

DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DE CALIDAD DE LAS AGUAS.

Antonio Aznar Jiménez. Instituto Tecnológico de Química y Materiales “Álvaro Alonso Barba”. Universidad Carlos III. Avd. de la Universidad 30. 28911-Leganés. Madrid. e-mail: aaznar@ing.uc3m.es.

SUMMARY

For the water and wastewater quantitative and qualitative measurements, a series of physical chemistry parameters is indispensable determined by means of standard methods, to know if this parameters value is contained inside the internal standard in force defined. In this work are included the usually studied parameters with the standard or standards necessary for their determination indication.

RESUMEN

Al hablar de calidad de aguas sean para su vertido, tratamiento de depuración, potabilización o cualquier otro uso, es imprescindible determinar una serie de parámetros físico-químicos mediante métodos normalizados, con objeto de conocer si el valor de estos parámetros se encuentra dentro del intervalo que marca la legislación vigente. En el presente trabajo se resumen los parámetros mas comúnmente estudiados, indicando la norma o normas mediante las cuales debe procederse a la determinación de los mismos.

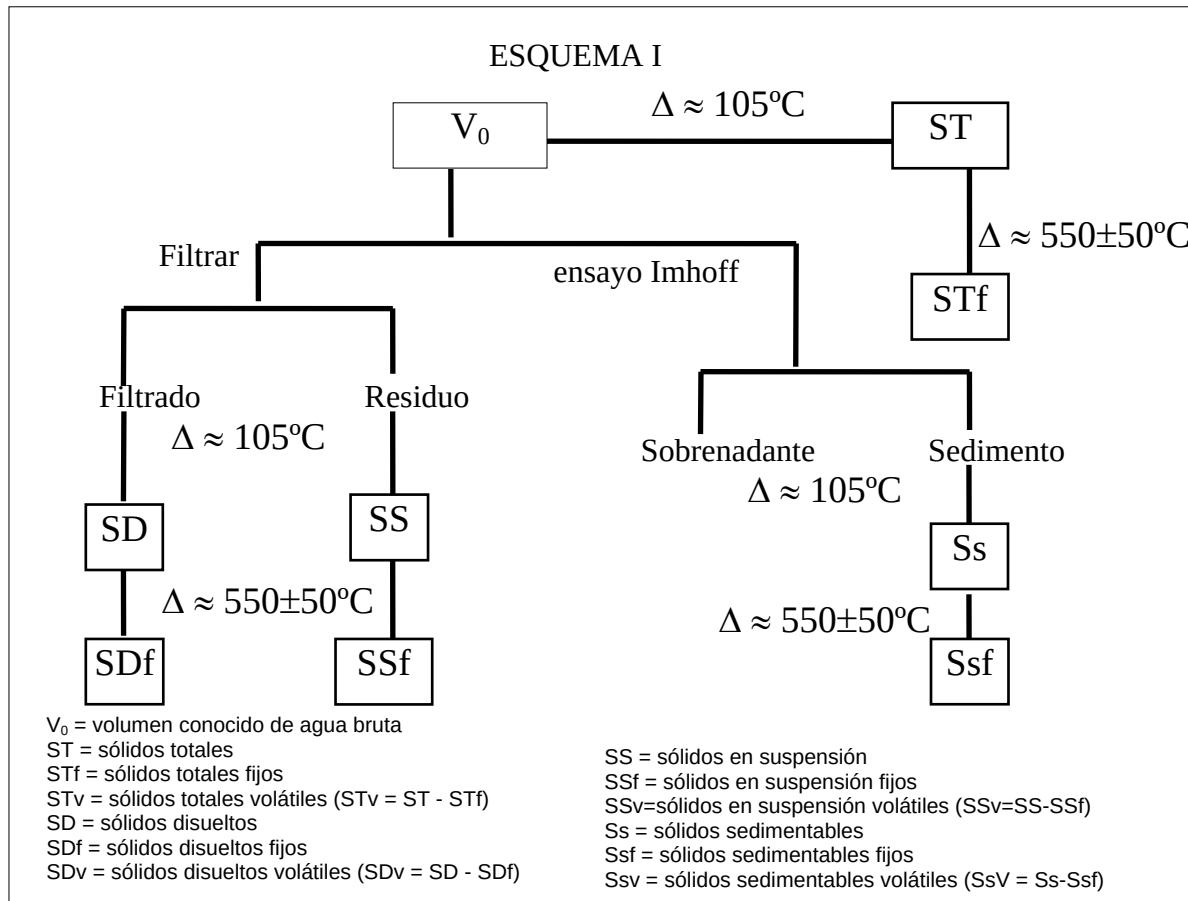
1.- INTRODUCCIÓN

Dadas las propiedades físico-químicas del agua, esta se comporta como un magnífico disolvente tanto de compuestos orgánicos como inorgánicos, ya sean de naturaleza polar o apolar; de forma que podemos encontrarnos en su seno una gran cantidad de sustancias sólidas, líquidas y gaseosas diferentes que modifican sus propiedades. A su comportamiento como disolvente hay que añadir su capacidad para que se desarrolle vida en su seno, lo que la convierte en un sistema complejo sobre el que habrá que realizar análisis tanto cualitativos como cuantitativos con objeto de conocer el tipo y grado de alteración que ha sufrido, y consecuentemente como se encuentran modificadas sus propiedades para usos posteriores. Puesto que la alteración de la calidad del agua puede venir provocada tanto por efectos naturales como por la actuación humana derivada de la actividad industrial, agropecuaria, doméstica o de cualquier otra índole, no es de extrañar que el análisis de los parámetros de calidad del agua se deba realizar a todo tipo de aguas, independientemente de su origen.

2.- PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

a) **Sólidos** (ver esquema I): El agua puede contener tanto partículas en suspensión como compuestos solubilizados, definiéndose la suma de ambos como Sólidos Totales (ST). La determinación de ST se realiza, conforme a la norma UNE 77030:1982, evaporando un volumen conocido de muestra y secando el residuo en estufa a 105 °C, hasta pesada constante, indicándose el resultado en mg/L. Esta medida nos permite conocer el contenido total de sustancias no volátiles presentes en el agua.

Además del contenido en sólidos totales, conviene conocer que parte de estos sólidos se encuentra disuelta (SD) y que otra es sedimentable (Ss). Los Ss se determinan por decantación (UNE 77032:1982) a partir de un volumen de muestra de un litro dejado en reposo en un recipiente cónico (cono Imhoff) durante una hora, expresándose el volumen sedimentado en el fondo del cono en ml/L. Los Ss nos dan una idea de la cantidad de lodos que se producirán en la decantación primaria. Los sólidos disueltos se determinan gravimétricamente mediante filtración, a vacío o presión, con filtros de fibra de vidrio de borosilicato de diámetro de poro de 0,45 µm, de un volumen conocido de agua bruta, denominándose Sólidos en Suspensión (SS) el residuo seco retenido en los mismos (UNE-EN 872:1996) expresado como mg/L. Al residuo del filtrado secado a 105 °C se le denomina Sólidos disueltos (SD), y se expresa también en mg/L (UNE 77031:1982).



550±50°C, y está formado por la mayoría de los compuestos de origen inorgánico presentes. Los sólidos volátiles se determinan por diferencia de pesada entre la muestra sólida inicial y el peso de no volátiles, siendo un indicador de la cantidad de materia orgánica presente en esa fracción de muestra.

Los sólidos sedimentables son los causantes de la turbidez debido a que producen dispersión de la luz que atraviesa la muestra de agua. La determinación de turbidez se realiza conforme a la norma UNE-EN 27027:1995 mediante métodos de observación semicuantitativos, indicando la profundidad a que deja de ser visible una marca u objeto patrón, o cuantitativos, empleando turbidímetros ópticos, dando los resultados en unidades nefelométricas de formacina (FNU). La turbidez es una medida importante en aguas potables, pues las pequeñas partículas coloidales, pueden portar gérmenes patógenos. En cursos naturales de agua la turbidez produce una falta de penetración de la luz natural y por tanto modifica la flora y fauna subacuática.

b) **Temperatura:** La temperatura del agua tiene una gran importancia en el desarrollo de los diversos procesos que en ella se realizan, de forma que un aumento de la temperatura modifica la solubilidad de las sustancias, aumentando la de los sólidos disueltos y disminuyendo la de los gases. La actividad biológica aproximadamente se duplica cada diez grados (ley del Q_{10}), aunque superado un cierto valor característico de cada especie viva, tiene efectos letales para los organismos. Un aumento anormal (por causas no climáticas) de la temperatura del agua, suele tener su origen en el vertido de aguas utilizadas en procesos industriales de intercambio de calor. La temperatura se determina mediante termometría realizada “in situ”.

c) **Color, olor y sabor:** Son lo que se denomina propiedades organolépticas o determinables por los sentidos. No suelen ser una medida precisa del nivel de contaminación, aunque su presencia es un indicio de que la depuración de un efluente no está siendo correcta. Tiene gran importancia en aguas potabilizables, por el rechazo que puede darse en el consumidor al detectar colores, olores o sabores que no asocie con “agua pura”.

- **Color (UNE-EN ISO 7887:1995):** No existe una relación directa entre color y grado de contaminación, pues al tratarse de un parámetro fuertemente influido por interferencias con otras sustancias coloreadas, es difícil su evaluación absoluta. Dado que muchas de las sustancias coloreadas se degradan con el tiempo, la determinación del color se debe realizar en las veinticuatro horas posteriores a la toma de muestra, conservándose las mismas refrigeradas (2-5 °C) y en la oscuridad. La determinación del color se efectúa visualmente empleando luz diurna difusa sobre fondo blanco, o mediante el uso de un espectrofotómetro visible. El color que presenta el agua puede ser aparente (agua bruta) o verdadero (agua sin sólidos en suspensión).

- **Olor:** Generalmente los olores son producidos por sustancias volátiles (COV's) o gaseosas (H_2S , NH_3 , etc.), y suelen ser debidos a materia orgánica en descomposición o productos químicos producidos o empleados en la industria y tratamiento de aguas residuales. El olor se determina por sucesivas diluciones de la muestra original con agua inodora ($T \approx 40\text{ }^\circ\text{C}$) hasta que es indetectable (umbral de percepción), siendo un ensayo muy subjetivo y de escasa reproducibilidad. Las muestras deben conservarse en vidrio un máximo de 6 h a $2-5\text{ }^\circ\text{C}$.

- **Sabor:** Suele estar íntimamente asociado al olor (respuesta fisiológica parecida). Algunas sustancias, como es el caso de sales de cobre, zinc o hierro, pueden modificar el sabor, sin alterar el color del efluente. Su determinación se efectúa, al igual que el olor, por dilución hasta determinar el umbral de percepción y sólo se realizará con muestras que sean sanitariamente aptas para consumo humano.

d) **Oxígeno disuelto (OD):** Es un parámetro indicativo de la calidad de un agua. Se determina "in situ" mediante electrodo de membrana (UNE-EN 25814:1994) o por yodometría fijando el oxígeno con sulfato de magnesio (UNE-EN 25813:1994), expresándolo como mg/L de oxígeno disuelto en la muestra de agua. Deben tomarse las debidas precauciones para no arrastrar ni disolver oxígeno del aire durante la manipulación de la muestra, efectuándose el ensayo antes de cuatro días, conservando las muestras en recipientes de vidrio en ausencia de luz. El valor máximo de OD es un parámetro muy relacionado con la temperatura del agua (figura 1) y disminuye con ella. La concentración máxima de OD en el intervalo normal de temperaturas es de aproximadamente 9 mg/L, considerándose que cuando la concentración baja de 4 mg/L, el agua no es apta para desarrollar vida en su seno.

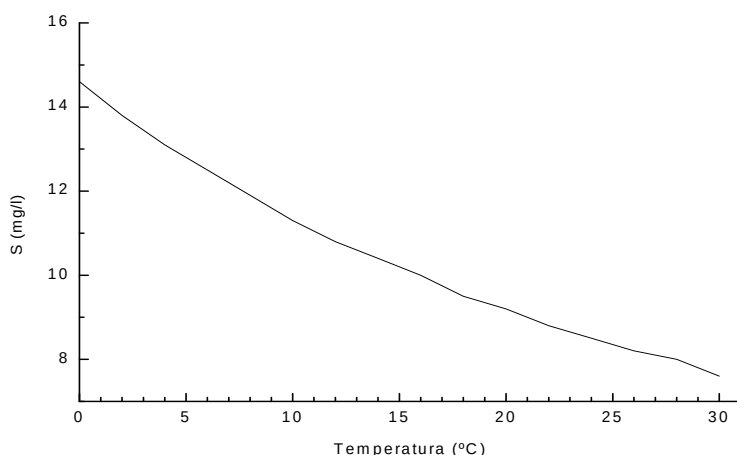


Figura 1.- Concentración de saturación de oxígeno en agua (S) en función de la temperatura de la misma.

e) **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)** (UNE 11303-89): Es la cantidad de oxígeno necesaria para que los microorganismos aerobios puedan oxidar metabólicamente la materia orgánica presente en la muestra de agua. Se determina por diferencia entre el oxígeno disuelto en la muestra inicial y el medido en función del

Aparecido en Gestión Ambiental 2000, vol. 2(23) pag. 12-19

tiempo de incubación. La incubación se realiza en viales de volumen conocido colocados en estufa a 20 °C, en ausencia de luz. Generalmente la demanda de oxígeno para la degradación biológica de la muestra, supera los valores de OD a 20 °C, es por ello que se hace necesario diluir la muestra hasta valores inferiores de DBO de 3 mg/L. Si la muestra no presenta microorganismos de forma natural (situación muy corriente en vertidos de origen industrial), la muestra a ensayar se sembrará con un cultivo de bacterias aerobias. Al observar la variación del OD en función del tiempo para una temperatura de 20 °C (figura 2), se aprecia que ésta no sufre una variación constante, sino que al cabo de un periodo de aproximadamente 8 días, la velocidad a la que se consume el oxígeno aumenta bruscamente; esto se debe a que se ha iniciado la biodegradación de los compuestos orgánicos nitrogenados por efecto de las bacterias nitrificantes, con lo cual estamos observando la superposición de dos curvas, la de biooxidación de los compuestos hidrocarbonados (línea de trazo fino) y la de los compuestos nitrogenados orgánicos. Al ser la DBO un parámetro fuertemente influido por el tiempo, se suele determinar a dos tiempos diferentes:

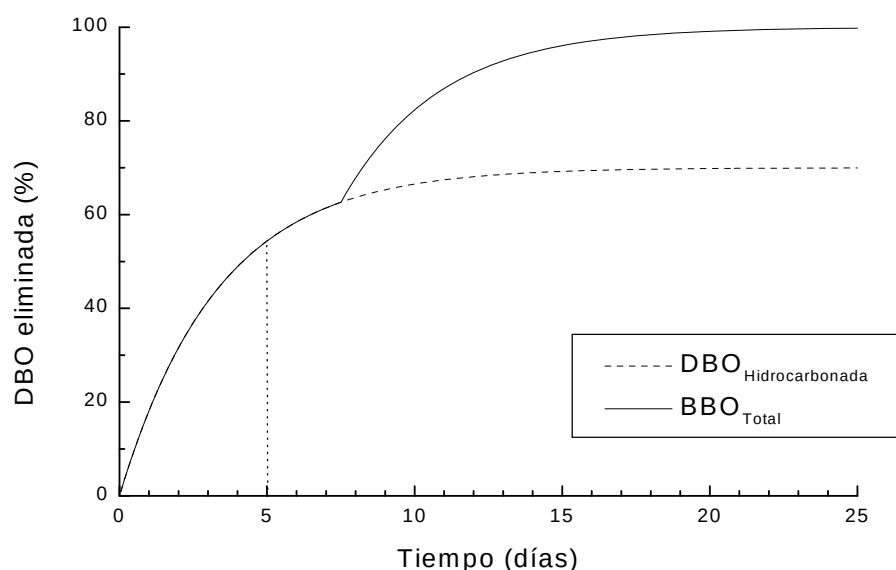


Figura 2.- Variación de la demanda biológica de oxígeno (DBO) en función del tiempo a 20 °C.

- DBO₅: variación de la OD determinada al cabo de cinco días en condiciones estándar, y que nos proporciona una idea del carbono orgánico biodegradable existente en la muestra. En estas condiciones de tiempo y temperatura se biooxidán aproximadamente los 2/3 del carbono orgánico biodegradable total de un agua residual urbana estándar.
- DBO_{ult}: variación del OD determinada al cabo de más de 20 días en las condiciones estándar del ensayo, siendo la suma de la materia hidrocarbonada y nitrógenada biooxidable.

La toma de muestras para la determinación de la DBO, se hará inmediatamente antes del análisis, o en su defecto se conservarán en nevera durante el menor tiempo posible a $\approx 4^{\circ}\text{C}$.

La DBO nos da información de la cantidad de materia orgánica biodegradable presente en una muestra, sin aportar información sobre la naturaleza de la misma. Hay que tener presente, que un bajo valor de DBO no tiene por que ser indicativo de un bajo nivel de contaminación orgánica, dado que existen sustancias difícilmente biodegradables (sustancias refractarias) o que incluso inhiben el proceso biológico (tóxicos).

En muchos casos, tan importante o más que la determinación de la DBO de un efluente en mg/L, es conocer la carga contaminante total del mismo como kg de DBO por día, siendo función de la DBO_5 y del caudal Q de efluente, calculándose la misma mediante la siguiente expresión

$$\text{kg DBO/día} = \text{DBO}_5 (\text{mg/L}) \cdot Q (\text{m}^3/\text{día}) \cdot 10^{-3}$$

f) **Demanda química de oxígeno (DQO)** (UNE 77-004-89): Como ya se ha indicado anteriormente la determinación de la DBO_5 tiene dos grandes inconvenientes, su lentitud (cinco días) y que existen muchas sustancias, no fácilmente biodegradables, que no se evaluarían con dicha determinación. Es por ello que resulta interesante un método rápido y que determine todo el carbono oxidable de una muestra, como es la demanda química de oxígeno o cantidad de oxígeno consumida (mg/L) por los compuestos orgánicos presentes en el efluente.

La DQO se determina adicionando una cantidad pesada de dicromato potásico ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) a un volumen conocido de muestra, acidulando el medio ($\text{pH} < 7$) y manteniendo destilando a reflujo el sistema durante 2 ó 3 horas. El dicromato sobrante de la oxidación de la materia orgánica se evalúa mediante un agente reductor (generalmente sulfato amónico ferroso). La diferencia entre la cantidad inicial de dicromato y la determinada por valoración con el agente reductor, es la consumida en la oxidación de la materia orgánica presente en el efluente. La DQO es igual a la cantidad de dicromato consumido, expresado como mg/L de oxígeno presente en la disolución (1 g $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 = 0,381$ g de oxígeno). La toma de muestra se debe hacer inmediatamente antes del análisis o, tras acidular la misma con ácido sulfúrico a $\text{pH} \leq 2$, antes de 5 días, conservándose en nevera y en la obscuridad o antes de un mes congelando a -20°C .

Siempre el valor de DQO ha de ser mayor que el de DBO_5 , pues no toda la materia oxidable químicamente (condiciones enérgicas) ha de ser biooxidable (condiciones suaves). En general, se puede decir que cuando $\text{DBO}_5/\text{DQO} < 0,5$ estamos ante un efluente fácilmente biodegradable, mientras que si este cociente es inferior a 0,2 será escasamente biodegradable.

g) **Carbono orgánico total (COT):** Indica la cantidad total de carbono orgánico presente en una muestra, expresada en mg/L. En la actualidad existen equipos comerciales que proporcionan simultáneamente y como valores independientes el contenido total de carbono orgánico, junto al inorgánico y CO_2 disuelto. Es un método instrumental, basado en la combustión total del carbono por oxidación a CO_2 ($T^a > 900\text{ }^\circ\text{C}$) en presencia, si es necesario, de catalizadores de oxidación (V_2O_5). Es un método rápido, siendo su principal inconveniente el coste del equipo y que en la actualidad no es un parámetro aceptado en la legislación vigente para aguas, situación que puede modificarse en un futuro próximo. Los métodos de muestreo son similares a los descritos para la determinación de DQO y DBO, debiendo tener especial cuidado en no someter las muestras a la luz.

h) **Aceites y grasas** (UNE 77037:1983, UNE 77038:1983): Los aceites y grasas en los vertidos líquidos generan dos tipos de problemas a la hora de la depuración de las aguas residuales, disminución de la mojabilidad de los sólidos en suspensión impidiendo, con ello su sedimentación, y formación de una película que recubre los microorganismos encargados de la biodegradación, impidiendo con ello la captación de oxígeno por los mismos y disminuyendo su poder depurador. El contenido de grasas y aceites es generalmente pequeño en vertidos urbanos, siendo su presencia un indicio de vertido industrial, y causando graves problemas a los sistemas de depuración.

La determinación de grasas y aceites de efluentes acuosos se efectúa por extracción en caliente o con un disolvente orgánico no miscible con el agua, a partir de un volumen conocido del agua a analizar acidulada a $\text{pH} \leq 2$, evaluando la cantidad presente por pesada, una vez eliminado el disolvente de la fase orgánica, o mediante espectroscopía infrarroja, por comparación con curvas de calibrado.

i) **Fenoles:** (UNE 77053-1983) Son hidroxiderivados del benceno y de compuestos aromáticos polinucleares. Suelen provenir de actividades industriales (plantas de coquización, refinerías, papeleras, etc.), degradación de productos fitosanitarios y de la descomposición de materia vegetal. Son extremadamente tóxicos, y su presencia en aguas sometidas a procesos de cloración produce compuestos clorofenólicos tóxicos y de gusto y sabor desagradable. Se determinan espectrofotométricamente a partir de compuestos de condensación del fenol con 4-amino antipirina, ya sea directamente o por extracción previa con cloroformo.

j) **Acidez (pH):** Es una medida de la concentración de iones hidronio (H_3O^+) en la disolución. Se determina mediante electrometría de electrodo selectivo (pHmetro) conservando la muestra en frasco de polietileno o vidrio de borosilicato en nevera menos de 24 h, obteniendo la concentración en valores de pH comprendidos

Aparecido en Gestión Ambiental 2000, vol. 2(23) pag. 12-19

entre 1 y 14. Las aguas con valores de pH menores de 7 son aguas ácidas y favorecen la corrosión de las piezas metálicas en contacto con ellas, y las que poseen valores mayores de 7 se denominan básicas y pueden producir precipitación de sales insolubles (incrustaciones). En las medidas de pH hay que tener presente que estas sufren variaciones con la temperatura y que los valores indicados son para 20 °C.

k) **Alcalinidad** (UNE EN ISO 9963-1-1996 y UNE EN ISO 9963-2-1996): Es la capacidad de reaccionar con los iones hidrógeno del agua, estando provocada mayoritariamente por los iones carbonato (CO_3^{2-}) y bicarbonato (HCO_3^-), aunque está también influida por el contenido en otros como boratos, fosfatos, silicatos y oxidrilos. Se determina por valoración con ácido, determinando los puntos de equivalencia mediante electrodo selectivo de pH o indicadores adecuados, obteniéndose de los puntos de inflexión o puntos de equivalencia los valores de alcalinidad compuesta (carbonatos pH $\approx$ 8,3) y la alcalinidad total (bicarbonatos + carbonatos pH $\approx$ 4,5). Las condiciones de almacenamiento de muestras son similares a las de la determinación de acidez.

l) **Conductividad (Λ_o)** (UNE EN 27888-1993): El agua pura se comporta como aislante eléctrico, siendo las sustancias en ella disueltas las que proporcionan al agua la capacidad de conducir la corriente eléctrica. Se determina mediante electrometría con un electrodo conductimétrico, expresándose el resultado en microsiemens cm^{-1} ($\mu\text{S cm}^{-1}$). Es una medida indirecta de la cantidad de sólidos disueltos estando relacionados ambos mediante la expresión empírica

$$\text{SD (mg/L)} = 0,8 \cdot \Lambda_o (\mu\text{S cm}^{-1})$$

Las muestras deben analizarse preferiblemente “in situ”, o conservarse en frascos de polietileno, nunca de vidrio sódico, en nevera (2-4 °C) y obscuridad durante un máximo de 24 h, teniendo la precaución de termostatarlas a 25 °C antes de realizar la determinación.

m) **Dureza:** (UNE 77040-1983): Es otra forma de indicar el contenido iónico de un agua, refiriéndolo a la concentración total de iones calcio, magnesio, estroncio y bario, aunque se debe fundamentalmente a los dos primeros. La presencia de este tipo de iones en el agua suele ser de origen natural, y raramente antrópica. Se obtiene a partir de la determinación por separado del contenido en calcio y magnesio de la muestra o de manera conjunta por compleximetría con EDTA, expresándose en diferentes unidades, siendo mg de Ca^{2+} equivalente/L la indicada por la U.E. El problema de las aguas duras se centra en la formación de precipitados insolubles de carbonatos e hidróxidos que al depositarse sobre tuberías y equipos pueden causar problemas de funcionamiento en calderas de vapor, intercambiadores de calor, filtros, etc.

n) **Cloruro (Cl^-), cloro (Cl_2) e hipoclorito (ClO^-):** La presencia de estas especies es, generalmente, debida a la cloración del agua para su desinfección, así como a procesos de salinización por aguas marinas. Los cloruros se determinan por valoración o potenciométricamente (UNE 77041-1983 y UNE 77042-1983). El cloro libre y combinado se determina por espectrofotometría (UNE 77064-1990).

ñ) **Amoníaco (NH_3), nitritos (NO_2^-) y nitratos (NO_3^-):** El amoníaco es uno de los compuestos intermedios formados durante la biodegradación de los compuestos orgánicos nitrogenados (aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, etc.) que forman parte de los seres vivos, y junto con el nitrógeno orgánico es un indicador de que un curso de agua ha sufrido una contaminación reciente. Ambas formas de nitrógeno se determinan frecuentemente en una sola medida (método Kjeldhal UNE 77028-1983 y UNE EN 25663-1994). La oxidación aeróbica de los compuestos amoniacales y organo nitrogenados, conduce a la formación de nitritos y posteriormente de estos en nitratos, por lo que un elevado contenido en nitratos y simultáneamente bajo en amonio, indica que se trata de un agua contaminada hace tiempo. Tanto el amonio, como los nitritos y nitratos se pueden determinar mediante espectrofotometría de adsorción (UNE 77027-1982, UNE EN 26777-1994 y UNE EN ISO 13395-1997) o empleando electrometría de electrodos selectivos.

o) **Fósforo total:** (UNE 77047-1983 y UNE EN ISO 1189-1997): El fósforo junto con el nitrógeno, son dos de los nutrientes fundamentales de todos los seres vivos, de forma que contenidos anormalmente altos de estos en las aguas pueden producir un crecimiento incontrolado de la biomasa acuática (eutrofización). Una gran parte del fósforo presente en las aguas se debe al uso de abonos fosfatados y detergentes. La determinación se efectúa por espectrofotometría (UNE 77047-1983 y UNE EN 1189-1997), siendo necesaria la digestión previa de los polifosfatos (constituyentes de los detergentes) en fosfatos, para su análisis posterior.

q) **Iones de metales pesados** (UNE 77056-1983): Entre ellos se incluyen elementos esenciales para la vida como el hierro junto con otros de gran toxicidad como el cadmio, cromo, mercurio, plomo, etc. (ver tabla I). Su presencia en agua es generalmente indicativa de un vertido de tipo industrial. Dada su gran toxicidad y que interfieren en los procesos de depuración (alteran los procesos de biodegradación) se hace necesaria su eliminación antes de los mismos. Para su determinación se emplea la muestra acuosa bruta, si ésta no presenta materia en suspensión (determinación de metales en disolución), en caso contrario habrá que someterla a digestión con ácido nítrico (determinación de metales totales) hallando la cantidad de cada metal por

Aparecido en Gestión Ambiental 2000, vol. 2(23) pag. 12-19

espectroscopía de absorción atómica de llama o electrotérmica. En algunos casos, como el del cromo puede realizarse el análisis por otros métodos como espectroscopía UV-vis, electrometría de electrodo selectivo, teniendo siempre en cuenta las posibles interferencias entre diversos metales, así como los límites de detección de cada método

q) **Detergentes** (UNE EN 903-1994): Pueden ser de naturaleza aniónica, catiónica o neutra, siendo los primeros los más utilizados. Su determinación se efectúa por formación de complejos estables con azul de metileno (contraión catiónico) y extracción de estos con cloroformo, determinándose la concentración por espectroscopia UV-vis, por comparación con una curva de calibrado.

Tabla I.- Metales pesados tóxicos, concentración máxima admisible y método de análisis de los mismos

Metal	Toxicidad (mg/indiv.)	Efectos sobre la salud	Origen
Cd	9	Acumulativo en hígado riñón y páncreas.	Industria de metalizado electrolítico. Pilas Ni/Cd. pigmentos cerámicos, células fotoeléctricas,
Hg	320	Acumulativo. Tóxico sistema nervioso central. Terágeno.	Industria de cloro-sosa, catalizadores, pinturas, lámparas.
Ba	600	Acumulativo. Alteraciones sistema nervioso. Hipertensión	Elemento aleante, desoxidante del cobre. Lubricante para rotores.
Pb	1000	Acumulativo. Tóxico sistema nervioso central, terágeno.	Desechos metalúrgicos. Acumuladores de energía. Corrosión tuberías. Gasolinas. Municiones.
Cu	----	No acumulativo	Minería, metalurgia, corrosión tuberías y calderas.
Cr (VI)	500	Corrosión intestinal. Carcinógeno	Industria de metalizado electrolítico, acero inoxidable, industrias de curtido.
As	130	Carcinógeno y mutagénico.	Minería, productos fitosanitarios, combustión.

r) **Toxicidad:** Los estudios de contaminantes, anteriormente expuestos, son sólo una parte de los posibles, pues en muchos casos hay que determinar la presencia de otras sustancias que alteren las propiedades del agua. Además, hay que tener en cuenta, que algunas sustancias pueden ver potenciado su papel contaminante al encontrarse en presencia de otras (sinergia), por lo cual se hacen imprescindibles otras formas de determinación del nivel de contaminación de un agua. Estos dos factores han llevado a desarrollar una serie de test de toxicidad, encaminados no a la detección de un agente contaminante específico, sino a ver como se ha modificado por la utilización del agua la capacidad de la misma de desarrollar organismos vivos. Entre estos ensayos destacan:

- Estudios de biodiversidad.
- Ensayo de inhibición del crecimiento de pseudomonas (UNE-EN ISO 10712:1996).
- Ensayo de toxicidad aguda en dafnias (UNE-EN ISO 6341:1996).
- Inhibición de la respiración de lodos activos (UNE-EN ISO 8192:1995).
- Ensayo de toxicidad aguda en rotíferos.

- Ensayo de toxicidad aguda en tyamnocephlus.

En la tabla II se resume la normativa vigente para la determinación de los parámetros físico-químicos estudiados. Aunque hay que hacer mención expresa a que esta normativa esta modificándose con relativa frecuencia, y es responsabilidad del analista, el mantenerse informado de los cambios que pueda sufrir.

TABLA II: Parámetros físico-químicos en aguas, y normas para su determinación.

Parámetro	Norma	Técnica
Aceites y grasa	UNE 77037:1983 UNE 77038:1983	Extracción Soxhlet Extracción embudo separación
Alcalinidad	UNE-EN ISO 9963-1:1996 UNE-EN ISO 9963-2:1996	Valoración
Aluminio (Al)	UNE 77059:1989	Espectrofotometría
Amonio (NH_3^+)	UNE 77028:1983 UNE-EN 25663:1994	Destilación (método Kjeldahl)
Aniones	UNE-EN ISO 10304:1997 UNE-EN ISO 11969:1997	Cromatografía
Arsénico (As)	UNE-EN 26595:1994 UNE-EN ISO 11969:1997	Espectrofotometría Absorción atómica
Cadmio (Cd)	UNE-EN ISO 5961:1995	Absorción atómica
Carbonatos (CO_3^-)	UNE-EN ISO 9963-1:1996 UNE-EN ISO 9963-2:1996	Valoración
Carbono orgánico total (COT)	ISO 8245:1987	Analizador
Cianuro (CN^-)	UNE 77029:1983	Espectrofotometría
Cloro libre y combinado	UNE 77064:1990	Espectrofotometría
Cloruro (Cl^-)	UNE 77042:1983 UNE 77041:1983	Potenciometría
Color	UNE-EN ISO 7887:1995	Varias
Conductividad	UNE-EN 27888:1994	Electrometría
Cromo (Cr)	UNE-EN 1233:1997 UNE 77061:1989	Absorción atómica Espectrofotometría
DBO_5	UNE 77003:1989	Incubación
Detergentes	UNE EN 903:1994	Espectrofotometría
DQO	UNE 77004:1989	Reflujo y valoración
Dureza	UNE 77040:1983	Valoración
Fenoles	UNE 77053:1983	Espectrofotometría
Fluoruros (F^-)	UNE 77044:1983	Espectrofotometría
Fosfatos (PO_4^{3-})	UNE 77047:1983 UNE-EN 1189:1997	Espectrofotometría
Indice de permanganato	UNE-EN ISO 8467:1995	Valoración
Manganeso (Mn)	UNE 77060:1989	
Mercurio (Hg)	UNE 77057:1983	Vapor frío
Metales	UNE 77056:1983	Absorción atómica
Nitratos (NO_3^-)	UNE 77027:1982 UNE-EN ISO 13395:1997	Espectrofotometría
Nitritos (NO_2^-)	UNE-EN 26777:1994 UNE-EN ISO 13395:1997	Espectrofotometría
Oxígeno disuelto	UNE-EN 25813:1994 UNE-EN 25814:1994	Yodometría Electrometría
pH	UNE 77035:19883	Electrometría, indicadores
Sólidos disueltos	UNE 77031:1982	Filtración y desecación
Sólidos en suspensión	UNE-EN 872:1996	Filtro de fibra de vidrio

TABLA II: Parámetros físico-químicos en aguas, y normas para su determinación.

Sólidos en suspensión fijos y volátiles	UNE 77034:1983	Filtración y calcinación
Sólidos en suspensión sedimentables	UNE 77032:1982	Cono Imhoff
Sólidos totales	UNE 77030:1982	Gravimetría
Sulfato (SO_4^{2-})	UNE 77048:1983 UNE 77049:1983	Gravimetría Turvimetría
Sulfuro (S^{2-})	UNE 77043:1983	Espectrofotometría
Turbidez	UNE-EN 27027:1995	Varias

5.- BIBLIOGRAFIA

- AENOR: Calidad del agua. Medioambiente Tomo 1. AENOR Madrid 1997.
- AENOR: Análisis de aguas en vertidos industriales. Medioambiente Tomo II. AENOR. Madrid 1998.
- APHA, AWWA, WPCF: Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. Ed. Díaz de Santos, S.A. Madrid, 1992.
- BUENO, J.L.; SASTRE, H.; LAVIN, G.: Contaminación e Ingeniería Ambiental: Contaminación de aguas. Ed. FICYT, Oviedo, 1997.
- MANAHAN, S.E.: Fundamentals of environmental chemistry. Lewis Publishers. Chelsea, 1993.
- METCALF & EDDY: Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización. Ed. McGraw-Hill. Madrid. 1998
- SAWYER, C.N.; McCARTY, P.L. and PARKIN, G.F.: Chemistry for environmental engineering. McGraw-Hill, New York, 1994.