

DETERMINACIÓN DE LAS CURVAS DE RENDIMIENTO DE BATERÍAS ALCALINAS UTILIZADAS EN LA INDUSTRIA FERROVIARIA CON EVALUACIÓN DE CONFIABILIDAD

Eugenio Francisco Dattilo*, Nora Capato, Fernando Cacciavillani, Daniel Pugliese

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Avellaneda, Avda. Mitre 750 (1870) Avellaneda, Provincia de Buenos Aires, Argentina.

* Autor a quien la correspondencia debe ser dirigida

Correo Electrónico: mecánica@fra.utn.edu.ar; efdattilo@yahoo.com.ar

Recibido el 25 de marzo de 2013; aceptado el 16 de mayo de 2013.

Resumen

La fiabilidad de componentes es una forma de encuadrar los distintos aspectos del ciclo de vida de productos o equipos industriales complejos cuya performance está influida por el diseño, el uso y el mantenimiento. En el caso de las baterías alcalinas de uso ferroviario, su alto demérito por costo de inversión y operativo frente a otras alternativas hacen que sea relevante maximizar su gran ventaja, que es una alta vida en servicio (20 años frente a medio año de una batería ácida cuyo costo es 35 veces menor). La fiabilidad estudia los fenómenos de desgaste que ocurren durante esta vida prolongada bajo condiciones de uso y mantenimiento determinadas, poniendo en juego la solidez del diseño original. En el presente trabajo se busca determinar el comportamiento en distintas condiciones de servicio de estas baterías a través de su curva de descarga, elemento que se halla incluido como requisito normativo en los orígenes de su diseño. La comparación entre curvas de descarga permitirá observar la influencia que poseen en el rendimiento los desgastes aleatorios al uso y al mantenimiento en relación a los desgastes naturales previstos en el diseño.

Palabras Clave: Baterías - Fiabilidad - Rendimiento.

Abstract

The reliability of components is a way of framing the various aspects of the life cycle of products or complex industrial equipment whose performance is influenced by its design, use and maintenance. In the case of alkaline batteries for railway use, its high demerit for investment and operational cost compared to other alternatives makes relevant to maximize their advantage, which is a high service life (20 years versus six months of acid battery, this last one being 35 times cheaper). Reliability studies wear phenomena occurring during this prolonged life under certain use and maintenance, risking the strength of the original design. The objective of the present work is to determine the behaviour of these batteries under various conditions of service through their discharge curve, element which is included as a regulatory requirement within the origins of their design. Comparison between discharge curves allows observing the influence that random scuffs to the use and maintenance have on the performance, in relation to natural wear foreseen in design stage.

Keywords: Batteries – Reliability - Performance

Introducción

Las baterías alcalinas son utilizadas en unidades ferroviarias para iluminación, servicios

auxiliares y arranque en coches con equipos moto generadores.

El conjunto acumulador que recibe el nombre de "batería" está compuesto por 19 vasos ubicados en serie para un total de 24 voltios de tensión nominal de descarga.

Cada vaso se carga desde 1,19 voltios (22,6 voltios en el conjunto) hasta 1,34 Volt (25,6 voltios en el conjunto) y luego se descarga en servicio entre esos límites. Sin embargo, en la realidad del uso para poder expresar la capacidad enunciada estos límites deben superarse, descargándose la batería por debajo de los 21 voltios y cargándola por encima de los 27 voltios.

La batería de iluminación común en la Argentina es la NIFE T.A. 225 (significa que la batería podría entregar en descarga 225 A en una hora, pasando de 25,6 V a 22,4 V).

El rendimiento energético de la batería es la relación entre los vatios/hora útiles vs los empleados para la recarga.

Tanto las placas de níquel / cadmio como el electrolito alcalino del vaso sufren procesos de desgastes naturales y aleatorios a las condiciones de uso y mantenimiento; tales desgastes afectan en el tiempo al rendimiento de las baterías.

Cuando el vaso se encuentra bajo desgastes exclusivamente naturales a su funcionamiento (ej. carbonatación del electrolito) con condiciones adecuadas de mantenimiento y uso, estas baterías expresan una alta vida útil con rendimientos elevados. En cambio, bajo condiciones no adecuadas de mantenimiento y uso, aparecen desgastes aleatorios (por ej. pérdida de material activo de las placas) el rendimiento de la batería disminuye en forma significativa brindando un deficiente servicio (función parcializada) de rápidas descargas y dificultades de recarga.

El objetivo del presente trabajo es comparar curvas de rendimientos tomadas bajo distintas condiciones y orígenes, como forma de observar la influencia de estos desgastes naturales y aleatorios en la fiabilidad y vida útil del conjunto.

Desarrollo

Vinculadas estrictamente a los términos de la introducción se han podido relevar las siguientes curvas:

- Curva extraída como referencia de la Norma FAT 1200. Denominación: curva FAT1200
- Curva tomada en banco de descarga sobre el vaso de mejor comportamiento de una batería ubicados en la Unidad P1051 donados por la Administradora FERROBAIRES con el electrolito original en uso. Denominación: curva P.1051 EU
- Curva tomada en banco de descarga sobre el mismo vaso anterior pero con el electrolito renovado. Denominación: curva P1051 EN.
- Curva histórica tomada en Laboratorios de Dique 4 para la recepción de una partida de Baterías alcalinas TA 225 a la Firma NIFE Argentina en el año 1988. Denominación: curva DIQUE 4.
- Curva tomada sobre dos vasos donados por la Firma ENERALCA con Diseño NIFE reciente. Denominación: curva Nuevo Diseño.

Las curvas se han tomado como referencia de funcionamiento; en realidad, se han desarrollado curvas de otros vasos que continúan en servicio cuya característica aproxima a estas.

En forma complementaria se han realizado los siguientes estudios:

- Distintos vasos de diseño hermético han sido abiertos para estudiar los efectos visibles de los desgastes naturales y aleatorios que han actuado sobre sus componentes y el electrolito.
- Se han enviado a análisis químicos el electrolito retirado de los vasos y los sedimentos sólidos hallados en la base del vaso.

Resultados

En los ensayos y estudios realizados se pone de manifiesto la influencia que toman en la pérdida de capacidad del acumulador o batería alcalina los fenómenos de: impurificación del electrolito, el deterioro de las placas y la pérdida del material activo y finalmente como afecta el diseño original.

Influencia de la impurificación del electrolito en la pérdida de capacidad del acumulador alcalino.

Se compara la curva de descarga establecida en la norma: curva FAT 1200 (Figura 1) para acumuladores T.A 225 (serie 3 en gris claro) con las curvas tomadas de vasos de la unidad P 1051 con el electrolito de uso en servicio (curva P.1051 EU serie 2, en gris oscuro) y la del mismo vaso con recambio del electrolito (curva P.1051 EN serie 1, en gris intermedio).

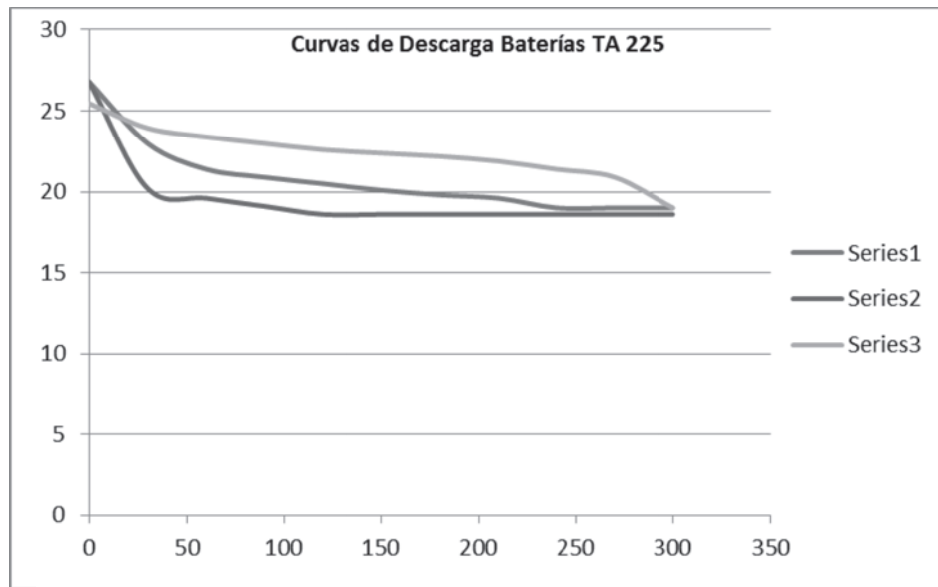


Figura 1. Curvas FAT1200 y P1051

Los valores del vaso de la unidad P1051 han sido tomados en voltios por vaso, pero se presentan multiplicados por 19 (cantidad de vasos en el conjunto) a los efectos comparativos. En abscisas se indican minutos de descarga.

El análisis del trazado de estas curvas comparativas permite identificar las siguientes conclusiones de comportamiento:

La variación de la descarga entre las curvas de serie 2 (unidad 1051 con electrolito carbonatado) y las curvas de serie 1 durante la primera hora de trabajo indica el efecto de la impurificación del electrolito alcalino sobre las curvas que establecen la performance de descarga. Esta impurificación se debe a tres factores de desgaste: uno como desgaste natural debido al proceso de carbonatación del electrolito por absorción del CO₂ del medio ambiente.

Los dos factores siguientes de impurificación se deben a desgastes de tipo aleatorio al mantenimiento de línea, debido a la incorporación de cloro vía el ciclo de reposición de agua de la batería y al desborde del material activo que paulatinamente van haciendo perder densidad al electrolito.

Los cloruros en un medio alcalino perforan la capa pasivada del acero y atacan a los componentes activos contenidos en las briquetas de la batería, especialmente el cadmio, provocando pérdidas de masa, efecto conocido como picadura.

La pérdida de densidad por desborde del electrolito durante el mantenimiento provoca el aumento de la temperatura durante la operación de descarga, bajando sensiblemente el rendimiento eléctrico del conjunto.

En las muestras tomadas se verificó una densidad de $1,14 \text{ g/cm}^3$ mientras que al reponer el electrolito este valor sube a $1,19 \text{ g/cm}^3$, en acuerdo con lo que indica la norma.

Una vez concluidos los procesos de descarga que llevaron a las curvas anteriores se procedió a abrir el vaso constatándose la presencia de abundante material activo – níquel cadmio - y carbonatos de potasio en la base del mismo, producto de los procesos naturales y aleatorios mencionados.

Para buscar una referencia de la influencia del electrolito en el rendimiento se han considerado las diferencias en la pendiente de primera hora de las curvas 1 y 2, comparándolas con una referencia histórica de recepción de estas baterías en el año 88 de la Firma NIFE que en aquel momento proveía al Ferrocarril.

La curva adicional que se muestra fue realizada en los Laboratorios que el Ferrocarril poseía en Dique 4¹ y constatada por curvas de recepción en la misma firma, puede considerarse como el formato normal de curvas entregada por la empresa proveedora al inicio del trabajo operativo y recibidas en aprobación por el Ferrocarril.

En la Figura 2 se muestran las curvas anteriores serie 1 y serie 2 de los vasos de la unidad 1051, pero en lugar de contrastarlas con las surgidas de la Norma FAT 2000, como en el caso anterior, la curva de serie 3 corresponde a la mencionada anteriormente como de ensayo de recepción en Dique 4.

Puede observarse que, según los criterios de recepción de aquel entonces, en lugar de seguir los valores de inicio de la Norma, estos ensayos de recepción partían de un voltaje superior (28,4 V para el conjunto de los 19 elementos contra los 26,8 solicitados por la Norma)

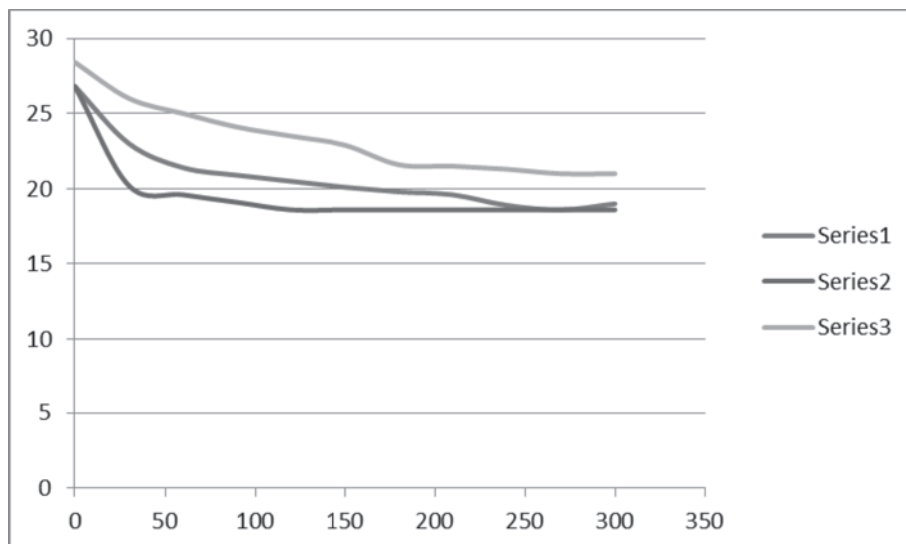


Figura 2. Comparación de curvas Unidad 1051 con Referencia Histórica

Al comparar las pendientes de las curvas de primera hora de las tres series, puede verse

¹ Corresponden a registros propios de uno de los autores, quien en ese momento desarrollaba funciones profesionales en el desvío de coches km 4, donde se recibían estas baterías de la firma NIFE Argentina.

Determinación de las curvas de rendimiento de baterías alcalinas utilizadas en la industria ferroviaria con evaluación de confiabilidad

que la pendiente del registro (curva DIQUE 4 serie 3 pendiente de primera hora -0,046) se acerca en forma significativa a la pendiente de Serie 1 establecida a partir de renovar el electrolito alcalino en vasos de la Unidad P 1051 (P 1051 EN pendiente de primera hora -0,064) de la misma forma que se aleja de manera significativa de la curva de Serie 2, tomada con el electrolito en uso (P 1051 EU pendiente de primera hora -0,12).

La conclusión que puede sacarse se halla referida a que los problemas de rendimiento inicial de las baterías se deben en buena parte a la impurificación del electrolito en forma independiente de los procesos de deterioro provocados en las placas y en el conjunto de transmisión eléctrica que pudieran afectar a estos valores.

La batería con electrolito nuevo P 1051 EN alcanza el límite de uso funcional a las dos horas, mientras que la batería P 1051 lo alcanza antes de la primera hora.

Influencia de los procesos de deterioro de briquetas, placas y elementos de transmisión eléctrica en la pérdida de capacidad del acumulador alcalino

La observación directa de placas de 8 vasos de la batería extraída de la unidad P 1051 en distintos estados de deterioro y los primeros análisis de electrolito han agregado información sobre las condiciones del mantenimiento recibido durante su vida útil, según el siguiente detalle :

- Las placas positivas han sufrido el desgaste natural del proceso de oxidación (ferrificación).
- No se ha observado en ninguna placa alabeo o distorsiones que hicieran suponer estados de carga durante tiempo prolongado.
- Los elementos de aislación, si bien muestran el deterioro natural por envejecimiento, conservan su función primordial.
- El electrolito ha sufrido su natural proceso de carbonatación, con alta presencia de cloro como vía de ataque a las placas, lo que sugiere una mala calidad en el aporte de agua durante el mantenimiento en servicio.
- La densidad promedio es muy baja, lo que sugiere que se han cometido acciones de derrame durante el mantenimiento directo por reposición de agua destilada en servicio.
- Los materiales estructurales de vasos y briquetas mantienen su condición sin deterioro visible en ningún caso.
- Se encuentran briquetas (alrededor del 25 % del total) cuyas perforaciones de contacto se hallan obturadas
- Los contactos y borneras observados no muestran signos de deterioro ni efectos químicos que pudieran actuar allí dificultando su función.
- Los sedimentos hallados en la parte inferior del vaso se encuentran ricos en material activo caído de las briquetas que componen las placas por ataque químico, especialmente cadmio.
- De los registros de trabajo de la empresa se ha determinado un valor de utilización en servicio, con promedio del 23 %, es decir las unidades de baterías se encuentran largos tiempos en sectores de mantenimiento, depósito o espera, lo que provoca en la batería el llamado "efecto de flotación" que induce a una pérdida gradual de capacidad por falta de operación.

Para medir los efectos del deterioro provocado por el uso y el defectuoso mantenimiento en placas, briquetas y conjunto eléctrico simplificamos a estas observaciones en tres principales:

- Desgaste natural de la placa positiva por ferrificación, con obturación de briquetas.
- Desgaste aleatorio al mantenimiento: pérdida del material activo depositado en el fondo del vaso, debido a la incorporación de cloro en el agua de reposición.
- Desgaste aleatorio al uso: pérdida de capacidad por altos periodos de flotación.

A continuación se efectuó la comparación de las curvas históricas con la curva P 1051 EN (Electrolito Nuevo) como forma de independizar los resultados de la contaminación del electrolito

y observar la pérdida de capacidad provocada por estos desgastes naturales y aleatorios (Figura 3).

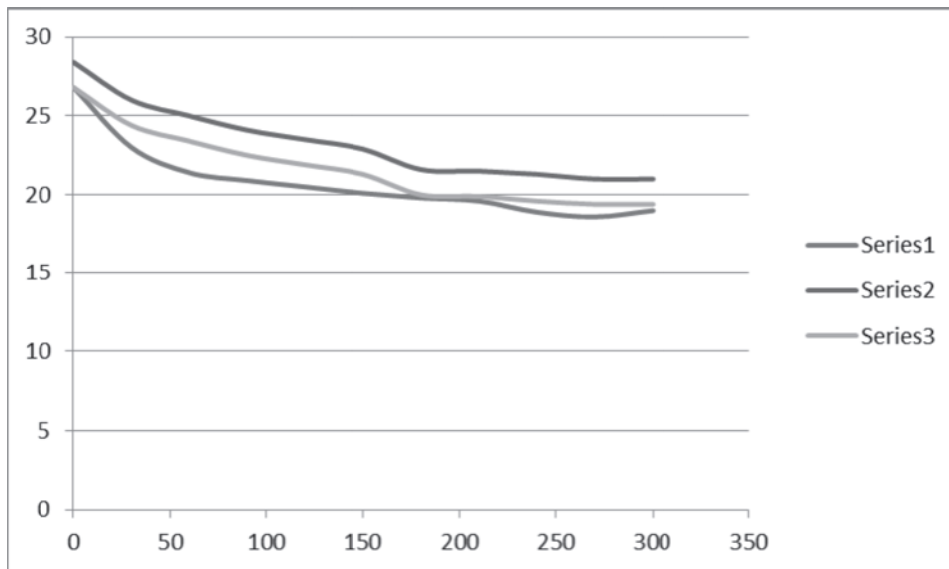


Figura 3. Comparación del vaso P1051 con la curva histórica ajustada (DIQUE 4) ajustada

La serie 3 muestra la curva histórica aproximada (ajustada) a la P 1051 EN con la misma tensión de inicio a efectos de su comparación.

La diferencia de áreas muestra el efecto de los desgastes internos observados, notándose que estos efectos se manifiestan especialmente entre la primera y la tercera hora.

Como se ha visto, la batería P 1051 EN alcanza su límite de uso normal a las dos horas aproximadamente; la curva histórica ajustada indica que si la batería iniciara su descarga según norma alcanzaría este límite a las tres horas aproximadamente, lo que implica que a 54 amperes daría un valor funcional por debajo de la capacidad requerida de 225 amperes - hora.

Por esta razón la firma NIFE Argentina elevaba el inicio de la descarga (como puede verse en la curva histórica) a 28,4 V, de modo que, a pesar de la pronunciada pendiente inicial, el valor límite de descarga por vaso admisible para la correcta función (1,14 V por vaso o 21,6 V para los 19 vasos del conjunto) se alcanzará a las 4 horas de descarga, como puede verse en la curva histórica en cuestión.

La duda respecto a la posibilidad de que ese ciclo de carga y descarga elevada afectara a las placas de modo de producir su deformación y potencialmente provocar el cortocircuito del vaso no puede ser ponderada aquí, ya que depende de un seguimiento en servicio de muchos lotes, fuera de los objetivos de este trabajo. Del total de placas analizadas (cerca de 40) en ningún caso se verificó este tipo de desgaste.

Influencia del diseño en la pérdida de capacidad de acumuladores alcalinos utilizados en la actividad ferroviaria

El diseño de los acumuladores alcalinos y la forma en que estos ejercen su acción de carga, acumulación y descarga provocan en ellos una alta vida funcional, que originalmente solo se ve afectada por la "ferrificación" de las placas positivas, más la pérdida de capacidad por flotación antes mencionada. El uso bajo condiciones operativas variables, sumado a la falta del adecuado mantenimiento preventivo, provoca los efectos complementarios que este estudio trata de determinar.

Estrictamente, la validación del diseño de estos acumuladores puede basarse en dos aspectos, por un lado el cumplimiento de las requisitorias establecidas en la normativa y por otro en la estabilidad de los componentes ante condiciones variables de uso y mantenimiento.

Para establecer el primer aspecto de esta cuestión se realiza un análisis comparativo entre las curvas solicitadas por la norma FAT 1200 y la curva histórica antes vista, más una curva que se ha podido extraer de dos vasos donados por la Firma ENERALCA, que actualmente es el importador en la Argentina de las baterías antes provistas por NIFE .

En la Figura 4 se presentan estas curvas con las siguientes referencias:

- Serie 1: curva extraída en Laboratorio sobre vasos aportados por la Firma ENERALCA, de diseño reciente (pph (pendiente de primera hora): -0,026)
- Serie 2: curva teórica, según lo establecido en la Norma FAT 1200 (pph: -0,034)
- Serie 3: curva Histórica (DIQUE 4 pph: -0,046)
- Serie 4: curva Histórica ajustada, según criterios del punto anterior.

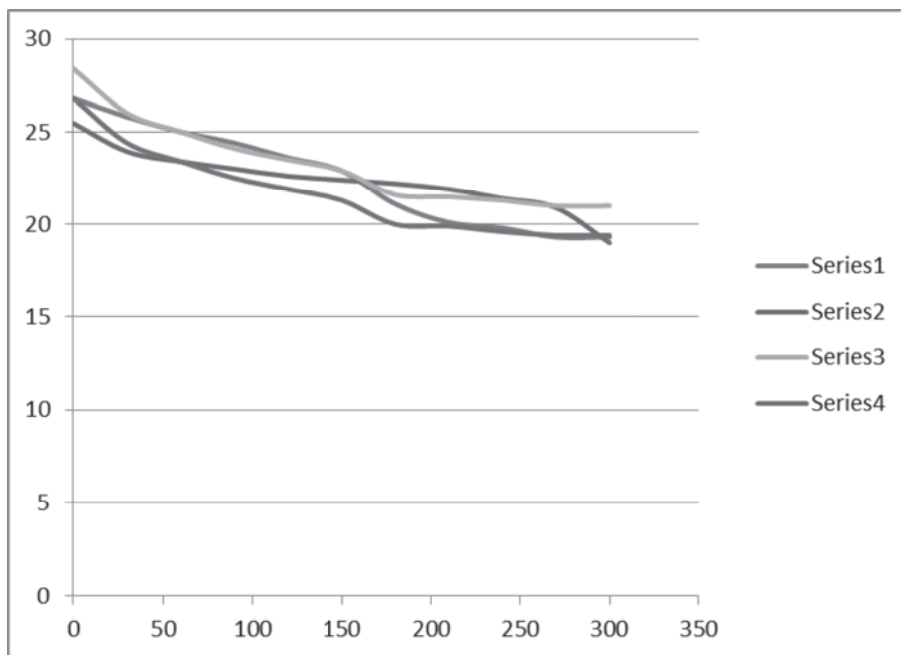


Figura 4. Comparación de curvas ENERALCA (diseño actual), FAT 1200, histórica (DIQUE 4) e histórica ajustada

Comparando las curvas de la Normas FAT y el diseño actual, series 2 y 1 respectivamente, puede notarse que resulta muy difícil, aun con diseños actuales, cumplir con las pendientes solicitadas por la Norma y permitir que la batería exprese esa capacidad sin recurrir a una sobretensión de carga.

La comparación de la curva histórica ajustada (serie 4) con las dos anteriores permite determinar que el diseño original adolecía de la capacidad solicitada como requisito de cumplimiento de norma. Este dato surge cuando se comparan las pendientes, en forma especial las de primera hora de ambas (series 4 y 2).

La evolución del diseño puede verse en las pendientes comparativas de las curvas de las series 4 (diseño antiguo TA 225) y serie 1 (diseño actualizado, baterías de importación).

El segundo aspecto, referido a la robustez del diseño, muestra un lado positivo en cuanto al material inspeccionado; los desgastes naturales observados por ferrificación se encuentran en control, mientras que el sobre uso por ciclos exigentes de carga, la falta del adecuado

mantenimiento, la incorporación de cloro vía el agua de reposición, la baja densidad del electrolito y su carbonatación, si bien han traído efectos relevantes en relación con la pérdida del material activo de las briquetas, no han provocado el deterioro estructural de las placas ni los componentes de transmisión eléctrica. Por otro lado, muchos de los efectos de pérdida de capacidad se revierten con el recambio del electrolito (acción que el mantenimiento ferroviario no contempla).

Conclusiones

Las baterías alcalinas resultan una solución indispensable para el uso ferroviario; la desnaturalización de las acciones del mantenimiento, la desinformación respecto a los factores que afectan su rendimiento y vida útil y la desinversión han provocado un estado de situación actual en el que otros proyectos alternativos buscan reemplazar con menor valor operativo a estos activos de mantenimiento.

En este caso se parte de un conjunto de alta fiabilidad de diseño, validado en la actividad ferroviaria, que se ve afectado por el uso y el mantenimiento inadecuado. Esta situación se observa en el análisis de las curvas con electrolito de servicio y electrolito nuevo y en los efectos de los desgastes aleatorios en las curvas que pueden determinarse cruzando estas curvas con las históricas.

La determinación objetiva de los factores que alteran el ciclo de vida de estos conjuntos acumuladores pone de manifiesto la disyuntiva técnica de la utilidad de aplicar mantenimientos vinculados a la fiabilidad de los componentes ferroviarios, cuando estos se plantean como conjuntos reparables de largos ciclo vida.