



Global Energy Innovations, Inc.

2901 Tasman Drive, Suite 111

Santa Clara, CA 95054

USA

Tel: +1.415.354.5688

Fax: +1.415.354.5738

www.globalei.com

RESUMEN DE TECNOLOGIA

CELScan®

Barrido Químico Eléctrico de Capas

Este documento técnico cubre la aplicación de CELScan® (Por sus siglas en Inglés Chemical Electrical Layer Scanning) y como se aplica en los dispositivos electroquímicos de almacenamiento de energía.

EXTRACTO / ANTECEDENTES

En la industria del respaldo de energía, una energía fehaciente es necesaria. Una grande y creciente base instalada de baterías de plomo ácido suministra la energía crítica de hospitales, bancos, sitios de telecomunicación móvil, sitios de recepción y transmisión de energía y otras incontables instalaciones de industria y de comercio. A pesar de la importancia de que estos sistemas de respaldo de energía de misión crítica se mantengan saludables, en muchos casos las pruebas que realizan los clientes en sus sistemas no muestran con precisión la salud de la batería. Esto se debe principalmente al hecho de que solo las propiedades eléctricas de las baterías han sido medidas usando equipo convencional de prueba de baterías.

Consecuentemente, los sitios no están adecuadamente protegidos, los costos de mantenimiento preventivo se mantienen altos y las baterías son reemplazadas frecuentemente.

Los Analizadores Electroquímicos de Baterías EC1000™ y EC2000™ de Global Energy Innovations usan la tecnología CELScan® para mediciones correctas tanto para el estado eléctrico como químico de una batería, dándole al usuario una medición precisa de la salud de su batería y de su sistema de baterías.

Dos procesos químicos, la pérdida de electrolito (pérdida de agua de una celda de plomo ácido con válvula regulada – VRLA) y la sulfatación (una construcción de sulfato de plomo en las placas a través del tiempo) son dos causas principales en la falla de baterías en sistemas de respaldo de energía.

Los algoritmos CELScan® permiten que el EC1000™ y EC2000™ prueben tanto los parámetros Eléctricos como Químicos (ElectroQuímicos) entre las baterías de plomo ácido. El EC1000™ y EC2000™ son capaces de detectar una significativa degradación dentro de las celdas antes de que las más usuales mediciones ohmicas (conductancia e impedancia) muestren cualquier variación de sus valores de referencia.

Los resultados de los algoritmos CELScan® para la Pérdida de Electrolito y Sulfatación muestran una correlación notablemente buena con la descarga actual o los resultados de la prueba de descarga, en algunos casos eliminando la necesidad de realizar la prueba de descarga, la cual consume mucho tiempo y es arriesgada. Las baterías que están fallando pueden ser detectadas con mayor anticipación para así poder brindarles servicio, prolongar su vida, reducir mantenimientos y costos de reemplazos.

Aunque los algoritmos CELScan® han sido desarrollados para el mercado de baterías estacionarias, su campo de aplicación es actualmente más amplio, encontrándosele uso en la

fuerza motriz (Arranque de Encendido de Iluminación - por sus siglas en Inglés SLI: Starting Lightning Ignition, tracción, vehículos híbridos, vehículos eléctricos puros) y otras áreas tales como la investigación de baterías de formato pequeño en el segmento médico.

INTRODUCCION

La tecnología CELScan[®] ha sido aplicada a los instrumentos de Global Energy Innovations EC1000[™] y EC2000[™] - basados en microprocesamiento y que emplean espectroscopia de impedancia para caracterizar baterías y otros dispositivos de baja impedancia.

Algoritmos de clasificación y patrones de reconocimiento se emplean para hacer la relación con la impedancia y los cambios de respuesta de excitación del sistema a ser probado con los modos específicos de fallas de las baterías, tales como sulfatación y pérdida de electrolito. Esta capacidad es un avance radical sobre la tecnología predecesora.

Este resumen de tecnología provee tanto una explicación a detalle de la tecnología CELScan[®] así como evidencia para soportar nuestro reclamo de desempeño referenciado a diversos casos de estudio.

PATRON DE RECONOCIMIENTO Y CLASIFICACION

En orden de obtener una idea cualitativa de como las mediciones eléctricas pueden proporcionar información química, permítanos examinar las siguientes graficas. La **Figura 1** muestra la "Trama de Nyquist" para una batería de plomo ácido. Tramas similares son observadas para Litio-Ion, NiMH y otras baterías químicas. La trama en la **Figura 1** es generada pasando una serie de corriente alterna de señales de onda de senoidal a través de una batería y graficándose la respuesta en el plano. El eje vertical representa el componente imaginario (Z'') de la impedancia y el eje horizontal representa el componente real de la impedancia.

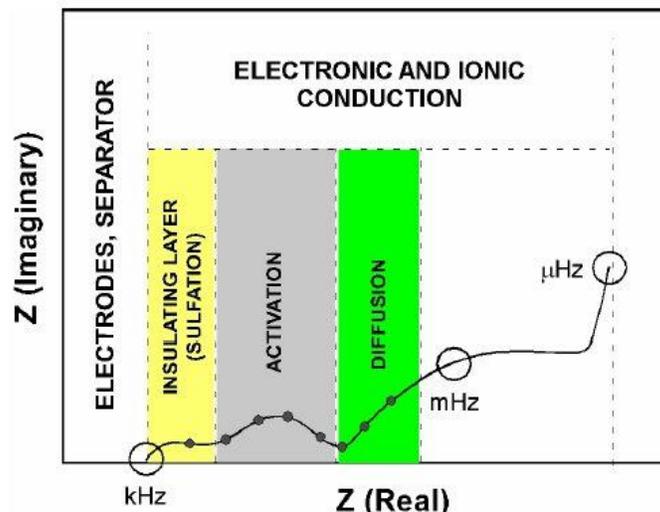


Figura 1. Típica trama de Nyquist para una batería plomo acido.

Cada punto en el plano corresponde a una frecuencia individual. De la forma de la curva resultante, experimentados científicos pueden deducir una gran cantidad de información sobre la condición de la batería. A frecuencias más altas, la impedancia es controlada por movimientos de electrones en componentes metálicos y películas resistivas. Conforme la frecuencia es más baja, una secuencia de otros procesos se hace importante, incluyendo (de alta a baja frecuencia) la migración iónica, la carga electrostática de doubles capas eléctricas, y reacciones de transferencias de carga en superficies del electrodo. A las frecuencias más bajas, los procesos de difusión en sus fases líquida y sólida tienden a dominar. En esta zona

de la curva, el rango de la frecuencia es en milihertz, esto es una 1000ma de un ciclo por segundo. La obtención de datos en este rango de baja frecuencia es impráctico en aplicaciones de campo, debido a que se requiere de muchos minutos por cada punto de datos. Afortunadamente, la información de diagnostico más útil tiende a ocupar el medio rango de las frecuencias. Sin embargo, debería entenderse que por la forma intrincada de la trama de Nyquist, esa dependencia a un solo punto de frecuencia no podría ser posible que proporcione la suficiente información sobre todos los procesos que afectan la salud de una batería. CELScan® utiliza una técnica de barrido de frecuencias para obtener los puntos de datos relevantes de la impedancia y una respuesta a formas de ondas para una química determinada de batería, siendo estos vitales para un cálculo con precisión y de repetibilidad de la salud de la batería.

SALUD DE LA BATERIA Y ANALISIS DE LOS MODOS DE FALLA

Los algoritmos CELScan® en el Analizador ElectroQuímico de Baterías han sido enfocados principalmente para dos modos particulares de falla que son importantes para las baterías de energía estacionarias. La primera falla, conocida como pérdida de electrolito, implica la pérdida de agua de la batería VRLA (Por sus siglas en Inglés Valve Regulated Lead Acid). Bajo un buen cuidado, las baterías VRLA retienen adecuadamente agua a lo largo de su periodo de vida para las cuales fueron diseñadas. Cuando son sujetas a prolongadas sobrecargas, sobrecalentamientos o cuando una tapa de respiración está defectuosa y provoca una fuga, la pérdida de agua de las celdas VRLA puede alcanzar el punto en que el separador pierde conductividad. Esto es más probable que ocurra en conjunto con un escape térmico ya que hay un efecto de retroalimentación por lo cual cada incremento de pérdida de agua aumenta el calentamiento ohmico y además acelera la pérdida de agua. La pérdida de electrolito en un separador de una AGM (Tapete de Vidrio Absorbente, por sus siglas Inglés Absorbed Glass Mat) causa en esta un encogimiento y ocasiona que se aleje de los electrodos, produciendo al final un incremento en resistencia interna y una brusca pérdida de capacidad. La pérdida de agua de una celda de gel puede eventualmente causar desintegración del separador y una caída catastrófica en la capacidad. Las primeras etapas de la pérdida de electrolito pueden no ser detectadas, inclusive por mediciones de capacidad, porque el efecto en la capacidad es pequeño hasta muy tarde en el proceso. La anticipada detección de este modo de falla es crítica para evitar fallas catastróficas.

El segundo modo de falla es el fenómeno de sulfatación. El proceso de descarga en una celda de plomo acido deposita sulfato de plomo en todo el material activo de cada electrodo. En operación normal, el sulfato de plomo forma como pequeños cristales que fácilmente se vuelven a disolver durante el proceso de carga, permitiendo a los materiales activos el volver a su forma original. Sin embargo, si el proceso no es controlado cuidadosamente, los cristales de sulfato de plomo pueden gradualmente crecer en tamaño haciéndose progresivamente más difíciles de regresar nuevamente al material activo. En las primeras etapas, mientras la recarga es todavía posible (aunque con mucho esfuerzo), la condición es conocida como “sulfatación suave”. Eventualmente, sin embargo, los cristales crecen tan grandes que la recarga es imposible. En este punto, la condición es conocida como “sulfatación dura”. Las lecturas registradas en el EC1000™ y EC2000™, usando los algoritmos CELScan® son igualmente sensibles tanto a la sulfatación “suave” como a la “dura”, permitiendo la detección de sulfatación antes de que esta se vuelva irreversible.

Se ha dedicado menos atención a los esfuerzos de la corrosión de malla, porque una batería que alcanza el fin de su vida debido únicamente a este modo de falla generalmente ha excedido su periodo de vida para la cual fue diseñada. El proceso de corrosión de malla implica la conversión gradual del colector de corriente positiva (aplicación de un plomo) dentro

del material activo positivo (dióxido de plomo). Al principio, el proceso puede en realidad incrementar la capacidad de la celda. Un modo de falla estrechamente relacionado es el crecimiento de malla. Porque el dióxido de plomo ocupa más espacio que plomo original, la conversión conduce a una expansión física de la malla. Normalmente, se diseña un espacio extra dentro de la celda para acomodar esta expansión, sin embargo, eventualmente el crecimiento puede resultar en cortos circuitos debido a que esto empuja las barras de interconexión, acercándolas en la parte superior de las celda.

ENVEJECIMIENTO DE CELDA

Conforme las celdas y las baterías envejecen, estas se pueden ubicar a través de varias zonas. La Figura 2 divide la vida de la batería en tres zonas distintas. La zona inicial muestra un pequeño cambio en la capacidad o en las características eléctricas (óhmica) de un solo punto. Es importante probar la batería en esta etapa, no solo para detectar posibles fallas de mortalidad infantil, pero también para observar signos prematuros de envejecimiento que podrían significar un manejo impropio de la batería.

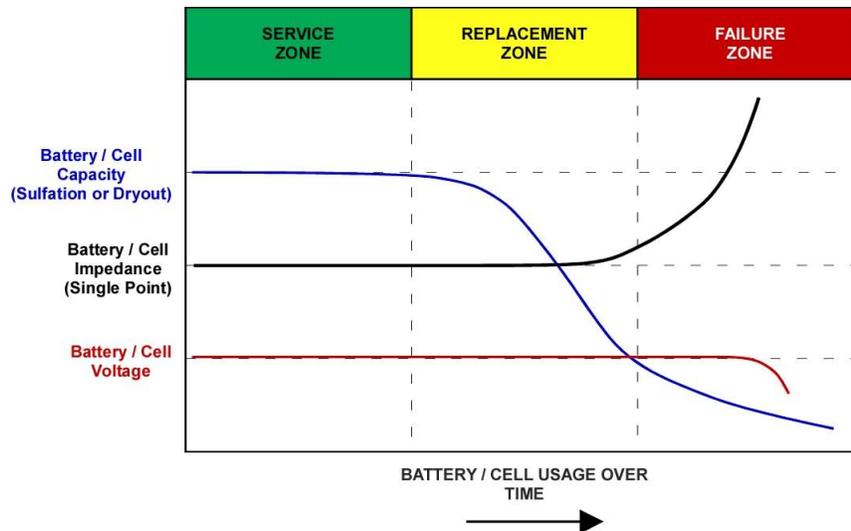


Figura 2. Zonas de envejecimiento de la batería plomo ácido.

En la zona media, cambios químicos se tornan más importantes y pruebas de descarga revelan una aceleración de descarga en la capacidad. A diferencia de las características eléctricas de puntos individuales, el EC1000™ y EC2000™ empleando algoritmos CELScan® proporcionan una advertencia anticipada de posibles problemas en esta zona y permite al operador aplicar medidas correctivas. En la última zona, la capacidad de la celda disminuye sorprendentemente y la falla puede ser demasiado repentina para ser prevista por una rutina de mediciones eléctricas. Diferentes químicas de baterías tales como Li-Ion, NiMH y otras tienen zonas diferentes de degradación que también pueden ser monitoreadas de cerca usando los algoritmos de multi-frecuencias CELScan®.

Para demostrar que tanto el patrón de impedancia de una batería puede cambiar en el tiempo, **la Figura 3** compara la trama de Nyquist de una batería antes y después de un tratamiento de aceleración de envejecimiento a 450 ciclos. Así como el ojo humano fácilmente percibe los cambios, los algoritmos CELScan® aplican patrones digitales de reconocimiento para diagnosticar y cuantificar los procesos de falla.

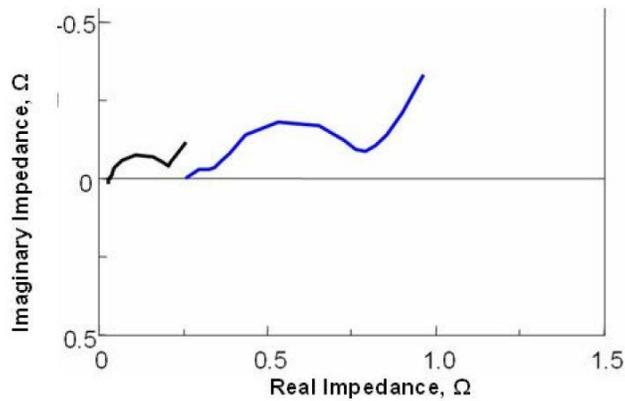


Figura 3. Tramas de Nyquist para una batería plomo ácido antes (negra) y después (azul) de una aceleración de envejecimiento a 450 ciclos.

Un número de excelentes publicaciones se encuentran disponibles y muestran la respuesta del complejo plano de impedancia a varios tipos de baterías y condiciones. Estas publicaciones se listan en la tabla de abajo.

Figuras como las que se presentan en la **Figura 4** de la publicación 1 muestra como el plano de impedancia (Trama de Presagio) varía con diferentes tipos de baterías.

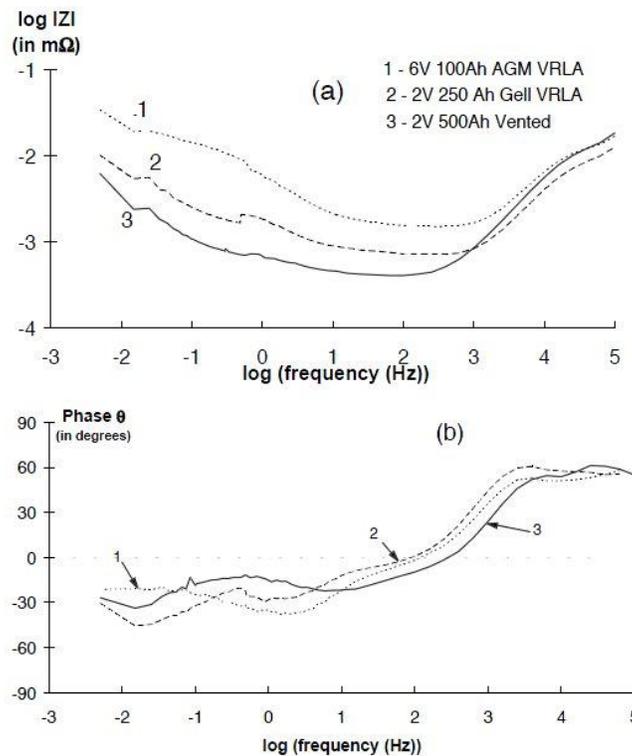


Figura 4. Tramas del presagio de magnitud (a) y fase (b) del espectro típico de circuito abierto de impedancia para tres tipos diferentes de baterías plomo ácido cargadas nominalmente. Más detalle puede ser encontrado en la publicación 1 listado en la **Tabla 1** de abajo.

1	J.M. Hawkins, L.O. Barling, "Some aspects of battery impedance characteristics", Telstra Research Laboratories, Victoria Australia, INTELEC 95.
2	F. Huet, "A review of impedance measurements for determination of the state-of-charge or state-of-health of secondary batteries", CNRS, Physique des Liquides et Electrochimie, Université Pierre et Marie Curie, France, Journal of Power Sources, 70 (1998) 59-69.
3	A.J. Salkind, P. Singh, A. Cannone, E. Atwater, X. Wand, D. Reisner, "Impedance modeling of intermediate size lead-acid batteries", Journal of Power Sources, 116 (2003) 174-184.
4	A.K. Shukla, V.G. Kumar, N. Munichandraiah, T.S. Srinath, "A method to monitor valve-regulated lead acid cells", Journal of Power Sources, 74 (1998) 234-239.

Tabla 1. Lista de publicaciones que muestran las respuestas de complejo plano de impedancia para varios tipos de baterías y varias condiciones de baterías.

CELScan® CASOS DE ESTUDIO

Los ejemplos a continuación fueron presentados como validación de la habilidad del EC1000™ y EC2000™ empleando los algoritmos CELScan® para medir con precisión las pérdidas de capacidad debido a pérdida de electrolito y sulfatación en baterías de plomo ácido.

Pruebas de Sulfatación fueron realizadas en celdas nuevas VRLA GNB Absolyte IIP 104 Ah y baterías tipo VLA EnerSys Powersafe 3CC-3, 50 Ah. La referencia de capacidad C/3 fue establecida al inicio de vida (BOL por sus siglas en Inglés, Birth Of Life) y la sulfatación fue artificialmente inducida a voltajes de flotación reducidos y elevadas temperaturas. La **Figura 5** y **6** comparan las pérdidas de capacidad de C/3 después del envejecimiento con aquellas previstas usando el algoritmo CELScan®.

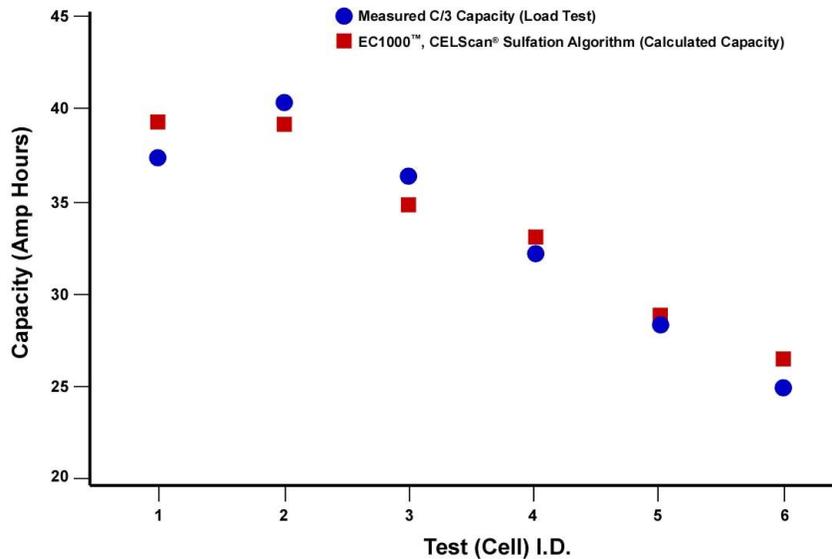


Figura 5. Pérdida de capacidad provocada por sulfatación para las baterías tipo VLA EnerSys Powersafe 3CC-3, 50 Ah

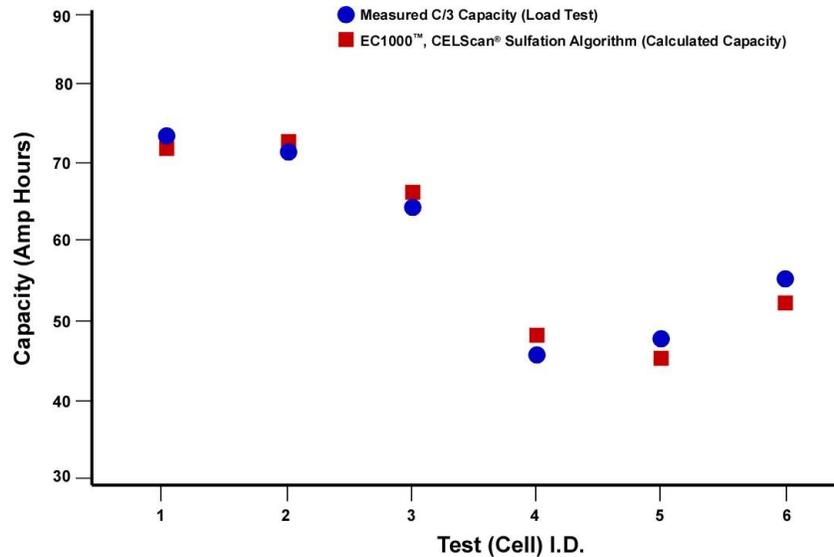


Figura 6. Pérdida de capacidad provocada por sulfatación para las celdas GNB Absolyte IIP 104 Ah

Pruebas de pérdida de electrolito fueron realizadas en una serie de celdas nuevas VRLA, GNB Absolyte IIP, 104 Ah. Una referencia de capacidad C/3 fue establecida al inicio de vida (BOL por sus siglas en Inglés, Birth Of Life) y la pérdida de electrolito fue provocado artificialmente con un flujo de nitrógeno. La **Figura 7** compara las pérdidas de capacidad de C/3 después del envejecimiento con aquellas previstas usando el algoritmo CELScan®.

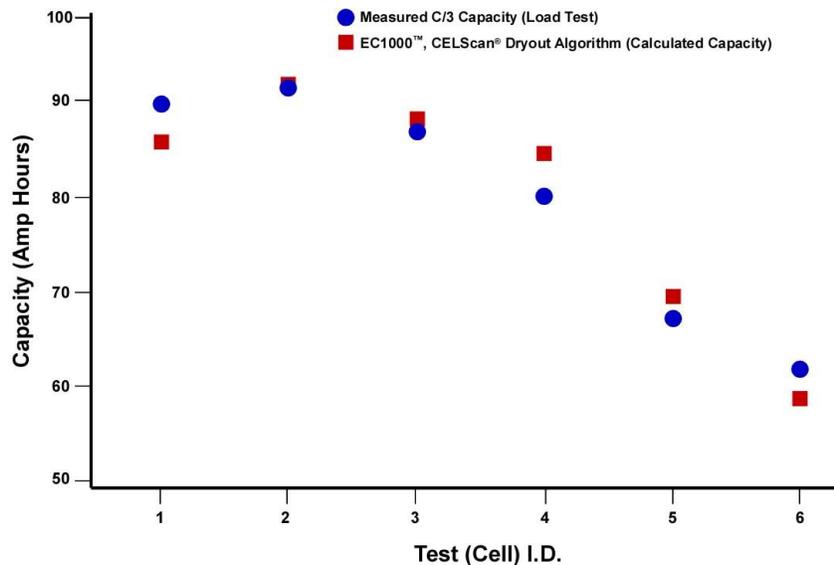


Figura 7. Pérdida de capacidad provocada por pérdida de electrolito para las celdas GNB Absolyte IIP 104 Ah.

Pruebas comparativas realizadas por una empresa automotriz a una serie de baterías de 90 Ah ya usadas en el campo aparecen en la **Figura 8**. Muchos de los resultados de CELScan® mostraron una excelente concordancia entre el EC1000™ y EC2000™ en sus estimaciones con pérdidas de sulfatación y pérdidas de capacidad con las medidas en pruebas de descarga. La concordancia es excepcionalmente buena, considerando que los algoritmos CELScan® han sido desarrollados para tipos de baterías estacionarias y no ajustados para baterías automotrices SLI.

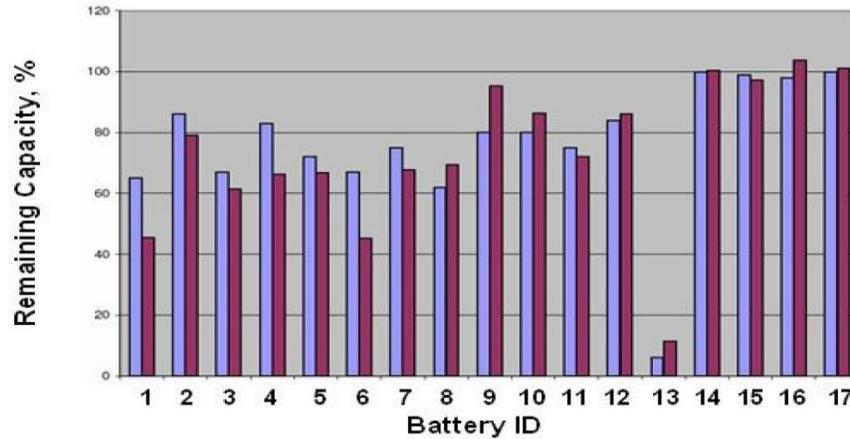


Figura 8. Porcentajes de las pérdidas de capacidad determinadas por los cálculos de sulfatación por CELScan (AZUL) y las mediciones de descarga (ROJAS) en baterías automotrices usadas.

Comparativos realizados en baterías estacionarias generalmente entregan aún una mejor concordancia que las demostradas en los datos del Caso de Estudio de laboratorio en las Figuras 5, 6 y 7. Resultados de pruebas de campo reportados por una compañía de telecomunicación global muestran una concordancia entre un 4% o mejor entre las predicciones del CELScan® del EC1000™ y EC1000™ y las mediciones de descarga. Para una empresa de energía, la concordancia fue entre un 7%.

CONCLUSION

Los algoritmos CELScan®, basados en la espectroscopia de impedancia han demostrado ser invaluable en el oportuno diagnostico de salud de la batería plomo ácido. Detectando fallas anticipadas en baterías plomo ácido tales como sulfatación y pérdida de electrolito, permite al usuario tomar inmediatas acciones correctivas. Colocando esta capacidad en las manos del usuario de baterías, el Analizador ElectroQuímico de Baterías de Global Energy Innovations puede reducir dramáticamente los costos y riesgos de los propietarios de baterías.

*Grupo de Desarrollo Tecnológico
Global Energy Innovations, Inc.
2901 Tasman Drive, Suite 111, Santa Clara CA 95054*