

Química en un museo ferroviario

José Antonio Martínez Pons

Resumen: Se propone un recurso didáctico en el que la clase se desplaza a un museo tecnológico, en concreto ferroviario. En el transcurso de la visita, los estudiantes observan y realizan actividades evaluables relacionadas la química que se puede apreciar en este museo: elementos químicos relacionados con el ferrocarril (especialmente metales), reacciones químicas más comunes en ese ámbito, materias primas usadas y química ambiental. Entre otras herramientas didácticas está la tabla periódica cuyo sesquicentenario de publicación por D. I. Mendeléyev se conmemoró en 2019. No es imprescindible la visita física al museo y puede hacerse desde el aula mediante una visita virtual.

Palabras clave: Carbones. Corrosión. Química de los Materiales. Química de los Elementos. Química Ambiental.

Abstract: A teaching resource is proposed, in which the class moves to a technological Museum. In the course of the visit students observe and perform evaluable activities related to the chemistry that can be appreciated on a Railway Museum: chemistry of elements related to railway (especially metals), most common chemical reactions in the world of railway, used raw materials and environmental chemistry. Among other educative tools there is the periodic table whose publication by D. I. Mendeléyev was commemorated in 2019. The physical visit to the museum is not essential and can be done from the classroom through a virtual tour.

Keywords: Coal. Corrosion. Chemistry of Materials, Chemistry of Elements. Environmental Chemistry.

INTRODUCCIÓN

La visita a museos puede ser un buen recurso didáctico. Normalmente las visitas museísticas se asocian a museos de arte o históricos, pero también existen museos científicos y tecnológicos cuya utilidad es obvia. En este trabajo se recurre a la visita a un museo tecnológico, concretamente ferroviario.

Este trabajo se gestó aprovechando la circunstancia de que en el pasado 2019 se conmemoró el 150 aniversario de la publicación de la tabla periódica de los elementos por Dimitri I. Mendeléyev. Se presentan unas líneas de trabajo, pero lo importante es que sean los docentes quienes las concreten adecuándolas a sus alumnos y a su propia metodología y necesidades didácticas.

En España afortunadamente existen varios museos ferroviarios, como en Madrid, Las Matas, Vilanova y la Geltrú, Monforte de Lemos, Gijón o Ponferrada. Unos son ricos en fondos, otros poseen pocos elementos, pero cuida-

dos con cariño; también se pueden ver viejas locomotoras, en mejor o peor estado, adornando calles o plazas. En los museos suele disponerse, además de las cartelas de los materiales expuestos, de documentación, tal vez de biblioteca accesible y se cuenta con voluntarios culturales (“guías”), pero estos recursos se suelen enfocar más a los aspectos históricos o meramente descriptivos que a los aspectos científicos. En esta propuesta se pretende aprovechar la visita al museo para que los estudiantes se percaten de la importancia de la química y que puedan comprobar que esta área de la ciencia está en todas partes. Su realización es posible también en localidades que no tengan un museo ferroviario próximo, mediante una visita virtual que puede completarse visitando la estación ferroviaria más cercana.

La mayoría de los museos ferroviarios cuentan con páginas web muy bien hechas, que merece la pena explorar y que pueden ser de gran utilidad para preparar la visita o realizarla sin necesidad de desplazamiento a la sede del museo.

En este trabajo será protagonista el museo de Madrid ubicado en el Paseo de las Delicias. La propuesta se dirige a alumnos de 3.º y 4.º de ESO y 1.º de bachillerato, aunque *mutatis mutandis* puede aplicarse a otros niveles de enseñanza. No se pretende inscribirla en ninguna teoría didáctica, pero será de especial utilidad en aquellas metodologías que impliquen un aprendizaje activo y basado en la observación crítica del entorno.

Sobre lo observado en el museo pueden proponerse pequeños trabajos de investigación o cuestiones en pruebas de examen, por ejemplo, sustituyendo o complementando



J. A. Martínez
Pons

Grupo Especializado de Didáctica
e Historia de la Física y la Química
de las RSEF y RESQ
C-e: jamartinez46@gmail.com

Recibido: 03/04/2020. Aceptado: 01/09/2020.

tando preguntas académicas más o menos ideales con otras más “realistas” basadas en lo que pudieron observar los alumnos.

ASPECTOS DE LA QUÍMICA QUE PUEDEN ESTUDIARSE EN UN MUSEO FERROVIARIO

En modo resumido se relacionan algunos aspectos que se pueden estudiar:

1. Elementos químicos, sus combinaciones y sus mezclas.
 - a) Elementos simples. Ordenación y propiedades periódicas.
 - b) Metales y no metales. Compuestos. Mezclas y aleaciones.
 - c) Combustibles y lubricantes.
 - d) Materiales de construcción y materiales estructurales.
2. Química de las reacciones químicas.
 - a) Combustiones, corrosión y otras reacciones.
 - b) Energía de las reacciones químicas.
3. Problemas ambientales.



Figura 1. Bomba portable. En ella hay cobre (metal puro y aleaciones), hierro (forjado y acero) y polímeros (madera). Foto: JAMP 02/05/2018

saber química ni poseer intereses y habilidades docentes. De contar con alguno, se le informará del objetivo de la visita y si esta se centra en algunos aspectos concretos, se le pedirá que insista en estos aspectos.

ORGANIZACIÓN DE LA VISITA

Insistiendo en que el docente deberá adaptarla a sus propios objetivos, se recomienda preparar un cuestionario para que los alumnos lo vayan rellenando en la visita y organizar ésta en tres fases: preparación, visita propiamente dicha y evaluación.

Preparación

Es recomendable dedicar en el centro un tiempo para preparación de la visita. Se explicará lo que se desea que los estudiantes hagan en el museo, se formarán los grupos de trabajo y además se les indicará que se trata de una actividad evaluable, como una clase práctica más. La experiencia del autor parece indicar que lo mejor es el trabajo en grupos de dos y como caso excepcional, de tres estudiantes. El cuestionario preparado por el profesor, y si es preciso algún material complementario, es preferible dárselo al iniciar la visita y que lo cumplimenten en el propio museo. No existe un cuestionario modelo publicado e incluir modelos de cuestiones en este trabajo, por razones de espacio, es imposible. Pueden, sin embargo, solicitarse al autor.

Visita propiamente dicha

Durante la visita es conveniente que el profesor acompañe a los alumnos independientemente de que lleven o no un guía del museo. Estos guías no tienen por qué

Evaluación

En la primera clase de que se disponga después de la visita se resolverán las posibles dudas y se completarán, si es necesario, los cuestionarios que se entregarán en esta misma sesión para su calificación.

QUÍMICA QUE SE PUEDE OBSERVAR EN EL MUSEO

La visita puede hacerse general o limitándose a un determinado tipo de sustancias, por ejemplo, metales, gases, u objetos como locomotoras, remolques o infraestructuras. A continuación, se sugieren algunos aspectos de la química para desarrollar en la visita, sin ánimo de exhaustividad sino de simples sugerencias.

Química de los elementos y tabla periódica¹

A lo largo del recorrido los alumnos irán identificando los diferentes elementos con que se vayan encontrando, no necesariamente aislados (Figura 1). Será útil que los estudiantes dispongan de una tabla periódica muda y fichas modelo. Como primer paso los ubicarán en esa tabla periódica y rellenarán una ficha para cada elemento incluyendo por lo menos su nombre, símbolo, datos físicos,

¹ En la referencia 1 se encuentra una descripción de cada uno de los 118 elementos conocidos oficialmente que actualmente conforman la tabla periódica y sus propiedades. Es un excelente material de consulta.

si se presenta libre, combinado, mezclado o en aleación, y demás información que el docente juzgue conveniente.

Química de los materiales

Estructurales. Se pretende que se estudien algunos de los materiales, como los de construcción con los que se ha edificado la estación que sirve de museo, los que constituyen las infraestructuras ferroviarias y los vehículos. También puede ser interesante recordar que la estación está llena de aire atmosférico, fundamental en las reacciones que se explicarán.

Combustibles. Especial interés tienen los combustibles que utilizan o han utilizado los ferrocarriles. Los trenes de vapor podían quemar “cualquier combustible” pero obviamente los había y hay unos mejores que otros teniendo en cuenta no solo su poder calorífico, sino disponibilidad, precio, facilidad de obtención y manejo, subproductos indeseables, etc.

Los trenes se impulsan mediante motores montados ya sea en un vehículo especial (locomotora) ya sea a lo largo del tren. Los motores son dispositivos capaces de convertir algún tipo de energía en energía mecánica. Pueden ser térmicos, que extraen la energía que necesitan de la combustión (o explosión) de sustancias sólidas o líquidas, o eléctricos. Son térmicos las máquinas de vapor y los diésel (el motor de gasolina no ha tenido demasiado éxito en el mundo del ferrocarril). Los trenes eléctricos, sin embargo, se impulsan por corriente eléctrica que obtienen de generadores externos transportada por un cable, la catenaria, que hace contacto con los motores mediante un dispositivo llamado pantógrafo (por su semejanza con el aparato de dibujo homónimo). Existen además los diésel-eléctricos que se sirven de motores diésel portados por el propio tren para accionar generadores eléctricos que alimentan un conjunto de motores que son los que realmente traccionan el tren, con las ventajas mecánicas que estos motores presentan y con la independencia que les aporta el diésel, al no precisar de catenaria ni otra forma de contacto a la red (Figura 2).

Aunque hoy en día apenas se utilizan de modo comercial trenes vapor, en el mundo todavía quedan algunos en servicio y bastantes trenes turísticos. En España don Juan Carlos de Borbón apagó la última locomotora de vapor para tren de pasajeros, matriculada como (141F2348) en Vicálvaro, el 23 de junio de 1975, aunque algunas siguieron remolcando trenes, preferentemente mineros, por una docena de años más. Además, desde el punto de vista de historia y evolución de la tecnología, y por sus aspectos didácticos, dado en ellas se “ve” de algún modo la química básica, su estudio es interesante.

Los trenes de vapor utilizan sobre todo carbón mineral como combustible (Tabla 1) aunque son posibles otros combustibles como madera o bagazo de caña de azúcar y, más modernamente, combustibles líquidos de manejo mucho más fácil. El combustible y el agua se transportan



Figura 2. Locomotora diésel-eléctrica 1615 ALCO, “Marilyn”, con un motor diésel de 1600 CV conectado a un generador eléctrico que alimenta 6 motores ubicados uno en cada eje. Detrás se aprecia un tren TER equipado con un motor diésel OTO Melara de 850 C.V. Foto: JAMP 02/05/2018

en un vagón especial, el tender, unido a la locomotora (Figura 3). Hay locomotoras “tender” que llevan ambos depósitos en la propia máquina.

Tabla 1. Variedades de carbón mineral^[2]

Variación	Materia grasa (%)	Poder calorífico medio (kJ/kg)
Antracita	<8	22.803
Id. Bituminosa	8-14	33.750
Hulla semigrasa	12-22	25.417
Hulla grasa	20-40	25.417
Hulla seca	34-45	25.417
Lignito negro	45-55	13.333
Lignito pardo	45-55	8.750
Turba	>55	6.667

El combustible se quema en el hogar (Figuras 4 y 5) si es sólido, paleado por el fogonero o mediante cargadores automáticos (“stocker”). El fuel se precalienta y se inyecta mediante pulverizadores que lo mezclan con aire.

Los combustibles líquidos son muy prácticos en los trenes de vapor porque son fáciles de almacenar y sobre todo de llevar al hogar, evitando al fogonero el duro trabajo de palear carbón o mecanismos de carga (Figura 5) además de no dejar prácticamente residuos sólidos (cenizas)² y su mucho mayor poder calorífico, del orden de 40.000 kJ/kg.

² Un fogonero bien entrenado podía palear unos 300 kg/h con un máximo continuado de 3t. Una locomotora como la Mikado podía quemar unas 2 t/h.



Figura 3. Modelo a 1:10 de un ténder, se observa el carbón y la compuerta de recarga de agua. Foto: JAMPO2/05/2018



Figura 4. Locomotora 141 "Mikado" seccionada. Se muestra el hogar (1) donde se quema el combustible y la caldera donde produce el vapor que es recogido por el domo (2) y conducido al motor. Se aprecia también el inyector para reposición de agua en la caldera (3). Foto: JAMP 02/05/2018



Figura 5. Frontal de la cabina (marquesina) de una Mikado. Abajo y centro se aprecia la puerta del hogar por la que en el fogonero paleaba el carbón o prendía el fuel por el "método del trapo encendido". Foto: JAMP 02/05/2018

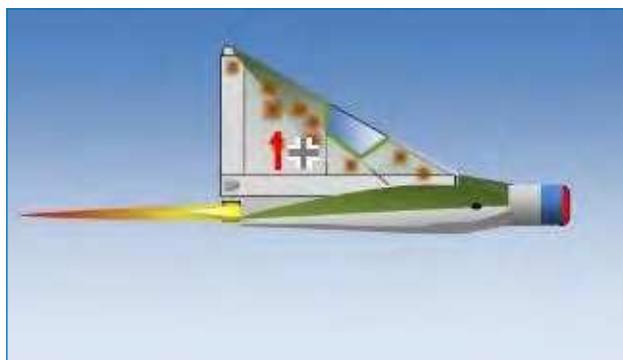


Figura 6. Curiosidad: proyecto de caza alemán Lippisch P 13a propulsado por un estatorreactor³ alimentado con carbón. Se construyó un planeador en 1944. Dibujo: JAMP

Aunque parezca increíble, en 1944 en Alemania, a falta de combustibles líquidos, se proyectó un reactor de caza que quemaría polvo de carbón (Figura 6). Se construyó un planeador, pero el reactor que lo propulsaría no dio resultado y el proyecto se abandonó.

El petróleo es la principal y casi única fuente de combustibles líquidos, fundamentalmente hidrocarburos. Estos se obtienen destilando el crudo, es decir, separando las distintas fracciones en función del número de carbonos en las moléculas de esos hidrocarburos, por sus diferentes temperaturas de ebullición. En la Tabla 2 se resumen las diferentes fracciones y sus características. Extenderse sobre la destilación fraccionada del petróleo, aunque es muy interesante, excede los objetivos de este trabajo. También se obtienen del petróleo muchos lubricantes imprescindibles en el mundo ferroviario.

Tabla 2. Distintas fracciones que se obtiene en la destilación del "crudo"^[2] e hidrocarburos en cada una. Los datos pueden variar ligeramente según los autores

Fracciones	Producto	Átomos de C en las moléculas de hidrocarburos	Temperatura de ebullición a 1 atm (°C)
Ligeras	Gases	C1 - C4	>40
	Gasolina	C5 -C10	40-200
Medias	Queroseno	C11-C13	200-250
	Gasóleo Ligero	C13-C18	250-340
Pesadas	Gasóleo pesado	C18-C25	340-400
	Fuelóleo		
	Lubricantes	C26-C38	400-500
	Asfalto	>C38	>500

Como resumen se puede indicar que los materiales más comunes que pueden verse son:

- En estación e infraestructuras: estructuras de hierro y acero; silicatos varios en forma de ladrillos,

³ Reactor muy simple en que el aire de admisión es comprimido por la presión dinámica y acelerado junto con los gases que se producen en la combustión.



Figura 7. Tren Talgo II (*Tren Articulado Ligero Goicoechea Oriol*). Está construido con duraluminio, aleación de aluminio, silicio y otros metales que mejoran sus propiedades mecánicas. Aunque su diseño es español, de Alejandro Goicoechea, está construido en EE. UU. en 1950. Foto: JAMP 02/05/2018

cementos y vidrios; madera en las traviesas (dispositivos transversales a los raíles sobre los que se fijan estos); acero en soportes, carriles, agujas etc.; cobre en catenarias; granito o caliza que forman la grava sobre la que se instalan las vías, técnicamente conocido como “balasto”⁴, que además de dar una cierta flexibilidad al conjunto evitan que el agua se encharque y que crezca la hierba entre las vías y contribuyen a su correcta nivelación.

- Aluminio en torres de soporte y conductores eléctricos y aluminotermia. En material móvil: hierro y acero; cobre y sus aleaciones más usuales bronce y latón; aluminio y duraluminio (Figura 7).
- Madera y polímeros varios en carrocerías, bastidores, decoración, tapicería etc. Una de las locomotoras del museo se modificó en Águilas (Murcia) en 1937, dotándola de blindaje para remolcar un tren del Ejército Republicano. Acabada la guerra se eliminó el blindaje y se reintegró al servicio civil (Figura 8). Los aceros de blindaje son aleaciones de acero con cromo, molibdeno o wolframio.

QUÍMICA DE LAS REACCIONES

En los laboratorios docentes o de investigación química habitualmente se opera con sustancias puras o de una pureza conocida y con impurezas inertes (reactivos), sin embargo, en la química industrial se trabaja con “materias primas” que pueden venir contaminadas. Además, las reacciones, dependiendo de las condiciones, a veces difíciles de controlar, pueden producir diversos productos; por ejemplo, la combustión del carbón o de un hidrocarburo puede producir no solo dióxido de carbono,

⁴ Del inglés “ballast”, palabra de origen neerlandés que indicaba las piedras con que se lastraba los barcos.



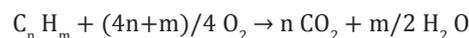
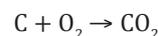
Figura 8. Locomotora diésel “de estación” construida en 1935 para la compañía MZA. Durante la Guerra Civil se blindó. Foto: JAMP 02/05/2018

sino monóxido, incluso partículas de carbón sin quemar (son los “humos negros”) con distinto rendimiento energético. Por ejemplo, la combustión incompleta del carbón a monóxido reduce el rendimiento aproximadamente en un 30% y los contenidos de sustancias extrañas pueden producir productos indeseables, como es el caso del azufre que, al arder, produce dióxido de azufre muy corrosivo y que por tanto acelera el desgaste del material. Los combustibles sólidos además producen cenizas; por eso y para evitar el vertido de brasas a la vía, las locomotoras de vapor debajo de la parrilla del hogar llevan un cenicero.

Combustibles

En la mayoría de las reacciones del mundo ferroviario, más que los productos, lo que interesa es el rendimiento calorífico y hay que tener en cuenta que no se puede convertir todo el calor producido en la reacción en trabajo mecánico y que en la práctica se está lejos de alcanzar los límites que la propia termodinámica impone (segundo principio). De hecho, el rendimiento de una locomotora de vapor entendido como cociente de trabajo mecánico entre calor total producido, está entre el 6 y el 10%. En un diésel el rendimiento puede llegar al 30%. Todo esto debe tenerse en cuenta, además de los aspectos económicos de los que aquí no se hablará pese a su gran importancia.

Las reacciones que tienen lugar en el ferrocarril son reacciones de combustión, normalmente de carbón o hidrocarburos. Las típicas para sustancias puras son



Se trata de reacciones exotérmicas y lo que se aprovecha precisamente es el calor producido. La entalpía teórica de estas reacciones se puede medir con precisión

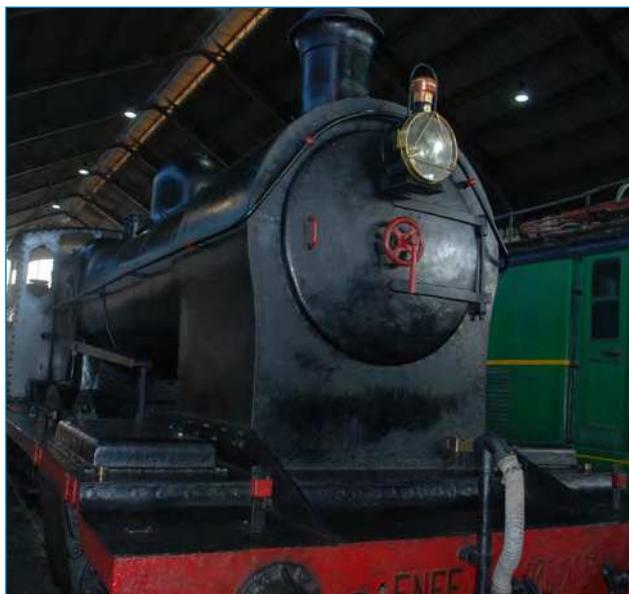


Figura 9. Locomotora en que aprecia el proyector de acetileno y el tubo de conexión del aire comprimido para los frenos. Foto. JAMP 02/05/2018

y sus valores se encuentran en la literatura de termodinámica química, o se pueden calcular fácilmente (ley de Hess), sin embargo, en la realidad, las cosas distan mucho de ser así, los combustibles son mezclas y los valores medios que se manejan para cada combustible a veces no son fiables y su composición, sobre todo de los carbones, es bastante impredecible. Con todo, la calidad de los combustibles es determinante del buen rendimiento de las máquinas de vapor, no solo por el tema de subproductos de que se ha hablado antes, sino por la potencia que es capaz de suministrar. Valga el ejemplo del dragaminas DM-5 “Guadalete” hundido debido a temporal en el estrecho de Gibraltar el 25 de marzo de 1954, afortunadamente sin pérdida de vidas. Funcionaba con máquinas semejantes a las que impulsan las locomotoras, pero la baja calidad del carbón disponible impidió desarrollar la potencia necesaria para salvar la difícil situación en que se encontró⁵.

Iluminación

Otra cuestión importante es la iluminación de los ferrocarriles, tanto interna como externa. Una historia pintoresca cuenta que, en la primavera del año 1831 y en EE. UU. por primera vez, circuló un tren de noche, delante de cuya locomotora se había situado un vagón plano lleno de arena y delante de éste otro semejante con un gran brasero de hierro lleno de piñas y ramitas de pino a las que se había prendido fuego. Se abría paso entre la neblia

⁵ Se trataba de un dragaminas de 615 t, excelente para su tiempo, de diseño alemán, pero pensado para el mar Báltico, mucho más “tranquilo” que el Mediterráneo, y para quemar carbón alemán de calidad muy superior al disponible en España.

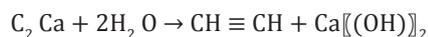


Figura 10. Coche de viajeros de tercera clase de principios del siglo xx. Se alumbraba con tres candiles de aceite para todo el coche, que se encendían en la estación por el exterior y desde el techo del vehículo. Como novedad reseñable lleva cristales en las ventanillas. La restauración de que ha sido objeto contiene errores. Foto: JAMP 02/05/2018

na y penumbra nocturna. Había sido idea del ingeniero Horatio Allen. Es el primer caso del que hay constancia de un tren viajando de noche^[3] (Figura 9).

Al principio las locomotoras se iluminaron con lámparas de aceite e igualmente los coches de pasajeros (Figura 10). Luego el aceite se sustituyó por luces de acetileno (Figura 11).

El acetileno o etino, $\text{CH} \equiv \text{CH}$, arde con luz brillante debido a que la combustión del gas no es completa y produce partículas de carbono que se ponen incandescentes dando una luz blanca muy intensa. Se suele generar *in situ* mediante reacción entre el carburo de calcio y agua.



Se puede mostrar la síntesis del gas con una lámpara de acetileno como las que se usan en espeleología o improvisándola con un matraz al que se acopla un tubo acodado y un embudo (Figura 11). El carburo de calcio es un sólido de color “blanco sucio” y con un olor característico, que se debe a las impurezas que lo acompañan.

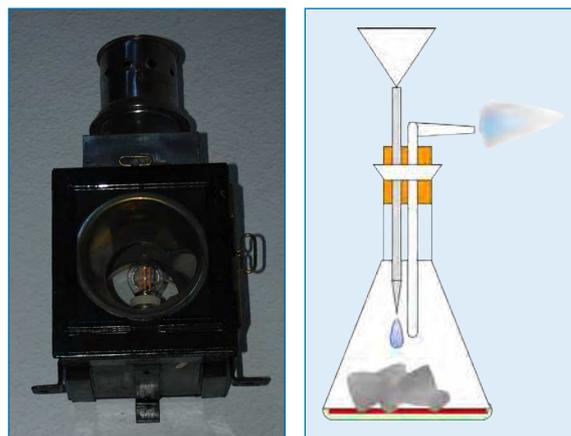


Figura 11. Farol ferroviario de acetileno y esquema de su homólogo de laboratorio. Foto: JAMP 02/05/2018



Figura 12. Locomotora tipo Confederación 242, de diseño español, es la más potente construida en serie en Europa. Se aprecian los reflectores alimentados por un generador eléctrico movido por vapor Foto: JAMP 02/05/2018

Todavía hoy el etino se utiliza en el soplete de oxiacetileno debido a la alta temperatura que puede alcanzar su llama. Consiste en sendos depósitos de oxígeno y acetileno conectados a un quemador en el cual es posible regular la mezcla y por tanto la temperatura de la llama.

Después llegó la iluminación eléctrica, primero con baterías y finalmente instalando en la locomotora un generador eléctrico movido por el vapor (Figura 12). Las locomotoras diésel producen su propia energía eléctrica con generadores acoplados a los motores de tracción o a motores auxiliares. Por ejemplo, el tren TER contaba con un diésel Oto Melara turboalimentado de 850 CV para tracción y un Fiat de 150 CV, que accionaba un generador Marelli para iluminación y servicios.

Corrosión^[4,5]

Una reacción química, no deseada pero inevitable, es la corrosión. Sustancialmente es una reacción de oxidación-reducción y se produce, por ejemplo, cuando dos metales diferentes se ponen en contacto a través de un electrolito. No parece oportuno para el nivel a que en principio se dirige este trabajo, profundizar demasiado en la electroquímica, aunque puede mostrarse la tabla de potenciales de electrodo, sin mencionar la ecuación de Nernst. Puede ser aconsejable hacerlo con estudiantes de un nivel de química más alto.

Basta explicar que cuando se ponen en contacto estos dos metales mediante un electrolito “el más activo” electroquímicamente se oxida y se produce la corrosión y si se cierra circuito entre ambos se puede medir la diferencia de potencial que se crea.

Puede mostrarse a los alumnos un experimento muy simple, más espectacular si se dispone dos monedas de 1 peseta, la “rubia”, de una aleación de cobre, y otra de aluminio entre las cuales se interpone un pedazo de papel de filtro impregnado en vinagre o agua salada y medir la tensión generada con un polímetro; al autor le da del orden de 0,5-0,6 V. Se podría hacer conectando un LED



Figura 13. Se observa la marca de corrosión producida en unos 10 min. sobre la espátula de acero. Foto: JAMP 10/2019

pero el LED rojo necesita una tensión mínima de unos 1,5 V lo que implicaría montar en serie y apilar unos tres o cuatro de estos generadores. Es algo parecido a lo que hizo Alessandro Volta “apilando” láminas de cobre y cinc separadas por papel impregnado en una disolución salina, de ahí el nombre de pila a los generadores químicos de corriente eléctrica. Si se realiza el experimento con un disco de cobre y una chapa de hierro al poco tiempo se aprecia que sobre el hierro aparece un círculo de corrosión, calco del disco de cobre (Figura 13). A alumnos avanzados, puede hacerseles observar qué metal es el polo positivo y cuál el negativo. (Con el polímetro es fácil: En modo C.C. se conectan los indicadores (+,-) del aparato con cada uno de los metales respectivamente; si la lectura es positiva “se ha acertado” con los polos” y si es negativa se debe cambiar los contactos). Se les puede explicar entonces qué metal se oxida y cuál se reduce y localizarlos en la tabla de potenciales de electrodo y predecir lo que ocurriría con otros metales, pero en principio este punto parece excesivo.

En sequedad no hay corrosión, pero la atmósfera siempre contiene algo de humedad. Puesto que la corrosión es un proceso de oxidación-reducción se puede hacer observar que no solo se produce ésta en los lugares donde hay casi en contacto dos metales diferentes, sino también donde se acumula humedad, siendo el oxidante el oxígeno atmosférico. También se puede recordar que en las zonas de costa la corrosión es mayor porque la atmósfera además de estar cargada de humedad también lleva en suspensión muchos iones (Figura 14).

Hay metales que resisten bastante bien la corrosión porque el óxido que inicialmente se forma se adhiere a la base metálica impidiendo su oxidación posterior, es el pasivado, por ejemplo, el aluminio. En el hierro y la mayoría de sus aleaciones sucede lo contrario.

La forma más simple de evitar la corrosión es pintar el metal con pintura protectora de cinc (galvanizado) que como es más activo que el hierro se oxida y sus óxidos son muy adherentes y protegen al hierro. Es lo contrario que ocurre con la hojalata que es lámina de hierro recu-



Figura 14. En los lugares de esta locomotora 240 “Mastodonte” se aprecia que donde se ubicaban placas de bronce se ha producido una intensa corrosión que ha atravesado la pared de la cabina. También se aprecia en las zonas en que se acumula humedad.
Foto: JAMP 02/05/2018

bierto de estaño por ambas caras y en el momento que se rompe la película de estaño la oxidación avanza a gran velocidad porque el hierro es más activo que el estaño. De hecho, antes de las pinturas especiales actuales, el material ferroviario solía repintarse anualmente. Cuando se pintaba el hierro se debía dar primero una capa de un óxido de plomo rojo (minio) que lo recubriera perfectamente impidiendo la oxidación y sobre esa capa se daba la pintura que se desease. Hoy las pinturas industriales han evolucionado mucho y entre otras cosas se tiende a evitar compuestos de plomo por su elevada toxicidad.

El acero inoxidable es una aleación de acero que contiene entre un 10 y un 12% de cromo. En rigor no es absolutamente inoxidable sino altamente resistente a la corrosión. El acero puede contener otros metales como molibdeno, níquel o wolframio que además le mejoran algunas propiedades físicas como la dureza.

FERROCARRIL Y EL MEDIO

Como toda actividad humana el ferrocarril tuvo y tiene un impacto en el medio en que se desarrolla. La contaminación química atmosférica tiene lugar sobre todo en

la fase de funcionamiento y se debe fundamentalmente a los gases desprendidos en las combustiones gracias a las que funcionan los motores térmicos, es decir dióxido y monóxido de carbono, pero también contaminación por partículas debida a combustiones imperfectas, óxidos de nitrógeno y otros gases de efecto invernadero o inductores de lluvia ácida debidos a las impurezas de los combustibles, sobre todo al azufre y al propio nitrógeno atmosférico que a las altas temperaturas que se dan en los motores térmicos puede producir óxidos ácidos (NO_x).

El sistema que, además de ventajas mecánicas y de rendimiento, resulta menos contaminante en fase de funcionamiento es la tracción eléctrica, que incluso puede “devolver” energía a la red cuando se utiliza el motor como freno, pero para que el tren eléctrico funcione es necesario suministrarle energía eléctrica. Sin embargo, parte de esta energía se pierde en el transporte por efecto Joule y además debe producirse y ahí entra en juego la calidad de la central productora, es decir que es muy probable que el problema “cambie de lugar” pero no se resuelva⁶. Las chispas que a veces saltan en la catenaria pueden producir insignificantes cantidades de ozono. Este gas, imprescindible en la estratosfera como filtro regulador para los rayos ultravioleta solares, en la troposfera puede contaminar el aire, aunque también se usa como desinfectante.

OTROS DETALLES

Una buena parte de la estación es de vidrio. Este es un material tal vez descubierto por casualidad en Egipto unos 14 siglos a.C. y se trata de una mezcla de silicatos. El más común es el llamado vidrio de cal y sosa que se obtiene fundiendo juntos, en las debidas proporciones, carbonato de sodio, piedra caliza y arena, que se funden junto con restos de vidrio de la misma composición que actúa como fundente. La composición de los vidrios se suele dar en forma de óxidos y para este vidrio es $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2$.

Las vías del tren en general no se “clavan” al suelo, sino que se ajustan a travesaños, las traviesas, que se apoyan sobre piedras picadas, “balasto”, como se ha mencionado antes.

Los trenes utilizan arena (SiO_2) cuando las ruedas “patinan” sobre los carriles y hace falta mejorar la adherencia (Figura 15) aumentando el rozamiento.

Las traviesas (o durmientes) inicialmente se hicieron de madera que, hasta el descubrimiento de la creosota (un derivado de la hulla); tenían una vida muy corta, hoy la creosota no está permitida por ser muy contaminante y existen otros tratamientos para mejorar la duración de la madera, sin embargo, las traviesas más corrientes son las de cemento. Los primeros carriles que se montaron en

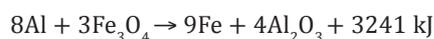
⁶ En España actualmente los trenes eléctricos funcionan con corriente continua a 3.000 V y los AVE utilizan corriente alterna trifásica a 25 kV.



Figura 15. Portilla del arenero y tubo de vertido al carril de un tren TER. El rombo amarillo indica la velocidad máxima autorizada al tren. Foto: JAMP 02/05/2018

España tenían una densidad lineal, otro concepto interesante para los alumnos, de unos 30 kg/m; hoy algunos sobrepasan los 60 kg/m.

El aluminio, además de las aplicaciones ferroviarias ya citadas, tiene otra utilidad importante. Concretamente en la soldadura de los carriles ya que el aluminio puede reaccionar con óxidos metálicos reduciendo el metal y desprendiendo una gran cantidad de calor. Los óxidos más usados son los de hierro que reaccionan con el aluminio según, por ejemplo:^[4,5]



La mezcla de aluminio y óxido se llama termita y a la reacción, proceso Goldschmidt, por su inventor, el profesor alemán Hans Goldschmidt, quien buscando técnicas de reducción de los metales se percató de la gran energía que se producía mediante estas reacciones. También se usan óxidos de cromo o de cobre. La mezcla termita se suele presentar con ambos reactivos pulverizados y amalgamados con un aglutinante. La reacción se inicia mediante el encendido de una tira de magnesio que suministra la energía inicial de activación.^[7,8] Con estas reacciones se alcanzan temperaturas muy altas, del orden de 3.000°C, a las que tanto los óxidos como el hierro funden. Se vierte el producto incandescente sobre las piezas para soldar o reparar retenidas en un molde de arena, así se sueldan y se rellenan los huecos que puedan existir. Es la llamada “aluminotermita”. Aunque algún manual de química elemental la propone y da instrucciones para llevarla a cabo en el aula,^[4] omite que es necesario hacerla en un espacio abierto y con grandes precauciones, por tanto, es una reacción que por motivos de seguridad no es conveniente mostrar ni siquiera como experiencia de cátedra. A la mezcla termita también se le han dado aplicaciones militares por su carácter pirotécnico, llegándose a ensayar, sin éxito, para la destrucción de icebergs.

PARA FINALIZAR Y RECAPITULANDO

La química que es más utilizada en el medio ferroviario tiene un objetivo energético. Eso, especialmente en las máquinas de vapor, las hace más tolerantes con la composición de los combustibles. Como ya se dijo, pueden quemar prácticamente cualquier combustible⁷, con mejor o peor rendimiento,^[9] las impurezas que pueda contener si no son combustibles se eliminan con las cenizas. El diésel es más exigente. Se insiste en que el rendimiento de los motores térmicos es muy bajo, especialmente las máquinas de vapor.

Los trenes actuales en fase de operación no presentan problemas serios de vertidos líquidos ni sólidos, pero hasta no hace mucho las aguas residuales se vertían simplemente a la vía de ahí el aviso que se puede ver en los servicios de los viejos trenes: “Prohibido usar en las estaciones”.

Otra química que tiene lugar es la no deseada, como la corrosión y la emisión de productos contaminantes. Estas reacciones deben conocerse para evitarse o al menos minimizarse.

Los carbones son carbono amorfo, en esto se diferencian del diamante y el grafito, otros estados alotrópicos del mismo elemento, pero pueden contener diversas substancias, algunas causantes de problemas cuando se queman, como el azufre. Otra forma de carbono amorfo es el azabache, que no se emplea como combustible sino como ornamental.

El aire atmosférico, reactivo fundamental en química ferroviaria porque aporta el comburente para las combustiones, es otra mezcla de composición muy variable. El aire seco en volumen o moles contiene del orden de 78% de nitrógeno (N₂) 21% de oxígeno (O₂) y 1% otros gases. Son valores medios válidos al nivel del mar. El contenido de oxígeno disminuye con la altura. Este hecho es importante para las locomotoras térmicas que funcionan en alta montaña porque, al ser el contenido del aire más pobre en oxígeno, la reacción de combustión es menos efectiva y por tanto se produce menos energía. Puede recordarse que algunos deportistas, previamente a las competiciones, entrenan en montaña para aumentar la cantidad de glóbulos rojos y con ello la capacidad de transporte de oxígeno de su sangre, cuyo vector es la hemoglobina.

El aire siempre contiene una cierta cantidad de vapor de agua. La humedad relativa es al porcentaje de vapor de agua presente referido a la cantidad de saturación, que es la máxima concentración de vapor de agua que el aire admite y aumenta con la temperatura.

Los “humos” no son propiamente mezcla de gases, sino partículas en suspensión en un gas, en este caso el

⁷ Por ejemplo, hay noticias de que las locomotoras de los ferrocarriles de Mallorca en los años de la posguerra quemaban leña (olivo), a falta de carbón, aunque a veces debían pararse a media cuesta para recuperar presión y en algún caso, se vio a maquinista y fogonero salir al monte a recoger madera.



Figura 16. Locomotora 4020, diésel de 3030 CV. Se aprecia el boje delantero tipo “B” de 2 ejes. Foto: JAMP 02/05/2019

aire. El humo negro son sobre todo partículas de carbón o producidas de la pirólisis de hidrocarburos y no quemadas. Los humos blancos suelen ser gotitas de agua en suspensión.

A lo largo de este trabajo se ha hablado de la “catenaria”. Este nombre es un abuso de lenguaje porque realmente la catenaria es el cable que soporta al que transporta la energía eléctrica. El estudio pormenorizado de los distintos tipos de catenarias y su funcionamiento es complejo.

Una característica de las locomotoras es su sistema de rodadura.^[9] Según el método utilizado en España, las de vapor se caracterizan por tres números que indican respectivamente el número de ejes libres de guía, de ejes acoplados motores y de ejes libres de apoyo, así, la 141, Mikado, tiene 1 eje de guía que encaja la locomotora en los carriles, 4 ejes motores y otro de apoyo, que no contribuye a la tracción, pero permite una caldera mayor. Las diésel y eléctricas lo hacen designando los *bojes* o *bogies*^[10] (“Estructura rodante sobre la que descansan los vagones, los coches y las locomotoras”) mediante le-

tras: A si sólo portan un eje, B dos ejes como la 4020 (Figura 16), C tres ejes, a los que se añade una “o” si el eje lleva motor acoplado. La *Marilyn* ya mostrada más arriba, sería una locomotora Co’Co’ con dos bojes de tres ejes y con un motor eléctrico acoplado a cada uno de ellos. También se designa a estas estructuras como “carretones”.

Como participación del Museo del Ferrocarril de Madrid en la Semana de la Ciencia de 2019 se montaron unos “Talleres de Química en el Museo” dirigidos por el autor, con asistencia de jóvenes visitantes y de sus acompañantes adultos, que participaron con igual o mayor interés que los jóvenes. Parte del trabajo se presentó al festival “Ciencia en Acción 2019” y recibió una mención honorífica.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] G. Pinto Cañón (ed.), Número extraordinario sobre el Año Internacional de la Tabla Periódica, *An. Quím.* **2019** 15 (2).
- [2] G. Calleja Pardo (ed.), et al. *Introducción a la Ingeniería Química*. Editorial Síntesis. Madrid.1999.
- [3] H. Brown, *Locomotoras de Vapor*. Ultramar Editores. Barcelona.1999.
- [4] M. Díaz Peña, A. Roig Muntaner. *Química Física, Volumen II*. (pág1249). Alhambra Madrid. 1976.
- [5] M. Pourbaix, *Lecciones de Corrosión Electroquímica*. Instituto Español de Corrosión y Protección. Madrid. 1987.
- [6] Y. V. Jodakov et al. *Química inorgánica. Libro de texto para escolares*. 2.ª parte. MIR, Moscú. 1988.
- [7] N. S. Cañellas. *El ferrocarril a Mallorca. La iarda mallorquina*. Conselleria de Treball i Transports. Govern Balear. Palma de Mallorca. 1990.
- [8] J. A. Babor, J.Ibarz Arnáez. *Química General Moderna*. Editorial Marín. Barcelona. 1965.
- [9] K Eckert, y B. Torsten, *Locomotoras*. Series técnicas. NGV. Colonia. 2016.
- [10] <https://enclavedeciencia.rae.es/inicio>