

# pilas y acumuladores comerciales

## sistemas secundarios y especiales (y II)

Con este segundo capítulo se completa esta pequeña serie dedicada a pilas y acumuladores comerciales. Se abordan aquí con cierta extensión los sistemas especiales, de gran interés y poco conocidos generalmente. El resto del capítulo se dedica a acumuladores.

J.M. Otón, I. Ojeda y J.A. Martín Pereda

---

### BATTERIES AND ACCUMULATORS. SECONDARY AND SPECIAL SYSTEMS A market survey (last part)

*This second part of the work is devoted to accumulators and special systems. Special systems are dealt with in some detail, since they are usually less known and may be of interest for certain applications.*

---

### INTRODUCCION

En el artículo anterior se ha abordado el estudio de los sistemas electroquímicos primarios comerciales, es decir, las pilas no recargables (más exactamente, las pilas destinadas a un único ciclo de descarga y diseñadas de este modo). En estas páginas estudiaremos los sistemas recargables o sistemas acumuladores conocidos vulgarmente como baterías (\*).

Al igual que en el caso de las pilas, ha habido en los últimos años un notable desarrollo de los acumuladores, comercializándose un número apreciable de nuevos sistemas, y, sobre todo, ampliando su campo de aplicación. En la actualidad este campo abarca desde sistemas miniaturizados, fuertes competidores de las pilas convencionales, a sistemas de gran potencia donde las pilas comerciales usuales no pueden llegar.

Dedicamos también una parte del artículo a sistemas especiales. Estos sistemas, fundamentalmente primarios, poseen unas características de potencia y aplicaciones que los diferencian radicalmente de los ya expuestos. Aunque su utilización está limitada a usos específicos, creemos que es interesante dar una visión de conjunto de la actual situación de los sistemas electroquímicos.

---

(\*) Ya se indicó que en estos artículos reservamos la palabra «batería» para un sistema electroquímico en general, utilizando los términos «pila» y «acumulador» respectivamente para sistemas primarios y secundarios.

### BATERIAS PARA USOS ESPECIALES

Dentro de este concepto se engloba una variopinta familia de baterías para muy diversas aplicaciones. En general, la idea de batería especial se asocia a una batería diseñada para una utilización específica; en otras palabras, se construye una batería a partir de una lista completa de especificaciones que van desde el funcionamiento y el coste a la forma física de la misma.

En estas circunstancias, se comprende fácilmente que muchos de los criterios convencionales descritos en el artículo anterior, que se usan para escoger un determinado sistema, tienen aquí sólo una importancia relativa. Debe hacerse notar que el objetivo de una batería especial es realizar una función específica en unas condiciones determinadas, importando poco o nada el resto de cualidades del sistema.

Por ejemplo, hemos destacado hasta ahora el concepto densidad de energía como fundamental para determinar la bondad de una batería concreta. Existen sin embargo sistemas óxido de plata-cinc preparados para trabajar a  $-40^{\circ}\text{C}$  que llevan incorporado un sistema calefactor automático. Es evidente que dicho sistema no contribuye como material activo al conjunto de la pila; su densidad de energía, por consiguiente, se ve notablemente disminuida. Aún más, puede ser que el sistema calefactor se alimente de la propia pila, lo que supone una pérdida de capacidad. En cualquier caso, la posibilidad de funcionar a tan bajas temperaturas confiere al sistema un indudable valor dentro de su restringido campo de aplicación.

Describimos a continuación los sistemas más importantes de este grupo:

#### Baterías de reserva

Su nombre proviene de su uso militar en la Segunda Guerra Mundial. Empezaron a desarrollarse a principios de los años veinte, cuando los problemas de almacenamiento de la pila Leclanché afectaron a su comercialización y distribución.

Una batería de reserva se puede definir como una fuente de energía que se diseña, fabrica y almacena de tal forma que queda asegurada la inexistencia de algún tipo de cambio

físico o químico del sistema hasta su puesta en funcionamiento. Este pequeño milagro se realiza de una manera muy simple: los distintos componentes de la batería no entran en contacto físico hasta el momento de conectarla. La mayoría de las veces el electrolito se guarda aparte y se agrega cuando se desea. Otras veces se toma del exterior el componente que falta (oxígeno del aire, agua del mar); un sistema que utilice como electrolito agua del mar entrará en funcionamiento siempre y cuando se moje: su utilidad en sistemas de salvamento marítimo es obvia.

Una tercera posibilidad sería fabricar una batería cuyo electrolito necesite fundirse para tener una conductividad iónica apreciable (cualquier sal, en principio, cumple esta condición). Tal sistema no funcionará hasta que se caliente a la temperatura adecuada.

Se asocia también el concepto de batería de reserva a aquella que, tras un período de reposo de duración variable (pueden ser años), entrega toda su energía en unos pocos minutos. Esto es cierto en la mayoría de los casos, aunque no en todos, como veremos más adelante.

Las principales ventajas de las baterías de reserva frente a las convencionales son:

- Ilimitada vida de almacenamiento.
- Gran libertad de elección del sistema óptimo para una necesidad concreta. De hecho se construyen baterías de reserva utilizando toda la gama de materiales usados en las pilas convencionales, incorporando además alguno nuevo.
- Posibilidad de elección de sistemas que funcionen a la temperatura deseada dentro de un amplísimo margen.
- Libertad de diseño, derivada de su condición de baterías especiales.

Las baterías de reserva se pueden clasificar de varias maneras de acuerdo con su composición o aplicaciones. Comentamos dos de ellas:

*Según el estado del electrolito.* El electrolito puede estar en estado sólido o líquido, o requerir un componente líquido o gaseoso para completar el sistema. Se pueden distinguir tres tipos principales, dependiendo de que el funcionamiento se establezca por la distribución y transporte de líquidos, gases o calor. Se aprecia fácilmente que esta clasificación permite englobar muchos sistemas electroquímicos diferentes en cada grupo. Por ejemplo, en los sistemas activados por calor, las baterías térmicas, se utilizan tantas sales

químicas fundidas como las que se emplean en el campo de las baterías húmedas.

*Según el método de activación.* Es la clasificación que utilizaremos aquí. Activación es la forma de poner en funcionamiento una batería de reserva; este concepto lleva aparejado el término «tiempo de activación», parámetro típico de este tipo de baterías, que en muchas ocasiones tiene gran importancia.

La activación de una batería de reserva puede ser manual o automática. La primera comprende desde la simple inversión de posición de la batería, derramando el recipiente que contiene el electrolito, hasta el llenado hipodérmico. Los tipos automáticos se activan con la aplicación exterior de una fuerza de origen eléctrico o mecánico. Frecuentemente la acción inicial comienza con una condición de uso, como es la aceleración lineal a que da lugar el lanzamiento de un misil que proporciona la energía suficiente para romper la ampolla donde está el electrolito. Pueden usarse también elementos explosivos, bombeo de fluidos, fuerzas centrífugas, cambios de presión, etc.

En la tabla 1 se contemplan las baterías de reserva más comunes, que pasamos a comentar a continuación. En la tabla resumen de los artículos se han incluido algunas de las más importantes.

### Sistemas activados con agua

Se emplean en señalización, radiosondas (principalmente meteorológicas), y para gran variedad de usos de emergencia en el mar: iluminación, señales de faro, boyas, marcadores, etc.

Estos dispositivos tienen las siguientes características:

- Vida activa limitada a horas.
- Se pueden mantener con carga después de activadas.
- Su potencia puede llegar a ser de algunas decenas de vatios.
- Eléctricamente ruidosas ya que suelen presentar numerosas reacciones químicas laterales; estas reacciones, sin embargo, son beneficiosas ya que son las que suministran el calor necesario para el funcionamiento de la batería a temperaturas bajas y/o gran altura.

Quizás algún lector puede preguntarse cómo se activa por agua una batería «a gran altura». En estos casos puede

Activación	Cátodo	Anodo	Electrolito	Comentarios
Por agua	Cloruro de plata Cloruro cuproso	Mg	Agua del mar o agua + sal	Para boyas, radiosondas, equipos de emergencia marítimos.
Por ácido	Dióxido de plomo	Zn Cd Pb	Ácidos perclórico fluoro silfúrico o fluorobórico	Densidad de energía alta. Vida muy corta (minutos).
Alcalina	Oxido de plata	Zn	Hidróxido potásico	Gran potencia. Amplio margen de temperaturas.
Por gas	Oxígeno del aire en carbón activo	Zn	Cloruro amónico o hidróxido potásico	Puede recargarse. Bajo régimen. Corta vida.
	Dióxido de plomo	Mg Pb Zn	Tiocianatos alcalinos + amoníaco (gas)	Se activa por inyección de amoníaco gaseoso.
	Dióxido de plomo	Pb	Ácido bórico → Ácido fluorobórico	Se activa por inyección de trifluoruro de boro.
Por temperatura	Oxidos estables a > 300°C	Mg Ca	Haluros de potasio, Li	

Tabla 1. Baterías de reserva

quedar activada por la lluvia; cuando el llenado de la batería está previsto que sea con agua dulce se le incorpora alguna sal de buena solubilidad que garantice la conductividad iónica. La densidad de energía de estos sistemas es relativamente alta ya que su empaquetamiento incluye sólo materiales activos, no hay electrolito. Valores típicos pueden ser unos 44 Wh/kg y 60 Wh/dm<sup>-3</sup>.

Se usan preferentemente dos sistemas. Ambos incluyen una lámina de magnesio como electrodo negativo y un electrolito de agua de mar o disolución de una sal en agua, diferenciándose en el electrodo positivo, que en un caso es cloruro de plata y en el otro cloruro cuproso.

La capacidad es similar en ambos, pero el primero ofrece mayor tensión, mejor funcionamiento a bajas temperaturas y ventajas de diseño y fabricación debido a las condiciones propias de conductividad eléctrica y propiedades de trabajo del material. La única ventaja aparente del segundo sistema es su menor precio.

### Sistemas activados con ácido

Estos sistemas comenzaron a usarse hacia 1940 en radiosondas utilizando estructuras multicélula que permitan un gran suministro de energía con alto grado de funcionamiento en un amplio margen de temperaturas.

Entre sus características merecen destacarse:

- Tiempo de activación corto.
- Bajo coste.
- Posibilidad de miniaturización incluyendo estructuras multicelulares en serie como las comentadas.
- Buena estabilidad eléctrica.
- Vida reducida a algunos minutos.

Dentro de este grupo se pueden emplear varios sistemas. Los ánodos se construyen por deposición, mediante electrólisis, de cinc, cadmio o plomo. Los electrolitos generalmente están limitados a aquellos que dan únicamente productos solubles en las reacciones durante la descarga; se suelen utilizar los ácidos fluorosilícico, perclórico y fluorobórico. Los cátodos son normalmente de dióxido de plomo.

Las tensiones de una pila simple de este tipo oscilan entre 1,3 y 1,9 voltios. Las densidades de corriente alcanzan valores muy altos, hasta 40 mA/cm<sup>-2</sup>.

La elección de uno u otro sistema no es crucial, aunque se pueden obtener mejores comportamientos mecánicos y eléctricos y/o costes más favorables. Así, si se aumenta la reactividad de los materiales, se mejoran las características de alto régimen pero a expensas de una pérdida de vida activa y estabilidad eléctrica. El sistema más utilizado es el plomo/ácido fluorobórico/dióxido de plomo.

Al diseñar las piezas de la batería se incluyen los canales de distribución del electrolito. Este se mantiene en una ampolla de vidrio, en una cavidad central, hasta el momento de la activación, en que una aceleración súbita interna (muelle, explosivo) o externa (movimiento) lanza el recipiente contra un dispositivo que la rompe. La distribución del electrolito se realiza a continuación mediante un pistón, un mecanismo de llenado o bien, en el caso de misiles, aprovechando la propia aceleración del proyectil.

### Sistemas alcalinos

Se utiliza fundamentalmente el sistema óxido de plata/hidróxido potásico/cinc. Se emplean en misiles y armas especiales.

Su uso es casi obligado cuando se necesitan corrientes muy altas, del orden de decenas o cientos de amperios o potencias superiores al kilovatio. Sus características más notables son:

- Activación en pocos segundos.
- Funcionamiento en un amplio margen de temperaturas mediante calentamiento químico automático.
- Límite superior de energía de varios cientos de kilovatios minuto.

La clave del logro de una buena pila está a menudo en la elección del tipo de óxido de plata. La degradación del óxido más alto no sólo afecta a la capacidad y descarga, sino que además la presión de oxígeno puede interferir con el mecanismo de llenado. Es por tanto normal aceptar la tensión más baja (1,6 voltios por pila aproximadamente) y capacidad más baja, para ganar fiabilidad y lograr los requerimientos de almacenamiento.

Las densidades de corriente obtenidas pueden oscilar entre 20 y 800 mA/cm<sup>-2</sup> dependiendo de las condiciones de trabajo y los efectos sobre los materiales. En cuanto a la activación, es usualmente automática respondiendo a un efecto exterior, aunque algunos modelos se activan manualmente.

### Sistemas activados por gas

Destaquemos dentro de este tipo la pila cinc-aire. Esta pila se aparta bastante del resto de baterías de reserva en su comportamiento y utilidad, por lo que muchas veces no se considera incluida entre las mismas, aunque aquí se haga. Fue popularizada en Alemania durante la Segunda Guerra Mundial, cuando la escasez de manganeso obligó a prescindir de las pilas Leclanché normales.

El sistema más común es cinc/cloruro amónico/carbón (oxígeno). Una masa de carbón activo absorbe el oxígeno del aire que puede entonces actuar como despolarizador. Una variante utiliza un electrolito alcalino de hidróxido potásico y óxido de cinc.

Esta pila se deteriora rápidamente con la humedad ambiente y el dióxido de carbono atmosférico, por lo que su clasificación como batería de reserva está condicionada a un precintado perfecto del electrodo de carbón hasta su puesta en funcionamiento. A pesar de todo, su vida de almacenamiento suele ser limitada.

Por otra parte, funcionan razonablemente bien en bajos regímenes de descarga, pero se polarizan con rapidez para corrientes mayores. Una vez en funcionamiento su capacidad queda asimismo afectada por el dióxido de carbono y el vapor de agua de la atmósfera.

Esta pila, a pesar de sus limitaciones ha encontrado aplicación en varios campos:

- Para señalización ferroviaria se utilizan pilas rectangulares de 250 a 500 Ah.
- Pilas miniaturizadas de tipo botón para su empleo en audífonos.
- Se trabaja actualmente en conseguir acumuladores cinc-aire para su empleo en tracción (vehículos eléctricos).

La ventaja de este sistema es su alta densidad de energía, que puede ser unas tres veces superior a la de la pila Leclanché.

Aparte del sistema cinc-aire se han experimentado otras baterías de reserva activadas por gas, aunque, que sepamos, aún no se han comercializado. En principio estos sistemas dependen de la interacción entre un gas y una sal para formar el electrolito. Con este esquema básico se han

probado interesantes baterías de alto régimen y vida corta tanto en estructuras multipila como en pilas individuales.

Se utilizan primordialmente dos sistemas. El primero emplea amoníaco gas que se difunde a través de una estructura activa donde es absorbido por sales para producir un electrolito amoniacal. Estas soluciones contienen tiocianatos de potasio, litio o amonio, consiguiéndose buenos electrolitos. Como material anódico se usa magnesio, plomo o cinc, y dióxido de plomo como cátodo.

El segundo sistema utiliza los gases como componentes de una reacción química que, junto con un segundo componente situado en el interior de la pila, origina el electrolito como producto de reacción. Una posible combinación es vapor de agua con algún anhídrido de ácido, como el pentóxido de fósforo, produciéndose un electrolito de ácido fosfórico. Mucho más versátil es el sistema trifluoruro de boro/ácido bórico que produce un electrolito de ácido fluorobórico. Este sistema, utilizado con ánodo de plomo y cátodos de dióxido de plomo posee unas cualidades muy semejantes a los sistemas activados por ácido.

### Sistemas activados con temperatura

También conocidos como baterías térmicas. La activación se realiza por aplicación de un foco calorífico localizado sobre los elementos de la pila.

Las características más sobresalientes de estos sistemas térmicos son:

- Muy larga vida de almacenamiento.
- Funcionamiento en una amplia gama de temperaturas (110°C).
- Solidez.
- Activación rápida.
- Miniaturización.
- Gran margen de capacidad eléctrica.
- Corta vida activa (algunos minutos).
- Límite de energía 1-2 kW/minuto.

Se emplean en la actualidad preferentemente en armamento, emergencias y alarmas. Usualmente se construyen en forma de «sandwich» de pequeño espesor, apilando y estructurando los elementos en serie o paralelo según la utilización que se les vaya a dar.

Se usa como ánodo magnesio o calcio metal. Con el calcio se obtiene 1 voltio más por elemento y mejores prestaciones a alto régimen. Como electrolito se suele escoger una mezcla eutéctica, generalmente de haluros de potasio y litio.

Como despolarizador (material catódico) se puede emplear cualquier compuesto reducible que sea térmicamente estable a las temperaturas de trabajo del sistema (300-600°C).

Un sistema de este tipo ofrece tensiones comprendidas entre 1 y 3 voltios con densidades de corriente de hasta algunos amperios por centímetro cuadrado.

### Baterías de electrolito sólido

Todas las baterías que hemos visto hasta ahora, y las pilas comentadas en el artículo anterior poseen un electrolito más o menos fluido.

El electrolito, como se recordará, es el medio a través del cual se cierra el circuito exterior, de conducción electrónica. La conducción en el electrolito es de tipo iónico y, en principio, un electrolito será tanto mejor cuanto mejor conductor iónico y mejor aislante electrónico sea. Cualquier dificultad al tránsito de iones se traduce en una resistencia

interna del sistema, con la consiguiente caída de tensión, posibilidad de polarización y, en definitiva, un detrimento de las cualidades de la batería. En estas circunstancias se comprende la tendencia a usar disoluciones iónicas como electrolitos, las cuales pasan a ser pastas más o menos húmedas en los sistemas comerciales por razones puramente prácticas de manejo.

Sin embargo los electrolitos fluidos tienen una serie de desventajas que hemos ido poniendo de manifiesto hasta ahora. Recordemos las más importantes:

- Pueden ser derramables si no se adoptan precauciones.
- Las agrupaciones de células para dar baterías de mayor tensión (por ejemplo, pilas de 9 voltios) se construyen muchas veces manteniendo unas distancias entre electrolitos de pilas adyacentes peligrosamente pequeñas. Un contacto iónico entre dos electrolitos adyacentes disminuye la vida de almacenamiento, pudiendo llegar a anular un elemento de la batería con la consiguiente caída de tensión.
- Los electrolitos tienen una presión de vapor apreciable, debiendo las pilas ser cuidadosamente cerradas para evitar pérdidas por evaporación. El cierre puede llegar a ser muy complejo si en la reacción de descarga o en reacciones laterales se liberan gases: oxígeno, hidrógeno, dióxido de carbono o vapor de agua, que deben ser eliminados.

El electrolito disminuye drásticamente su conductividad a bajas temperaturas, limitando la capacidad de funcionamiento de la batería. Un límite superior lo establece el punto de ebullición del mismo electrolito.

Muchos de estos problemas se ven aumentados al disminuir el tamaño de la batería; por tanto es complicado fabricar pilas o acumuladores pequeños.

Movidos por estas dificultades, aunque la mayor parte de la investigación se orientó a corregirlas o paliarlas manteniendo fluidos los electrolitos, se estudiaron alternativas viables de sustitución de éstos por electrolitos sólidos. Una sal sólida, si es conductor iónico y aislante electrónico, puede usarse como electrolito de una batería.

Ya a principios de siglo se estudiaron sistemas primitivos usando estas sales. Sin embargo, su interés como fuentes de energía no se despertó hasta 1950, cuando Sator y colaboradores demostraron la posibilidad de su funcionamiento. Estos esfuerzos iniciales pusieron de relieve las ventajas de tales sistemas:

- Fácil miniaturización.
- Gran aumento de vida de almacenamiento, incluso en pilas miniaturizadas.
- Construcción muy sólida, robusta.
- Punto de ebullición muy alto, con el consecuente aumento de su capacidad operativa.

Por desgracia, también se puso de relieve su mayor defecto: una alta resistencia interna. Incluso las sales sólidas más conductoras tienen una conductividad entre cuatro y siete veces inferior a las soluciones acuosas normalmente usadas.

A pesar de todo, experimentaron un rápido desarrollo, comercializándose por primera vez hacia 1961. La mayor parte de los sistemas están basados en la plata como ánodo y alguna de sus sales (bromuros, cloruros, ioduros) como electrolitos. Sus potenciales suelen ser inferiores a 1 voltio. Existe también el sistema Ni-Cr/sulfato de estaño (II)/dióxido de plomo, con un potencial entre 1,2 y 1,5 voltios.

Los electrolitos sólidos han permitido la construcción de pilas miniatura con una «densidad de voltaje» superior a 100 V cm<sup>-3</sup>. A pesar de su pequeño tamaño, su vida en reposo es muy alta, estimándose en 10-20 años. Además son fácilmente mecanizables.

En la figura 1 se puede observar esquemáticamente una pila de plata de electrolito sólido. Para su fabricación se parte de un pequeño recipiente de plata con impurezas de cadmio que es tratado con cloro a alta temperatura para producir una capa de cloruro de plata y cloruro de cadmio; este último mejora la conductividad iónica del electrolito.

El recipiente se llena con una mezcla de  $KICl_4$  sólido, carbón activo y una grasa (que contribuye al aislamiento electrónico) como material catódico. Se completa el ensamble con la inserción de un clavito de tantalita que actúa de cátodo.

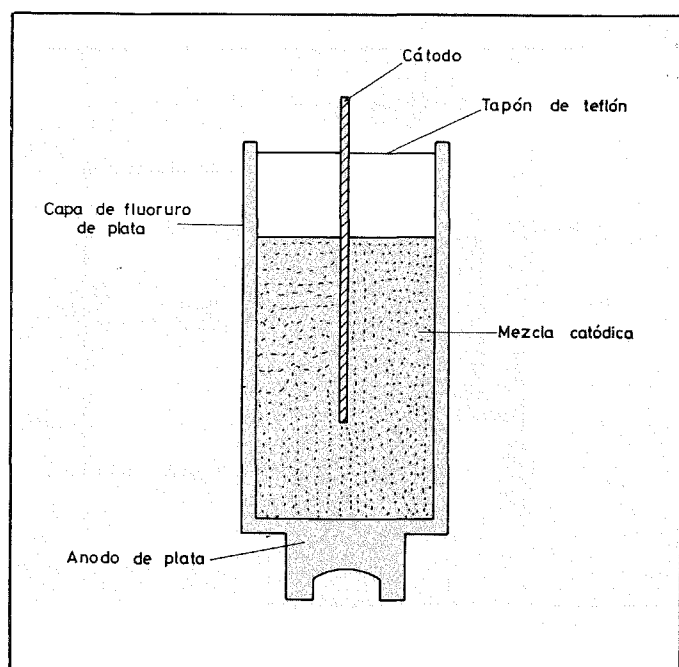


Figura 1. Pila de electrolito sólido.

Este clavito se puede unir al recipiente de otra pila resultando una hilera de pilas separadas por láminas de teflón.

Existe una pila de este tipo en el mercado con un volumen de  $16 \text{ cm}^3$  que ofrece de  $10 - 20 \mu\text{A}$  en cortocircuito con una resistencia interna de  $30 \text{ M}\Omega$  y una carga total de unos  $10 \text{ C}$ . Esta pila puede cargar un condensador de  $0,05 \mu\text{F}$  al  $90 \%$  en tres segundos. Su recuperación tras un cortocircuito prolongado es prácticamente instantánea.

La gran limitación de estos sistemas, como ya se ha comentado, es el bajo nivel de corriente que ofrecen. Sus aplicaciones, por tanto, están dirigidas a bajos consumos, si bien su fácil miniaturización permite la construcción de estructuras multipilas de alta tensión y poco tamaño. Entre sus aplicaciones más frecuentes están su utilización en contadores Geiger, contadores de centelleo y tubos fotomultiplicadores. También se pueden utilizar para mantener una carga, en baja corriente, de condensadores para descarga intermitente a través de pequeños tubos de neón.

Se sigue trabajando en mejorar la resistencia interna de estos sistemas. Señalemos dos posibilidades: la primera sería trabajar a mayor temperatura y la segunda pretratar los electrolitos con materiales en polvo para aumentar su superficie y disminuir la resistencia a través de los contactos.

Comentemos finalmente la reciente aparición de una pila de litio con electrolito sólido. El sistema electroquímico en concreto es  $\text{Li}/\text{ioduro de plomo}/\text{sulfuro de plomo}$ .

## Pilas de combustible

Las pilas de combustible son sistemas en que los materiales catódicos y anódicos se aportan continuamente al recipiente de la pila, produciéndose una reacción química con generación de energía eléctrica.

Su popularidad es bastante reciente, coincidente con los vuelos espaciales tripulados, que con frecuencia las llevan para alimentación de los instrumentos de a bordo. Quizás sorprenda, que las primeras experiencias en este tipo de pilas fueron realizadas en 1839 por Grove, empleando hidrógeno y oxígeno obtenidos por electrólisis en un baño de ácido sulfúrico con electrodos de platino. Estos trabajos quedaron olvidados hasta los estudios de Carnot sobre Termodinámica, que eran directamente aplicables al sistema.

En 1940, Baur volvió a resucitar el tema, motivado por el posible interés que tendría una transformación directa del carbón o sus derivados en energía eléctrica. Desgraciadamente, este problema sigue sin ser resuelto eficazmente. Citemos también las investigaciones del científico ruso Davtyan, utilizando electrolitos sólidos y líquidos, y monóxido de carbono e hidrógeno para la reacción anódica.

De todas formas, el problema sólo trascendió al dominio público, como ya se ha indicado, con el comienzo de la carrera espacial. La razón es muy sencilla: la pila hidrógeno-oxígeno es el sistema conocido que más energía da por unidad de peso y volumen. Pero no es sólo éste el interés de una pila de combustible: si se lograran transformar eficientemente los combustibles fósiles (gasolina, por ejemplo) en energía eléctrica, las consecuencias desde un punto de vista energético serían inmensas. En efecto, el rendimiento de un automóvil, por ejemplo, en el paso gasolina-energía mecánica (movimiento) es muy superior cuando la etapa intermedia es energía eléctrica (pila de combustible) y no energía térmica (combustión). Las implicaciones de una eventual pila de este tipo alcanzarían también a la contaminación atmosférica y a la propia disponibilidad del combustible, ya que en principio serían bastante menos rigurosas las especificaciones para su composición. (Además, naturalmente, las pilas de combustible no hacen ruido).

Una pila de combustible, al menos a primera vista, es un dispositivo bastante sencillo, como se puede observar en la figura 2, en la que se ha esquematizado la pila más corriente, el sistema hidrógeno-oxígeno. Consta de dos recipientes a los que acceden el hidrógeno y el oxígeno (puede ser aire) y un electrolito en cuyas paredes (los electrodos) se absorben o difunden los gases, produciéndose un intercambio exterior de electrones, mientras que los iones emigran a través del electrolito generándose agua como producto de desecho.

La clave del funcionamiento de la pila está en los electrodos; se requiere que éstos sean de un material poroso que permita la difusión de los gases pero retenga el electrolito en el interior de su compartimento. Generalmente se construyen con grafito poroso u óxidos metálicos prensados, pero también se han utilizado láminas de platino y níquel. Sobre este material poroso se deposita un catalizador que suele ser un óxido metálico del grupo del platino (rodio, iridio, osmio, paladio o el propio platino); la deposición se realiza electrofóticamente y se cuida que el tamaño de grano sea lo más pequeño posible para aumentar la superficie de contacto.

Los electrolitos más usados clásicamente fueron disoluciones acuosas ácidas o alcalinas de concentración entre  $0,1$  y  $15 \text{ N}$ . En la práctica se suelen mantener en circulación para favorecer la transferencia de iones y evitar la contaminación excesiva y/o la dilución de los mismos por los productos de

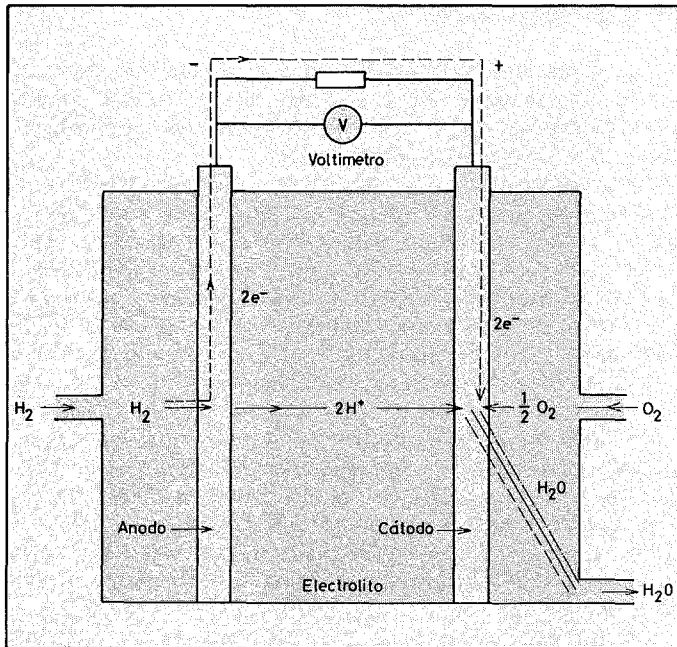


Figura 2. Pila de combustible.

reacción. Por ejemplo, en la pila hidrógeno-oxígeno hay que eliminar el agua producida.

Cuando se desean pilas con densidades de corriente más altas es necesario aumentar la temperatura para aumentar la velocidad de transferencia. Esto a su vez implica cambiar de electrolito, pasando a sales fundidas. Estos tipos de pilas operan entre 400 y 600°C y pueden llegar a ser de gran interés cuando se terminen de solucionar de forma económica los problemas de corrosión y resistencia de materiales que resultan del funcionamiento prolongado a esas temperaturas. De todas formas existe ya un buen número de pilas de combustible operando con sales fundidas.

Aun a mayores temperaturas se preparan pilas con electrolitos de óxidos metálicos sólidos, que funcionan entre 700 y 1200°C siempre por debajo del punto de fusión. Estos electrolitos sólidos no plantean apenas problemas de corrosión y pueden llegar a tener conductividades iónicas bastante aceptables.

La razón primordial de este intento por elevar las temperaturas de funcionamiento no está en la densidad de corriente sino en el tipo de combustible a utilizar. En efecto, a mayor temperatura pueden reaccionar compuestos más baratos y asequibles que el hidrógeno (hidrocarburos, alcoholes, gas natural, gas de agua). Es ahí donde está probablemente el futuro de las pilas de combustible, como se comentaba en un principio.

Describimos a continuación tres tipos «comerciales» de pilas de combustible, que nos ayudarán a observar las tendencias en este campo.

#### Pila Bacon

Es una pila hidrógeno-oxígeno (figura 3) que opera a 250°C y una presión entre 20 y 40 atmósferas. Su electrolito es una disolución circulante de hidróxido potásico al 30 % y los electrodos son de níquel poroso, estando el ánodo pretratado con hidróxido de litio para obtener una superficie conductora de protección. Tiene una potencia de 0,35 W cm<sup>-3</sup> referida al volumen interno de la pila.

Una variante de la anterior emplea una membrana de

intercambio iónico en vez del electrolito. El agua puede ser en este caso extraída por purga de la membrana o de los gases residuales. Operando a temperatura ambiente puede suministrar hasta 32 mA/cm<sup>-2</sup> a 0,7 V.

#### Pila de hidrocarburo

Utiliza como combustible gas natural, gasolina y gas de carbón (mezcla de hidrógeno, metano y monóxido de carbono). Funciona a 500°C con electrolito de sales fundidas (mezcla de carbonatos sódico, potásico y de litio) mientras que el ánodo es de níquel y el cátodo de plata.

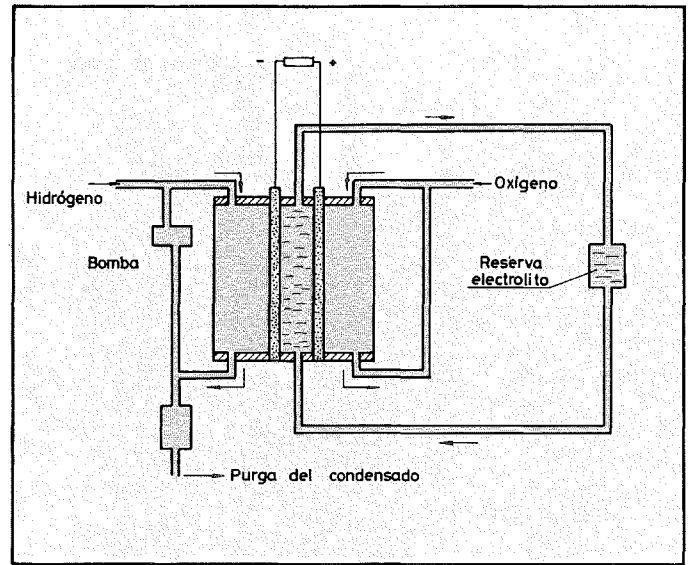


Figura 3. Pila Bacon.

A esas temperaturas el combustible se transforma por «cracking» en hidrógeno y monóxido de carbono, que son los verdaderos reactivos de la pila. Los productos de la reacción son dióxido de carbono y agua.

Esta pila puede dar densidades de corriente entre 20 y 80 mA cm<sup>-2</sup> y su tensión de trabajo es similar a la de la pila Bacon.

#### Pila de electrolito sólido

Los electrolitos sólidos, como ya se ha dicho, han llegado también a las pilas de combustible. Existe una pila con electrolito de dióxido de circonio diseñada para trabajar a 1.100°C (figura 4). Usa como combustible gas natural, que se piroliza en la cámara formando carbón e hidrógeno. El carbón se deposita sobre el dióxido de circonio formando el ánodo y consumiéndose con el oxígeno del aire dando monóxido de carbono. En los compartimentos laterales se queman los gases de la pirólisis manteniendo la temperatura.

Esta pila no requiere por tanto fuente externa de calor, ni tampoco catalizadores, que son costosos y requieren precauciones para evitar su contaminación. Suministra hasta 160 mA/cm<sup>-2</sup> a 0,7 V.

Las pilas de combustible han encontrado gran variedad de aplicaciones prácticas, todas ellas en estructuras multicélula en serie o paralelo para aumentar su tensión o potencia respectivamente. Algunos globos-sonda meteorológicos destinados a medidas en la alta atmósfera llevan pilas de este tipo con potencias del orden de 100 mW, con depósitos de



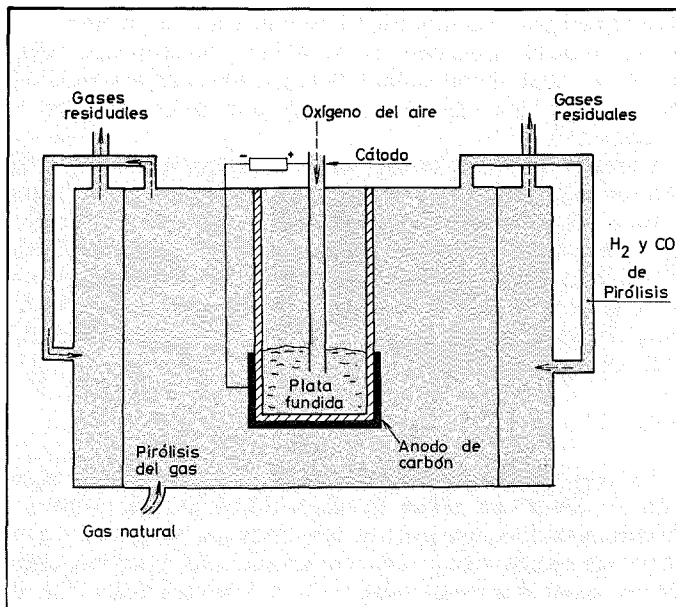


Figura 4. Pila de combustible de electrolito sólido.

combustible que les permiten funcionar ininterrumpidamente durante 6 meses. Estos sistemas de baja potencia son útiles también en otras aplicaciones que requieran poca energía y períodos largos de funcionamiento: radio, radar, señalizaciones, etc.

Una aplicación con un cierto matiz ecologista podría ser la pila en estudio por el Servicio Nacional del Gas de Francia, que se alimentaría del gas industrial suministrado por éste, y que se piensa aplicar a granjas en sustitución de los grupos electrógenos clásicos.

Otra utilidad de índole militar podría derivarse de la ausencia de ruidos y emanaciones tóxicas de estas pilas, que las hacen ideales para propulsión submarina. Comentemos a este respecto el proyecto Cuadrus, emprendido por la marina sueca hace algunos años para desarrollar una pila de 200 kW para propulsar submarinos de bolsillo.

Se han utilizado también pilas de combustible de tipo Bacon modificado en vuelos espaciales tripulados del programa Apollo, y con membranas de intercambio iónico en el proyecto Gemini, con potencias del orden de 1 kW. En este último caso la pila suministraba, además de corriente, el agua necesaria para la bebida de los astronautas (0,9 kg/kWh).

### Pila Weston

Cerramos la parte dedicada a baterías especiales con una pila que poco o nada tiene que ver con las comentadas hasta ahora y, por lo demás, es sobradamente conocida: nos referimos a la pila Weston.

Su única aplicación es su utilización como patrón de tensión; ha sido muy popular hasta hace unos años, aunque parece que su interés ha decrecido un tanto últimamente.

Existen dos modelos básicos cuya diferencia estriba en la concentración del electrolito, llamadas vulgarmente pila saturada y no saturada. La pila saturada es más precisa, pero requiere control termostático para garantizar las medidas. La no saturada, por el contrario, presenta la ventaja de ser portátil y no requerir termostato para la mayoría de las aplicaciones, ya que posee un coeficiente térmico de tan sólo  $-3 \mu\text{V}^\circ\text{C}^{-1}$  entre 4 y 40°C.

La construcción es idéntica en ambos casos. Se utiliza un

recipiente en forma de H (figura 5) con dos contactos de platino soldados en las dos patas inferiores. En una rama se pone mercurio y en la otra una amalgama de cadmio. El electrodo de mercurio se cubre de sulfato de mercurio, y, en el caso de la pila saturada, se añade sulfato de cadmio en cristales en ambas ramas. El conjunto se rellena hasta

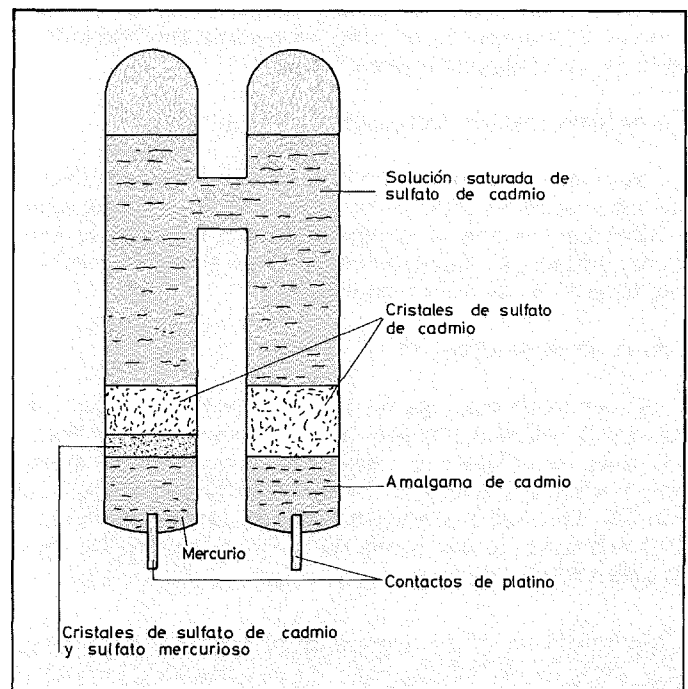


Figura 5. Pila Weston saturada

sobrepasar la rama horizontal con una solución de sulfato de cadmio de la concentración apropiada, y se cierra herméticamente.

Una pila Weston saturada construida cuidadosamente tiene una tensión de 1,01864 V a 20°C. Por lo que respecta a las pilas no saturadas, a partir de 1965 se comercializan con tensiones entre 1,01900 y 1,01940 V y un coeficiente de temperatura entre 5 y  $-5 \text{ ppm } ^\circ\text{C}^{-1}$ .

### ACUMULADORES

En general, un acumulador es una batería que, tras su agotamiento en descarga, puede ser regenerada a su estado inicial por el simple paso de una corriente adecuada de carga. Esta condición exige la reversibilidad lo más perfecta posible de todas las reacciones electroquímicas implicadas en el ciclo de descarga, a fin de poder «desandar el camino» durante la carga.

Un acumulador comercial es una unidad diseñada específicamente para admitir ciclos periódicos de carga y descarga. Conviene aclarar este matiz, ya que en realidad tanto las pilas como los acumuladores son recargables en la práctica; la diferencia entre unas y otros no es por tanto cualitativa, sino cuantitativa: una pila Leclanché, por ejemplo, es recargable un corto número de veces (de cinco a quince), y su capacidad de recarga alcanza el 60–80 %. Por el contrario, un acumulador que merezca ese nombre admite al menos 150 ciclos de carga y descarga, y algunas veces más de mil.

Así pues, si se desea recargar una pila, se debe intentar la recarga antes del agotamiento total de la misma (en el caso

de una Leclanché, cuando su tensión es mayor de 1 V todavía). Debe ser cargada inmediatamente después de ser retirada y utilizada una vez recargada lo más pronto posible, ya que su vida de almacenamiento es pequeña. Se aconseja introducir una carga entre el 120 y el 180 % de su capacidad en 12-16 horas. Un régimen de carga superior conduce a calentamientos y puede ser peligroso. En general, si no se dispone del material adecuado, resulta más económico comprar una pila nueva; en todo caso queda aquí reflejado el método por si alguien desea intentarlo.

### Características de los acumuladores

Esta pequeña introducción sirve para perfilar las características más importantes de un acumulador. La mayor parte de ellas son comunes a las pilas, y quedaron reflejadas en el primer artículo. Comentaremos a continuación las cualidades específicas de los acumuladores.

#### Curvas de carga-descarga

Las curvas de descarga de los acumuladores son en todo semejantes y tienen el mismo significado que las homólogas en pilas. Al reflejar las propiedades de un determinado acumulador, sin embargo, se suele sobreponer sobre su curva de descarga la correspondiente de carga. En la figura 6 se puede observar una pareja de curvas correspondientes a un acumulador de plomo.

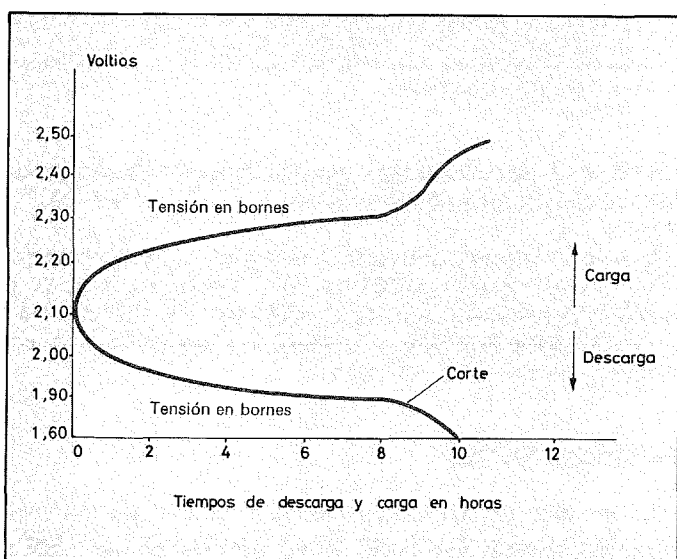


Figura 6. Tensión en bornes de un acumulador plomo-ácido, corriente de  $I = \frac{C}{10}$

Es bastante frecuente expresar las curvas de descarga de acumuladores (también de pilas en ocasiones) en forma de fracción de su capacidad. Hay dos razones para ello: la primera es que la curva, como se dijo en el artículo anterior, varía con el régimen de descarga, y las baterías toleran regímenes mayores cuanto mayor es su capacidad. La segunda es de índole práctica: una medida en fracciones de capacidad nos da directamente el tiempo de utilización o el tiempo necesario para la recarga de un sistema.

Encontramos así con frecuencia curvas C/10 o C/20 referidas a ciclos de carga-descarga. Una curva de descarga C/10 significa que un acumulador totalmente cargado se

descargará con esa intensidad de corriente en 10 horas. Si expresamos la capacidad del acumulador en amperios-hora, como es usual, dicha curva C/10 aplicada a un acumulador de 40 Ah, por ejemplo, implica una intensidad de 4 amperios.

Expresar las curvas de carga-descarga en fracciones proporciona también una herramienta útil para comparar distintos acumuladores; ya sean sistemas electroquímicos diferentes o bien el mismo sistema en diferentes tamaños o distribuciones de los materiales activos. En un campo como éste, en que se manejan baterías de usos y características muy distintos, puede resultar de utilidad una cierta unificación como la apuntada.

#### Vida útil

La vida útil de un acumulador se relaciona en principio con el número de ciclos de carga-descarga que tolera sin deteriorarse apreciablemente. Hay pocas características que hayamos comentado que dependan tanto de las condiciones de explotación o, en general, de la utilización que se le de al acumulador.

En condiciones normales, los acumuladores más comunes (plomo ácido, níquel-cadmio) toleran por encima de 1.500 ciclos, con una vida de 5-10 años en el caso de la batería de plomo y de 10-20 en el de la níquel-cadmio. Desgraciadamente, no se pueden considerar «condiciones normales» las violentas descargas en los arranques y las cargas de un alternador a 15 A que sufre el acumulador de un automóvil. En este caso la vida queda limitada, en un caso típico, a 300-500 ciclos y 3-5 años, a veces incluso menos.

Las «mejores» formas de acortar la vida útil de un acumulador son:

- Someterlo a cargas o descargas violentas y repetidas.
- Descargarlo hasta agotamiento.
- Trabajar a temperaturas extremas.
- Impurificar el agua que se añade, en el caso de acumuladores con mantenimiento.

Los acumuladores de plomo usados en aplicaciones en reposo y con descarga muy lenta (telecomunicaciones, por ejemplo) tienen tendencia a crear gradientes de concentración del electrolito entre la parte superior e inferior de la batería que se traducen en un mayor desgaste de las placas y un envejecimiento prematuro; por ello es aconsejable recargarlas periódicamente para favorecer el mezclado del electrolito.

#### Resistencia interna

La resistencia interna de cualquier batería es, salvo casos especiales, bastante reducida: es un extremo que se cuida con detalle. Merece destacarse, sin embargo, la resistencia de los acumuladores de alta potencia como los utilizados en vehículos; aunque los valores oscilan con la composición y concentración del electrolito, nunca superan unos pocos ohmios y en ocasiones son inferiores a 1 ohmio.

Recordemos que las dos causas principales de la resistencia de una batería comercial, por lo que respecta al electrolito, son el separador, sustituto del puente alcalino, y la consistencia pastosa del propio electrolito, prácticamente imprescindible si se desea construir una batería portátil. En un acumulador de este tipo se han eliminado ambas causas: por una parte, los sistemas electroquímicos escogidos se basan en reactantes y productos sólidos, por lo que no es necesario el separador al no existir riesgo de migración de iones; por la otra, se sacrifica la comodidad de un electrolito



pastoso en aras de la mejor conductividad mostrada por las disoluciones. Además en el diseño del acumulador se procura acercar las placas al máximo posible y se multiplica el número de las mismas para lograr una menor densidad de corriente.

### *Autodescarga*

La autodescarga es una cualidad menos cuidada en los acumuladores que en las pilas, ya que la posibilidad de recarga hace menos acuciante evitarla. Un acumulador de plomo de automóvil, por ejemplo, puede llegar a perder un 10—15 % de su carga en 3 semanas y un 50 % o más en 6 meses.

Al igual que en otros casos, la autodescarga de un determinado sistema puede depender de multitud de factores relacionados con su «historia». Un acumulador ya recargado puede también presentar mayor o menor autodescarga según el tipo de carga a que ha sido sometido.

La autodescarga puede llegar a ser un importante problema en los equipos de uso esporádico que utilicen acumuladores; un caso típico son los alumbrados de emergencia. Se suele solucionar sometiendo estos equipos a una pequeña recarga continua, C/70 por ejemplo, que garantizan una plena carga en el momento de su uso.

Es también conveniente recargar con cierta regularidad los acumuladores que frecuentemente llevan las calculadoras de bolsillo. Aunque siempre puede trabajarse con ellas recargando simultáneamente, el problema es que un período prolongado con las baterías agotadas reduce sensiblemente la vida de las mismas.

## TIPOS DE ACUMULADORES

Haremos aquí referencia tan sólo a los acumuladores clásicos y a un nuevo sistema bastante prometedor. Hay que advertir que se ensaya en la reversibilidad de su gran número de pilas, que pudieran por tanto encasillarse en una u otra clasificación. Citemos como ejemplo distintos tipos de baterías de litio, entre los que aún no ha aparecido un sistema que pueda calificarse propiamente de acumulador; en las mismas circunstancias se encuentra por el momento la pila cinc-oxígeno.

### **Acumulador de plomo**

El sistema plomo/ácido sulfúrico/dióxido de plomo, inventado por Planté el año 1860; supuso una auténtica revolución en el campo de la investigación de fenómenos eléctricos al abaratar y simplificar notablemente la obtención de electricidad para los mismos, que podría ser a partir de entonces conseguida a partir de energía mecánica por medio de dinamos. Con su más de un siglo de vida, y tras algunas modificaciones, ha sobrevivido hasta nuestros días y, aunque actualmente tiene algún competidor, se espera que mantenga su vigencia bastante tiempo.

Este sistema presenta dos características notables. La primera es que el producto de reacción tanto en el ánodo como en el cátodo es el mismo: sulfato de plomo. La segunda, de gran interés práctico es su alto potencial de descarga: 1,9-2,2 voltios; el más alto entre los sistemas comunes con electrolito acuoso.

Debe recalarse este segundo punto ya que no conviene olvidar que la diferencia de potencial necesaria teóricamente

para disociar agua en hidrógeno y oxígeno es tan sólo 1,229 V. La carga de este acumulador requiere una tensión aplicada superior a 2 voltios, por tanto debiera esperarse que se formasen en la recarga aquellos gases en lugar de los materiales activos. Lo que «salva» al acumulador de plomo es su elevada sobretensión tanto de hidrógeno como de oxígeno; ese indeseable fenómeno al que aludimos en el primer artículo que aquí resulta altamente beneficioso. La sobretensión de estos gases sobre el plomo hace que la descomposición del agua comience a 2,35 V. En la práctica, sí se descompone algo de agua durante la recarga, como todos sabemos, debiendo reponerse periódicamente (excepto en los acumuladores sin mantenimiento, que comentaremos más tarde).

La formación de sulfato de plomo en la descarga consume parte del ácido sulfúrico del electrolito. Al ser dicho ácido bastante más denso que el agua, la densidad del sistema disminuye conforme se va agotando la batería; en este fenómeno se basan los densímetros con los que popularmente se comprueba el estado de carga de este acumulador.

Aunque con unas prestaciones excelentes, el acumulador de plomo no carece de inconvenientes. Bastantes de ellos provienen de la utilización de ácido sulfúrico con los problemas de corrosión que ello acarrea. Tiene una autodescarga apreciable, como se ha dicho, y además es muy sensible a los agotamientos, especialmente si son prolongados. Un acumulador agotado que no se recarge prontamente sufre una merma considerable en su capacidad; la razón última es que la reacción no es tan reversible como debiera, si se da tiempo al sulfato de plomo a cristalizar adecuadamente.

Funcionan mal a bajas temperaturas, y su solidez tampoco es todo lo deseable que debiera. Por otra parte, su capacidad (45 Ah es un valor típico) depende grandemente del régimen de descarga. Lo que sucede en este caso es que a regímenes altos el material activo de los electrodos se recubre de sulfato y simultáneamente se da un empobrecimiento del electrolito en las proximidades. En estas condiciones gran parte del plomo de los electrodos queda sin utilizar y la capacidad baja drásticamente.

Como suele suceder en estos casos, las investigaciones han seguido dos líneas distintas. Por un lado se ha intentado buscar un sustituto a este acumulador (el sistema níquel-cadmio que veremos a continuación es el más firme candidato). Por otro, se han introducido mejoras técnicas que pallen al menos en parte las indeseables características anteriormente anotadas.

Entre estas mejoras destacaremos los acumuladores de bajo antimonio. Los electrodos de esta batería se construyen con una aleación de plomo y antimonio, éste último necesario para dar la adecuada consistencia al material y garantizar la adherencia a la matriz de acero en que se deposita. Ahora bien, este antimonio es también responsable de las pérdidas de agua, la corrosión de los terminales y pérdidas de capacidad en almacenamiento.

Los acumuladores de bajo antimonio ofrecen iguales o mejores calidades que los usuales en casi todos los parámetros característicos del sistema, en particular en agua consumida, autodescarga y coeficiente de carga (relación entre la carga que toma y energía que da).

En esta misma línea está un acumulador comercializado hace un par de años en España. Se trata del acumulador plomo-calcio, en el cual se ha sustituido el antimonio por este último metal. Aparentemente sus prestaciones son aún mejores que las del anterior; por ejemplo, conserva un 75 % de su carga al cabo de un año.

Augurábamos al principio de este apartado una vida aún larga a este acumulador. A pesar de sus inconvenientes, seguirá con toda probabilidad instalándose bastantes años en nuestros automóviles. Daremos un solo argumento para ello: no hay por el momento ningún otro sistema de su tamaño y precio capaz de aportar 400 amperios a un motor de arranque.

### Acumulador de níquel-cadmio

Está basado en el sistema oxihidróxido de níquel/hidróxido potásico/cadmio. Es algo más reciente (1905) que el anterior y entre sus aplicaciones actuales ha desplazado, aunque aún no totalmente, al clásico acumulador níquel-hierro creado por Edison, del que por cierto ha tomado bastantes características de diseño.

Este acumulador es superior al de plomo en muchos aspectos: autodescarga, corrosión, vida útil, gama de temperaturas de funcionamiento, tolerancia a altos regímenes, dependencia capacidad/descarga, etc. También lo es, y bastante, en precio.

Su vida útil en funcionamiento normal puede superar los 15 años, y a ello contribuye una robustez de diseño envidiable.

Su implantación en automóviles está restringida por dos factores. El primero, su precio puede ser de 5 a 10 veces mayor que el de una batería de plomo equivalente, aunque se piensa que se podría abaratar bastante con una producción masiva. No es en realidad una causa determinante, ya que el valor añadido por el acumulador al precio del automóvil es insignificante. El segundo factor sí es mayor problema: el volumen ocupado por un acumulador níquel-cadmio sería de 3 a 5 veces mayor (también lo sería su peso). Añadamos además que resulta un poco absurdo instalar un acumulador cuya vida esperada va a ser muy superior a la del propio automóvil.

Donde sí se ha dado una sustitución de acumuladores de plomo por níquel-cadmio ha sido en las locomotoras, cuya limitación de espacio es menor, en tanto que su vida útil iguala o supera la del acumulador.

Los acumuladores níquel-cadmio, de bolsillo, sin mantenimiento y con electrolito pastoso, han empezado también a ser serios competidores de las pilas secas. El mayor precio inicial del acumulador queda rápidamente amortizado en aparatos de uso frecuente o de alto consumo. Actualmente se comercializan acumuladores (llamados popularmente «nicads») de los tamaños más usuales de pilas de bolsillo con la pretensión de sustituirlas. Un problema al que se enfrentan es su baja tensión, 1,2 voltios, que no es tolerado por muchos aparatos diseñados para funcionar con pilas de 1,5 V. Con esta excepción, poseen buenas características en comparación con las pilas más comunes, destacando una curva de descarga muy plana en un 90 % de la misma.

La construcción de estas baterías con placas sinterizadas da como resultado una baja resistencia interna y tolerancia a descargas profundas; su carcasa de acero y los puntos de soldadura que llevan en los contactos les confieren una buena solidez.

### Acumuladores precintados

Los acumuladores de níquel-cadmio, y más recientemente los de plomo se comercializan con frecuencia en forma cerrada, no siendo necesario agregar agua periódicamente para su mantenimiento. El cierre en sí puede ser hermético, o bien una pequeña válvula u orificio de seguridad que

controle los aumentos de presión interna sin reducir la vida útil de la batería por evaporación del electrolito.

Estos sistemas tienen la ventaja de poder usarse en principio en cualquier posición sin peligro de fugas o desprendimiento de gases (si bien algunos aún deben ser recargados en posición vertical). Por supuesto, se siguen produciendo gases en la recarga (y algunas veces en reposo); por tanto estas baterías llevan algún sistema para su eliminación. Los primeros modelos poseían simplemente un mecanismo que cortaba el paso de corriente de carga cuando se detectaba un aumento de presión; actualmente suelen llevar catalizadores y/o un tercer electrodo que los recombina.

Los primeros acumuladores de este tipo aparecieron en los años 50 y eran modelos de bolsillo del acumulador níquel-cadmio. Se extendió posteriormente el campo a los modelos de mayor tamaño y, finalmente, se incorporaron también los acumuladores de plomo. La mayor dificultad de estos últimos fue precisamente una de sus ventajas: su elevada diferencia de potencial, que provoca cantidades apreciables de gases en su recarga.

Como norma general, los acumuladores sin mantenimiento son más sensibles a las sobrecargas que los clásicos. Una sobrecarga excesiva puede conducir, si la eliminación de gases no es muy eficiente, a un aumento de presión y posible rotura del acumulador. Incluso sin llegar a este extremo, la eliminación de los gases genera calor, por lo que el sistema experimenta un aumento de la temperatura; dicho aumento puede disminuir la aceptación de carga generando aún más gas.

Además de los ya mencionados citaremos entre estos acumuladores el sistema plata-cadmio, de excelentes prestaciones, miniaturizable y capaz de soportar descargas de hasta 5C, y el plata-cinc, utilizado por la nave Mariner exploradora de Venus. Sus características se incluyen en la tabla resumen.

### Acumulador sodio-azufre

Todavía no comercializado, se encuentra en un estado de

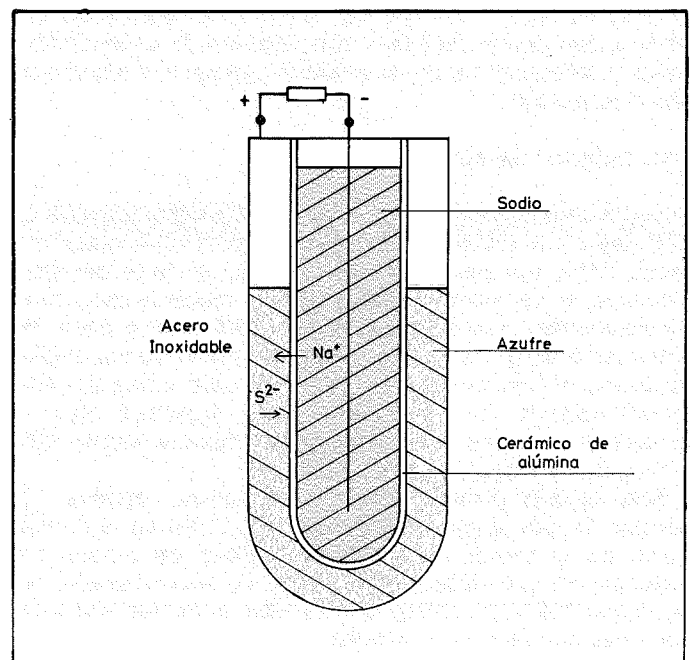


Figura 7. Acumulador sodio-azufre.

desarrollo muy avanzado y puede representar en un futuro una alternativa valiosa para muchas aplicaciones.

Su diseño es muy simple (figura 7) permitiendo el agrupamiento de células en estructuras muy compactas de gran potencia. Funciona a 300–350°C y su electrolito es sólido, concretamente una cerámica de  $\beta$ -alúmina, que permite la difusión de los iones sodio formando con el azufre  $S_3Na_2$ . Su potencial es 2,1 V y su densidad práctica de energía unos 200 Wh/kg<sup>-1</sup>. No se incluye la calefacción del elemento, alimentado por la propia batería, que representa un 10–20 % del consumo total.

### Otros acumuladores

Comentaremos además algunos acumuladores de menor importancia, al menos por el momento, basados la mayoría de ellos en el cinc. El problema de este metal para ser usado en acumuladores es su tendencia a depositarse electrolíticamente en forma de dendritas o «árboles» que con frecuencia requieren el uso de separadores para evitar que el crecimiento cortocircuite el sistema. A pesar de ello se han hecho varios intentos entre los que citaremos los sistemas con dióxido de manganeso, mercurio y níquel, además del ya citado de plata. Un sistema de interés en el futuro podría ser el cinc-cloro.

Finalmente citemos el sistema plomo-óxido de plata (I), diseñado específicamente como fuente de energía de bajo potencial para dispositivos de detección de señales de audio de muy baja frecuencia (Solion). Su descarga está entre 0,8 y 0,9 voltios y su carga es muy crítica, debiendo realizarse entre 1,09 y 1,15 V.

### FUTURO DE LAS PILAS Y ACUMULADORES

Terminamos esta andadura por el mundo de las baterías haciendo un poco de futurólogos. En realidad, el tema es tan amplio y el número de sistemas en estudio tan grande que cualquier predicción concreta a largo plazo puede resultar incierta con toda probabilidad. En cualquier caso se perciben una serie de tendencias que comentaremos a continuación.

En el terreno de las baterías primarias se tratará de optimizar los sistemas en uso; no obstante, hay buenas razones para pensar que se está ya bastante cerca del máximo techo alcanzable de mejora de características. La pila que se desarrollará más en el futuro será probablemente la de litio, siquiera por ser el miembro más joven de la familia y estar por tanto más lejos de la perfección. También se buscará un acumulador eficiente basado en el litio.

El éxito en el mercado de esta pila dependerá de la habilidad de la industria en conseguir diseños de calidad a bajo coste, que sean seguros aun con un uso indebido. Con estas condiciones puede acabar desplazando a las pilas Leclanché y alcalinas.

Por otra parte, la popularización de vehículos eléctricos puede ser posible a medio plazo. Los candidatos más firmes en este campo son las pilas de combustible y algunos acumuladores como el cinc-aire o cinc-cloro, sin olvidar los acumuladores clásicos. Para que se impusiesen las primeras se requerirían, supuesta la utilización de hidrógeno, de dos condiciones: una distribución del mismo a escala nacional, al estilo del gas doméstico, y un abaratamiento en su producción.

En la figura 8 se puede observar una previsión de uso de sistemas en las próximas décadas. A destacar la curva

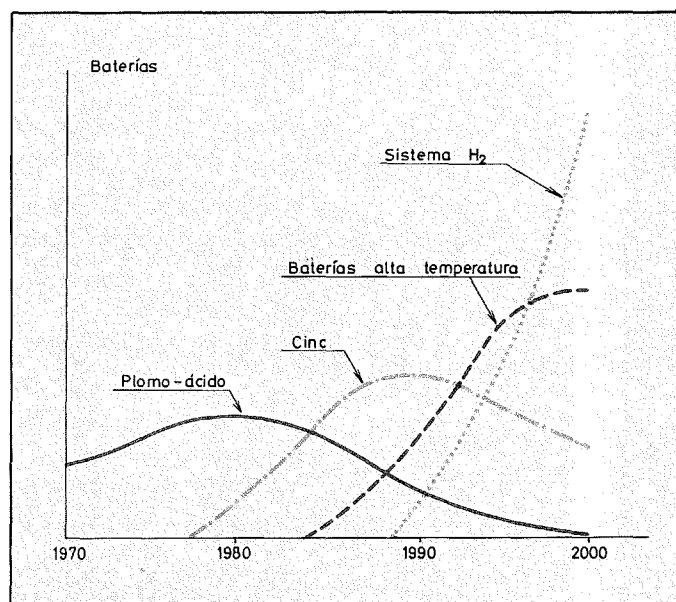


Figura 8. Previsión de uso de las diferentes baterías hasta el año 2.000.

exponencial asignada al hidrógeno a partir de 1990.

Otros campos donde pueden irrumpir las baterías son: almacenamiento de energía de fuentes alternativas, producción descentralizada de electricidad y control de picos de demanda. Que acaben estableciéndose depende no sólo del desarrollo de los sistemas en sí, sino también de las necesidades creadas por la tan traída y llevada espada de Damocles de nuestros días: la crisis energética. ●

---

**José Manuel Otón Sánchez.** Licenciado en Ciencias Químicas por la Universidad de Murcia en 1973. Doctor en Química por la Universidad Complutense de Madrid en 1976. Ha trabajado en investigación en distintos campos de la Química Física en el Instituto «Rocasolano» del Consejo Superior de Investigaciones Científicas y en el Departamento de Química de la Universidad de Maryland (USA).

---



---

**Ignacio Ojeda Ortega.** Ingeniero Superior de Telecomunicación. Realizó su proyecto Fin de Carrera sobre este tema.

---



---

**José Antonio Martín Pereda.** Ingeniero de Telecomunicación y Licenciado en Ciencias Físicas en junio de 1967. Realizó los estudios de doctorado en el Departamento de Física, en el Grupo de Electrónica Cuántica, de la Colorado State University de Fort Collins, Colorado, de 1968 a 1971. Doctor Ingeniero de Telecomunicación en junio de 1971. Catedrático y Director del Departamento de Tecnología Electrónica y Electrónica Cuántica de la E.T.S. de Ingenieros de Telecomunicación, de Madrid, desde Diciembre de 1975. En la actualidad es Vicerrector de Investigación de la Universidad Politécnica de Madrid.

Ha publicado artículos y presentado ponencias en un gran número de Congresos Internacionales, casi todos ellos basados en el estudio de los cristales líquidos como medios electro-ópticos para modulación y deflexión y en sus posibles aplicaciones dentro del campo de las Comunicaciones Ópticas.

---