

**Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica**

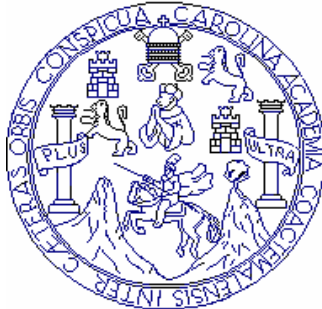
**ESTUDIO SOBRE DIAGNÓSTICO PREDICTIVO DEL ESTADO  
OPERATIVO DE BANCOS DE BATERÍAS PARA SISTEMAS DE  
TELEFONÍA CELULAR MEDIANTE EL CONTROL DE  
PARÁMETROS INTERNOS DE V & R**

**Carlos Leopoldo Alvarado Morán**

**Asesorado por el Ing. Pablo Mérida Rivera**

**Guatemala, marzo de 2008**

UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIO SOBRE DIAGNÓSTICO PREDICTIVO DEL ESTADO  
OPERATIVO DE BANCOS DE BATERÍAS PARA SISTEMAS DE  
TELEFONÍA CELULAR MEDIANTE EL CONTROL DE  
PARÁMETROS INTERNOS DE V & R**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

**CARLOS LEOPOLDO ALVARADO MORÁN**

ASESORADO POR EL ING. PABLO MÉRIDA RIVERA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
**INGENIERO ELECTRICISTA**

GUATEMALA, MARZO DE 2008

**UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing.	Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga.	Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga.	Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing.	Miguel Angel Dávila Calderon
VOCAL IV	Br.	Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V		
SECRETARIA	Inga.	Marcia Ivonne Véliz Vargas

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing.	Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing.	Gustavo Benigno Orozco Godinez
EXAMINADOR	Ing.	Mario Alberto Miranda
EXAMINADOR	Ing.	Carlos Francisco Gressi López
SECRETARIO	Ing.	Carlos Humberto Pérez Rodríguez

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la Ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**ESTUDIO SOBRE DIAGNÓSTICO PREDICTIVO DEL ESTADO OPERATIVO DE BANCOS DE BATERÍAS PARA SISTEMAS DE TELEFONÍA CELULAR MEDIANTE EL CONTROL DE PARÁMETROS INTERNOS DE V&R,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, el día 9 de febrero de 2006.



**Carlos Leopoldo Alvarado Morán**

Guatemala 9 de abril de 2007

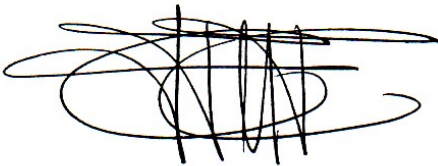
Ing. Francisco Gonzalez  
Coordinador Área Electrotecnia  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ing. Gonzalez:

Por este medio estoy informándole que he realizado la asesoría y revisión del trabajo de Tesis elaborado por el estudiante Carlos Alvarado Morán, titulado: **Estudio sobre diagnostico predictivo del estado operativo de bancos de baterías para sistemas de telefonía celular mediante el control de parámetros internos de V&R .**

Considero que esta Tesis cumple con los objetivos planteados y me complace darle la aprobación, e indicarle que el autor y mi persona somos responsables por el contenido y conclusiones de la misma.

Atentamente,

A handwritten signature in black ink, consisting of several overlapping loops and vertical strokes, likely representing the name Pablo Roberto Mérida Rivera.

Ing. Pablo Roberto Mérida Rivera  
Colegiado 4,469  
Asesor



Guatemala, 26 de octubre 2007.

Señor Director  
Ing. Mario Renato Escobedo Martínez  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:  
**Estudio sobre diagnóstico predictivo del estado operativo de bancos de baterías para sistemas de telefonía celular mediante el control de parámetros internos de V&R, del estudiante; Carlos Leopoldo Alvarado Morán**  
, por considerar que cumple con los requisitos establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,

**ID Y ENSEÑAD A TODOS**

**Ing. Francisco Javier González López**  
**Coordinador Área de Electrotécnica**

FJGL/sro



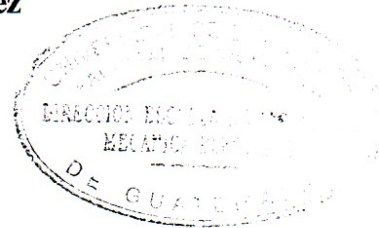




El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; Carlos Leopoldo Alvarado Morán, titulado: **Estudio sobre diagnóstico predictivo del estado operativo de bancos de baterías para sistemas de telefonía celular mediante el control de parámetros internos de V&R**, procede a la autorización del mismo.

Ing. Mario Renato Escobedo Martínez

DIRECTOR



GUATEMALA, 31 DE OCTUBRE 2,007.



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de graduación titulado: **ESTUDIO SOBRE DIAGNÓSTICO PREDICTIVO DEL ESTADO OPERATIVO DE BANCOS DE BATERÍAS PARA SISTEMAS DE TELEFONÍA CELULAR MEDIANTE EL CONTROL DE PARÁMETROS INTERNOS DE V & R**, presentado por el estudiante universitario **Carlos Leopoldo Alvarado Morán**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

  
Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos \*  
DECANO



Guatemala, marzo de 2008



# ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES</b> .....	III
<b>GLOSARIO</b> .....	V
<b>RESUMEN</b> .....	VII
<b>OBJETIVOS</b> .....	IX
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	XI
<b>1. TEORÍA GENERAL DE BATERÍAS Y ENERGÍA DC</b> .....	1
1.1 Teoría general de bancos de baterías .....	2
1.1.1 Construcción y características de las baterías plomo ácido para uso en telecomunicaciones. Funcionamiento electroquímico.....	2
1.1.2 Nomenclatura y Especificaciones de baterías Plomo Acido.....	14
1.1.3 Baterías secas: características, ventajas y limitaciones.....	18
1.1.4 Baterías secas: características, ventajas y limitaciones.....	22
1.1.5 Dimensionamiento de la capacidad de respaldo de bancos de baterías.....	26
1.2 Aplicaciones de bancos de baterías.....	29
1.2.1 Sistemas de rectificadores y convertidores .....	29
1.2.2 Sistemas de Inversores.....	31
1.2.3 Sistemas de UPS .....	32
<b>2. PROBLEMÁTICA DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LOS BANCOS DE BATERÍAS</b> .....	33
2.1 Tipificación de fallas en bancos de baterías .....	34
2.1.1 Sulfatación, inflamamiento y celdas con polaridad en reversa.....	34
2.1.2 Condiciones de operación: flotación, descarga, recarga y tiempo de vida útil .....	39

2.1.3 Rutinas tradicionales para la verificación de bancos de baterías .....	42
<b>3. DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO DE MEDICIÓN DE RESISTENCIA</b>	
<b>INTERNA DE BATERÍAS</b> .....	49
3.1 Descripción del instrumento de diagnóstico .....	51
3.2 Principios de operación y medición .....	53
3.3 Parámetros para el análisis de los resultados de las mediciones .....	57
<b>4. DOCUMENTACIÓN DE MEDICIONES Y RESULTADOS</b>	
<b>DE RESISTENCIA INTERNA EN 3 BANCOS DE BATERÍAS TÍPICOS</b>	
<b>DE UNA RED TELECOMUNICACIONES EN GUATEMALA</b> .....	59
4.1 Descripción del procedimiento de diagnóstico .....	61
4.2 Documentación de resultados.....	67
4.2.1 Medición de baterías 90AH selladas y de bornes sencillos .....	67
4.2.2 Medición de baterías de 100AH selladas valvulares de bornes dobles .....	75
4.2.3 Medición de baterías de 4000AH tipo húmedas y de bornes dobles .....	80
<b>CONCLUSIONES</b> .....	89
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	91
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	93

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1. Rejilla típica batería Pb ácido.....	5
2. Intercalado típico de electrodos batería Pb ácido .....	6
3. Propiedades de los separadores .....	7
4. Composición de elementos internos batería típica .....	8
5. Detalle de especificaciones de carga.....	15
6. Ejemplo de tablas y gráficos de descarga y voltaje final .....	16
7. Ejemplo de especificaciones de baterías .....	17
8. Detalle de construcción interna de batería sellada .....	19
9. Gráfica de compensación de temperatura y capacidad .....	28
10. Efectos de sobrecarga e inflamamiento de bancos de baterías.....	37
11. Efectos de batería con polaridad inversa .....	38
12. Ejemplo de tabla de vida útil .....	41
13. Ejemplo de curva de descarga.....	47
14. Tabla de precisión de Cellcorder 300.....	52
15. Diagrama eléctrico teórico de flujo de corriente en una batería .....	53
16. Descarga instantánea CRT-300.....	56
17. Ejemplo de baterías húmedas del fabricante GNB con bornes Simples y duales.....	62
18. Conexión de terminales de medición del CRT-300 caso de Bornes sencillos .....	63
19. Conexión de terminales de medición del CRT-300 caso de Bornes dobles .....	64

20. Conexión de terminales de medición del CRT-300 caso de Bornes triples.....	65
21. Aspecto físico de baterías selladas Marathon 90 AH .....	67
22. Características de capacidad de respaldo.....	68
23. Características de flotación y resistencia interna.....	69
24. Cuadro de capacidad de respaldo para baterías M12V90.....	71
25. Curvas características de descarga M12V90 .....	72
26. Tabla de resultados de resistencia interna M12V90 .....	73
27. Aspecto físico de baterías 100AH DEKA UNIGY I.....	75
28. Especificaciones de baterías DEKA UNIGY I 12AVR100-3ET .....	76
29. Cuadro de capacidad de respaldo baterías 12AVR100.....	77
30. Resultados de mediciones CRT-300 sobre banco 12AVR100 .....	78
31. Aspecto físico de batería de 4000AH .....	80
32. Fotografía de emplazamiento típico de baterías MCTII-4000 .....	81
33. Especificaciones técnicas de las baterías MCTII-4000.....	82
34. Valores de resistencia interna baterías MCTII-4000.....	83
35. Grafica de descarga de baterías MCTII-4000.....	84
36. Resultados de mediciones CRT-300, sobre banco MCT4000 .....	86

## GLOSARIO

<b>Ánodo</b>	Elemento mas negativo en una interacción electroquímica.
<b>Batería</b>	Dispositivo de almacenamiento y extracción de energía eléctrica mediante la interacción electroquímica de sus componentes
<b>Cátodo</b>	Elemento más positivo en una interacción electroquímica.
<b>Convertidor</b>	Dispositivo electrónico que realiza la conversión de niveles de voltaje de corriente directa ya sea elevando voltaje o disminuyéndolo, esto en función de las características de su circuiteria interna.
<b>Densidad relativa</b>	Es la relación existente entre la densidad propia de un cuerpo y la densidad del agua, la cual por su valor sirve de patrón de referencia y comparación. Tambien es conocida como gravedad específica.
<b>Inversor</b>	Dispositivo electrónico que realizar la conversión de corriente directa a corriente alterna mediante las características de su circuiteria interna.



<b>Rectificador</b>	Dispositivo electrónico que realiza la conversión de corriente alterna a corriente directa mediante su circuitería interna.
<b>Resistencia</b>	Relación existente entre el voltaje y corriente en un circuito eléctrico o elemento conductor.
<b>Sulfatación</b>	Se denomina así a la aparición de manchas o polvo de color blanco o amarillento en los bornes de las baterías como producto de la mala reacción química del electrolito en el interior de la misma.
<b>UPS</b>	Acrónimo en inglés utilizado para describir equipo electrónico con características de "Uninterrupted Power Supply", que en español significa suministro de energía ininterrumpido, aunque en la práctica esto se lleve a cabo por un limitado período de tiempo cuando existe falla en la red comercial.
<b>Voltaje de flotación</b>	Voltaje necesario para mantener la carga de un banco de baterías a un nivel óptimo.
<b>Voltaje final de descarga</b>	Voltaje límite hasta el cual se puede llegar a descargar un banco de baterías sin que éste sufra daño permanente en su capacidad.

## RESUMEN

En este trabajo se presenta la nueva tendencia hacia el mecanismo de diagnóstico del estado operativo de los bancos de baterías, mediante la medición de la resistencia interna, la cual a pesar de no estar ligada en forma lineal con la capacidad de respaldo es un excelente indicativo de predicción, sobre problemas potenciales o existente dentro de un banco en funcionamiento.

Se inicia el trabajo con la exposición de la teoría general de funcionamiento y construcción de las baterías de respaldo, sus reacciones químicas, parámetros de operación y equipos asociados para la recarga y mantenimiento de las mismas. Se hace énfasis en las innovaciones tecnológicas realizadas a lo largo de los años sobre estos dispositivos. Luego se prosigue exponiendo la problemática de la operación y mantenimiento de los bancos de baterías en operación, en donde se hace hincapié en las causas y efectos que producen la reducción de la vida útil de las baterías, también se explica las rutinas tradicionales de mantenimiento y procedimientos generales de diagnóstico de capacidad de respaldo, esto último con el propósito de ilustrar los puntos en los cuales el empleo de las mediciones de resistencia interna se justifica como una alternativa eficiente tanto en costos como en tiempo.

Luego se expone la teoría de medición de la resistencia interna de las baterías, esto enfocado directamente sobre el dispositivo de medición empleado en la última parte del trabajo, consistente en la medición y diagnóstico de algunos bancos en estado operativo dentro de una red de telecomunicaciones, de los cuales se sabe de antemano que presentan algún tipo de problemática operativa o bien tienen características muy particulares.

En esta parte final del trabajo se toma caso por caso y se presenta las características de fabricación del banco, tecnología empleada en su construcción, parámetros de operación, tablas de respaldo y se describe brevemente las condiciones operativas de los mismos dentro de su área de emplazamiento, inmediatamente se procede a presentar los resultados obtenidos con el dispositivo de medición, colocando la descripción de los problemas encontrados y las recomendaciones pertinentes. Con lo anterior se deja una propuesta alternativa de medición y análisis con respecto a los métodos tradicionales vigentes hoy en día.

# **OBJETIVOS**

## **General**

Realizar un análisis mediante la medición del parámetro de resistencia interna del estado operativo de algunos bancos de baterías de respaldo de energía, de diversas tecnologías de fabricación que se encuentran instalados en diversos puntos de una red de telecomunicaciones en Guatemala. Con los resultados obtenidos se procederá a realizar las recomendaciones pertinentes para solventar cualquier problema encontrado con los mismos, o bien a explicar el porqué de las deficiencias encontradas en los mismos.

## **Específicos**

1. Mostrar el empleo de la tecnología de punta disponible actualmente en el mercado para la medición predictiva y detección de problemas en bancos de baterías.
2. Análisis de los resultados obtenidos para recomendar las acciones más rentables en la solución de los potenciales problemas a encontrar con la ejecución de la mediciones correspondientes a cada banco.
3. Documentar la metodología a emplear para la medición de resistencia interna, indicando asimismo las ventajas y desventajas de la aplicación del método.





## INTRODUCCIÓN

El mercado de las Telecomunicaciones se encuentra en uno de los puntos más altos de su desarrollo y Guatemala a raíz de la privatización del sector no esta al margen de dicho crecimiento. Por lo anterior, se hace necesario estar a la vanguardia de la tecnología en función de poder mantener la calidad de los servicios ofertados por las diferentes operadoras existentes en el país de servicios de telecomunicaciones, particularmente el mercado celular.

Como calidad de un servicio celular se entiende claridad de voz, disponibilidad de red, cobertura y servicios agregados, siendo el más relevante hacia el cliente la disponibilidad de red, esto es: cada vez que se necesita realizar una llamada en área de cobertura poderla hacer sin ningún contratiempo. Este trabajo de graduación se concentra en este aspecto de disponibilidad de red, específicamente en lo que a energía respecta. Como es bien sabido por años en Guatemala el problema más significativo de ofertar disponibilidad de red consiste en la mala calidad de la energía, la falta de la misma, o bien su intermitencia, por lo cual todos los sitios destinados a facilitar telecomunicaciones celulares están equipados con baterías y grupos electrógenos de respaldo, dado que con los años se ha demostrado que los mismos presentan la solución más rentable y confiable para respaldo de energía. Es importante notar que la combinación ideal es contar con la sumatoria de ambos sistemas, sin embargo debido a costos de implementación y luego de operación muchas veces sólo se cuenta con bancos de baterías, dimensionados para proporcionar la mayor capacidad posible de respaldo.

Con lo anterior se tiene que la implicación directa sobre el empleo de baterías como medio de respaldo ante la falta de flujo comercial eléctrico consiste en la predicción del desgaste de las mismas, como se vera dentro del contenido de este trabajo, las mismas tienen un tiempo de vida útil, el cual puede reducirse considerablemente de acuerdo a diversos factores externos. La atención de la industria se ha centrado a lo largo de los años en elaborar rutinas de mantenimiento que permitan detectar la degradación de las mismas con suficiente antelación, para evitar comprometer la disponibilidad del sitio por bajo tiempo de respaldo. Hasta el día de hoy, estas pruebas implican realizar una descarga controlada del banco para ir midiendo los parámetros de voltaje, corriente y temperatura en cada una de ellas, por lo cual se tiene que en cada prueba se tiene una gran inversión de tiempo, equipo y horas hombre.

Este trabajo de graduación se concentra en el estudio y aplicación de un método alternativo para el diagnóstico del estado de los bancos de baterías, mediante el uso de un nuevo dispositivo en el mercado de equipos de medición que se basa en el control de parámetros internos de resistencia, voltaje y corriente dentro de cada celda que compone un banco de respaldo, con lo cual se determina su estado operativo a lo largo de su ciclo de vida y lograr obtener el máximo de durabilidad y capacidad durante su período de vida útil.

## **1. TEORÍA GENERAL DE BATERÍAS Y ENERGÍA DC**

Tal como se estableció en la introducción del presente documento, las baterías son el mecanismo de respaldo de energía mas ampliamente utilizado en la industria de las telecomunicaciones como medio de respaldo en ausencia de energía alterna comercial por parte de las empresas suministradoras, para Guatemala son: EEGSA, DEORSA y DEOCSA. Es importante dejar claro partir de este momento que las baterías constituyen el elemento de desgaste de los sistemas de suministro de energía DC, y que las mismas dependen de una adecuada estación de rectificación y conversión de voltaje, siendo estos los elementos que suministran el voltaje de recarga. En su definición más simple para el caso de las estaciones de energía en telecomunicaciones, se tiene que una batería es un dispositivo eléctrico para el almacenamiento de energía, mediante un proceso electroquímico reversible, la cual se utiliza para el suministro de voltaje por un tiempo determinado según las capacidades de diseño del fabricante de las mismas.

El presente describe el mantenimiento y procedimiento de diagnóstico para la evaluación del desempeño de bancos de baterías, mediante el empleo de equipos que utilizan el método de medición de resistencia como parámetro discriminativo entre un elemento en buen estado o mal estado.

Siendo las baterías de plomo ácido el elemento principal utilizado por la industria para el respaldo de energía, y por existir poca información al respecto de ellas, es que se considera necesario dedicar la parte inicial del presente informe de graduación a explicar la teoría general de operación, dimensionamiento y requisitos de operación de los bancos de baterías y sistemas de rectificación asociados.

Lo anterior se fundamenta en que el entendimiento es básico y necesario para los capítulos posteriores, cuyo objetivo principal es indicar y analizar los métodos y rutinas para obtener el máximo de tiempo de vida útil de los sistemas, lográndolo mediante la sustitución de las piezas de desgaste específicas que presentan anomalías.

## **1.1 Teoría general de bancos de baterías**

### **1.1.1 Construcción y características de las baterías plomo ácido para uso en telecomunicaciones. Funcionamiento electroquímico**

- Construcción y características:

Tal como se define en la sección anterior las baterías son dispositivos electroquímicos para el almacenamiento de energía que típicamente se componen de los siguientes elementos:

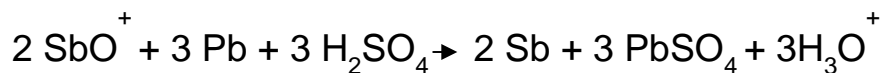
1. Electrolito, consiste en ácido sulfúrico diluido ( $H_2SO_4 + H_2O$ ) en una proporción que asegure una baja resistencia eléctrica y una alta conductividad iónica constante. Esta proporción es función exclusiva del fabricante de las baterías. Se debe tomar en cuenta que en una batería en funcionamiento existe una variación en la composición y densidad del electrolito según sea su estado de carga, siendo por ejemplo, el 40% en peso de la mezcla de  $H_2SO_4$  para una batería debidamente cargada a 2.15 V, y del 16% en peso de  $H_2SO_4$  para una batería descargada a 1.98 V.

La densidad del electrolito de una batería varia típicamente entre 1.3 y 1.1 Kg/L cuando está cargada y descargada respectivamente. Sin embargo se debe tomar en cuenta que hoy en día, la mayoría de las baterías cargadas poseen una densidad oscilante entre 1.27 – 1.30 kg/L. Importante: la función del electrolito es ser el agente de conversión de energía eléctrica convencional en energía química potencial en un ciclo reversible a lo largo de la vida útil de una batería.

2. Ánodos o placas negativas, en los cuales el material activo está constituido por cristales aciculares de plomo metálico que proporciona una elevada superficie y buena conductividad eléctrica. Contiene aditivos derivados de ácido ligno - sulfónico que son denominados expansores, tal como el  $\text{BaSO}_4$  en polvo muy fino, el cual es isomorfo con el  $\text{PbSO}_4$  y promueve la formación de capas porosas de  $\text{PbSO}_4$  que no desgastan al ánodo. Las placas negativas se interconectan internamente para formar la terminal, borne o poste negativo de la batería.
3. Cátodos o placas positivas, en los cuales el material activo es el dióxido de plomo que es un compuesto que puede existir en dos formas cristalinas a nivel microscópico: romboédrica y tetragonal. En un cátodo se busca conseguir una densidad de corriente óptima, por lo que es necesario que el material sea muy poroso para que el contacto entre el sólido y el electrolito sea grande. Todas las placas positivas se interconectan internamente para formar la terminal, borne o poste positivo de la batería.



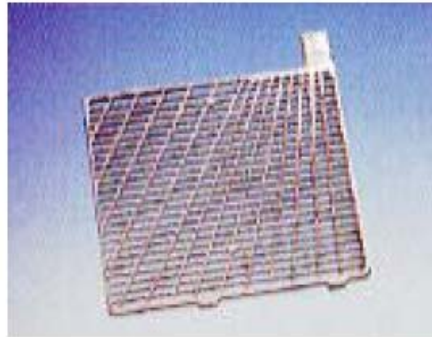
4. Rejillas, tienen como misión sostener al material que funciona como electrolito y actuar como colector de la corriente que llega o sale al circuito externo. Debido a la buena conductividad del plomo y su bajo punto de fusión (327 °C) es que se utiliza como material principal en la construcción de las rejillas, las cuales se preparan por fusión de dicho material de plomo y encastramiento en moldes. En la mayoría de los casos a una rejilla de plomo puro se le añaden aditivos que mejoran las propiedades mecánicas y de resistencia a la corrosión, dentro de estos se incluyen el Antimonio (Sb) en proporciones del 1.5 al 8% con el objeto de mejorar las propiedades mecánicas. Importante recalcar que durante el período de descarga de la batería el Sb de la rejilla puede oxidarse a la especie soluble  $SbO^+$ , lo cual origina la auto descarga del electrodo que químicamente se ve de la forma siguiente:



Por su parte, la adición de un 0.5% de As supone un refinamiento de la micro estructura, lo cual ayuda a conseguir un buen encastramiento y mejora la resistencia de la rejilla al ataque anódico.

Finalmente, es importante recalcar que el Calcio ha ido sustituyendo gradualmente al Antimonio como agente endurecedor de la rejilla, por presentar mejores características. Ver figura 1 donde se muestra una rejilla típica de una batería de 12V de voltaje nominal.

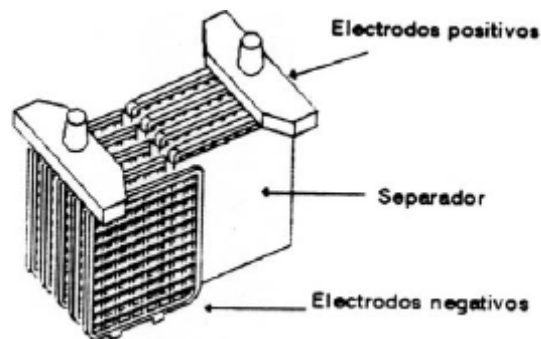
**Figura 1. Rejilla típica batería Pb Ácido**



5. Electrodos (Formación de electrodos, proceso que tiene lugar antes del ensamblado de los electrodos en el recipiente de la batería). Los electrodos son utilizados para la interconexión interna de las placas positivas y negativas dentro de las baterías. La composición inicial de ambos es básicamente la misma, consistiendo de una pasta cuyo principal componente es el polvo de plomo, constituido por una mezcla de  $PbO_2$  y  $Pb$  metal por encima del 40%. Durante el proceso denominado Soaking se añade agua y ácido sulfúrico en pequeñas cantidades para formar una pasta ácida, la cual produce la formación de sulfatos ( $PbSO_4$ ) y sulfatos básicos de plomo: 1 BS ( $PbSO_4-PbO$ ), 3BS ( $PbSO_4-3PbO$ ) y 4 BS ( $PbSO_4-4PbO$ ). Esta pasta es encastrada en la rejilla, la cual se somete a un proceso de curado en cámaras de alta humedad (cercana al 100%), y temperatura controlada. La fase mayoritaria es la 3BS en placas curadas a  $T < 50$  °C y 4 BS para las curadas a  $50 < T < 90$  °C. Posterior al curado se requiere de un proceso de carga inicial que aumente la concentración de  $PbO_2$  en los electrodos para el cátodo y  $Pb$  en los electrodos para el ánodo, de aquí su clasificación como batería

secundaria. A todo el proceso anterior se le conoce como formación electroquímica. Ver figura 2 que ilustra el intercalado de electrodos dentro de una batería de 12 V de voltaje nominal.

**Figura 2. Intercalado típico de Electrodos batería Pb ácido**



6. Separadores, láminas aislantes de material poroso situado entre ánodo y cátodo que impide su contacto, y cuyos requisitos son: ser material con propiedades mecánicas aceptables, resistencia al entorno ácido y oxidante, así como también resistencia a las variaciones de temperatura durante su tiempo de vida útil. También debe contener un elevado número de poros de pequeño tamaño. Ver Figura 3, en la cual se ejemplifican cada una de estas características.

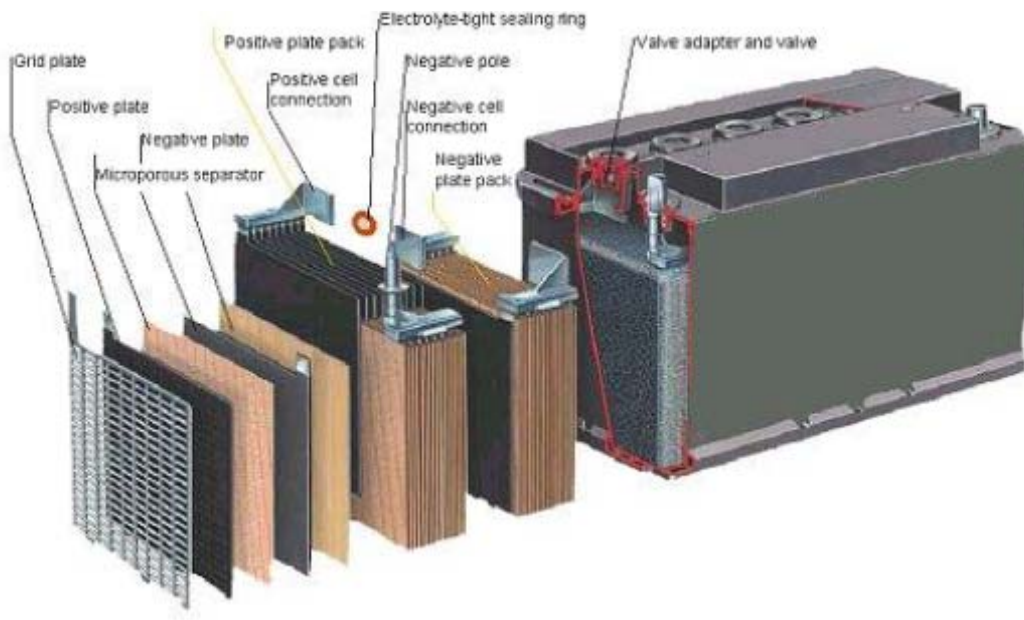
**Figura 3. Propiedades de los separadores**

	Porosidad (%)	Tamaño poro ( $\mu\text{m}$ )	Resistencia ( $\text{Ohm}\cdot\text{cm}^{-2}$ )
Celulosa	60	25	0.30
PVC Microporoso	80	< 3	0.18
Goma	62	< 2	0.30
Polietileno microporoso	63	< 1	0.15
Polietileno no trenzado	60	12	0.21
Fibra vidrio no trenzado	6	20	0.18
Base fenólica	68	0.5	0.15
PVC sinterizado	45	25	0.25
Fibra vidrio absorbente	90	24	0.10

Por último, todos los elementos descritos arriba se ensamblan y se depositan dentro de un contenedor que se fabrica a partir de polímeros sintéticos inyectados a alta temperatura sobre moldes que le dan su forma final, por lo general esta forma es prismática disponiendo en su interior de zonas separadoras de las diversas celdas así como de soportes para que las placas no descansen directamente sobre el fondo. La cobertura o tapadera es fabricada del mismo material del contenedor, sellada sobre el mismo y disponiendo de orificios para acoger a los bornes, válvulas de ventilación y entradas para la adición de agua destilada. En aquellas baterías que contienen más de una celda para incrementar su capacidad de respaldo y manejo de corriente (tomar nota que cada celda de una batería es de 2 V nominales), se conectan las mismas en serie para lograr el voltaje final nominal de la misma. Los electrodos son ensamblados en forma paralela en grupos, sin embargo en el caso de los electrodos negativos estos contienen normalmente una placa adicional.

Como se puede apreciar en los párrafos anteriores, la composición interna de las baterías es algo relativamente simple, sin embargo a pesar de esta apreciación se debe tener en cuenta que las dimensiones físicas de cada elemento pueden variar drásticamente en función de la capacidad de respaldo y manejo de corriente según la aplicación para las que se diseñan las mismas. Tradicionalmente mientras más capacidad demandaba una aplicación específica más grandes eran las dimensiones de los elementos, en la actualidad esto a cambiado a raíz que tecnológicamente se ha ido avanzando considerablemente en el desarrollo de materiales nuevos a través de los cuales se han logrado diseños complejos que ofrecen altas capacidades a dimensiones razonablemente reducidas. Ver figura 4 para ver la composición de un batería con sus elementos internos.

**Figura 4. Composición de elementos internos de batería típica**



La industria de fabricación de baterías de plomo ácido, (las cuales son las más ampliamente usadas en telecomunicaciones), clasifica a estas de acuerdo a la tecnología de encapsulamiento de su electrolito, formándose entonces dos grupos:

1. Grupo uno, baterías secas las cuales reciben esta denominación por tener su electrolito en estado sólido para lo cual se cuenta hoy en día con 2 tecnologías para lograrlo: Gel y AGM (Absorbed Glass Mat). En la parte de Gel se utiliza un agente compactador a base de Sílica para inmovilizar el electrolito, con lo cual se logra que si la batería es perforada, la misma sigue cumpliendo su función de almacenar energía sin que exista derrame. Otro beneficio del gel es que el mismo no sufre estratificación. Para la tecnología de AGM se puede iniciar diciendo que es el avance tecnológico mas reciente para el caso de las baterías secas, y básicamente hace todo lo que una batería de Gel, únicamente que mejorado. Esta tecnología emplea un separador de fibra de vidrio capaz de atrapar el electrolito en su lugar, logrando que el punto de contacto entre las fibras de los separadores, las placas metálicas de plomo y el recipiente contenedor haga que las baterías de AGM sean superiores a sus tecnologías competidoras, especialmente en las circunstancias de derrame, impactos y vibraciones. Por lo anterior, se tiene que las baterías de AGM son el producto en baterías mas confiable actualmente. La desventaja común de de la baterías secas, ya sea Gel o AGM es que el electrolito no es reemplazable, teniendo entonces un tiempo de vida no superior a 20 años.

2. Grupo dos: baterías húmedas o de electrolito líquido, las cuales generalmente son de gran tamaño, y se componen al igual que las anteriores de arreglos de placas o mallas metálicas de plomo, que interconectadas forman los terminales eléctricos positivo y negativo del dispositivo, como agente electroquímico se utiliza electrolito totalmente líquido, el cual esta totalmente expuesto al medio ambiente y ocasiona que el tamaño y volumen del recipiente contenedor sea de dimensiones considerables. Este tipo de baterías se deben rellenar de forma regular con agua destilada para reponer el electrolito perdido en el proceso de recarga y recombinación, el cual se conoce como electrolisis. Las baterías húmedas tienen una vida útil promedio de 70 años.

- Funcionamiento electroquímico:

Para explicar el intercambio electroquímico que se lleva a cabo dentro de una batería, se va a dividir el proceso en las siguientes etapas: Descarga, auto descarga, carga y recombinación.

- Etapa de descarga:

Etapa en donde la batería libera la energía electroquímica almacenada en un carga eléctrica conectada en sus terminales. Durante la descarga ocurre la formación de  $PbSO_4$  en ambos electrodos (Positivo y Negativo), el cual resulta ser un mal conductor eléctrico y se deposita como una capa densa de grano fino que puede desgastarlos, reduciendo consecuentemente la capacidad de la batería en un 5 ó 10% del valor de diseño nominal.

También cabe agregar que otro efecto en la descarga se da en el voltaje nominal de las celdas internas componentes de la batería, el cual se puede ver reducido debido a resistencias internas y finalmente la mayor densidad del  $\text{PbSO}_4$  respecto al  $\text{PbO}_2$  y  $\text{Pb}$ , resulta en un taponamiento de los poros que limita el transporte del electrolito resultando en una inminente disminución de la conductividad eléctrica interna del dispositivo.

La relación entre la capacidad de la batería y la velocidad de descarga se expresa según la ecuación de Peukert como:

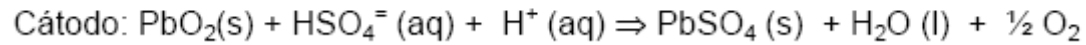
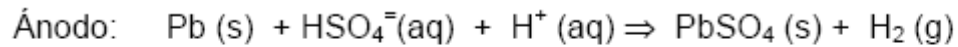
$$I^n \cdot t = K$$
$$\log t = \log K - n \cdot \log I$$

Es importante aclarar que la ecuación anterior es válida para pruebas de laboratorio en diseño y se debe ajustar para cada tipo de baterías, no siendo entonces una herramienta del día a día para calcular la capacidad de una batería en operación. Por lo anterior, sólo se muestra como efectos didácticos pero no se explica por estar fuera del contenido a exponer en el presente trabajo.

- Etapa de auto descarga:

Esta sucede durante el almacenamiento de una batería en circuito abierto durante largos períodos de tiempo, dado que ocurre una disminución de la capacidad de la batería como consecuencia de la reacción de los electrodos en contacto con el electrolito. Químicamente esta reacción se describe de la siguiente manera:



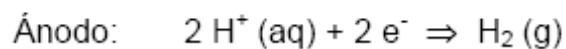
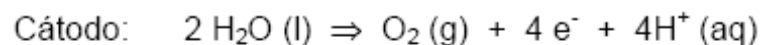


Para compensar esta pérdida de capacidad es necesario realizar carga de mantenimiento de la unidad durante el almacenamiento a los valores recomendados por el fabricante.

- Etapa de carga:

Durante la carga el  $\text{PbSO}_4$  es reducido a  $\text{Pb}$  en el ánodo y oxidado a  $\text{PbO}_2$  en el cátodo. La respuesta de los componentes internos es una subida inmediata de voltaje debido principalmente al incremento repentino de la densidad del electrolito en los poros del material activo.

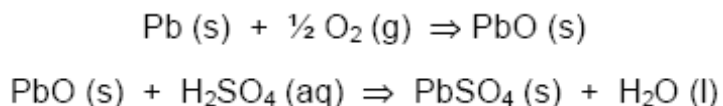
Para conseguir una carga completa es necesario sobrecargar la batería, esto es aplicando un voltaje en sus terminales a un nivel superior al voltaje nominal de la misma, el cual es conocido como voltaje de flotación. El efecto colateral de esta operación es la descomposición o el autoconsumo del agua del electrolito por el efecto de electrolisis, lo cual químicamente se ve de la forma siguiente:



Como resultado esta gasificación del agua del electrolito se tiene que la eficacia del proceso de carga oscila entre 0.85 y 0.9, valores que varían según la profundidad de la descarga y la velocidad de la carga.

- Etapa de Recombinación:

En esta parte las burbujas de los gases liberados en la electrolisis se difunden lentamente por el electrolito y contactan con el ánodo formando óxido de plomo antes de escapar por la parte superior de la celda. La recombinación absoluta de los gases hidrógeno y oxígeno producidos sólo se consigue en contenedores cerrados en los que los gases se mantienen a presiones relativamente elevadas, y es bajo estas condiciones que se produce un equilibrio en el que la cantidad de oxígeno electroquímicamente generado en el electrodo positivo reacciona químicamente con el plomo esponjoso del electrodo negativo para formar óxido de plomo, el cual reacciona con ácido sulfúrico para formar sulfato de plomo. La reacción la vemos de la siguiente forma:



Las baterías diseñadas para máxima recombinación deben contemplar vías de difusión del gas sin que ocurra disminución del volumen del electrolito. Para este efecto se utilizan separadores resistentes con un alto grado de absorbencia que contienen el electrolito suficiente para realizar la descarga y permiten ensamblar compactamente a los componentes de la celda. El transporte gaseoso tiene lugar en dos formas, ya sea por operación en condiciones parcialmente saturadas o por el movimiento del electrolito causado por la presión del gas formado. Tanto la recombinación como la temperatura inducen la disminución del voltaje de la batería durante la carga, permitiendo que corrientes más elevadas sean aceptadas, en otras palabras el beneficio de las baterías fabricadas con este propósito radica en que se puede obtener tiempos más reducidos de recarga de las mismas.

### **1.1.2 Nomenclatura y especificaciones de baterías Plomo Ácido**

Según se vio en la sección anterior, las baterías se clasifican según su tecnología de construcción en secas y húmedas, para las cuales los fabricantes en la industria indican en las especificaciones técnicas del producto: voltaje de operación (conocido como voltaje de flotación), voltaje final de descarga, temperaturas de operación, y finalmente la capacidad de tiempo de suministro de energía, esta última expresada en dimensiones de Amperios/Hora. En este apartado se describirá el detalle de estas especificaciones y también se mostrara la nomenclatura utilizada para el efecto.

- Voltaje de operación:

Es necesario aclarar que en la industria para telecomunicaciones y equipos de respaldo UPS se manejan comercialmente dos niveles de voltaje nominal en cuanto a construcción de baterías se refiere: 2 y 12 VDC respectivamente. A partir de estos niveles es que se arman los bancos de baterías a niveles de voltaje de 24 ó 48 VDC.

Para cada batería existente en el mercado el fabricante indica el nivel de voltaje de mantenimiento de carga, el cual también es conocido como voltaje de flotación y el mismo es ligeramente superior al voltaje nominal del elemento. El propósito es mantener al elemento debidamente cargado y al 100% de su capacidad de respaldo. Por ejemplo, en una batería de 2 voltios, la recomendación general de los fabricantes en cuanto al voltaje de mantenimiento esta alrededor de 2.25 VDC y en el caso de las baterías de 12 voltios el nivel se encuentra en 13.62 VDC. Ver ejemplo en figura 5.

## Figura 5. Detalle de especificaciones de carga

### *Charging*

Lucent Technologies 12IR125 batteries may be charged by a constant potential method. A potential of  $13.62 \pm 0.06$  volts per 12V battery for constant voltage is recommended for float-standby applications at  $77^{\circ}\text{F}$  ( $25^{\circ}\text{C}$ ). For systems without a temperature compensation device, the float voltage should be reduced by  $1\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ /battery for temperatures above  $25^{\circ}\text{C}$  ( $77^{\circ}\text{F}$ ). This adjustment is automatically performed in systems with either a step or a slope compensation device.

- Voltaje final de descarga:

Una batería cualquiera que sea su tipo jamás puede ser descargada en su totalidad hasta llevarla a un nivel cercano a los 0 voltios debido a que estas tienen un nivel de voltaje máximo hasta el cual se pueden descargar. Una vez sobrepasado este nivel se provoca degradación de los elementos internos e imposibilita recuperar su estado inicial de carga, lo cual implica que el tiempo de respaldo se ve seriamente disminuido.

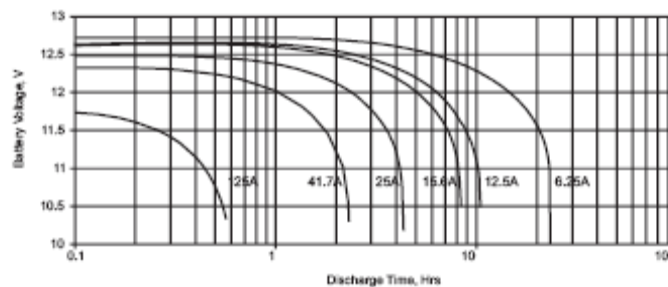
Por lo dicho anteriormente, es que cada fabricante presenta una tabla o gráfica de horas disponibles para la descarga de las baterías en función de la corriente demandada, indicando el nivel de voltaje final donde se debe detener la descarga para evitar daño permanente. Esta situación se ejemplifica en las figuras siguientes, sin embargo notar que se muestran varios voltajes finales que en la practica diaria se toma el mas pequeño con el objeto de obtener el máximo de tiempo de respaldo. También notar lo importante que es mantener la temperatura ambiente para lograr los niveles deseados de diseño

## Figura 6. Ejemplo de tablas y gráficos de descarga y voltaje final

Table 9-A: Battery Discharge Amperes for 12IR125 at 77°F

Hours of Reserve	Cutoff Voltage per Battery (12V)						
	10.5V	10.8V	10.92V	11.04V	11.16V	11.28V	11.4V
1	76.80	75.84	73.92	70.08	69.12	65.28	62.40
3	32.93	32.64	31.78	30.91	30.24	29.76	28.32
5	22.37	22.08	21.60	20.64	18.91	16.80	14.40
8	15.36	15.17	14.69	14.40	13.92	13.44	12.96
10	12.67	12.48	12.29	12.00	11.81	11.52	11.04
15	8.83	8.64	8.16	7.68	6.72	6.24	6.05
20	6.88	6.72	6.53	6.34	6.24	6.05	5.95
24	5.88	5.76	5.71	5.66	5.62	5.57	5.47

12IR125 Battery Characteristic Discharge Curves @ 77 F



- Capacidad de Respaldo:

Todos los fabricantes de baterías expresan la capacidad de respaldo de cada batería en las dimensionales de Amperios-Hora, abreviado como AH, así mismo indican el tiempo sobre el cual se garantiza dicho valor denominándolo tasa de descarga y expresándolo en horas. Con esto se refiere a que la corriente suministrada a la carga debe mantenerse en un valor casi constante o con variaciones lentas, lo cual se traduce en que la tasa de intercambio químico interno de la batería (entiéndase el intercambio iónico entre placas y ácido) debe ser uniforme, y en caso contrario se presentan problemas de sobrecalentamiento y degradación que impactan el tiempo de vida del elemento.

Cabe aclarar también que en la práctica un valor de corriente constante de descarga de la batería hacia la carga nunca se puede mantener constante debido a que el voltaje de la batería va decreciendo del nivel de flotación al nivel de voltaje final, lo cual según la ley de Ohm resulta en que a un menor voltaje suministrado existe un incremento en la demanda de corriente y lo mismo sucede a la inversa, a mayor voltaje suministrado menor demanda de corriente. A modo de ejemplo para entender la denominación de AH tenemos entonces que una batería de 2 VDC de un fabricante cualquiera y con una capacidad de datos de placa de 1460 Amps-Hr @ 8 Hr y con un voltaje final de 1.75 VDC, es capaz de proveer 8 horas de respaldo de energía si la corriente suministrada a la carga durante este período oscila alrededor de los 182.5 Amperios (Dividir 1460 AH / 8 Hr = 182.5 A). Lo anterior también se expresa de forma clara en las especificaciones técnicas de los elementos, ver ilustración siguiente. En la práctica la demanda de las cargas difícilmente iguala a los datos de placa, por lo cual los fabricantes entregan tablas o graficas de descargas a diferentes corrientes de descarga, y con varios voltajes finales.

**Figura 7. Ejemplo de especificaciones de baterías**

Table 2-A: 12IR125 and 12IR125LP Specifications

Product Code	Nominal Voltage	Ampere Hours @ 8-hour Rate	Ampere Hours @ 10-hour Rate	Maximum Dimensions:			Total Weight	Acid Volume
				Length	Width	Height		
12IR125	12V	120	125	16.82 in. 42.72 cm	6.97 in. 17.7 cm	10.10 in. 25.65 cm	120 lbs. 54.55kg	2 gal. 7.57 L
12IR125LP	12V	120	125	17.90 in. 45.47 cm	6.97 in. 17.7 cm	9.36 in. 23.77 cm	120 lbs. 54.55kg	2 gal. 7.57 L

### **1.1.3 Baterías secas: características, ventajas y limitaciones**

Las baterías secas en la actualidad han dominado el mercado de los equipos de respaldo particularmente en las aplicaciones para telecomunicaciones, esto debido a las características de construcción de estos dispositivos, así como también las ventajas que presenta en su implementación, y en la parte de mantenimiento.

Es conveniente también aclarar que a pesar de lo versátil que se presenta este tipo de equipamiento en el mercado, el mismo posee varias limitaciones y factores a considerar para su selección y emplazamiento.

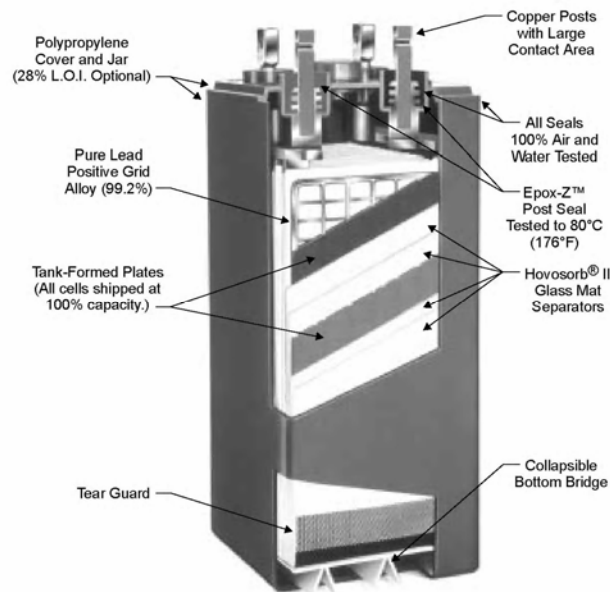
A continuación se desglosa a detalle cada uno de los aspectos relevantes de las baterías secas, empezando por sus características físicas, construcción, ventajas y finalizando con sus limitaciones.

#### **a. Características:**

Las baterías selladas consisten en la interacción de placas positivas y negativas fabricadas de Plomo en reacción química con electrolito encapsulado mediante el uso de tecnología de gel o agm (explicadas previamente), todo armado dentro de un recipiente plástico cerrado herméticamente, el cual generalmente es de dimensiones compactas que para permitir la disipación de calor evitando con esto la pérdida de agua del electrolito por el fenómeno de electrolisis.

A continuación en la Figura 8, se muestra una foto de la construcción interna de una batería sellada típica:

**Figura 8. Detalle de construcción interna de batería sellada**



Es importante aclarar que las baterías denominadas secas se encuentran comercialmente en el mercado en dos formas: simplemente como unidades selladas, o como unidades selladas valvulares (VLRA). La diferencia entre ambos tipos radica en que las unidades VLRA poseen una válvula de seguridad que actúa en la liberación de los gases internos del elemento al medio ambiente una vez que la presión interna sobrepasa el límite aceptable. La mayor ventaja de lo anterior radica en que se consigue una mejor resistencia de la batería a las condiciones de recarga no controlada o bien de descarga extrema, puesto que al liberar la presión interna se evitan el inflamamiento del elemento y el derrame de electrolito.



b. Ventajas:

Las ventajas de la utilización de baterías selladas son las siguientes:

- I. Gran capacidad de respaldo.
- II. Tamaño Compacto.
- III. Facilidad de instalación, permite montajes horizontales o verticales.
- IV. Bajo mantenimiento
- V. Seguridad en su manejo
- VI. Versatilidad en sus configuraciones de conexión.

c. Limitaciones:

Las baterías secas ya sea selladas simples o valvulares presentan ciertas limitaciones que deben tomarse en cuenta tanto en el momento de selección de los bancos, como también en la operación de los sistemas. Las limitaciones que se tienen para estos sistemas son las siguientes:

- I. Sensibilidad de la temperatura ambiente: las baterías selladas poseen un rango de operación para el cual han sido diseñadas y garantizadas para cumplir con su tiempo de vida útil, que por lo general oscila para todos los casos alrededor de 25 °C. Sin embargo a esta condición se le debe penalizar con que por cada incremento de 10 °C en su temperatura de operación la vida útil se ve reducida en un 50% lo cual constituye un factor importante a tomar en cuenta en el diseño de las mismas.

II. Generación de Gases: todas las baterías selladas producen Hidrógeno y Oxígeno tanto en la carga como en la descarga razón por la cual se debe tomar en cuenta que el espacio de instalación debe comprender una buena circulación de aire para ventilar la emanación de dichos gases generados, esto debido a que existe el riesgo de explosión por la interacción del Hidrógeno con el aire del medio ambiente. El punto crítico de ignición se llega a alcanzar cuando el volumen de Hidrógeno mezclado con aire alcanza un 4%, por tanto todos los recintos que albergan esta clase de baterías deben cumplir por norma con que la mezcla Hidrógeno – Aire no exceda el 1%.

III. Voltaje de flotación: el voltaje de flotación o de mantenimiento debe ser constante de acuerdo a los límites establecidos por el fabricante del elemento, así como también debe de estar controlada la oscilación o rizado del nivel de voltaje aplicado, lo cual implica la utilización de equipo de rectificación de buena calidad.

#### **1.1.4 Baterías húmedas: características, ventajas y limitaciones**

Las baterías húmedas han sido utilizadas ampliamente en el mercado de las telecomunicaciones hasta hoy en día por su alta capacidad de respaldo y amperaje, sin embargo poco a poco el empleo de las mismas esta siendo reducido por la utilización de las baterías selladas, las cuales tal como se ha dicho en las secciones anteriores están evolucionando ampliamente logrando igualar la capacidad de respaldo de las del tipo húmedo con las ventajas de ser mas compactas, libres de mantenimiento y facilidad de instalación. Es importante describir las características, ventajas y limitaciones de los sistemas de respaldo que aun utilizan estos dispositivos debido a que actualmente existen en funcionamiento un numero importante en el mercado, cuya aplicación principal consiste en proporcionar respaldo de energía para centrales de conmutación tanto de telefonía fija como móvil, en donde la demanda de corriente fácilmente supera los 1000 Amperios. A pesar de lo anterior también es cierto que hay que notar que esta última afirmación también esta perdiendo validez con el correr del tiempo, puesto que el avance tecnológico de los últimos 10 años ha permitido la reducción de las dimensiones del equipo electrónico en un 75%, lo que implica que una central digital de principios de los 1990s tiene una diferencia de dimensiones físicas bastante crítica con respecto a una central de fecha actual, con lo cual obviamente se tiene que el consumo de energía de las mismas se ve reducido dramáticamente provocando que se utilicen baterías de tipo selladas.

a. Características:

La principal característica de este tipo de baterías hoy en día consiste en su gran tamaño físico, puesto que por su construcción y sus componentes hace que esto sea una implicación directa. Las formas de presentación de estos elementos han sido redonda y cuadrada, siendo esta última la que quedo instituída en la industria de fabricantes hasta hoy día. Los componentes de la construcción de estos elementos son:

- I. Placas de Plomo, tanto positivas como negativas.
- II. Retenedores
- III. Separadores
- IV. Postes o Bornes
- V. Electrolito Líquido

Todo lo anterior contenido en un recipiente transparente de un material de polímero, el cual es abierto o bien tiene una abertura de inspección en su parte superior que impide el volteo de la unidad por los riesgos de derrame de ácido que esto implica.

b. Ventajas:

En cuanto a las ventajas de estos sistemas se puede decir que las mismas son limitadas, dado que hoy en día la industria de fabricantes se ha enfocado en la mejora de la tecnología de las baterías selladas, lo cual hace que estos sistemas se vuelvan cada vez mas obsoletos. Sin embargo las ventajas que presentan estos sistemas sobre sus competidoras de tipo seco son:

- I. Mejor resistencia a los cambios de temperatura ambiental, así como también al incremento de la temperatura interna durante la carga y la descarga.
- II. Larga vida útil, un sistema a base de baterías húmedas recibiendo buen mantenimiento y respetando sus especificaciones de operación puede durar hasta 70 años.

c. Limitaciones:

La principal limitación de los bancos de baterías húmedas o de electrolito liquido reside en la necesidad de mantenimiento periódico, el cual consta clásicamente de inspección visual, mediciones y relleno de electrolito.

- I. Inspección Visual: consiste en revisar el estado de todos los elementos que conforman la batería, tal como crecimiento de las placas, sulfatación, rajaduras/fugas del recipiente contenedor y cristalización.

II. Mediciones: la principal actividad a llevar a cabo durante el mantenimiento preventivo consiste en medir la gravedad específica del ácido sulfúrico, puesto que el valor obtenido indica el estado de carga de la batería, de manera específica se tiene que una batería adecuadamente cargada tiene una gravedad específica superior a la de una batería que se encuentra parcialmente cargada o bien en estado de descarga. Si al realizar mediciones de gravedad específica con presencia de voltaje de flotación se encuentra que la batería tiene niveles fuera del rango especificado es claramente un indicio que la misma se esta auto descargando o perdiendo capacidad y eventualmente sufrirá la reversa de polaridad. Típicamente las baterías en Telecomunicaciones tienen un valor de gravedad específica típico de 1.210 y las empleadas en sistemas de respaldo para UPS de 1.3.

Otra medición importante a registrar por mantenimiento preventivo en una batería húmeda consiste en la medición de la temperatura del elemento, puesto que la gravedad específica varia de forma inversa a la temperatura lo cual quiere decir que una batería con una temperatura superior al punto de referencia suma un valor fraccional a la gravedad específica medida y en el caso contrario si la temperatura se encuentra por debajo del nivel de referencia, entonces se debe sustraer una fracción a la gravedad medida.

III. Relleno de Electrolito: Toda vez que se realiza mantenimiento sobre las baterías húmedas se debe inspeccionar el nivel de electrolito de cada contenedor y si el mismo se encuentra por debajo del rango normalizado (Para esto las baterías tienen unas marcas de indicación de nivel), se debe proceder a verter agua desmineralizada para regenerar el ácido sulfúrico, proceso que toma 10 semanas

aproximadamente, y una vez transcurrido se debe retornar para medir la gravedad específica nuevamente.

Las siguientes limitaciones de los bancos de baterías húmedas son también importantes:

- I. Amplia huella de espacio físico a utilizar
- II. Colocación forzosamente vertical, lo cual impacta en el estibamiento de unidades sobre los gabinetes, en otras palabras es un sacrificio de espacio vertical.
- III. Instalación complicada debido al peso y manejo de cada unidad.
- IV. El emplazamiento de este tipo de baterías debe ser un lugar ventilado debido a las emisiones de los gases de recombinación, lo cual es perjudicial para la salud.

#### **1.1.5 Dimensionamiento de la capacidad de respaldo de bancos de baterías**

Tal como se dijo en el principio de este trabajo, la principal función de un banco de baterías, sea la tecnología que sea, consiste en proporcionar energía eléctrica a los equipos conectados como carga, lo cual sucede cuando se ve interrumpido el flujo eléctrico comercial que alimenta todo el recinto que alberga el equipo de energía y cargas asociadas, caso contrario, en los periodos de disponibilidad de la energía comercial se tiene que parte de la misma es destinada para la recarga o el mantenimiento del estado de carga del banco de baterías.

La capacidad de respaldo de los bancos de baterías es función directa del consumo de la carga conectada a sus terminales y esta será capaz de alimentarla por un espacio de horas determinado por: la división entre sus datos de placa de capacidad en AH y la corriente nominal demandada por dicha carga. Ejecutar la operación anterior debe ser el criterio a utilizar para calcular el tamaño en capacidad de horas de respaldo de un banco de baterías a implementar.

**Ejemplo:**

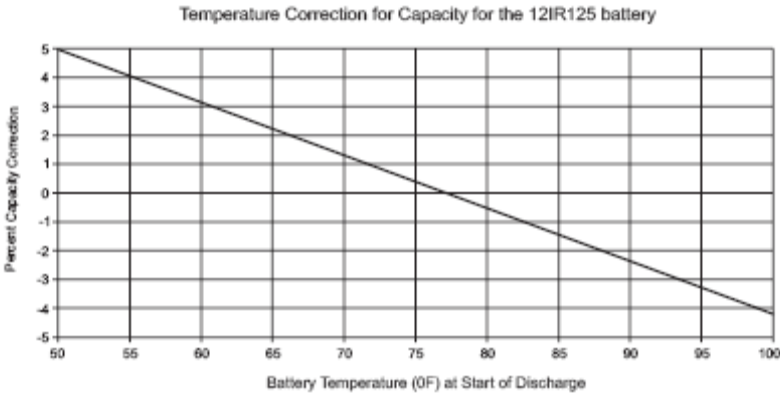
Si se tiene un banco con una capacidad de 1400AH @ 8hr, y una carga conectada con una demanda de 100Amps, por la división entre ambas cantidades de obtiene un respaldo aproximado de 14 hrs.

Un factor importante que no debe ser despreciado al momento de dimensionar un banco de baterías debe ser la temperatura ambiente de trabajo. Todo fabricante especifica la temperatura ambiente a la cual deben trabajar sus productos, así como también en caso que la misma no se pueda mantener constante indica la tolerancia máxima permisible y el factor de corrección de voltaje de recarga y flotación por cada °C de incremento sobre la temperatura especificada de operación hasta alcanzar el máximo de tolerancia establecido. Este factor de corrección por lo general esta expresado en mV/°C y se debe restar al voltaje nominal de flotación del sistema en caso se tuviera problemas de temperatura ambiente excedida. El hecho de controlar el voltaje de flotación en función de la temperatura ambiente tiene que ver con evitar elevar la temperatura interna de cada celda componente del banco, dado que si esto es llevado mas allá del nivel recomendado por el fabricante el impacto directo incide sobre la vida útil de cada batería.



En cuanto a capacidad se refiere, se debe tomar en cuenta que a mayor temperatura la capacidad de un banco de baterías en tiempo de respaldo se incrementa en un porcentaje, sacrificando a pesar de ello el tiempo de vida del mismo, mientras que a la inversa con una temperatura ambiente inferior a la recomendada se tiene que se mantiene la vida útil estimada pero sin embargo la capacidad de respaldo en horas se ve disminuida en porcentaje. Para manejar lo anterior en una forma adecuada es que cada fabricante entrega dentro de las especificaciones una tabla para compensación de capacidad por temperatura.

**Figura 9. Gráfica de compensación de temperatura y capacidad**



## **1.2 Aplicaciones de bancos de baterías**

El uso de las baterías hoy en día abarca casi todas las actividades industriales del mundo debido a que es un mecanismo eficiente, barato y confiable con la función de suministrar energía al momento de una interrupción del fluido eléctrico comercial. Sin embargo hay que aclarar que en el campo donde mas se aplican es en las Telecomunicaciones debido en gran parte a la disponibilidad y continuidad del servicio que se ofrece a los clientes y usuarios de esta industria (Índice que por lo general es usualmente superior al 99.95% por año), provocando entonces que las compañías proveedoras del sector a lo largo del mundo tenga estos mecanismo implementados para satisfacer la necesidad de mantener la comunicación de sus clientes bajo casi cualquier circunstancia.

En cuanto a la forma de aplicar toda la energía suministrada por las baterías durante su descarga esta en función de la manera de entregarla al equipo conectado como carga, esto es si se requiere DC o AC. Como resultado de lo anterior es que las baterías interactúan con diversos equipos de acuerdo a la aplicación de energía a suministrar, lo cual se vera a continuación.

### **1.2.1 Sistemas de rectificadores y convertidores**

Se inicia indicando la descripción y definición de rectificador y convertidor, los cuales trabajan en forma conjunta dentro de una estación de energía de acuerdo a las aplicaciones de la carga a energizar.

- Rectificadores: estos dispositivos son utilizados en la industria de las telecomunicaciones para transformar potencia AC a potencia DC, lo cual usualmente se lleva a cabo de 120/240 voltios AC a 24 o 48 voltios DC. El nivel de 24 o 48 voltios es seleccionado de acuerdo al nivel de suministro requerido según el tipo de consumo de las cargas a conectar al sistema.
- Convertidores: estos dispositivos se utilizan de forma conjunta con los rectificadores, sirviendo para el propósito de modificar el nivel de voltaje entregado a la carga, el cual puede ser en pasos de 24 VDC a 48 VDC, o bien al inverso de 48 VDC a 24 VDC. El empleo de convertidores es exclusivo para las cargas minoritarias que no tienen opción de trabajar al nivel de voltaje entregado por los rectificadores. Es importante notar que un convertidor es visto como carga para un rectificador debido a que depende de estos y de las baterías para operar.

En estos sistemas ya sea solo de plantas de rectificación o híbridas (rectificadores y convertidores), las baterías juegan un papel fundamental, puesto que son las encargadas de suministrar energía a la carga conectada al sistema en caso de falla de todas las unidades de rectificación, o bien en caso de falla en el suministro de fluido eléctrico comercial, lo cual deja fuera de línea a los mismos.

### **1.2.2 Sistemas de Inversores**

Los sistemas de inversores son utilizados mayoritariamente en aplicaciones de centros de cómputo (Servidores), los cuales trabajan únicamente con voltaje de corriente alterna, por lo cual se tiene que la definición de un inversor es ser un dispositivo de conversión de voltaje DC a voltaje AC, por lo general pasando de 48 o 24 VDC a 120/240 VAC, lográndolo mediante técnicas de conmutación a alta frecuencia.

Los inversores por lo general se alimentan de equipo de rectificación independiente con su banco de baterías correspondiente, las cuales en caso de falla o bien en la ausencia de fluído eléctrico comercial proceden a suministrar la energía necesaria para el funcionamiento de cada inversor conectado.

El empleo de inversores se justifica también en aplicaciones donde se busca tener una señal de corriente alterna, sin armónicos, regulación y problemas de frecuencia, que por lo general son anomalías frecuentes dentro de la red eléctrica comercial.

### 1.2.3 Sistemas de UPS

Los sistemas de UPS son similares a los inversores, se utilizan ampliamente en centros de computo, cajeros automáticos y toda aplicación que requiera alimentación de corriente alterna. La diferencia principal con los inversores tiene que ver con la potencia a suministrar, puesto que un inversor se trabaja para alimentar cargas con limitado consumo de potencia, mientras que un UPS puede manejar desde cargas pequeñas de unos cuantos voltio-amperios hasta cargas considerablemente grandes de varios kVA. Los UPS tienen la limitación que no proveen un tiempo de respaldo tan grande como lo puede hacer un inversor debido a que este último esta conectado a un banco de baterías externo que puede ser de varios AH de mas capacidad que las baterías contenidas dentro del equipo de UPS. Los UPS por tanto se dimensionan en función de la carga a alimentar, se instalan en conjunto con un equipo de generación eléctrica de emergencia por lo cual el tiempo de respaldo es de varios minutos mientras se lleva cabo el arranque del motor y la transferencia automática de carga.

Estos equipos por estar conectados de forma directa a la red eléctrica comercial poseen sistemas de filtrado de señal y de control de la calidad del voltaje de entrada, el cual si es de mala calidad fuerza a que el dispositivo empiece a trabajar con las baterías internas para garantizar una salida de voltaje limpia de perturbaciones para la carga conectada.

## **2. PROBLEMÁTICA DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LOS BANCOS DE BATERÍAS**

En el capítulo anterior se explico de manera detallada el funcionamiento interno de toda batería de plomo ácido en los dos tipos existentes húmedas y selladas, sus componentes internos, interacciones químicas y las aplicaciones que estas tienen dentro de la industria de las telecomunicaciones. Se tocaron las ventajas y desventajas de una tecnología frente a la otra y se enfatizo que el mayor beneficio de las baterías selladas es su bajo porcentaje de mantenimiento a lo largo de su vida útil, sin embargo es claro que estos dispositivos necesitan de rutinas de mantenimiento e inspección al menos una vez cada cierto periodo de tiempo con el propósito de detectar posibles problemas que incidan sobre la vida útil esperada, o bien sobre el modo de desempeño que estas tienen al momento de cumplir con su función de suministrar energía durante situaciones de emergencia.

Por lo expuesto anteriormente es que en este capítulo se va a tocar todo lo relacionado a la operación y mantenimiento de baterías, así como también se va a analizar los problemas típicos que se presentan a lo largo de su vida útil, su diagnostico y las acciones correctivas necesarias a tomar en caso de existir alternativa de recuperación.

## **2.1 Tipificación de fallas en bancos de baterías**

A continuación se detallan los problemas y las posibles causas que afectan la operación adecuada de los bancos de baterías, es importante señalar a manera de adelanto que las condiciones ambientales, configuración y emplazamiento juegan un papel relevante en la operación y vida útil esperada de un banco.

Adicionalmente se describirá las pruebas y mediciones tradicionales que datan de mediados de siglo pasado y hasta el día de hoy son utilizadas en la industria para el diagnóstico y localización de fallas.

### **2.1.1 Sulfatación, inflamamiento y celdas con polaridad en reversa**

Los bancos de baterías de plomo ácido al no mantener sus condiciones de operación recomendadas por el fabricante en cuanto a los aspectos de temperatura de operación, voltaje de flotación, descargas profundas y recarga no controlada provoca una serie de daños internos que evidencian sus efectos en el transcurso del tiempo, siendo estos una clara señal de la degradación y un criterio de selección para sustitución y desecho.

Las señales de degradación a considerar al momento de la revisión rutinaria de un banco de baterías son las siguientes: presencia de sulfatación en las terminales, inflamamiento o abultamiento del recipiente contenedor de la batería, y elementos con polaridad en reversa, lo cual regularmente se manifiesta con un temperatura elevada en al superficie de la misma. La presencia de estos síntomas por lo general están asociados de forma común al incremento de la temperatura interna de los elementos, o bien a un historial acumulativo de llevar a las baterías a un nivel de voltaje de descarga mas allá

del límite especificado. Finalmente de manera aclaratoria cabe agregar que la presencia de uno de estos efectos no implica la manifestación de cualquiera de los otros dos, siendo entonces posible encontrarlos individualmente o bien en combinación. A continuación se hace una descripción de cada uno de ellos:

#### 1. Sulfatación:

La sulfatación es producto de realizar una recarga no controlada luego que una batería ha tenido un periodo de descarga prolongado, lo cual generalmente se da en dos formas: voltaje de recarga demasiado elevado o bien una corriente de recarga no limitada lo cual en el caso de las baterías húmedas se aprecia físicamente por la aparición de cristales en las placas de plomo de la unidad, o bien por ebullición del electrolito (burbujeo) que por lo general mediante la corrección del voltaje de recarga y compensación de corriente se logra revertir.

En el caso de las baterías selladas, la sulfatación que se presenta en las terminales de la batería es producto de la fuga de electrolito, lo cual evidencia un daño serio y permanente en el elemento justificando entonces el cambio del mismo de forma puntual o inclusive del banco entero si aplica a más de uno.

#### 2. Inflamamiento:

El inflamamiento de las baterías es apreciable físicamente como la deformación del contenedor, lo cual se debe principalmente a las siguientes causas: crecimiento excesivo de las placas positivas del elemento; fenómeno que ocurre en las baterías húmedas y selladas. Otra causa es el acumulamiento excesivo de gases dentro de una batería, tipo sellada, por electrolisis a causa de una carga no adecuada.



En el caso del crecimiento de las placas positivas en baterías húmedas se debe verificar la inexistencia de rajaduras del contenedor, esto como producto de la presión de las mismas con las paredes del mismo, por lo cual es posible que las rajaduras sean tan significativas que provoquen fuga y en consecuencia derrames.

Para el caso de las baterías selladas, de forma similar a las anteriores el inflamamiento es indicativo de un posible crecimiento anormal de placas positivas, con lo que existe un riesgo fuerte de fuga de electrolito, el cual por la construcción de este tipo de elementos implica realizar el cambio de la unidad de forma inminente.

En cuanto al inflamamiento de baterías secas por causa de acumulamiento de gases es importante recalcar la necesidad de realizar el cambio de forma inmediata debido al riesgo de explosión que esto implica. Finalmente es importante mencionar que el crecimiento de las placas positivas se puede llevar a cabo tanto en el plano horizontal como vertical, siendo este último apreciable en el levantamiento de la tapadera de las baterías para el caso de las de tipo húmedo, y en inflamamiento hacia el lado de las terminales de conexión en las baterías de tipo seco. A continuación se ilustra en la figura 10 fotografía de lo sucedido a un banco de baterías a consecuencia de una sobrecarga, inflamamiento y mala atención al problema.

**Figura 10. Efectos de sobrecarga e inflamamiento de bancos de baterías**



### 3. Celdas con polaridad revertida:

El fenómeno de las baterías de celdas con polaridad revertida o en reversa se presenta cuando la misma se expone a una descarga profunda mas allá del voltaje final especificado por el fabricante. Con esto se produce una degradación significativa que al someter a dicho elemento al voltaje de recarga no llega a restituir sus condiciones iniciales debido a que sus celdas componentes internas se ponen en corto circuito por la degradación de los separadores y rejillas, lo cual con el tiempo provoca sobrecalentamiento del elemento completo e inclusive esta condición constituye un riesgo bastante serio de incendio y explosión.

Es importante recalcar que una batería en corto circuito puede dañar completamente a un banco de respaldo completo, dado que en principio le quita su tiempo de respaldo especificado como consecuencia que la misma funciona como una carga para el resto de elementos constituyentes y al transcurrir un periodo de operación sin que esta condición sea corregida se tiene que varios elementos caerán en la misma tendencia logrando un banco completamente inoperativo. En la figura 11 se aprecia los efectos de explosión del contenedor de una batería tipo sellada como consecuencia de la polaridad inversa.

**Figura 11. Efectos de batería con polaridad inversa**



En ocasiones muy particulares es posible revertir esta situación mediante la aplicación de una recarga lenta del elemento afectado por separado del resto de componentes del banco, sin embargo como recomendación se debe controlar de forma constante la temperatura interna y la corriente aplicada. Es de notar que si el elemento llega a recuperar su operatividad, este ya no cuenta con todo el periodo de vida útil especificado por el fabricante, por lo que lo aconsejable en este caso realizar el reemplazo del mismo a la primera oportunidad que se presente.

### **2.1.2 Condiciones de operación: flotación, descarga, recarga y tiempo de vida útil**

Todo fabricante de baterías garantiza el desempeño de sus productos en cuanto a capacidad de respaldo en horas tomando como base la corriente demandada por parte de la carga. Usualmente las capacidades máximas de entrega de corriente de un banco de baterías se expresa a un tiempo de descarga de 8 o 10 horas, lo cual constituye el criterio de selección para los modelos y tamaños que dicho fabricante ofrece al mercado consumidor.

Es importante remarcar que absolutamente todos los fabricantes enfatizan que el desempeño de las baterías durante el periodo de descarga es función directa de mantener a todos los elementos del banco a una temperatura constante y estable, la cual usualmente es de 25°C y expresa de forma detallada la tolerancia sobre este valor nominal, así como también los factores de corrección para el ajuste del voltaje de flotación hasta un límite permisible máximo de operación, cuando la temperatura definitivamente supera esta tolerancia.

Todo fabricante en sus hojas de especificaciones de producto o bien en los manuales de operación indica lo siguiente:

1. Capacidad de respaldo expresada en Amp-Hr, a un tiempo base de 8 o 10 hrs.
2. Voltaje de flotación para recarga y mantenimiento del elemento. Este voltaje esta expresado por lo general con una tolerancia de +/- cierta cantidad de voltios, la cual no debe ser sobrepasada por ningún motivo.
3. Temperatura nominal de operación expresada en °C, al mismo tiempo también se entrega una tabla o gráfico de compensación de la flotación cuando la temperatura ambiente del recinto que alberga el banco de baterías difiere de la nominal en un grado limitado. En base a esta tabla o grafico se ajusta la flotación al nivel recomendado para cada caso particular.
4. Recomendación de voltaje de recarga rápida o "Boost Voltage". Por voltaje de recarga rápida de una batería se refiere a que es posible recargar baterías de una manera mas rápida en pocas horas mediante la elevación considerable del voltaje aplicado en sus terminales, por ejemplo si el voltaje recomendado de flotación es de 27 V DC, el voltaje de recomendado de recarga rápida puede estar alrededor de los 29 V DC. A pesar de lo anterior es casi una norma general que el voltaje de recarga rápida esta contraindicado para las baterías selladas y los fabricantes dejan esto debidamente claro en las especificaciones, indicando que de aplicar esta medida se pone en riesgo el tiempo de vida útil del banco, así como también lo deja fuera del periodo de garantía contra defectos de fabricación.

5. Tiempo de vida útil: todo fabricante indica de forma clara la vida útil que garantiza por cada elemento. En el caso de las baterías húmedas se tiene un promedio de vida útil de 70 años y para las baterías selladas este se encuentra alrededor de 20 o 25 años, sin embargo el factor determinante sobre el cual un fabricante garantiza este tiempo esta en función de la temperatura ambiente máxima a la que se ven expuestas sus baterías, por lo cual presenta un cuadro en el cual declara las penalizaciones sobre este tiempo al momento de sobrepasar los limites. En la figura 12 se muestra un extracto de una manual de operación de un banco de baterías modelo Unigy II del fabricante americano Lucent Technologies, en el cual se aprecia que el tiempo de vida útil garantizado, y los factores que van en detrimento de este periodo estipulado.

**Figura 12. Ejemplo de tabla de vida útil**

**Table 12-A: New Product Warranty Periods and Conditions**

<b>Warranted Life</b>	<b>Annual Average of Daily Maximum Battery Temperature (see Note)</b>	<b>Full Replacement</b>	<b>Pro-Rata Replacement</b>
20 years	77°F (25°C)	2 years	18 years
10 years	90°F (32°C)	1 year	9 years
4 years	110°F (43°C)	0	4 years
1 year	122°F (50°C)	0	1 year

Note: Operating the Unigy® II battery for any length of time above 77°F (25°C) will result in reduced performance and premature failure. The battery may operate for a short period of time between 51°C and 65°C; however, operation or storage for any length of time above 122°F (50°C) will void the product warranty.

### **2.1.3 Rutinas tradicionales para la verificación de bancos de baterías**

Este trabajo esta enfocado en presentar la verificación del estado operativo de un banco de baterías mediante un método relativamente nuevo en la industria que se basa en la utilización de equipo de medición capaz de medir los parámetros de resistencia interna de cada uno de los elementos componentes del mismo, aprovechándose que la resistencia interna de una batería esta relacionada con la capacidad de respaldo, volviéndose el registro de este valor en un indicador del estado operativo tanto al momento de estar en flotación como en descarga, pero se aclara desde ya que esta relación no es del todo lineal e implica que este método es lo suficientemente bueno para dar una indicación de alarma que el banco se ha degradado a un punto en el cual puede presentar un desempeño deficiente al momento de requerirse su tiempo de respaldo total. Se aclara también que de querer conocer su capacidad real de respaldo en horas se debe proceder a utilizar los métodos convencionales de medición y descarga, los cuales como se ha dicho en el capítulo anterior son costosos y elaborados, pero veraces en sus resultados, contrario a la medición de resistencia interna que constituye una herramienta de diagnóstico eficiente, pero por motivo de la no linealidad de la relación entre variables no puede ser considerado un elemento de estimación de capacidad en horas de respaldo.

Por lo expuesto anteriormente es que se hace necesario presentar los métodos tradicionales de medición de baterías vigentes en la industria de las telecomunicaciones, dada la importancia de conocerles bien para poder realizar una discriminación adecuada de lo encontrado con el equipo de medición de resistencia interna.

En su orden de importancia se tiene que los métodos o formas de verificación del estado operativo de una baterías consiste en: medición de voltaje de flotación, medición de temperatura, densidad (únicamente en baterías húmedas), y finalmente la realización de descarga controlada para comprobar la capacidad de respaldo remanente en el banco.

- Mediciones de Voltaje:

Dentro toda rutina de mantenimiento para bancos de baterías debe existir la medición del voltaje de flotación de cada batería componente del mismo, tomando como base los parámetros de tolerancia de cada fabricante. Generalmente en el caso de las baterías de 2 VDC, el voltaje de flotación nominal esta alrededor de los 2.25VDC con una tolerancia de +/- 0.05 VDC, y en el caso de las baterías de 12 VDC el voltaje de flotación se encuentra alrededor de los 13.62 DC con una tolerancia de +/- 0.06 VDC, sin embargo se recalca que lo anterior es una generalización en caso de no tener la informacion técnica de los elementos, pero es recomendable que para cada caso puntual se deba consultar las especificaciones de cada equipo instalado.

Al momento de ejecutar las mediciones es importante tomar en cuenta que las mediciones de flotación preferentemente se deben tomar con el banco de baterías completamente aislado tanto de la carga como de los rectificadores, esto comúnmente se lleva a cabo mediante la apertura del contactor de desconexión por bajo voltaje (denominado en la mayoría de equipos de rectificación como "LVD" por sus siglas en ingles), cuya función es la de proteger al mismo al momento de llegar al nivel de voltaje de descarga programado como voltaje final.



En la práctica se tiene que el nivel de desconexión por bajo voltaje en los sistemas de 24 VDC esta ajustado a los 22 VDC, y en los sistemas de 48 VDC esta ajustado a los 42 VDC (Notar que las flotaciones son de 27 VDC y 54 VDC respectivamente). Metrológicamente hablando es indispensable que el voltímetro a utilizar tenga la suficiente resolución para medir con precisión el rango de variación del nivel nominal de flotación contra el valor obtenido en la lectura del aparato con relación a la tolerancia expresada por las especificaciones de las baterías.

- Mediciones de temperatura y densidad:

La parte de medición de la temperatura y densidad del electrolito en un banco de baterías aplica en la actualidad casi en su totalidad a los bancos de baterías húmedas. Para las baterías selladas únicamente se limita a la medición de temperatura durante su operación para monitorear que no existan problemas de carga no controlada o bien problemas internos dentro de cada batería.

Baterías húmedas:

En el caso de las baterías húmedas la medición de los parámetros de temperatura y densidad del electrolito son básicos y necesarios para la determinación del estado operativo de cada elemento de un banco. La densidad del electrolito es parámetro que define el estado de carga en que se encuentra una batería, recordemos del capítulo anterior que mientras una batería se descarga en el electrolito existe una transformación de ácido sulfúrico a agua desmineralizada por lo cual el valor de la densidad relativa es cercano a la unidad.

De forma inversa cuando se presenta un grado de acidez muy superior al valor nominal al cual el fabricante recomienda en el electrolito se tiene que existe una condición de sobrecarga sobre el elemento pudiendo llegar al punto de sulfatación, el cual no es mas que la aparición de cristales y acumulación en las placas componentes del elemento y en grados avanzados aparece en las terminales de la batería. El problema de la aparición y acumulación de la sulfatación es que si la misma aumenta de forma descontrolada dentro de las placas componentes de un elemento se puede llegar a poner celdas dentro de la batería en corto circuito, provocando entonces la degradación de un banco entero.

Para la medición del parámetro de densidad se debe emplear un hidrómetro, el cual es un dispositivo que mide la gravedad específica de los líquidos. Por gravedad específica se entiende la relación de la densidad del electrolito vrs la densidad del agua (cuyo valor en el SI de  $1000 \text{ Kg/m}^3$ ), de lo cual se entiende que si el electrolito tiene una densidad muy cercana a la del agua la relación arrojará un valor cercano a la unidad, y al estar el electrolito en estado de ácido sulfúrico el valor será superior a la unidad. En otras palabras la gravedad específica se encuentra en un rango de 1.2 a 1.22 para las baterías húmedas en estado de carga. Es importante también exponer que la gravedad específica varía de forma inversa con los cambios de temperatura en el electrolito, por lo cual es necesario utilizar un termómetro para monitorear la misma y realizar los ajustes necesarios de acuerdo a las mediciones realizadas con el hidrómetro. Por lo general se debe adicionar 0.001 a la medición de gravedad específica por cada 3 grados Fahrenheit sobre la temperatura de referencia de 77 grados que presenta el fabricante de las baterías (todos lo fabricantes emplean este valor), y de forma inversa, se debe sustraer 0.001 por cada 3 grados por debajo de la temperatura de referencia.

Usualmente los Termómetros fabricados para estas mediciones traen una tabla de compensación que automáticamente indica el valor a adicionar o sustraer con relación a lo medido con el hidrómetro.

#### Baterías selladas:

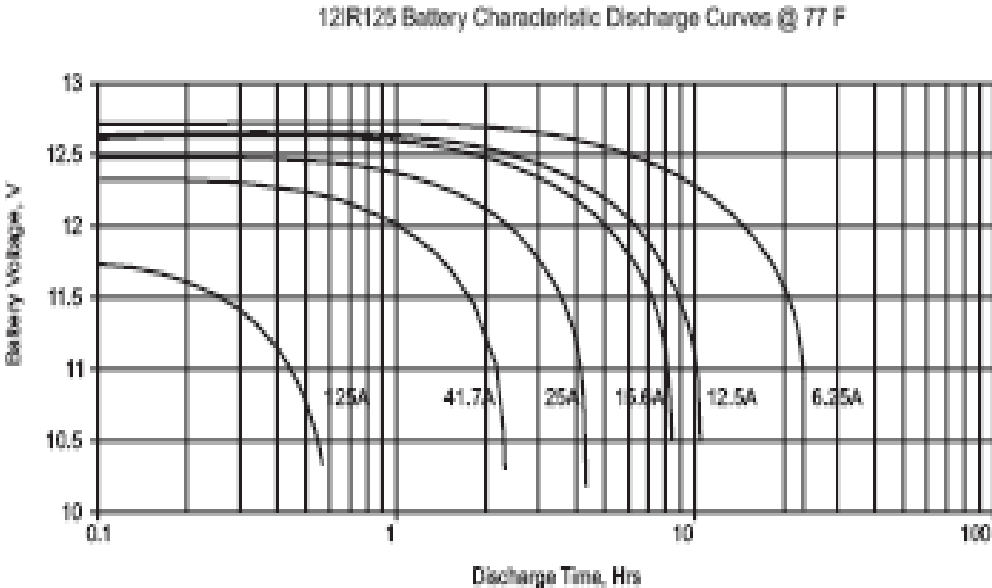
Tal como se menciona en el inicio de esta sección, con las baterías selladas únicamente se debe llevar un monitoreo de la temperatura interna del elemento para lo cual se utiliza un termómetro infrarrojo digital que tome la medida, haciéndolo sobre la terminal positiva de cada batería comparándolo contra las especificaciones del fabricante.

#### - Prueba de descarga de baterías

Todo banco de baterías se selecciona de acuerdo a la corriente demandada por la carga a conectar, cada fabricante expresa la capacidad de sus baterías en Amp-Hr y por lo general el dato lo entrega a una tasa de descarga de 8 o 10 Hr sin embargo este dato es nominal y no existe un modelo específico para cada demanda de carga por lo cual se hace necesario seleccionar el modelo con la capacidad de horas de respaldo que mas se ajuste a las necesidades del emplazamiento a proteger. Una vez superada la etapa de dimensionamiento, selección y montaje viene la etapa de puesta en marcha del equipo seguida por las rutinas de mantenimiento durante el tiempo de vida útil. En esta última etapa se hace necesario utilizar la información proveída por el fabricante con relación a las rutinas de mantenimiento, parámetros de medición del banco de baterías y lo mas importante que concierne a este apartado: las curvas de descarga.

Las curvas de descarga son un gráfico que contiene para la temperatura nominal de trabajo (Normalmente 77°F), la variación de voltaje vrs las horas de respaldo para cada batería componente del banco de baterías. Dentro de cada grafico existen varias curvas normalizadas cuya diferencia radica en que cada una de ellas representa un valor de corriente al cual se realiza la descarga del elemento. En la figura 13 se muestra un ejemplo de gráfico de descarga típico de una batería.

**Figura 13. Ejemplo de curva de descarga**



Es en base a las curvas de descarga que se realizan las pruebas de puesta en servicio de un banco de baterías, así como posteriormente las pruebas de verificación del estado operativo de los elementos de un banco de baterías durante el período de vida útil como rutina eventual de mantenimiento preventivo.

La mecánica empleada para la realización de las pruebas consiste en seleccionar la curva que mas se adopta a las condiciones de descarga a las cuales se someterá el banco en mención, posteriormente se conecta al banco la carga resistiva que será la encargada de disipar energía manteniendo la corriente de descarga a un nivel constante. Por otra parte una vez iniciado el período de descarga del banco se procede a tomar mediciones de voltaje y temperatura cada 10 minutos, esto con el objeto de poder realizar un grafico que reproduzca la curva típica proporcionada por el fabricante para cada batería componente del banco. Con este método anteriormente descrito es posible descartar de forma particular todo aquel elemento que no tenga un desempeño adecuado según los parámetros de funcionamiento dados por el fabricante en las hojas de especificaciones, o bien para descartar elementos que se han degradado a lo largo de la vida útil del banco, sin embargo es importante notar que a pesar de la efectividad que presenta este método de medición de baterías se puede apreciar claramente que el mismo implica una fuerte inversión de tiempo y equipo para llevarlo a cabo de una manera adecuada, sin contar que también implica llevar al banco a una descarga profunda que impacta el tiempo de vida útil del mismo.

### **3. DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO DE MEDICIÓN DE RESISTENCIA INTERNA DE BATERÍAS**

En los capítulos anteriores se explico el funcionamiento interno de las baterías, parámetros generales y rutinas de mantenimiento tradicionales para determinar el desempeño de las mismas, se hizo énfasis en las descargas controladas para monitorear si el banco de baterías bajo diagnóstico estaba o no en las condiciones optimas de operación, para esto valiéndose de la curvas de descarga suministradas por el fabricante. Esta ultima rutina constituye la prueba mas real y confiable para el diagnóstico de un banco de baterías, sin embargo también se hablo que la misma constituye tiempo, riesgo a la continuidad del servicio y costos operativos elevados máxime si dichas pruebas se planifican para ejecutarse en la totalidad de elementos de red de una empresa de telecomunicaciones. En la actualidad existen diversos en equipos que realizan la tarea de realizar la prueba de descarga de baterías de una forma completamente automatizada mediante el empleo de sondas y programas de software especialmente construidos para efectuar la tarea, sin embargo el precio de estos equipos es sumamente alto y aun así no se minimiza en ningún momento el tiempo a invertir en la conexión del aparato y la colección de medidas por parte de un técnico operador en sitio y al final de igual forma se mantiene el riesgo que conlleva para la continuidad del servicio realizar pruebas de este tipo sobre un banco en servicio. Sumado a lo anterior se debe colocar el tiempo dedicado a la interpretación de resultados lo cual también constituye un problema por el hecho que la especialización del perito en cuestión tiene un costo superior al de usar un técnico de bajo nivel que lleve a cabo la ejecución de la prueba de la forma tradicional.

En este capítulo se centrara el esfuerzo en explicar la medición de la resistencia interna, explicando la importancia de este parámetro como criterio de diagnóstico sobre la funcionalidad de un elemento particular o bien sobre un banco de baterías completo. Esta medición es una alternativa de medición bastante rentable y eficiente, tanto desde el punto de vista económico, la sencillez de la conexión del aparato de medición y el tiempo a invertir para la toma de datos.

La resistencia interna de una batería esta íntimamente ligada con su capacidad de respaldo, convirtiéndose entonces en un parámetro válido de evaluación para determinar el desempeño que tendrá la misma durante una descarga, sin embargo esto no significa que sea un factor discriminativo determinante dado que la relación de resistencia – capacidad no es del todo lineal pero el medirla constituye una acción preventiva de gran valor y eficacia principalmente porque en la industria de baterías se tiene ampliamente aceptado como hecho práctico que una reducción en la capacidad de respaldo (expresada en AH) a un valor inferior al 80% de su valor nominal de placa es sinónimo de un deterioro acelerado del elemento que por lo general hace inminente la necesidad de reemplazo. Valiéndose de este hecho práctico es que se justifica la medición de resistencia interna como mecanismo de alerta y control de capacidad y si en algún momento llegase a existir duda razonable sobre la verdadera capacidad disponible del elemento o bien de un banco completo, se procede a ejecutar una descarga controlada de acuerdo al método tradicional ya descrito. Es importante también el resaltar que de acuerdo a los expertos en la materia y sus resultados obtenidos en sus pruebas de campo un incremento en el valor de la resistencia interna de un 25% sobre el valor nominal conocido para cualquier tipo de batería implica que la misma falla una prueba de descarga profunda.

Por lo expuesto en los párrafos anteriores es que para controlar el desempeño de un banco de baterías mediante el método de mediciones de resistencia interna se exige realizar las mismas de forma periódica, con el objeto de llevar registro de tales variaciones. Idealmente este proceso se debería realizar 4 veces por año y de esta forma tener elementos de juicio suficientes para realizar un reemplazo en el momento propicio de los elementos que lo ameriten, o bien realizar una programación de pruebas más categóricas para diagnóstico tal como lo es una secuencia de descarga controlada.

### **3.1 Descripción del instrumento de diagnóstico**

La medición de la resistencia interna de una batería requiere de la utilización de un equipo que tenga la resolución necesaria para lograr una lectura adecuada de este valor, y sobre todo que también ofrezca un mecanismo sencillo y práctico de toma de medida. (Por resolución en la medida se entiende que es la capacidad que tiene un dispositivo de medición de registrar un valor suficientemente pequeño en su medida con la fiabilidad que dicho valor es lo suficientemente cercano al valor real).

En lo que respecta a la resolución de la medida se debe enfocar explícitamente sobre las mediciones obtenidas de voltaje y resistencia propiamente, lo cual implica que el valor de resistencia a registrar está en el rango de los micro ohmios y es de notar que mientras más grande sea la capacidad de una batería y sus dimensiones físicas menor será el valor medido. En cuanto a la parte del voltaje se tiene que las mediciones sobre este parámetro están en el rango de los milivoltios.



Un punto a ser tomado en cuenta en todo momento es que el equipo de medición debe ser compacto y completamente portátil debido principalmente a que el mismo se debe estar moviendo de un emplazamiento a otro para realizar las mediciones correspondientes, por otro lado también debe facilitar la operación del técnico que lo emplea y el tiempo entre toma sucesiva de medidas.

Para el presente trabajo de tesis se esta empleando el equipo CRT-300 CELLCORDER, de la compañía ALBERCORP, INC, el cual realiza la medición de la Resistencia interna de las baterías con todas las características de resolución necesarias en cuanto a voltaje y resistencia, el mismo se maneja en auto rango de acuerdo a las condiciones de medida en sus terminales. En otras palabras, el CRT-300 tiene 4 rangos de operación, y por ende 4 niveles de suministro de corriente de prueba para lo cual el fabricante proporciona la siguiente tabla de precisión, la cual se coloca aquí como figura 14:

**Figura 14. Tabla de precisión de Cellcorder 300**

**Accuracy**

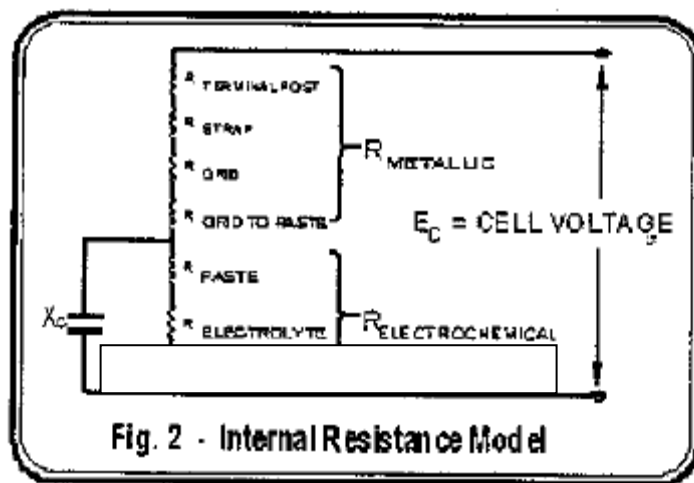
Input	Test Current	Resistance Resolution $\pm 0.1\%$ of reading	Voltage Resolution $\pm 0.1\%$ of reading	Intercell Range Resolution $\pm 1\%$ of reading
2V	60A	$\pm 5\mu\Omega$	$\pm 1\text{mV}$	$\pm 2\text{m}\Omega$
4V to 6V	25A to 35A	$\pm 25\mu\Omega$	$\pm 3\text{mV}$	$\pm 3.3\text{m}\Omega$
8V to 12V	15A to 20A	$\pm 75\mu\Omega$	$\pm 6\text{mV}$	$\pm 5\text{m}\Omega$
16V	5A	$\pm 400\mu\Omega$	$\pm 10\text{mV}$	$\pm 20\text{m}\Omega$

Finalmente es importante aclarar nuevamente que estos 4 rangos son auto ajustables por parte del aparato y no es necesario hacer ningún ajuste previo al equipo antes de iniciar a utilizarlo. Dichos cuatro rangos constituyen los 4 niveles de voltaje que tienen las baterías comercialmente en la industria de las telecomunicaciones.

### 3.2 Principios de operación y medición

El principio de medición de la resistencia interna de una batería se basa de forma teórica en que la corriente fluye a través de dos caminos dentro de la misma, los cuales son: camino electroquímico y camino metálico (óhmico). Para explicar mejor este concepto es que existe un circuito equivalente teórico para este flujo de corriente, como ya se dijo se divide en dos porciones o circuitos: óhmico, y electroquímico, los cuales se adicionan y forman el diagrama eléctrico siguiente que se muestra en la figura 15:

**Figura 15. Diagrama eléctrico teórico de flujo de corriente en una batería**



El circuito metálico u óhmico se constituye de la resistencia de los bornes, uniones de placas y rejillas internas de cada batería. Es en esta parte de componentes metálicos que el deterioro puede ocurrir rápidamente y pasar desapercibido por las rutinas convencionales de mantenimiento, e inclusive puede llegar a pasar desapercibido por las pruebas de capacidad mediante la descarga controlada, esto se debe principalmente a que los bornes y el material de interconexión de placas y rejillas están sujetos a corrosión. También otra causa son soldaduras de mala calidad que fallan al transcurrir del tiempo, con lo cual dejan celdas internas en circuito abierto y provocando la pérdida de capacidad o de voltaje.

El circuito electroquímico por su parte se constituye de la resistencia de los siguientes elementos: electrolito, pasta de la rejillas y los separadores.

En el diagrama de la figura 15 aparece una capacitancia  $C_p$ , la cual es el resultado inminente de tener un arreglo de placas paralelas con dieléctrico intermedio (Separadores). El valor de esta capacitancia por lo general esta en un rango de 1.3 a 1.7 faradios por cada 100 AH de capacidad de una batería. Es importante también hacer notar que la inductancia se ha omitido de este circuito equivalente por tener un valor despreciable debido a la frecuencia que se utiliza por los equipos de medición de hoy en día la cual es muy baja o bien inexistente. Si se observa detenidamente el circuito equivalente se puede apreciar que la existencia del capacitor  $C_p$  provoca una reactancia capacitiva  $X_c$  que se encuentra en paralelo con la resistencia  $R_E$  (La resistencia total del camino electroquímico), la cual afecta el valor total de la impedancia de este

segmento de acuerdo a la variaciones eléctricas en frecuencia que se produzcan para dicho circuito equivalente, esto debido a que por muy pequeña que sea esta frecuencia eléctrica no se puede negar el efecto del capacitor como en el caso de la inductancia dado que la impedancia capacitiva se define como  $X_c = 1/wC$ .

Al día de hoy existen los siguientes 2 métodos de medición de la resistencia interna de las baterías, ambos se basan en el circuito equivalente de la figura 15 previamente mostrado:

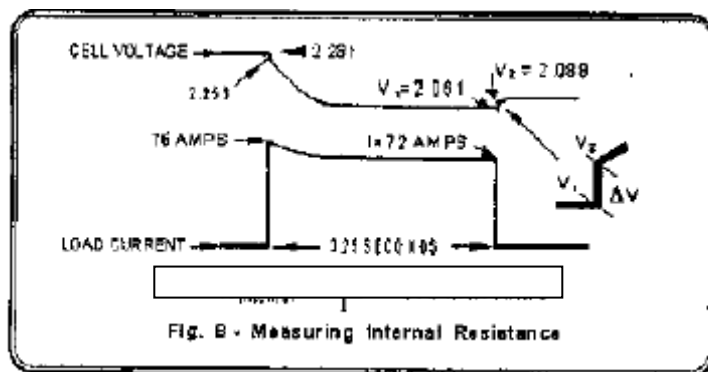
1. Inyección de corriente alterna (AC)
2. Prueba momentánea de descarga (DC)

Los instrumentos de medición que se basan en el método de medición de corriente alterna (AC) se conocen como medidores de impedancia o también como medidores de conductancia, debido a que los mismos aplican una señal de prueba AC a través de la batería para luego registrar el nivel de corriente y voltaje encontrado, lo cual sirve de base para calcular la relación  $V/I$  o impedancia del circuito. Esta impedancia varia con la frecuencia y el valor de la capacitancia  $X_c$ , la cual consecuentemente reduce el valor de  $R_E$ .

El mayor problema de los equipos de medición de resistencia interna de baterías mediante el uso del método de AC consiste en que en que las mediciones de las señales de corriente alterna son susceptibles a los voltajes de rizado de los rectificadores que cargan las baterías y otras fuentes de ruido que interfieren dentro del sistema bajo prueba con lo cual las mediciones obtenidas se ven seriamente afectadas provocando problemas de precisión y exactitud. Por su parte los instrumentos de medición de resistencia interna de

baterías que utilizan el método de DC se diferencian de los anteriores en que miden únicamente la resistencia del elemento mediante someter a la batería a una descarga momentánea, haciendo el aparato las veces de carga por un tiempo corto procediendo luego a medir el cambio instantáneo del nivel de voltaje en las terminales de la batería. Para comprender la forma en la cual trabaja este proceso, se presenta la figura 16 en la que se puede apreciar lo que sucede durante el instante en el cual sucede la descarga:

**Figura 16. Descarga instantánea CRT-300**



El equipo CRT-300 a utilizar en el desarrollo de la parte práctica del presente informe realiza una medición con el método de corriente directa, con el cual registra el voltaje justo antes de conectarse como carga y posteriormente registra el nivel de voltaje recuperado después de normalizar la condición de operación de la batería, con lo cual la resistencia medida se concreta en la relación  $R_{\text{batería}} = V/I$ . De forma general también se puede afirmar que en la actualidad los circuitos de conversión análogo – digital empleados en los equipos de medición, pueden registrar valores de DC ignorando por completo componentes en AC con lo cual permiten realizar mediciones con los elementos bajo prueba en servicio operativo, siendo las mismas independientes de las fuentes de ruido y con una confiabilidad bastante aceptable.

### **3.3 Parámetros para el análisis de los resultados de las mediciones**

El análisis de los resultados obtenidos con las mediciones de resistencia interna es una tarea relativamente sencilla siempre y cuando se conozca el manejo básico del equipo a utilizar para realizar la medición así como también el método que este dispositivo utiliza para realizarla. El punto mas importante para la fiabilidad de la toma de mediciones es la forma de realizar las conexiones para medir cada elemento de los bancos de baterías a comprobar, esto debido a que una mala conexión puede resultar en un mal diagnóstico o bien en una medición con desviaciones significativas.

En la actualidad los equipos de medición son bastante completos en cuanto a que almacenan los resultados obtenidos en una base de datos interna la cual posteriormente se puede transferir a un ordenador para su posterior post procesamiento consistente en graficar o comparar contra resultados de meses anteriores.

En cuanto a la parte del conocimiento del equipo de medición se puede indicar que cada fabricante proporciona un manual de usuario del equipo así como también es aconsejable tener al alcance el manual de operación de las baterías a evaluar, y en su defecto, como mínimo las hojas de especificaciones del producto para poder realizar todos los ajustes correspondientes al equipo de medición que mejor coincidan con las características de las mismas.

Para el caso particular del funcionamiento del equipo CRT-300 se tiene que previo a realizar la medición de resistencia interna se registra el nivel de voltaje de flotación del elemento a medir, luego auto ajusta el rango interno de medición de acuerdo con el voltaje leído y se procede a conectar una resistencia sobre la cual circulara la corriente de ensayo, la cual oscila entre 5 a 60 Amperios en función del voltaje encontrado para cada elemento (1 a 16 V).

Finalmente el aparato calcula la resistencia interna y las resistencias de interconexión de la batería bajo prueba y despliega el resultado en pantalla. Esto se muestra desplegado en pantalla como Resistencia interna del elemento ( $R_C$ ) y como Resistencia de interconexión ( $R_{IC}$ ), resultados los cuales se guardan en memoria para luego ser bajados en formato de tabla de Excel a un ordenador para su posterior procesamiento y análisis. Es importante también mencionar que los resultados desplegados por el CRT-300 para las resistencias internas y de interconexión están expresados en el rango de los micro-ohmios con el objeto de proporcionar una resolución adecuada de por lo menos 3 dígitos arriba de los valores de referencia de las resistencias internas de las hojas de especificaciones de los fabricantes, los cuales se limitan a expresar estos valores en el rango de los mili-ohmios con una resolución máxima de una décima. Para el caso de los voltajes de flotación el dispositivo expresa los datos en cualquiera de las 4 escalas que corresponda con una resolución de 3 dígitos o milésimas, dado que los fabricantes solo dan una resolución de 2 dígitos o centésimas para este parámetro.

#### **4. DOCUMENTACIÓN DE MEDICIONES Y RESULTADOS DE RESISTENCIA INTERNA EN 3 BANCOS DE BATERÍAS TÍPICOS DE UNA RED TELECOMUNICACIONES EN GUATEMALA**

En este último capítulo del presente trabajo de graduación se presentara de en la practica el empleo de la utilización de los parámetros de resistencia interna de un banco de baterías para determinar su estado operativo. Se realizara mediciones en bancos de baterías con el equipo CRT-300 en algunos sitios ubicados en una red de telecomunicaciones de la ciudad de Guatemala, específicamente en aplicaciones de respaldo para nodos de transmisión óptica y centrales de conmutación, con un tiempo de respaldo de aproximadamente 4 horas en ausencia de la red comercial. A pesar que el factor común de dichos bancos seleccionados radica en el tiempo de respaldo resulta que sus capacidades de manejo de corriente, técnicas de construcción y dimensiones varían ampliamente debido al tipo de carga que manejan.

Se pretende realizar mediciones sobre todas las tecnologías disponibles en el país en cuanto a construcción de bancos de baterías se refiere, siendo estas:

1. Baterías de alta capacidad de respaldo selladas valvulares para central de conmutación, de 2 VDC cada una, adicionadas en serie para formar un banco de 48 VDC.
2. Baterías de alta capacidad de respaldo de tipo húmedo para central de conmutación, de 2 VDC cada una, adicionadas en serie para forma un banco de 48 VDC.



3. Baterías de mediana capacidad de respaldo de tipo sellado para equipo de transmisión óptico, de 12 VDC a cada una, adicionadas en serie para formar un banco de 48 VDC.

Como consecuencia que dichos baterías están emplazadas en sitios de la ciudad de Guatemala se espera que las mismas se encuentren con valores muy cercanos a las especificaciones del fabricante al momento de su construcción puesto que las condiciones y la calidad de la energía eléctrica en esta área del país son sumamente estables y por lo general los cortes de energía no duran mas de 2 horas, con lo cual la única causa por la cual un banco de baterías puede tener desperfectos es debido a condiciones adversas de recarga o falta de mantenimiento, lo cual nos permitirá hacer una buena base para la utilización del equipo y el método que se presenta en este trabajo.

#### 4.1 Descripción del procedimiento de diagnóstico

El procedimiento de diagnóstico a realizar sobre los bancos de baterías a ensayar consiste en conectar el equipo CRT-300 a cada elemento constituyente del banco a probar. Para esto se tiene que el aparato consiste de 3 terminales en forma de lagarto, las cuales están designadas por color rojo, color negro y la tercera con menores dimensiones físicas que las anteriores bicolor rojo/negro. El diseño está dispuesto de esta forma por el fabricante debido a que el dispositivo toma medida de la resistencia interna (desplegado como  $R_c$ ) y de la resistencia de interconexión de terminales (desplegado como  $R_{ic}$ ) por separado valiéndose de estas 3 terminales, las cuales se deben conectar en un orden establecido variando de acuerdo al tipo de postes o bornes de las baterías a probar dentro del mercado dado que existen diversas formas de fabricación de bornes como fabricantes en la industria, sin embargo como norma general para asegurar una buena y adecuada toma de medida se debe colocar el lagarto del equipo de medición en contacto directo con el poste o borne evitando a toda costa el colocar el mismo en los pernos o tuercas de conexión.

La variedad de bornes en las baterías responde directamente a la necesidad de proporcionar configuraciones de instalación que permitan la optimización de espacio físico, y así como también se adiciona a esta condición la capacidad de manejo de corriente de la batería, ya que en ocasiones se necesitará más de un borne para un manejo adecuado con el propósito de evitar calentamiento innecesario y por ende un desgaste eléctrico sobre los elementos de interconexión. De lo anterior se tiene que existen baterías simples que tienen únicamente un par de terminales o bornes positivo o negativo, pero luego existen configuraciones que traen terminales o bornes duales, o bien las que tienen triple terminal de bornes positivos o negativos.

En la figura 17 se ejemplifica estas disposiciones de terminales o bornes para un fabricante particular, en este caso GNB con baterías húmedas, sin embargo como se ha dicho en el párrafo anterior es una situación que se presenta en absolutamente todos los fabricantes de baterías y como se puede observar el número de bornes responde a la capacidad de respaldo de las baterías y las diversas formas de configuración de instalación que esto permite con el objeto de optimizar espacio físico. Importante también notar que en esta figura se llega únicamente a bornes duales, dejando fuera los del tipo triple por ser también una combinación no muy frecuente en el mercado.

**Figura 17. Ejemplo de baterías húmedas del fabricante GNB con bornes simples y duales**



Es importante aclarar que en ningún momento se puede cometer errores de conexión del equipo de medición debido a que se procesara un dato erróneo por incluir factores ajenos al dispositivo bajo medida. La conexión se efectúa de la manera siguiente: bornes positivos conectados al terminal o lagarto color rojo, luego el terminal o lagarto negro en el borne positivo de la batería adyacente (lado mas negativo de la toma de medida), y finalmente el terminal o lagarto rojo/negro se coloca en el borne negativo de la batería bajo medición. Dichas conexiones se presentan de forma gráfica en la figura 18 para baterías de bornes sencillos, en la figura 19 para bornes duales y en la figure 20 para los casos de baterías con bornes triples.

**Figura 18. Conexión de terminales de medición del CRT-300 caso de bornes sencillos**

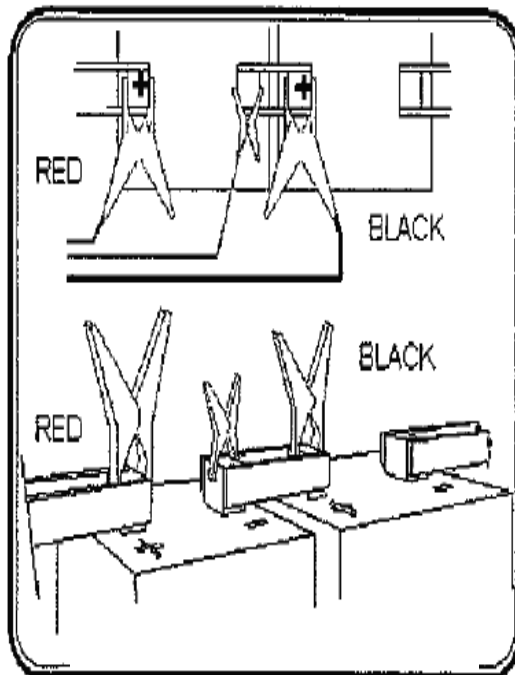


Figura 19. Conexión de terminales de medición del CRT-300 caso de bornes duales

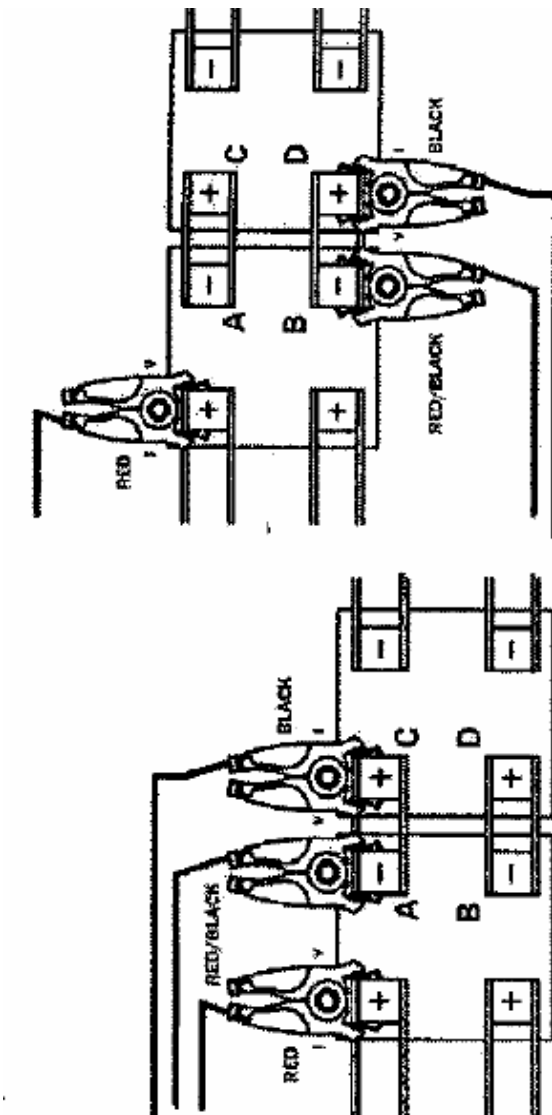
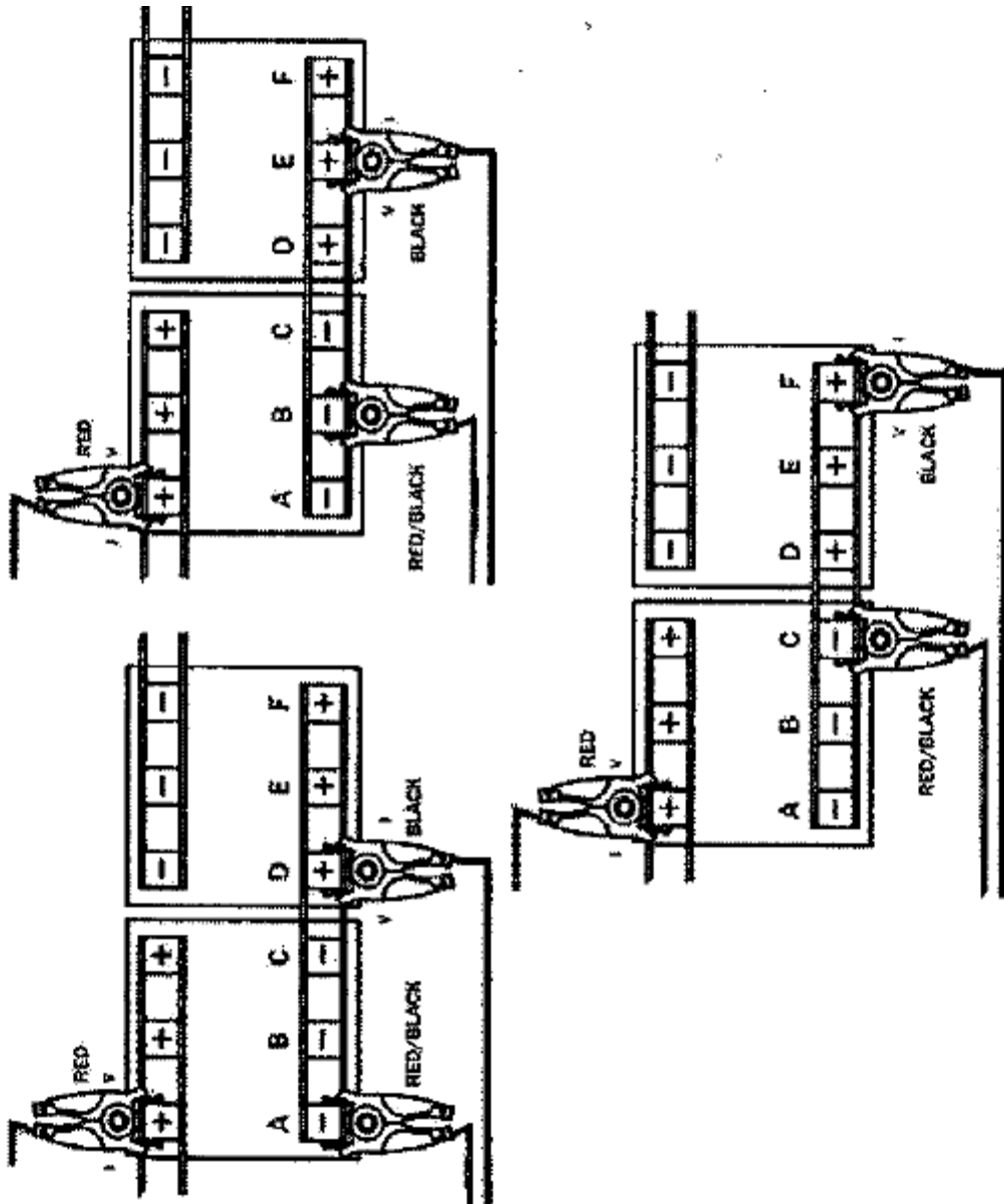


Figura 20. Conexión de terminales de medición del CRT-300 caso de bornes triples



Una vez el equipo este conectado adecuadamente se procede a configurarlo para que guarde en memoria los datos de las mediciones, iniciando por colocar el nombre designado del grupo de mediciones a realizar o bien a colocar el nombre del sitio sobre el cual se llevara la misma. Posteriormente se ingresan la cantidad de filas de baterías a probar, la cantidad de bancos que constituyen el sitio completo y será en este orden que se procederá a realizar las mediciones que automáticamente el equipo las ira registrando en la casilla de memoria correspondiente.

Al momento de medir, el aparato solicitara la conexión de sus terminales en la forma adecuada y según el orden estipulado en la parte de configuración, por cada medición a realizar sobre cada elemento se procederá a mover las 3 terminales a la posición correspondiente. Los resultados se van grabando en forma consecutiva de acuerdo a la configuración inicial preparada para el sitio bajo pruebas. Finalmente una vez concluídas las mediciones se puede verificar los resultados mirándolos en el aparato propiamente o bien exportarlos en formato de hoja electrónica hacia una computadora para mejor manejo e interpretación de la información.

## 4.2 Documentación de Resultados

### 4.2.1 Medición de baterías 90 AH selladas y de bornes sencillos

Para el ensayo del método de resistencia interna se utilizó en esta parte un banco de baterías de 90 AH el cual es fabricado por la empresa GNB bajo el nombre de producto Marathon, el aspecto físico de estas baterías se muestra en la figura 21.

**Figura 21. Aspecto físico de baterías selladas Marathon 90 AH**





Estas baterías son de tipo selladas con tecnología de AGM para el encapsulado del electrolito, lo cual le permite tener una eficiencia de recombinación del 99%, poseen una vida útil de diseño de 10 años siempre y cuando se cumpla con una temperatura ambiente promedio de 25°C. El contenedor de los materiales activos está realizado de polipropileno lo cual le permite la suficiente durabilidad mecánica necesaria para el tiempo de vida en cuestión. Estas baterías pueden ser instaladas en forma vertical o horizontal, lo cual les permite flexibilidad de emplazamiento. La aplicación específica es particular para el campo de las Telecomunicaciones, con lo cual ofrecen una solución de durabilidad y alta eficiencia.

En las figuras 22 y 23 se presentan las características de capacidad, flotación y valor de resistencia interna de fábrica de estos elementos. Se remarca que el modelo empleado de muestra en el presente trabajo de graduación es la batería Marathon M12V90.

**Figura 22. Características de capacidad de respaldo**

Model Number <sup>#</sup>	Voltage	Capacity (AH)		Nominal Dimensions						Nominal Weight	
		8 Hr To 1.75 VPC @ 25°C	10 hr To 1.80 VPC @ 20°C	Inches			Millimeters			lbs.	Kg
				A	B	*C	A	B	*C		
M12V30T <sup>5%</sup>	12	28	28	6.75	5.13	6.90	171	130	175	24	10.7
M12V40	12	40	37	7.81	6.58	7.01	198	167	178	39	17.8
M12V45F <sup>5%</sup>	12	46	45	8.68	4.78	9.58	220	121	243	38	17.5
M12V70	12	72	71	10.25	6.85	8.80	260	174	224	61	27.8
M12V90	12	90	88	12.05	6.85	8.80	306	174	224	72	32.8
M6V190	6	190	186	12.05	6.85	8.80	306	174	224	74	33.5

**Figura 23. Características de flotación y resistencia Interna**

**Float Voltage & Charging**

Constant Voltage charging is recommended  
 Recommended float voltage: 2.27 VPC @ 25°C (77°F)  
 Float Voltage Range: 2.25 to 2.30 VPC @ 25°C (77°F)  
 Equalize voltage: 2.35 VPC for 24 Hours

Model Number	Short Circuit Current (Amps)	Internal Resistance (mOhms)
M12V30T	1576	7.7
M12V40	2341	5.3
M12V45F	2162	5.4
M12V70	3271	3.7
M12V90	3365	3.7
M6V190	6343	1.0

Las Marathon M12V90 son utilizadas en las redes de telecomunicaciones de Guatemala para aplicaciones de respaldo en estaciones de energía de -48 VDC, las cuales típicamente alimentan cargas de equipos de multiplexión óptico, equipo de acceso y equipos de ruteo IP. Estas cargas tienen la característica que poseen un consumo en amperaje bastante bajo, típicamente alrededor de los 16 a los 25 Amperios por sitio. Los rectificadores típicos a emplear en las plantas de rectificación son unidades compactas de 1500 W cada uno, lo cual implica que a 48 VDC están en capacidad de proporcionar una corriente máxima de 31 amperios. Sin embargo a pesar que un solo rectificador esta en capacidad de mantener la carga eléctrica del equipamiento y recargar el banco de baterías, siempre se dimensiona la estación de manera redundante en una configuración 1 + 1, lo cual quiere decir que se instalan 2 rectificadores que comparten de igual manera el amperaje a suministrar, quedando siempre uno operativo a momento que llegase a fallar el otro. En esta última parte es importante recalcar que debido a esta repartición de carga entre estos 2 elementos es que se debe configurar la estación de energía con limitación de corriente de recarga, esto con el objeto de no dañar al banco de baterías por sobre corriente y provocar su deterioro anticipado.

La denominación de código M12V90 significa que cada batería maneja un voltaje nominal de 12 VDC y tiene una capacidad de 90 AH, con lo cual tenemos que para formar un banco de 48 VDC a 90 AH debemos emplear 4 unidades conectadas en serie, y para incrementar la capacidad en AH, debemos conectar en paralelo tantos bancos de 4 elementos como sea necesario para llegar a la capacidad de  $n \times 90$  AH. De lo anterior tenemos que para obtener una capacidad de respaldo de 180 AH, debemos colocar 2 bancos en paralelo. Cada M12V90 se compone de 6 placas en serie de 2 VDC nominales a ser cargadas a un voltaje nominal recomendado de fábrica de 2.27 VDC a 25°C de temperatura ambiente. Lo anterior está plasmado en las especificaciones de producto del fabricante, cuyos datos están reproducidos en este trabajo en la figura 23. Importante aclarar que debido a que la planta de rectificación para un banco no está en capacidad de lectura del voltaje de cada celda constitutiva de cada elemento del banco, y ni siquiera de un elemento en particular, se debe entonces multiplicar estos 2.27 VDC por las 6 celdas que la componen, obteniendo entonces un valor de flotación por cada batería de 13.62 VDC, y este valor a su vez se multiplica por las 4 baterías que construyen un banco de 90AH a 48 VDC, obteniendo finalmente un voltaje de flotación para ajustar en los rectificadores de 54.48 VDC.

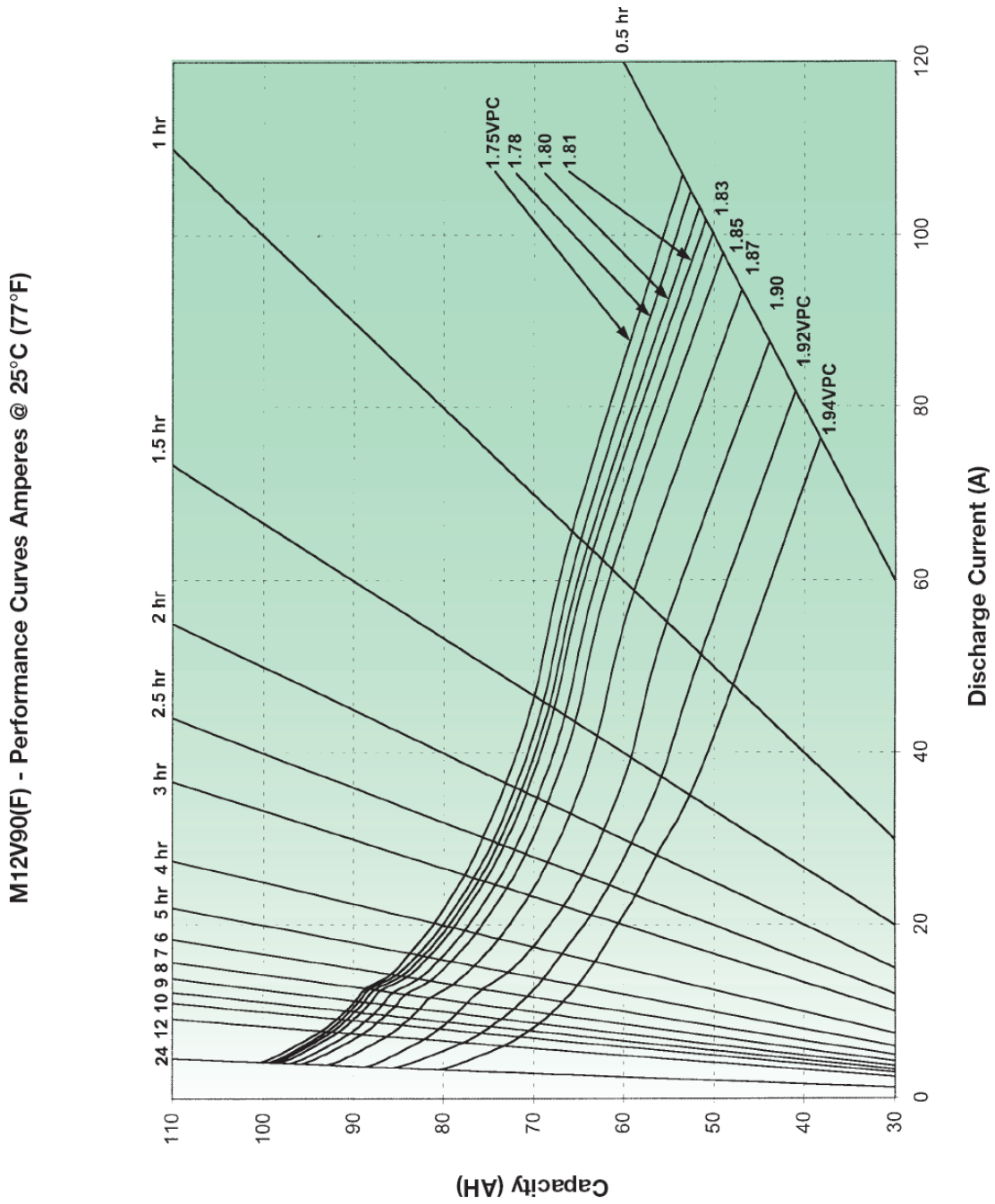
Tal como se dijo en los capítulos previos, una batería tiene por lo general un cuadro de capacidad de respaldo en horas dentro de sus especificaciones proporcionadas por el fabricante a diferentes amperajes de carga, lo cual se reproduce en este trabajo en la figura 24. Se debe notar que estos datos están dados para una temperatura ambiente de 25°C y un voltaje final de 1.75 VDC o de desconexión por LVD en la planta de 42 VDC.

**Figura 24. Cuadro de capacidad de respaldo para baterías M12V90**

	Model Number	Time														
		24 hr	12 hr	10 hr	9 hr	8 hr	7 hr	6 hr	5 hr	4 hr	3 hr	2.5 hr	2 hr	1.5 hr	1 hr	0.5 hr
	M12V30T	1.3	2.5	2.9	3.2	3.6	4.1	4.7	5.5	6.6	8.4	9.8	11.9	15.1	21.2	36.9
1.75	M12V40(F)	1.7	3.4	4.1	4.4	5.0	5.6	6.4	7.6	9.3	11.9	14.0	16.9	21.5	30.5	51.3
Final	M12V45F	2.1	4.0	4.7	5.2	5.8	6.5	7.5	8.7	10.6	13.5	15.8	19.1	24.0	33.2	57.8
VPC	M12V70(F)	3.2	6.2	7.4	8.2	9.1	10.1	11.6	13.4	16.2	20.6	24.0	28.9	36.8	51.6	90.8
	M12V90(F)	4.2	7.8	9.2	10.1	11.2	12.7	14.3	16.7	20.2	25.9	30.2	36.5	46.6	65.7	107.0
	M6V190(F)	9.1	16.6	19.5	21.4	23.7	26.7	30.6	35.9	43.7	56.0	65.6	79.5	102.0	144.9	246.0

De igual manera en la figura 25 se reproducen las curvas típicas de descarga del fabricante, para marco de referencia en el momento que se quiera llevar a cabo una descarga completa del banco, esto como mecanismo preventivo para determinar su estado operativo.

Figura 25. Curvas características de descarga M12V90



Los resultados obtenidos con el CRT-300 sobre las Marathon M12V90 de un banco de baterías de 180 AH se presentan en la figura 26. Cabe mencionar que se ha seleccionado un banco de baterías en operación que se ha encontrado defectuoso en cuanto a su capacidad de respaldo, el mismo tiene conectada una carga de 16 Amperios con lo cual debió durar un período de aproximadamente 11.25 horas, sin embargo el período obtenido durante una falla de red comercial ha sido inferior a 6 hrs.

**Figura 26. Tabla de resultados de resistencia interna M12V90**

Location Name								
Battery Name	1							
String Name	1							
Model number	Marathon M12V90							
Install Date:	7/9/2005							
High Voltage	19.543							
Low Voltage	0							
High Resistance	0							
Low Resistance	0							
High Intercell 1	16705							
High Intercell 2	0							
High Intercell 3	0							
High Intercell 4	0							
High Temperature	00000"F"							
Low Temperature	00320"F"							
High SG	0							
Low SG	0							
Cell	1	Float	12.217	iR	3802	icR1	818	icR2
Cell	2	Float	12.231	iR	4314	icR1	418	icR2
Cell	3	Float	12.214	iR	4053	icR1	866	icR2
Cell	4	Float	12.214	iR	3791	icR1	639	icR2
Cell	5	Float	12.257	iR	3675	icR1	1087	icR2
Cell	6	Float	12.238	iR	3679	icR1	562	icR2
Cell	7	Float	12.2	iR	3757	icR1	1024	icR2
Cell	8	Float	12.23	iR	3568	icR1	490	icR2

De los datos obtenidos en la figura 26 existen dos puntos a tomar en cuenta:

1. Todos los voltajes de flotación son inferiores a los 13.67 VDC recomendados por el fabricante.
2. Los valores de resistencia interna de las baterías 1, 2, 3, 4 y 7 exceden el valor de referencia de 3.7 mili-ohms estipulados por el fabricante. (Notar que las mediciones en la tabla están expresadas en micro-ohmios).
3. Los valores de la resistencia de interconexión de las baterías están claramente no uniformes, lo que implica pérdidas de voltaje innecesarias de un elemento a otro, así como también ineficiente transferencia de potencia, dado que de un segmento a otro se tiene disipación resistiva no uniforme.

De las dos observaciones anteriores se tiene que las baterías han fallado debido a que las mismas no han tenido una flotación adecuada, lo cual ha causado que las resistencias internas de las baterías hayan incrementado su valor con respecto al nominal, y por ende esto implica un deterioro en la capacidad de respaldo original provocando que al momento de una descarga se tenga el sitio menos tiempo de lo esperado. La Recomendación en este caso es proceder a realizar la sustitución de las baterías 1, 2, 3, 4 y 7. En cuanto a la parte del inciso 3, la recomendación es realizar cambio de las terminales de interconexión, así como también llevar a cabo un torqueo adecuado de terminales para asegurar la calidad de interconexión necesaria para obtener una resistencia de interconexión uniforme.

#### 4.2.2 Medición de baterías de 100 AH selladas valvulares de bornes dobles

En la presente sección se presentara los resultados obtenidos sobre la evaluación de un banco de baterías de 400 AH a 48 VDC compuesto por la adición de cuatro bancos en paralelo de 100 AH, cada uno compuestos a su vez por 4 baterías Deka Unigy I modelo 12AVR100-ET, las cuales se presentan en la figura 27.

Figura 27. Aspecto físico de baterías 100AH Deka Unigy I





Estas baterías son de tipo selladas valvulares de tecnología AGM para la retención del electrolito, tienen un voltaje nominal de 12 VDC y una vida útil de 10 años siempre y cuando se cumpla con la condición de mantener la temperatura de operación en 25°C. En la figura 28 se presentan las especificaciones técnicas de operación de las baterías 12AVR100-ET:

**Figura 28. Especificaciones baterías 12AVR100-3ET**

### **SPECIFICATIONS**

**Nominal Voltage:** 12-Volt

**Positive Plate:** Pure lead, low-calcium, high-tin alloy

**Negative Plate:** Lead calcium alloy

**Post Seal:** Epoxy-sealed

**Terminal:** Front access, 1/4" x 20 studs

**Container:** Flame-retardant, nonhalogenated polypropylene - UL 94 V0 / >28% L.O.I.

**Safety Vent:** Low positive pressure, self-sealing with flame arrestor

**Float Voltage:** 2.27 volts per cell  $\pm$  0.01 vpc (13.62 volts per 6-cell unit)

**Battery Life:** The design life for the 12AVR100-3ET battery is 10 years in float applications at 77°F/25°C

**Dimensions:** 20.13" L x 4.33" W x 9.38" H

**Weight:** 75 lbs.



QUALITY SYSTEM  
CERTIFIED TO  
**ISO 9001**  
**QS 9000**

En cuanto a la capacidad de respaldo que tiene este modelo de baterías se tiene el siguiente cuadro de referencia mostrado en la figura 29, para el cual se asume que el voltaje final de operación del dispositivo LVD de los rectificadores está ajustado a 42 VDC (Notar que cada batería se compone de 6 celdas de 2 VDC nominales cada una, por lo que se tiene que 1.75 VDC de voltaje final por celda resulta en 10.5 VDC de voltaje final por baterías, luego multiplicado por las 4 baterías que componen un banco queda el nivel de desconexión a ajustar en la planta de rectificación de 42 VDC).

**Figura 29. Cuadro de capacidad de respaldo baterías 12AVR100**

<b>A.H. CAPACITY PER BATTERY</b>										
Volts Per Cell (V.P.C.)	2 HR	3 HR	4 HR	5 HR	6 HR	8 HR	10 HR	12 HR	20 HR	24 HR
1.75	76.0	81.0	84.9	88.1	91.0	96.0	100.0	102.1	108.0	109.6
<b>DISCHARGE RATE IN AMPS</b>										
Volts Per Cell (V.P.C.)	2 HR	3 HR	4 HR	5 HR	6 HR	8 HR	10 HR	12 HR	20 HR	24 HR
1.75	38.0	27.0	21.2	17.6	15.2	12.0	10.00	8.51	5.40	4.57

Tal como se menciona al principio de esta sección se ha tomado este banco de baterías por tener características muy especiales en cuanto a su tamaño y la tecnología empleada en la construcción del mismo, dado que como se puede apreciar las dimensiones de cada elemento son bastante compactas con lo cual la huella de instalación es bastante reducida. La carga que alimenta este banco de baterías consiste en un central de conmutación de nueva generación, cuyas dimensiones comparadas con respecto a otras centrales fabricadas con 4 años de anterioridad resulta en un cambio dramático tanto en espacio físico ocupado como en consumo de energía. Para este caso particular se tiene que la carga demandada en corriente al sistema de rectificación es de 30 amperios, con lo cual se tiene un respaldo para aproximadamente 13 horas. El voltaje de flotación se tiene ajustado a 54.48 VDC, con lo cual se tiene que para cada batería se tiene un nivel particular de 13.62 VDC que esta acorde a las especificaciones del fabricante.

Con respecto a las mediciones del banco con el CRT-300 se tienen los resultados presentados en la figura 30.

**Figura 30. Resultados de mediciones CRT-300 sobre banco  
12AVR100**

Location Name							
Battery Name	1						
String Name	1						
Model number	UNYGY I 12AVR100						
Install Date:	7/9/2005						
High Voltage	19.543						
Low Voltage	0						
High Resistance	0						
Low Resistance	0						
High Intercell 1	0						
High Intercell 2	0						
High Intercell 3	0						
High Intercell 4	0						
High Temperature	00000"F"						
Low Temperature	00320"F"						
High SG	0						
Low SG	0						
Cell	1	Float	13.549	iR	34234	icR1	74
Cell	2	Float	11.535	iR	20631	icR1	109
Cell	3	Float	13.903	iR	65535	icR1	304
Cell	4	Float	14.987	iR	33000	icR1	202
Cell	5	Float	13.701	iR	5136	icR1	181
Cell	6	Float	13.682	iR	5006	icR1	71
Cell	7	Float	13.387	iR	5860	icR1	70
Cell	8	Float	13.388	iR	4645	icR1	92
Cell	9	Float	13.395	iR	9958	icR1	106
Cell	10	Float	13.468	iR	4862	icR1	75
Cell	11	Float	13.433	iR	5087	icR1	90
Cell	12	Float	13.686	iR	4985	icR1	193
Cell	13	Float	13.51	iR	4844	icR1	182
Cell	14	Float	13.506	iR	4941	icR1	117
Cell	15	Float	13.505	iR	5433	icR1	77
Cell	16	Float	13.504	iR	4928	icR1	89

De los datos obtenidos con el CRT-300 se tienen los siguientes puntos y observaciones:

1. Las baterías 2, 3 y 4 presentan voltajes de flotación completamente fuera de la especificación del fabricante de 13.62 VDC, lo cual indica que las mismas están con problemas de degradación interna.
2. Las resistencias internas de las 4 primeras baterías están completamente elevadas con respecto al resto de baterías que componen el banco, lo cual es un claro indicativo que existe una degradación de consideración, con lo cual se tiene que la recomendación para este caso particular es la sustitución de estos 4 elementos por completo.
3. El resto de elementos que componen el banco total deberán ser monitoreados constantemente con el objeto de verificar su nivel de resistencia interna y poder descartar cualquier elemento que este fuera de rango haciendo la sustitución correspondiente.

Ya en la práctica se ha encontrado que dicho banco de baterías no tiene la capacidad de respaldo para la cual fue diseñado y dimensionado, por lo cual se ha procedió a tomar la recomendación de eliminar las primeras cuatro baterías , reduciendo la capacidad total a 300AH mientras se adquieren los 4 elementos.

### 4.2.3 Medición de baterías de 4000 AH tipo húmedas y de bornes dobles

Para el ensayo de medición de resistencia en componentes de este tipo se utilizó baterías de 4000 AH fabricadas por la empresa C&D Technologies, las cuales tienen el aspecto físico que se muestra en la figura 31.

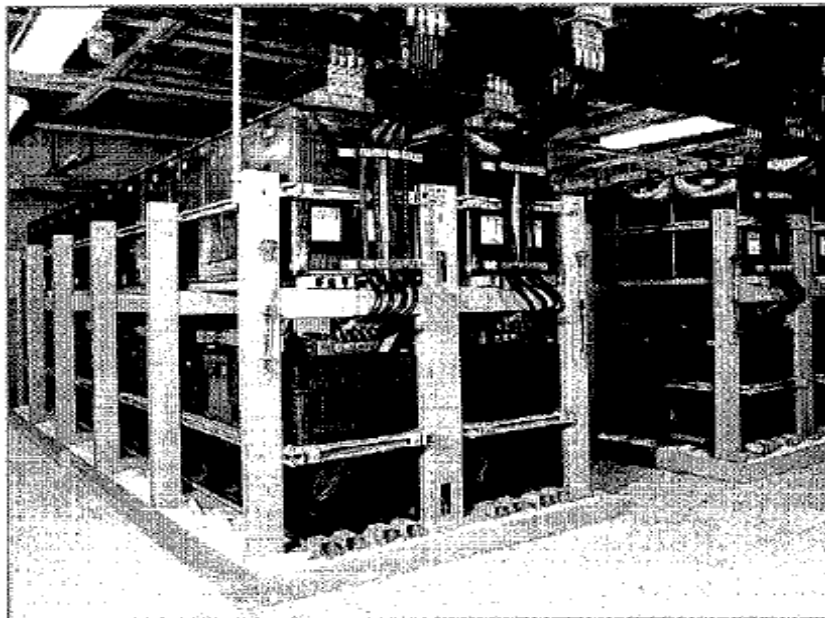
**Figura 31. Aspecto físico de batería de 4000 AH**



El modelo específico de la batería empleada es el MCTII-4000, el cual es un modelo que está optimizado para el uso específico en instalaciones de equipos de energía para telecomunicaciones, en aplicaciones de alta demanda de capacidad de respaldo.

El contenedor de las baterías es completamente transparente para permitir la inspección de los elementos que conforman cada unidad, las cuales se agrupan en 24 elementos de 2 VDC de voltaje nominal cada uno para formar un banco de un voltaje total de 48 VDC. La temperatura de operación recomendada por el fabricante es de 25°C, y es sumamente necesario garantizar la ventilación del recinto que las alberga por tratarse de baterías húmedas las cuales constantemente están arrojando gas al medio ambiente, por otro lado las mismas se deben instalar únicamente de forma vertical en un bastidor adecuado que cumpla con los requerimientos de eficiente uso del espacio y que al mismo tiempo proporcione un soporte mecánico adecuado para el manejo del peso de todos lo elementos apilados sobre el mismo. El emplazamiento típico de este tipo de baterías se muestra en la figura 32 a continuación.

**Figura 32. Fotografía de emplazamiento de baterías MCTII-4000**



Estas baterías tienen un voltaje de flotación variable según el estado de la gravedad específica de su electrolito, recordar que para este tipo de

elementos se debe controlar periódicamente la temperatura y la gravedad específica del mismo para asegurar que exista una adecuada recombinación, por lo tanto de acuerdo a las especificaciones dadas por el fabricante tenemos que para una gravedad específica de 1.215, debemos mantener el voltaje de flotación a un nivel entre 2.21 y 2.22 VDC para cada elemento, mientras que para una gravedad específica de 1.250 se debe tener el nivel de dicho voltaje entre 2.25 y 2.26 VDC. La temperatura por su parte se debe mantener a 25°C para que se mantenga la garantía y el período de vida especificado por el fabricante que es de 25 años promedio. En la figura 33 podemos apreciar las especificaciones de estas baterías de acuerdo a la documentación suministrada por el fabricante:

**Figura 33. Especificaciones técnicas de las baterías MCTII-4000**

**SPECIFICATIONS**

	Height	Width	Thickness
<b>Plates Positive</b>	18.75 in (476 mm)	12.80 in (325 mm)	.308 in (7.82 mm)
<b>Plates Negative</b>	18.75 in (476 mm)	12.80 in (325 mm)	.190 in (2.83 mm)
<b>Recommended Float Voltage</b>	2.21-2.22 @ 1.215 specific gravity; 2.25-2.26 @ 1.250 specific gravity		
<b>Electrolyte Height Above Plates</b>	3.55 in (90 mm)		
<b>Sediment Space</b>	1.25 in (32 mm)		
<b>Electrolyte at 77F (25C)</b>	Sulfuric Acid, 1.215 specific gravity nominal (Optional 1.250)		
<b>Container Choices (Transparent)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Thermoplastic (SAN)</li> <li>• High-impact, flame-retardant thermoplastic (PVC) Flammability ratings: UL94 V-0; LOI &gt; 33</li> <li>• High-impact, flame-retardant thermoplastic (polycarbonate)</li> </ul>		
<b>Container Support Cradle*</b>	High-impact, flame-retardant thermoplastic. Flammability rating: UL94 V-0; LOI > 28; ASTM D-635 self-extinguishing (*cradle provided as standard with SAN and PVC jars)		
<b>Cover</b>	High-impact, flame-retardant thermoplastic (PVC), with tongue-and-groove seal. Flammability ratings: UL94 V-0; LOI > 33; ASTM D-635 self-extinguishing		
<b>Separator</b>	Microporous rubber material		
<b>Retainer</b>	Fibrous glass mat		
<b>Safety Vent System</b>	Flame arrester type		
<b>Terminals</b>	Four 1.375 in (35 mm) square posts per cell		
<b>Electrolyte Withdrawal Tubes</b>	Two per cell		
<b>Intercell Connectors</b>	Lead-plated copper (Stainless steel hardware)		

En cuanto a la parte de la resistencia interna de estas baterías tenemos el siguiente cuadro presentado en la figura 34.

**Figura 34. Valores de resistencia interna baterías MCTII-4000**

**CELL SPECIFICATIONS**

Type of cell	Cells per unit	Plates per cell	Overall dimensions			Approx. wt. lbs (kgs)		Gal. (Liters)	Electrolyte	Internal Resistance **
			L in (mm)	W in (mm)	H in (mm)	Net filled	Dom. packed	Electrolyte per cell	Weight per Cell*	
MCTII-3000	1	31	15.19 (386)	17.32 (440)	28.9 (735)	635 (289)	653 (296)	19 (72)	190 (87)	.000100
MCTII-4000	1	41	15.19 (386)	17.32 (440)	28.9 (735)	697 (317)	715 (325)	15 (57)	150 (69)	.000075

\*Electrolyte weighs approximately 10 lbs per gallon (1.210 kgs per liter).

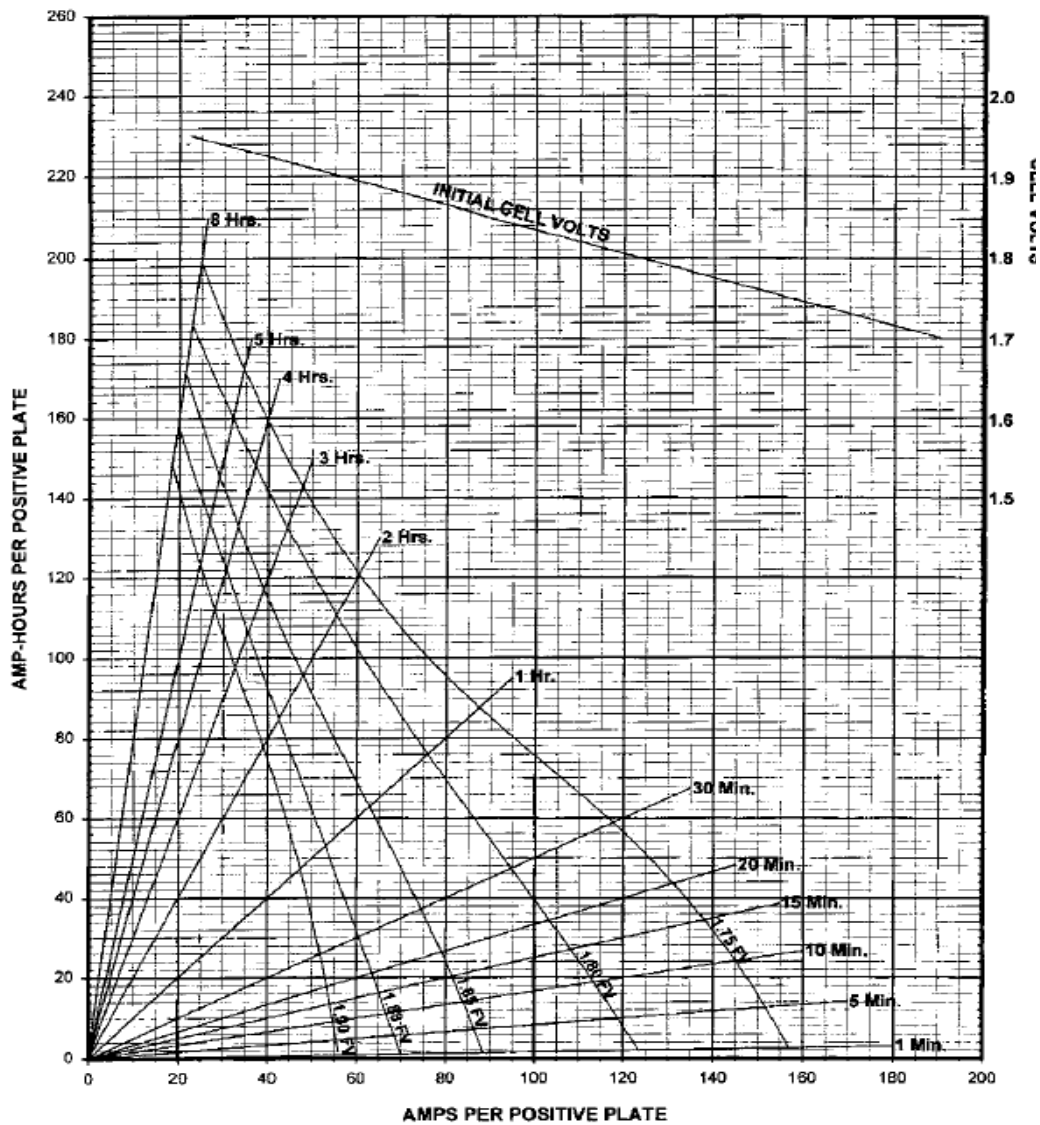
\*\*Includes connector.

En lo que respecta a la parte de capacidad de descarga se presenta la figura 35 con la grafica correspondiente para los ensayos de capacidad que se tengan que llevar a cabo sobre los elementos, ya sea como medida correctiva o preventiva.



Figura 35. Gráfica de descarga de baterías MCTII-4000

CELL MODEL .....MCT 3000 OR 4000  
 NUMBER OF POSITIVE PLATES.....15 OR 20  
 ELECTROLYTE SPECIFIC GRAVITY .....1.215 + .005  
 TEMPERATURE.....77°F  
 TEST PROCEDURE.....IEEE 450-2002  
 DISCHARGE CHARACTERISTIC CURVE.....D-644



Este banco de baterías se selecciono como caso de estudio por tener características muy especiales en cuanto a su tamaño y la tecnología empleada en la construcción del mismo, dado que como se puede apreciar las dimensiones de cada elemento son bastante grandes con lo cual la huella de instalación es bastante complicada en aspecto físico y requerimientos de ventilación. La carga que alimenta este banco de baterías consiste en una central de conmutación digital con un consumo de 1500 Amperios. Para este caso particular se tiene un respaldo para aproximadamente 2.5 horas. El voltaje de flotación se tiene ajustado a 54 VDC, con lo cual se tiene que para cada batería se tiene un nivel particular de 2.25 VDC que esta acorde con las especificaciones del fabricante.

Con respecto a las mediciones del banco con el CRT-300 se tienen los resultados presentados en la figura 36 que se muestra en la pagina siguiente.

**Figura 36. Resultados de mediciones CRT-300 sobre banco  
MCT-4000**

Location Name									
Battery Name									
String Name									
Model number		MCT4000							
High Voltage	0								
Low Voltage	0								
High Resistance	0								
Low Resistance	0								
High Intercell 1	0								
High Intercell 2	0								
High Intercell 3	0								
High Intercell 4	0								
High Temperature	00320°F								
Low Temperature	00320°F								
High SG	0								
Low SG	0								
Cell	1	Float	2.242	iR	126	icR1	7	icR2	5
Cell	2	Float	2.267	iR	138	icR1	8	icR2	8
Cell	3	Float	2.244	iR	135	icR1	9	icR2	7
Cell	4	Float	2.248	iR	140	icR1	8	icR2	8
Cell	5	Float	2.278	iR	153	icR1	7	icR2	7
Cell	6	Float	2.28	iR	127	icR1	10	icR2	10
Cell	7	Float	2.255	iR	138	icR1	89	icR2	88
Cell	8	Float	2.257	iR	146	icR1	10	icR2	9
Cell	9	Float	2.256	iR	144	icR1	8	icR2	8
Cell	10	Float	2.269	iR	159	icR1	7	icR2	8
Cell	11	Float	2.308	iR	154	icR1	8	icR2	7
Cell	12	Float	2.271	iR	138	icR1	6	icR2	8
Cell	13	Float	2.3	iR	144	icR1	65	icR2	65
Cell	14	Float	2.32	iR	177	icR1	4	icR2	8
Cell	15	Float	2.278	iR	159	icR1	9	icR2	9
Cell	16	Float	2.3	iR	144	icR1	9	icR2	9
Cell	17	Float	2.299	iR	144	icR1	5	icR2	9
Cell	18	Float	2.306	iR	128	icR1	9	icR2	5
Cell	19	Float	2.278	iR	119	icR1	87	icR2	86
Cell	20	Float	2.3	iR	136	icR1	8	icR2	7
Cell	21	Float	2.273	iR	143	icR1	6	icR2	7
Cell	22	Float	2.271	iR	153	icR1	9	icR2	8
Cell	23	Float	2.298	iR	151	icR1	11	icR2	9
Cell	24	Float	2.253	iR	127	icR1	10	icR2	7

De los datos obtenidos con el CRT-300 se tienen las siguientes observaciones:

1. La gran mayoría de las baterías ensayadas están por fuera del rango de flotación recomendado por el fabricante, el cual es de 2.25 VDC a 2.26VDC, con lo cual se evidencia que existen dos situaciones a las cuales se les debe poner atención: la gravedad específica del electrolito y la temperatura ambiente de la sala.
2. Consecuencia del punto anterior las resistencias internas de todos los elementos duplican el valor de 75 micro ohms reportados para este modelo de baterías dentro de las especificaciones del fabricante.

Con estos resultados es necesario recomendar un ensayo de capacidad del banco de baterías, con el objeto de determinar si efectivamente esta proporcionando el respaldo en horas para el cual fue implementado. Al mismo tiempo por tratarse de baterías húmedas el lograr la recuperación del banco es una tarea de tiempo y mediciones constantes por lo cual se sugiere llevar un monitoreo y registro periódico de la gravedad específica de cada elemento y comparar sus valores contra las flotaciones, al mismo tiempo se necesita realizar compensaciones de temperatura de ser necesario.



## CONCLUSIONES

1. Las baterías a pesar de ser un instrumento de almacenamiento de energía del siglo pasado hoy en día están tan vigentes como en el día en que fueron concebidas, siendo la solución mas ampliamente empleada por los operadores de telecomunicaciones para los emplazamientos remotos.
2. En un país como Guatemala, en donde la calidad de la energía eléctrica aún esta en vías de desarrollo es necesario mantenerse a la vanguardia de la tecnología, en cuanto a los mecanismos predictivos desarrollados para mantener sistemas de respaldo al máximo de sus capacidades.
3. La temperatura ambiental del recinto de emplazamiento de un banco de baterías es el factor más crítico a controlar para garantizar la vida útil proyectada por cada fabricante de estos elementos. Por tal razón, es que la relación banco de baterías y sistemas de climatización cada vez se ha hecho mas estrecha, teniendo hoy en día sistemas de A/C que trabajan con corriente directa y conectados específicamente a los bancos a prolongar su vida útil en ambientes hostiles a su funcionamiento.

4. La relación entre el valor de resistencia interna de una batería, y la capacidad de respaldo de la misma no es directamente proporcional, pero si lo suficientemente buena como para diagnosticar problemas de degradación de forma puntual sobre cada elemento que conforma un banco.
  
5. Toda batería tiene degradación en su vida útil inicia con una elevación gradual en su valor de resistencia interna, con lo cual se tiene que cualquier elemento que presente esta condición tiene altas probabilidades de fallar una prueba de capacidad de respaldo bajo condiciones controladas.
  
6. El gran beneficio de utilizar la medición de resistencia interna como mecanismo de control de bancos de baterías radica en el hecho de poder aislar de forma puntual todos aquellos elementos que presenten degradación, sin tener la necesidad de reemplazar un banco entero como se realizaba tradicionalmente lo cual se traduce en un ahorro a nivel financiero en la operación de una red de telecomunicaciones.

## RECOMENDACIONES

1. Toda red de telecomunicaciones que opere en Guatemala debe tener en cuenta la problemática de calidad de energía existente, sobre todo en el interior de la República, por lo cual los mecanismos de respaldo de energía son imperativos en el diseño de las redes para garantizar la disponibilidad ofertada a sus clientes.
2. Las actividades de mantenimiento preventivo de los emplazamientos remotos de telecomunicaciones deben contemplar como mínimo la inspección visual y medición de voltajes de flotación de todos los elementos constitutivos de los bancos de baterías, esto para garantizar como mínimo la operación entre parámetros de dichos bancos.
3. Los sistemas de rectificación para la recarga y mantenimiento de los bancos de baterías deben ser escogidos a manera de garantizar todas las protecciones a los bancos conectados, tanto en desconexión por bajo nivel de voltaje, como en la forma en la cual se regula la corriente de recarga de todos los elemento. Se debe poner particular énfasis en que la configuración de los mismos sea acorde a las especificaciones de los fabricantes de las baterías.



4. Si se implementa la medición de resistencia interna como mecanismo de detección de degradaciones en los bancos de baterías de una red de telecomunicaciones, se debe tener presente que se debe contar con las especificaciones del fabricante en cuanto a los valores de resistencia de los elementos para tener referencia en el control de la mediciones a efectuar, las cuales deben ejecutarse en forma periódica con el objeto de tener un historial como base de comparación entre medidas.
  
5. Al analizar los resultados obtenidos con mediciones de resistencia interna se debe tener presente la posibilidad que aunque algunos elementos se encuentren moderadamente alejados de su valor de referencia es posible que el banco de baterías aun tenga vida útil para alguna aplicación de baja prioridad dentro de la red, por lo cual se debe recurrir a realizar una descarga controlada con el objeto de verificar la cantidad de tiempo de respaldo real que tiene el mismo, y en base a esto tomar la decisión económicamente mas conveniente.

## BIBLIOGRAFÍA

1. AEMC Instruments. **Entendiendo pruebas de resistencia de tierra.**
2. Block, Roger R. **The grounds for lightning and EMP protection.** 2ª Edición. Polyphaser Corporation, 1993. 95 pp.
3. Bratu N., Campero E. **Instalaciones electricas, conceptos basicos y diseño.** 2ª Edición. Alfaomega, 1995. 225 pp.
4. Lucent Technologies. **Batteries and DC power plants EG2502AB.**
5. Lucent Technologies. **Power course EG2401A**
6. Mcpartland, Joseph F. y Mcpartland, Brian. **National electrical code handbook.** 20va edición, Estados Unidos. Mcgraw Hill, 1990, 1262 pp.
7. Transtector systems, Inc. **Surge suppression testing in a digital telecom enviroment.**