVA página 36

“Nomogramme de Hoover-Langelier” [Imagen tomada de] “Traitement d'une eau”. *Scientificsentence* [en línea]. Disponible en: <<http://scientificsentence.net/Chemistry/Langelier.jpg>>. [Consulta: 13 de junio de 2011]

DIPOSITIVA página 42

[Imagen tomada de] “Tabla periódica de los elementos”. *Universidad Autónoma de Madrid* [en línea]. Disponible en: <<http://www.uam.es/docencia/elementos/spV21/sinmarcos/elementos/periodico.html>>. [Consulta: 13 de junio de 2011]

“Vaso de agua y no vaso con agua” [Imagen tomada de] “Vaso de agua”. *Generación* [en línea]. Disponible en: <<http://www.generacion.com/usuarios/variados/imagenes/959.jpg>>. [Consulta: 13 de junio de 2011]



DIPOSITIVA página 43

[Imagen tomada de] “Análisis de agua”. *Aguas de Alicante* [en línea]. Disponible en:
<<http://www.aguasdealicante.es/uploads/analiticas/completo1.pdf>>. [Consulta: 13 de junio de 2011]

DIPOSITIVAS páginas 45 y 48

“Diagrama de Langelier”. En: SHEPPARD, T. *Water conditioning for industry*. Mc Graw Hill, 1954.
548 p. ISBN: 0070505721