



VNIVERSIDAD
D SALAMANCA

Vicerrectorado de Docencia y Convergencia Europea

**AYUDAS DE LA UNIVERSIDAD DE SALAMANCA PARA
LA INNOVACIÓN DOCENTE**

MEMORIA JUSTIFICATIVA

TÍTULO DEL PROYECTO: Ambientalización curricular de asignaturas de Química en titulaciones de Ingeniería y Ciencias Ambientales

REFERENCIA: ID9/025

MODALIDAD: B

RESPONSABLE DEL PROYECTO:

María Esther Fernández Laespada
Área de Química Analítica
Departamento de Química Analítica, Nutrición y Bromatología

RESUMEN DEL PROYECTO

El Proyecto de innovación docente ha consistido en la Ambientalización Curricular de varias asignaturas de química en titulaciones de Ingeniería y Ciencias Ambientales. En concreto las asignaturas han sido: Química, en las titulaciones de Ciencias Ambientales y en la de Ingeniero Técnico de Minas (Especialidad Sondeos y Prospecciones Mineras) y Química Aplicada en la titulación de Ingeniero Técnico de Obras Públicas (Especialidad Hidrología). La primera se imparte en la Facultad de Ciencias Ambientales y las dos últimas en la Escuela Politécnica Superior de Ávila.

Los aspectos fundamentales abordados pueden resumirse en:

- Inclusión de contenidos de sostenibilidad (económicos-sociales-medioambientales) en las asignaturas para fomentar un cambio de actitudes en los futuros profesionales, de manera que comprendan cómo su trabajo interactúa local y globalmente con la sociedad y el medio ambiente.

- Contextualización de la enseñanza e implicación de los estudiantes en el proceso de enseñanza-aprendizaje, proponiendo a los alumnos la realización de búsquedas en medios de comunicación, Internet,..., de situaciones concretas relacionadas con la química implicada en algunos problemas socioambientales.

COMPONENTES DEL GRUPO IMPLICADO EN EL PROYECTO

Responsable del proyecto: María Esther Fernández Laespada

Otros participantes: Carmelo García Pinto

Myriam Bustamante Rangel

Javier Domínguez Álvarez

Departamento: Química Analítica, Nutrición y Bromatología

Área de Conocimiento: Química Analítica

MEMORIA DEL PROYECTO

Introducción

La Universidad de Salamanca forma parte del grupo de universidades españolas que impulsaron la creación de un grupo de trabajo y, posteriormente, de la comisión sectorial de la CRUE para la Calidad ambiental, el Desarrollo sostenible y la Prevención de riesgos en las universidades, que fomenta la formación para la sostenibilidad como un eje vertebrador de la adaptación de la formación universitaria al EEES.

Este proyecto se presentó con ese objetivo, de incorporación de la sostenibilidad como un valor transversal en la formación de asignaturas de Química, en aspectos tales como el acceso al agua de la población mundial, el mantenimiento de su calidad evitando su contaminación, así como la de la atmósfera o el papel de las fuentes de energía en la consecución de un modelo de desarrollo sostenible.

Objetivos

El objetivo fundamental del presente proyecto de innovación docente ha buscado contribuir a la formación de profesionales comprometidos con la búsqueda de las mejores relaciones posibles entre la sociedad y la naturaleza.

Se buscaba además aumentar la motivación de los alumnos hacia el estudio de la Química, al integrar los conocimientos propios de la materia como parte de un todo para contribuir a la resolución de los problemas ambientales.

Descripción de la experiencia

La docencia de las asignaturas de Química implicadas en este proyecto se ha impartido utilizando la plataforma virtual Moodle, en Studium.

Se han utilizado materiales adaptados a esta modalidad de aprendizaje que empezaron a elaborarse en el marco de un proyecto de innovación docente concedido en la anterior convocatoria ("Adaptación de contenidos y potenciación del uso de las nuevas tecnologías para la docencia de la Química"), y se han ampliado y mejorado incorporando además aspectos de sostenibilidad.

Las estrategias adoptadas para lograr este fin han sido, entre otras:

- La adopción de un nuevo enfoque al comienzo de varios de los temas para situar a los estudiantes en problemas ambientales para los que los conocimientos y el uso ético de la química puede contribuir a aportar soluciones.

- Proposición a los alumnos, previamente al desarrollo de algunas de las clases magistrales y de las prácticas de laboratorio, de búsquedas en medios de comunicación, Internet,..., de situaciones concretas relacionadas con determinados problemas socioambientales.

- Planteamiento de problemas ambientalizados (ver ejemplos en el anexo I) que después se corregían en común, en los seminarios destinados a ese fin.

- Elaboración de nuevos guiones de prácticas (ver ejemplos en el anexo II), a partir de los ya existentes, que además de los procedimientos, incluyeran los aspectos relacionados con el medio ambiente y la sostenibilidad. En este sentido el planteamiento inicial era el de adoptar buenas prácticas ambientales, utilizando reactivos de la menor toxicidad posible, preparando disoluciones que se iban a utilizar en prácticas posteriores y generando la menor cantidad posible de residuos, ajustando las cantidades lo más posible en función de las experiencias previstas. Los residuos se recogían para su tratamiento según el Plan de Sostenibilidad de la Universidad de Salamanca.

En la elaboración de materiales didácticos se ha contado con bibliografía adquirida gracias a la financiación de este proyecto, que además quedará a disposición de los estudiantes, repartidos entre las bibliotecas Abraham Zacut, del Campus de Ciencias de Salamanca y en la de la Escuela Politécnica Superior de Ávila.

En concreto la bibliografía adquirida fue la siguiente:

- **Atlas medioambiental (Le Monde Diplomatique, edición. española): lo que amenaza al planeta y las soluciones para salvarlo**, VV.AA, Ediciones Cybermonde S.L., 2008. **ISBN:** 9788495798114.

- **Environmental Chemistry in Society**, J. M. Beard, CRC Press Taylor & Francis Group, 2008. **ISBN:** 9781420080254.

- **Environmental Laboratory Exercises for Instrumental Analysis and Environmental Chemistry**, F. M. Dunnivant, Ed. Wiley & Sons, Inc., 2004. **ISBN:** 9780471488569.

- **Energy Systems and Sustainability**, G. Boyle, B. Everett, J. Ramage, OUP/The Open University, 2003, **ISBN:** 9780199261796.

- **Huella ecologica y desarrollo sostenible**, J. L. Domenech, AENOR. ASOCIACION ESPAÑOLA DE NORMALIZACION Y CERTIFICACION 2007. **ISBN:** 9788481435177.

- **Análisis Del Ciclo De Vida De Combustibles Alternativos Para El Transporte: Fase II : Análisis Del Ciclo De Vida Comparativo Del Biodiésel Y Del Diésel**, MEDIO AMBIENTE (Ministerio de Medio Ambiente. Secretaria General Técnica). **ISBN:** 8483203766.

- **Nucleares, ¿por qué no?: Cómo afrontar el futuro de la energía**, M. Lozano Leyba, Ed. Debate, 2009. **ISBN:** 9788483068175.

- **Química Verde**, X. Doménech, Rubens Editorial, S.L., 2005. **ISBN:** 9788449701818.

- **Environmental Science and Technology: A Sustainable Approach to Green Science and Technology**, S. E. Manahan, CRC Press, 2006. **ISBN** 9780849395123.

- **El abc del aprendizaje cooperativo. Trabajo en equipo para enseñar y aprender**, R. Ferreiro Gravié, M. Calderón Espino, Ed. Trillas, 2006. **ISBN:** 9788466545532.

- **9 ideas clave. El aprendizaje cooperativo**, P. Pujolàs Mases, Ed. Grao, 2008. **ISBN:** 9788478276745.

- **Ambientalización Curricular De Los Estudios Superiores**, J. Merlè, A. M. Geli, E. Arbat, Universitat de Girona,2003. **ISBN:** 848458190X.

Biblioteca del espacio (volumen VII). Sostenibilidad. Tibidabo Ediciones, S.A. **ISBN:** 9788480331593.

Consta de 1 libro, tres CD-ROM y tres DVD.

"AGENDA 21 Y RECURSOS ENERGÉTICOS": 30 min. El vídeo habla de cómo frenar la degradación del medio ambiente y cómo conseguir un desarrollo sostenible. A continuación se habla sobre el uso sostenible de los recursos energéticos.

"RECURSOS NATURALES": 54 min. Se habla sobre la pérdida de biodiversidad y también sobre la degradación del suelo, sus causas y consecuencias y sobre qué medidas tomar para conseguir un uso sostenible del suelo.

"CONTAMINACIÓN Y RESIDUOS": 40 min. Se habla de los tipos de contaminación que existen; la acústica, la lumínica. Luego se trata el tema de los residuos, su eliminación y medidas para reducirlos.

Resultados obtenidos

Los resultados obtenidos del Proyecto hasta el momento pueden considerarse satisfactorios.

- Se ha dado un primer paso hacia la ambientalización curricular de varias asignaturas de química en las titulaciones de Ciencias Ambientales, Ingeniero Técnico de Minas (Especialidad Sondeos y Prospecciones Mineras) e Ingeniero Técnico de Obras Públicas (Especialidad Hidrología) que seguirá ampliándose con una mayor adecuación de contenidos, metodología y evaluación.
- Un alto porcentaje de los alumnos ha participado en las actividades propuestas, han resuelto los problemas ambientalizados y han realizado las tareas e informes solicitados.
- La inclusión de temáticas ambientalizadas ha conseguido una mayor motivación de los alumnos hacia el estudio de la química, entendiendo y contextualizando algunos conceptos importantes de esta materia.

Por último, cabe señalar que los resultados obtenidos impulsan al profesorado participante en este proyecto a seguir trabajando en la línea desarrollada, actualizando los contenidos y recursos utilizados en la docencia adaptada al Espacio Europeo de Educación Superior, potenciando el uso de Internet y de las nuevas tecnologías como apoyo a la misma e integrando la formación para la sostenibilidad en el currículo.

Anexo I. Selección de problemas de Química ambientalizados.

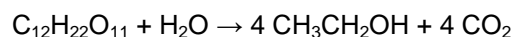
- Un compuesto que no daña la capa de ozono, utilizado actualmente como refrigerante en los climatizadores de los coches, es el hidrofurocarbono de fórmula molecular $\text{H}_2\text{C}_2\text{F}_4$. Si se introducen 2.50 g de este compuesto en un recipiente de 500.0 mL a 10°C , en el que se ha hecho previamente el vacío, ¿qué presión se alcanza?

- El plomo es un metal venenoso que afecta especialmente a los niños, ya que retienen una fracción de plomo mayor que los adultos. Un nivel de plomo igual o superior a 0.250 ppm en la sangre de un niño produce retrasos en el desarrollo del conocimiento. ¿Cuántos moles de plomo presentes en 1.00 g de sangre de un niño representarán 0.250 ppm?

- Cierta hulla contiene un 2.8% en masa de azufre. Cuando se quema esta hulla, el azufre se convierte en dióxido de azufre gaseoso, uno de los gases precursores de la lluvia ácida. Para eliminar este contaminante se puede adoptar como medida correctora la reacción del dióxido de azufre con óxido de calcio, con lo que se forma sulfito de calcio sólido y se impide el escape a la atmósfera. (a) Escribir las ecuaciones ajustadas de las reacciones implicadas; (b) Si la hulla se quema en una central térmica que consume 2000 toneladas de hulla al día, calcular la producción diaria de sulfito de calcio, suponiendo que se dispone de óxido de calcio en exceso.

- Uno de los procesos utilizados para obtener combustibles a partir de biomasa vegetal es someterla a fermentación, en presencia de levadura o de ciertas bacterias.

La reacción global de conversión de sacarosa en etanol puede escribirse así:



(a) ¿Cuánto etanol podría producirse por fermentación de una tonelada de sacarosa en presencia de levadura? Suponer un rendimiento de reacción del 90 %.

Datos: $M_m(\text{sacarosa}) = 342$, $M_m(\text{etanol}) = 46$.

(b) Un país produce 300000 t/año de azúcar e importa 300000 t/año de petróleo, ¿qué proporción de las importaciones se podría ahorrar si transformase todo el azúcar en etanol, según el proceso anterior?

Datos: poder calorífico etanol: 30 GJ/t; poder calorífico petróleo: 42 GJ/t

- ¿Cuántos kg de CO_2 , gas de efecto invernadero, produce un automóvil que recorre 19.3 km si tiene una eficiencia de combustible de 8.93 km/L? Suponga que la gasolina se compone enteramente de octano, cuya densidad es 0.682 g/mL.

- La concentración de CO_2 en la atmósfera ha experimentado un importante aumento en las últimas décadas del siglo XX. Este gas contribuye al efecto invernadero y, según muchos expertos, al calentamiento global. En el año 1960 la concentración de CO_2 en la atmósfera era de $315 \text{ cm}^3/\text{m}^3$ de aire, mientras que a principios del siglo XXI (año 2009) esta concentración ha aumentado hasta $387 \text{ cm}^3/\text{m}^3$. Suponiendo condiciones normales, a) expresar los valores de estas concentraciones en mg de CO_2/m^3 de aire. Suponiendo un radio de la Tierra de 6378 km y un radio de 12 km para la troposfera, b) calcular la masa en kg de CO_2 emitidos a la atmósfera desde 1960.

- Una central nuclear utiliza como agua de refrigeración la de un río que tiene una temperatura de 15°C . Si se emplean $2.4 \times 10^4 \text{ m}^3$ de agua del río por día para condensar y refrigerar $5.0 \times 10^5 \text{ kg}$ de vapor generado en la central a 100°C . a) ¿Cuál es la temperatura del agua cuando es evacuada de nuevo al río?

b) Sabiendo que el río en el cual se vierte el agua tiene una corriente de $2.8 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{día}$, calcular el aumento de temperatura del mismo. Si la temperatura aumenta en exceso ¿por qué se ve afectada la vida acuática? ¿cómo se denomina ese tipo de contaminación?

Datos: $\Delta H_v(\text{agua}) = 540 \text{ kcal/kg}$; $c_e(\text{agua}) = 1.00 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$.

- A 14°C la constante de Henry para el oxígeno es $1.58 \cdot 10^{-3} \text{ mol L}^{-1} \text{ atm}^{-1}$ y la presión de vapor del agua 11.9 mm de Hg. Si la proporción de O_2 en el aire seco es del 20.95% a) ¿Qué concentración de O_2 en mg/L contiene un agua superficial a esa temperatura teóricamente a partir de la ley de Henry?; b) ¿Por qué causas el valor de O_2 puede ser menor que el teórico?; c) ¿Qué cantidad de materia orgánica (CH_2O) por litro pueden destruir las bacterias en esa agua?

- La oxidación de la pirita (FeS_2) produce sulfatos y confiere acidez al agua, vía un proceso de oxidación-reducción. Es lo que se conoce como drenaje ácido de minas, que constituye un problema serio de contaminación por actividades mineras, especialmente las abandonadas.

a) Ajustar la reacción global a partir de las semirreacciones redox de las dos etapas del proceso: Oxidación de la pirita: $\text{FeS}_2(\text{s}) \rightarrow \text{SO}_4^{2-}(\text{aq}) + \text{Fe}^{2+}(\text{aq})$

Reducción del oxígeno a agua: $\text{O}_2(\text{aq}) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{l})$

b) A su vez los iones ferrosos puestos en disolución a partir del mineral se oxidan a férricos, también por acción del oxígeno. Ajustar esta segunda reacción redox y justificar que es un proceso espontáneo (suponer condiciones estándar), sabiendo que $E^\circ(\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}) = +0.77 \text{ V}$ y $E^\circ(\text{O}_2/2\text{H}_2\text{O}) = +1.23 \text{ V}$.

Anexo 2. Guiones de práctica ambientalizados

I. T. OO.PP (Hidrología). QUÍMICA APLICADA

INTRODUCCIÓN GENERAL

La asociación entre Química y riesgos medioambientales es una constante en todas las sociedades modernas. Esto es paradójico, ya que, probablemente, no existe ninguna otra ciencia que haya contribuido más, de modo simultáneo, a la preservación del medio ambiente y al bienestar de la humanidad.

La sociedad es cada vez más consciente de que las amenazas al medio ambiente (cambio climático, destrucción de la capa de ozono, contaminación de los ecosistemas, pérdida de biodiversidad, escasez de agua potable...) son también un peligro para la viabilidad a largo plazo del desarrollo económico y de nuestras condiciones de vida actuales. En este sentido se impone la idea

de que hay que ir hacia un desarrollo real, que permita la mejora de las condiciones de vida, pero compatible con una explotación racional del planeta que cuide el ambiente. Es el llamado desarrollo sostenible.

Por eso, las actividades humanas deben ser cada vez más respetuosas hacia el medio ambiente. En este sentido, la aportación más eficiente y a largo plazo de la Química es la que aporta la llamada Química Sostenible ("*Green Chemistry*"): el desarrollo de productos, tecnologías, metodologías y procesos químicos limpios, que consuman la menor cantidad posible de materias primas y que éstas sean, si es viable, renovables; que reduzcan al máximo el consumo de recursos energéticos; que minimicen los residuos producidos y que éstos sean inocuos; y por último, que no generen riesgos evitables.

Las prácticas de Química de titulación de Ingeniero Técnico de OO.PP. se han elaborado con arreglo a una serie de criterios encaminados a un desarrollo sostenible.

- 1.- Utilizar (siempre que sea posible) reactivos de escasa toxicidad cuya manipulación no suponga un riesgo excesivo (si se trabaja en las condiciones óptimas).
- 2.- Preparar disoluciones a las que se les dará una utilidad posterior. Los volúmenes de disolución a preparar se ajustarán lo más posible a los que se necesiten para la realización adecuada de las diferentes experiencias.
- 3.- Generar la mínima cantidad de residuos que se recogerán y tratarán de forma adecuada según el Plan de Sostenibilidad de la Universidad de Salamanca.

OBJETIVOS GENERALES

- 1.- Familiarizar a los alumnos con la manipulación del material y reactivos en el laboratorio químico y dotarlos de un método de trabajo experimental organizado y eficaz.
- 2.- Proponer la realización de experiencias que se emplean de forma habitual en los laboratorios de análisis para determinar parámetros importantes en matrices acuosas.
- 3.- Que el estudiante conozca, aplique y haga aplicar en su grupo de trabajo las medidas de seguridad que es necesario tomar en el manejo de sustancias químicas del laboratorio para preservar su salud y la del resto de compañeros en un trabajo en grupo.
- 4.- Que el estudiante tome conciencia de la importancia de tener identificado cada residuo o desecho procedente de una actividad a fin de disminuir los costes relacionados con los tratamientos posteriores de dichos residuos o desechos.
- 5.- Que el estudiante adquiera habilidad en el trabajo práctico en grupo a fin de mejorar las expectativas en su futura incorporación al mercado de trabajo.

ÍNDICE DE PRÁCTICAS

Práctica 1.- Preparación de disoluciones.

Práctica 2.- Determinación de la dureza total de aguas minerales comerciales.

Práctica 3.- Volumetrías ácido-base: valoración de una disolución de HCl y determinación de la alcalinidad del agua de la red.

Práctica 4.- Medida del pH y la conductividad de aguas.

Práctica 5.- Medida de la concentración de cromo en aguas mediante un método espectrofotométrico.

Práctica 6.- Tratamiento estadístico de datos analíticos (aula de informática).

ELABORACIÓN DE UN CUADERNO DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO

Es necesario mantener una relación por escrito de las experiencias realizadas en el laboratorio, en el que se especifiquen éstas de forma limpia y ordenada. De esta forma el profesor puede hacer un seguimiento de los trabajos realizados.

En el cuaderno de prácticas deberá incluirse:

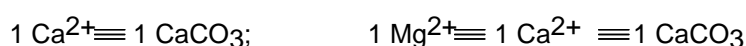
1. Breve **fundamento** de la práctica a realizar.
2. **Procedimiento experimental.**
3. **Reactivos y material necesario** para realizar el experimento propuesto.
4. **Resultados obtenidos.** En este sentido, anotar todos los datos directamente en el cuaderno de laboratorio y no en papeles sueltos. Indicar las operaciones realizadas de forma ordenada.

PRÁCTICA 2.- DETERMINACIÓN DE LA DUREZA TOTAL DE AGUAS MINERALES COMERCIALES

Introducción

Concepto de dureza

La dureza total de un agua representa la suma de las concentraciones de calcio y magnesio y se expresa como la cantidad equivalente de carbonato de calcio en partes por millón (ppm = mg/L) o en grados franceses ($1^\circ \text{F} = 10 \text{ mg/l de CaCO}_3$).



Valores de referencia

Las aguas se clasifican en función de su dureza total según la siguiente tabla:

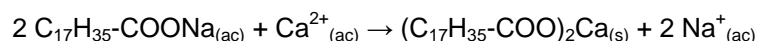
Dureza total (mg/L de CaCO ₃)	Tipo de agua
70 - 140	blanda
140 - 210	semidura
210 - 320	bastante dura
320 - 540	dura
> 540	muy dura

Aspectos medioambientales y sostenibles relacionados con la dureza de las aguas

La dureza de las aguas refleja la naturaleza de las formaciones geológicas por las que ha discurrido, ya que se deriva en gran medida de su contacto con el suelo y las formaciones rocosas. En general, las aguas duras se originan en áreas donde la capa superior del suelo contiene formaciones de piedra caliza, mientras que las aguas blandas corresponden a zonas donde estas formaciones están dispersas o ausentes, como es el caso de suelos graníticos.

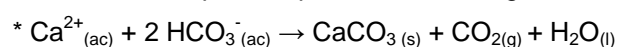
La dureza del agua tiene importancia tanto en los aspectos económico como medioambiental de la sostenibilidad, como se explica a continuación.

La dureza del agua es indeseable en muchos procesos, tales como el lavado doméstico e industrial, provocando que se consuma más jabón, ya que los cationes causantes de la dureza reaccionan con los ácidos de cadena larga de los jabones formando sales insolubles. Por ejemplo:



Además estos compuestos insolubles se depositan en la ropa, alterando los colores y haciendo los tejidos más frágiles y ásperos, en la piel y en los cabellos, en las paredes de baños, grifos, etc.

Por otra parte, en calderas y sistemas enfriados por agua, las aguas duras producen incrustaciones de carbonatos* en las tuberías y una pérdida en la eficiencia de la transferencia de calor, además del peligro potencial de explosiones. También en las resistencias y conducciones de los electrodomésticos, recortando significativamente la vida útil de los mismos, y generando un mayor gasto energético, en el caso de aparatos para calentar el agua.



Para evitar estos inconvenientes de las aguas duras, desde aproximadamente 1930, se han utilizado polifosfatos en los detergentes y en el tratamiento de aguas, ya que forman complejos con los cationes calcio y magnesio, evitando que participen en las reacciones anteriores, causantes de los precipitados. Sin embargo, los polifosfatos introducen un nuevo

problema medioambiental, ya que están formados por fósforo, que es un nutriente de las algas, por lo que si aumenta su concentración en las mismas se produce eutrofización, con un crecimiento masivo de las mismas, que reduce la cantidad de oxígeno disuelto, pone en peligro a los organismos que necesiten oxígeno para respirar, causa problemas en la navegación, así como impactos visuales y estéticos y, en definitiva, disminuye la calidad del agua.

En los detergentes se ha propuesto la sustitución de polifosfatos por otros agentes complejantes como el NTA, ácido nitriloacético, pero también existen dudas sobre la eficacia de su adecuada eliminación en las plantas de tratamiento de aguas, con el consiguiente riesgo de aumento de su concentración en los cursos de agua, donde puede disolver sales de metales pesados tóxicos, y contribuir de ese modo a su contaminación.

Fundamento

Determinación de la dureza total de un agua

La dureza total de un agua se determina mediante una volumetría o valoración complexométrica. Como ya se reflejó en la práctica anterior, una volumetría consiste en hacer reaccionar un volumen conocido de la disolución problema con una disolución de un reactivo valorante de concentración perfectamente conocida. La concentración de la sustancia problema se determina a partir de la estequiometría de la reacción y de la medida del volumen de valorante que es necesario añadir para que la reacción sea completa (**punto de equivalencia**). Para saber cuándo se alcanza el punto de equivalencia se utilizan indicadores químicos o instrumentales, que dan el **punto final** o experimental.

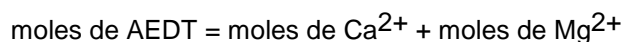
Para la determinación de la dureza total de aguas se utiliza como reactivo valorante el AEDT (ácido etilendiaminotetraacético, $(\text{CH}_2\text{COOH})_2\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{N}(\text{CH}_2\text{COOH})_2$ o H_4Y) cuya forma básica Y^{4-} forma complejos 1:1 con un gran número de cationes metálicos, entre ellos con los iones Ca^{2+} y Mg^{2+} . Las reacciones de valoración son las siguientes:



En el punto de equivalencia de cada una de estas reacciones se cumple que:

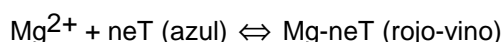


Cuando se tiene una mezcla de Ca^{2+} y Mg^{2+} , en el punto de equivalencia de la valoración conjunta se cumple que:



Los complejos con AEDT son incoloros, por lo que el punto final de las valoraciones con este reactivo se suele poner de manifiesto por medio de indicadores químicos. Se utilizan indicadores metalocrómicos, que son sustancias capaces de formar complejos coloreados con los cationes metálicos, siendo el color del complejo catión metálico-indicador diferente del color del indicador libre.

En la valoración de la dureza total se utiliza como indicador el negro de eriocromo-T (neT), que forma un complejo de color rojo-vino con Mg^{2+} , mientras que en estado libre es de color azul (para pH comprendido entre 6.3 y 11.6).



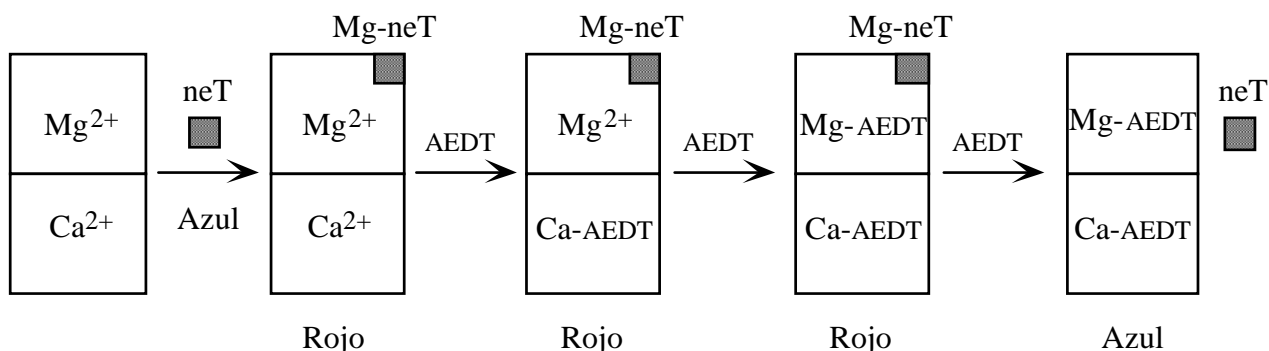
El complejo Mg-neT es menos estable que el Mg-AEDT, y en una valoración de Mg^{2+} con AEDT, una vez que éste ha reaccionado con todo el Mg^{2+} libre, desplaza el que se encuentra formando complejo con el indicador, observándose entonces un cambio de color del rojo-vino al

azul que indica el **punto final** de la valoración.



La reacción se lleva a cabo en medio tampón $\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$ de $\text{pH} = 10$, adecuado para que la reacción transcurra cuantitativamente y para la detección del punto final de la valoración.

El catión Ca^{2+} forma un complejo con AEDT más estable que el del Mg^{2+} , por lo que el primero en formarse es el complejo Ca-AEDT, haciéndolo posteriormente el Mg-AEDT. El esquema de la valoración es el siguiente:



Procedimiento

Preparación de una disolución de AEDT 0.0100 M

La sal disódica del AEDT, $\text{Na}_2\text{H}_2\text{Y}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ es patrón primario, si el reactivo de pureza analítica se deseca durante 2 horas a 80°C . Calcular la cantidad de $\text{Na}_2\text{H}_2\text{Y}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ necesaria para preparar 250.0 mL de disolución de concentración perfectamente conocida y próxima 0.0100 M. Mediante un vidrio de reloj pesar en una balanza analítica una cantidad de AEDT próxima a la calculada, anotando el valor pesado.

Transferir todo el sólido (arrastrando las partículas mediante el chorro de agua de un frasco lavador) a un vaso. Añadir agua desionizada y agitar hasta la total disolución del sólido. Transferir la mezcla a un matraz aforado de 250.0 mL. Lavar el vaso con pequeñas fracciones de agua desionizada, recogiendo las aguas de lavado en el matraz. Homogeneizar y añadir agua desionizada hasta el enrase del matraz. Transferir la disolución a un frasco de polietileno adecuadamente etiquetado.

A partir de la cantidad de AEDT pesada, calcular la concentración exacta de la disolución.

Valoración complexométrica de aguas. Determinación de la dureza.

- 1.- Llenar una bureta de 50.0 mL con la disolución valorante y enrasar a cero.
- 2.- Con un matraz aforado, tomar 100.0 mL de la muestra de agua a valorar y pasarlos a un matraz erlenmeyer. Añadir 3 ó 4 gotas del indicador neT (0.5 % en etanol) y, en la campana extractora, 10 mL de disolución tampón $\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$ ($\text{pH} = 10$).
- 3.- Añadir lentamente la disolución de AEDT hasta viraje del indicador (cambio de color rojo-vino a azul) agitando fuertemente cerca del punto final.
- 4.- Anotar el volumen de AEDT consumido hasta el viraje.

5.- Repetir la valoración dos veces más y hallar el volumen medio de las tres valoraciones (\bar{V}).

Resultados

El resultado de la dureza de la muestra se expresa en mg de CaCO_3 por litro de agua.

$$\text{dureza total} = \text{mg/L CaCO}_3 = (\text{moles CaCO}_3 \times 10^3 / \text{volumen (L) agua}) \times \text{MmCaCO}_3$$

$$\text{donde moles CaCO}_3 = \text{moles Ca}^{2+} + \text{moles Mg}^{2+} = \text{moles AEDT} = \bar{V} \text{ (L) AEDT} \times \text{MAEDT}$$

En la valoración de aguas minerales, comparar el resultado con el que aparece en la etiqueta del agua.