



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 Nº 25 – DICIEMBRE DE 2009

“DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE LA DUREZA DEL AGUA DE ARMILLA UTILIZANDO UNA VALORACIÓN CON LA FORMACIÓN DE COMPLEJOS PARA 2º DE BACHILLERATO”

AUTOR JAVIER RUIZ HIDALGO
TEMÁTICA REACCIONES DE FORMACIÓN DE COMPLEJOS
ETAPA BACHILLERATO

Resumen

En este artículo hemos determinado experimentalmente la dureza del agua de Armilla, con 2º de bachillerato, para eso hemos empleado E.D.T.A.-Na₂.H₂O como agente complejante, hemos empleado un patrón para calcular la concentración real de E.D.T.A.-Na₂.H₂O. Con la disolución conocida de E.D.T.A.-Na₂.H₂O se valoran tres muestras de agua y se determina así la dureza del agua.

Palabras clave

Ácido etilén-diamino-tetraacético, E.D.T.A.-Na₂.H₂O, negro de ericromo T, N.E.T., sulfato de magnesio heptahidratado, MgSO₄-7H₂O, C₁₀H₁₆N₂O₈, ácido etilén-diamino-tetraacético, E.D.T.A., negro de ericromo T, N.E.T., carbonato cálcico, CaCO₃, carbonato de magnesio, Mg CO₃, indicador, valoración, dureza y complejo.

1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo experimental puede ser muy útil para el alumnado de 2º de bachillerato de la materia de química, ya que se pueden comprobar experimentalmente una serie de conceptos y de conocimientos adquiridos durante el desarrollo de la materia, y se puede ver la vertiente experimental de esta materia que en muchas ocasiones por necesidades del temario la solemos dejar en un segundo plano. No debemos olvidar que la química es una ciencia experimental y que como tal debe estar sustentada en la realización de las prácticas y trabajos experimentales adecuados.

1.1. El agua de Armilla



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 Nº 25 – DICIEMBRE DE 2009

Armillá es una localidad granadina que tiene un agua muy dura, algo parecido le ocurre a otras localidades vecinas, que se encuentran emplazadas en la vega granadina.

La dureza del agua de Armillá se puede comprobar de forma experimental simplemente observando como el agua del grifo, al secarse en el lavabo o en cualquier otra superficie brillante, queda la superficie sin brillo, ha perdido su brillo o lo que es igual, el aspecto que presenta es que es una superficie mate. De manera que esta agua si no se seca, al estar sobre las superficies brillantes, de nuestra casa, les hace perder su lustre, por lo que nos proporciona un resultado muy poco deseado, de ahí que sea aconsejable no dejar estas superficies con agua ni siquiera cuando se están limpiando, por lo que se deben dejar siempre secas.

En Armillá hay que adicionar junto con el detergente de la lavadora, algún tipo de producto antical para evitar que esta cal pueda precipitar en alguna parte de la lavadora, (ya que esta puede trabajar a una temperatura alta). Esta deposición de cal puede dañar la lavadora. Cuando indicamos cal queremos decir carbonato cálcico (CaCO_3).

1.2. Dureza del agua

Se define la dureza del agua como la concentración de carbonato cálcico (CaCO_3) equivalente a la concentración de todos los cationes de valencia dos o más de dos.

En el agua los cationes que aparecen en mayor proporción son el catión calcio y el catión magnesio. Pero los consideramos a todos como si sólo fueran calcio y estuvieran en forma de carbonato cálcico.

La dureza del agua nos proporciona mucha información sobre la calidad de un determinado tipo de agua. Es necesario conocer la dureza de un agua tanto si se le da uso industrial, como si se le da uso de agua potable.

El agua dura puede precipitar cal (CaCO_3), llegando a obturar completamente tuberías de abastecimiento, estropeando electrodomésticos, etc.

En la industria el agua dura puede plantear aún más problemas, así al calentar el agua en calderas, precipita el carbonato cálcico (CaCO_3) que se deposita sobre estas, haciendo que el rendimiento de las calderas baje considerablemente. Por otra parte la cal (CaCO_3), también puede precipitar taponando completamente pequeños orificios o tuberías de la instalación industrial.

1.3. E.D.T.A. (Ácido etilén-diamino-tetraacético)

El ácido etilén-diamino-tetraacético o E.D.T.A. también se denomina ácido etilén-dinitro-tetraacético. Es un agente complejante que se utiliza con frecuencia en complejometrías.

Su fórmula química es: $\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{N}_2\text{O}_8$

Su peso molecular es: 292, 25 g/mol

El E.D.T.A. presenta seis lugares por los que puede formar complejos con cationes, cuatro de los grupos carboxilo y dos del grupo amino.



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 Nº 25 – DICIEMBRE DE 2009

El E.D.T.A. es un reactivo muy apropiado para las valoraciones con reacciones de formación de complejos, ya que la proporción entre el E.D.T.A. y los cationes metálicos siempre es 1:1 independientemente de la carga del catión.

En nuestro trabajo vamos a emplear en lugar de E.D.T.A. un derivado suyo que es el E.D.T.A.-Na₂.H₂O

Su peso molecular es: 372,2 g/mol

1.4. N.E.T. (Negro de ericromo T)

En negro de ericromo T o simplemente N.E.T. es un indicador que se puede utilizar en valoraciones en las cuales se formen complejos, (complejometrías). Se comporta como un ácido débil. Entre los valores de pH 4 y 12 los complejos formados entre el N.E.T. y los metales son rojos. El N.E.T. sin estar unido a metales, a pH inferior a 10 es rosado y a pH mayor de 10 es de color azul.

Si adicionamos N.E.T. a un agua dura, este formará rápidamente complejos con los cationes del agua si el pH está comprendido entre 4 y 12, si con alguna disolución reguladora fijamos el pH en 10 y añadimos E.D.T.A.-Na₂.H₂O, este último formará complejos con los cationes metálicos, dejando al N.E.T. sin estar unido a cationes metálicos, en estas condiciones, el N.E.T. se torna de color azul.

1.5. Disolución reguladora

Por todo lo explicado anteriormente, necesitamos una disolución reguladora, para garantizar que estamos en un pH 10 para poder observar bien el comportamiento del N.E.T.

Esta disolución puede ser la siguiente: NH₃ y NH₄Cl

Calculo la concentración del amoníaco partiendo de NH₃ con una riqueza del 29 % y una densidad de 0,8192 g/mol.

$$M = 29 \text{ g NH}_3 / 100 \text{ g} \times (0,8192 \text{ g/mol}) / 1 \text{ ml} \times (1000 \text{ ml} \times 1 \text{ mol}) / 17 \text{ g NH}_3 = 14 \text{ M}$$

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$14 \text{ M} \times V_1 = 0,1 \text{ M} \times 500 \text{ ml}$$

$$V_1 = (0,1 \text{ M} \times 500 \text{ ml}) / 14 \text{ M} = 3,57 \text{ ml de NH}_3$$

Calculo la cantidad de NH₄Cl necesaria para preparar 500 ml de la disolución reguladora de pH 10.

$$K_b = 1,8 \times 10^{-4} \quad \text{pH} = 10 \quad \text{pOH} = 4$$

$$K_b = [\text{OH}] \times [\text{NH}_4\text{Cl}] / [\text{NH}_3]$$

$$1,8 \times 10^{-4} = 10^{-4} \times [\text{NH}_4\text{Cl}] / 0,1 \text{ M}$$

$$[\text{NH}_4\text{Cl}] = 1,8 \times 10^{-2} \text{ M}$$

$$1,8 \times 10^{-2} \text{ M} \times 0,5 \text{ l} = 9 \times 10^{-3} \text{ moles de NH}_4\text{Cl}$$

El peso molecular del NH₄Cl es 53,5 g/mol

$$9 \times 10^{-3} \text{ moles de NH}_4\text{Cl} \times 53,5 \text{ g/mol} = 0,4815 \text{ g de NH}_4\text{Cl}$$



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 Nº 25 – DICIEMBRE DE 2009

La disolución reguladora la hago añadiendo 3,57 ml de NH_3 y 0,4815 g de NH_4Cl a los 500 ml de la disolución de E.D.T.A.- $\text{Na}_2\text{H}_2\text{O}$.

2. OBJETIVOS

En la realización de este trabajo experimental, se pretenden conseguir los siguientes objetivos:

- Entender los fundamentos de una valoración.
- Comprender el fundamento químico de un indicador.
- Estudiar las reacciones de formación de complejos.
- Comprender el concepto de dureza del agua.
- Conocer el procedimiento experimental para el cálculo de la dureza del agua.
- Entender los cálculos necesarios para calcular la dureza del agua.

3. MATERIALES

Para la realización de este trabajo experimental, se necesita el siguiente material de laboratorio:

- 1 Matraz aforado de 500 ml
- 2 Matraces aforados de 30 ml
- 2 Matraces de 100 ml
- 3 Matraces de 250 ml
- 1 Pipeta
- 2 Nueces
- 1 Bureta
- 2 Pinzas para fijar a la bureta
- Espátula



4. REACTIVOS

Para la realización de este trabajo experimental, se necesitan los siguientes reactivos:

Ácido etilén-diamino-tetraacético (E.D.T.A.-Na₂.H₂O)

Negro de ericromo T (N.E.T.)

Sulfato de magnesio heptahidratado (MgSO₄-7H₂O)

5. DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE LA DUREZA DEL AGUA DE ARMILLA

5.1. Preparación de la disolución de E.D.T.A.-Na₂.H₂O

Pretendemos preparar 500 ml de una disolución 0,1 M de E.D.T.A.-Na₂.H₂O.

El peso molecular del E.D.T.A.-Na₂.H₂O es 372,2 g/mol

Añadimos 18,61 g de E.D.T.A.-Na₂.H₂O a un matraz aforado de 500 ml y posteriormente enrasamos con agua.

Es necesario contrastar la disolución de E.D.T.A.-Na₂.H₂O con un patrón para ver exactamente cual es la concentración de nuestra disolución.

5.2. Valoración de la disolución de E.D.T.A.-Na₂.H₂O con un patrón de sulfato de magnesio heptahidratado (MgSO₄-7H₂O)

Tomo 30 ml de la disolución 0,1 M de E.D.T.A.-Na₂.H₂O

30 ml de la disolución 0,1 M de E.D.T.A.-Na₂.H₂O = 0,03 l de la disolución 0,1 M de E.D.T.A.-Na₂.H₂O

0,03 l × 0,1 M = 0,003 moles de E.D.T.A.-Na₂.H₂O = 0,003 moles de MgSO₄-7H₂O



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 Nº 25 – DICIEMBRE DE 2009

El peso molecular del $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ es 246,5 g/mol

0,003 moles de $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} \times 246,5 \text{ g/mol} = 0,7395 \text{ g de } \text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

Peso 0,7395 g de $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ y disuelvo en agua en un matraz adorado de 30 ml y agrego una disolución reguladora de pH = 10. Añado N.E.T. que tiñe el matraz de color rojo (el cation magnesio está formando complejos con el N.E.T.) valoro con la disolución de E.D.T.A.- $\text{Na}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ hasta que cambie de color a azul (el cation magnesio está ahora formando complejos con el E.D.T.A.- $\text{Na}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$).

Tomo dos matraces de 100 ml.

Volumen de la disolución patrón gastado en la valoración del matraz 1 es de 30,23 ml.

Volumen de la disolución patrón gastado en la valoración del matraz 2 es de 30,87 ml.

5.3. Cálculo de la molaridad de la disolución de E.D.T.A.- $\text{Na}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$

Matraz 1

$V_1 = 30,23 \text{ ml de } \text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} = 0,03023 \text{ l } \text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

$0,03023 \text{ l } \text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} \times 0,1 \text{ M} = 0,003023 \text{ moles de } \text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} \Rightarrow$

$\Rightarrow 0,003023 \text{ moles de E.D.T.A.-Na}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$

$M_1 = 0,003023/0,03 = 0,1008 \text{ M}$

Matraz 2

$V_2 = 29,87 \text{ ml de } \text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} = 0,02987 \text{ l } \text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

$0,02987 \text{ l } \text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} \times 0,1 \text{ M} = 0,002987 \text{ moles de } \text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} \Rightarrow$

$\Rightarrow 0,002987 \text{ moles de E.D.T.A.-Na}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$

$M_2 = 0,002987/0,03 = 0,0996 \text{ M}$

Molaridad final

$M = (M_1 + M_2)/2 = (0,1008\text{M} + 0,0996\text{M})/2 = 0,1002 \text{ M}$

5.4. Valoración de la dureza del agua de Armilla

Tomo 200 ml de agua del grifo de la localidad de Armilla en un matraz, le añadimos la disolución reguladora que fija el pH en 10 y le añadimos el indicador N.E.T. la disolución se pone de color rojo, (lo que significa que tenemos el complejo formado por el N.E.T. con los cationes del agua).

Valoramos con la disolución de E.D.T.A.- $\text{Na}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ preparada anteriormente, de concentración 0,1002 M hasta que la disolución se ponga de color azul, (lo que significa que tenemos en la disolución del N.E.T. sin formar complejos con los cationes, ya que estos cationes forman ahora los complejos con el E.D.T.A.- $\text{Na}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$).

Volumen de E.D.T.A.- $\text{Na}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} \times$ Molaridad de E.D.T.A.- $\text{Na}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} =$ moles de E.D.T.A.- $\text{Na}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} =$
 $=$ moles de cation Ca + moles de cation Mg



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 Nº 25 – DICIEMBRE DE 2009

El contenido de $Mg CO_3$ es siempre muy inferior al contenido de $CaCO_3$ en el agua, por eso se toma todo como si fuera $CaCO_3$, así la dureza total es la concentración de $CaCO_3$ (pero hemos considerado al $Mg CO_3$). La dureza se expresa en p.p.m. (partes por millón). Recordemos que 1 p.p.m. = 1 mg/l.

Tomo tres matraces de 250 ml con 200 ml de agua cada uno y realizo la valoración, gastando en cada una de las valoraciones, las siguientes cantidades de la disolución de E.D.T.A.- $Na_2.H_2O$.

Matraz 1

4,5 ml gastados de la disolución de E.D.T.A.- $Na_2.H_2O$ en la valoración = 0,0045 l gastados de la disolución de E.D.T.A.- $Na_2.H_2O$ en la valoración

Matraz 2

4,7 ml gastados de la disolución de E.D.T.A.- $Na_2.H_2O$ en la valoración = 0,0047 l gastados de la disolución de E.D.T.A.- $Na_2.H_2O$ en la valoración

Matraz 3

4,3 ml gastados de la disolución de E.D.T.A.- $Na_2.H_2O$ en la valoración = 0,0043 l gastados de la disolución de E.D.T.A.- $Na_2.H_2O$ en la valoración

5.5. Cálculo de la dureza del agua de Armilla

Peso molecular del $Ca CO_3$ = 100,067 g/mol

Matraz 1

$V_1 = 0,0045 \text{ l E.D.T.A.-Na}_2.H_2O \times 0,1002 \text{ M} = 0,0004509 \text{ moles de E.D.T.A.-Na}_2.H_2O \Rightarrow$

$\Rightarrow 0,0004509 \text{ moles de Ca CO}_3$

$0,0004509 \text{ moles de Ca CO}_3 \times 100,067 \text{ g/mol} = 0,04512 \text{ g de Ca CO}_3$

0,2 l de agua tiene 0,04512 g de $Ca CO_3$

$0,04512 \text{ g de Ca CO}_3 = 45,12 \text{ mg de Ca CO}_3$

0,2 l de agua ————— 45,12 mg de $Ca CO_3$

1 l de agua ————— X_1

$X_1 = 226 \text{ mg/l de Ca CO}_3$

$X_1 = 226 \text{ p.p.m. de Ca CO}_3$

Matraz 2

$V_2 = 0,0047 \text{ l E.D.T.A.-Na}_2.H_2O \times 0,1002 \text{ M} = 0,00047094 \text{ moles de E.D.T.A.-Na}_2.H_2O \Rightarrow$

$\Rightarrow 0,00047094 \text{ moles de Ca CO}_3$



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 Nº 25 – DICIEMBRE DE 2009

$0,00047094 \text{ moles de Ca CO}_3 \times 100,067 \text{ g/mol} = 0,04712 \text{ g de Ca CO}_3$

0,2 l de agua tiene 0,04712 g de Ca CO₃

$0,04712 \text{ g de Ca CO}_3 = 47,12 \text{ mg de Ca CO}_3$

0,2 l de agua _____ 47,12 mg de Ca CO₃

1 l de agua _____ X₂

$X_2 = 236 \text{ mg/l de Ca CO}_3$

$X_2 = 236 \text{ p.p.m. de Ca CO}_3$

Matraz 3

$V_3 = 0,0043 \text{ l E.D.T.A.} \cdot \text{Na}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} \times 0,1002 \text{ M} = 0,00043086 \text{ moles de E.D.T.A.} \cdot \text{Na}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} \Rightarrow$

$\Rightarrow 0,00043086 \text{ moles de Ca CO}_3$

$0,00043066 \text{ moles de Ca CO}_3 \times 100,067 \text{ g/mol} = 0,04311 \text{ g de Ca CO}_3$

0,2 l de agua tiene 0,04311 g de Ca CO₃

$0,04311 \text{ g de Ca CO}_3 = 43,11 \text{ mg de Ca CO}_3$

0,2 l de agua _____ 43,11 mg de Ca CO₃

1 l de agua _____ X₃

$X_3 = 216 \text{ mg/l de Ca CO}_3$

$X_3 = 216 \text{ p.p.m. de Ca CO}_3$

Dureza final

$X = X_1 + X_2 + X_3 = (226 \text{ p.p.p.m.} + 236 \text{ p.p.m.} + 216 \text{ p.p.m.})/3 = 226 \text{ p.p.m.}$

6. CONCLUSIONES

En el presente artículo recojo que el agua de Armilla tiene una Dureza de 226 p.p.m. lo que supone que el agua de esta localidad grandina es un agua muy dura, lo que supone que puede ocasionar problemas en algunos electrodomésticos, así como puede ocasionar algún problema de salud a los usuarios de la red pública de agua, ya que este contenido en cal del agua puede originar problemas de cálculos renales.



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 Nº 25 – DICIEMBRE DE 2009

BIBLIOGRAFIA

- Lozano, J.J: (1983). Fundamentos de Química General. Barcelona: Editorial Alambra.
- Morcillo, Jesús (1976). Química General. Madrid: Editorial U.N.E.D.
- Romero, M (2002). Enlace Químico y Estructura Molecular. Barcelona: Editorial Calamo Producciones.
- Gutiérrez Ríos, Enrique (1998). Química Inorgánica. Madrid: Reverte

Autoría

- Nombre y Apellidos: Javier Ruiz Hidalgo
- Centro, localidad, provincia: IES Américo Castro, Huétor Tájar, Granada
- E-mail: javierruizh@hotmail.com