



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA
MECÁNICA Y ELÉCTRICA**

**“REESTRUCTURACIÓN DEL ARREGLO DE CELDAS
RECARGABLES DE ION-LITIO SM2524 Y REDISEÑO DE LA
TARJETA DE PROTECCIÓN”**

MEMORIA DE EXPERIENCIA PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO

EN COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA

PRESENTA

MIGUEL ANGEL SORIA MÁRQUEZ

ASESOR

ING. MAURICIO DARÍO SÁNCHEZ RAMOS

MÉXICO D. F., ENERO DE 2015



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELECTRICA
UNIDAD PROFESIONAL “ADOLFO LÓPEZ MATEOS”

TEMA DE TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO INGENIERO EN COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA
POR LA OPCIÓN DE TITULACIÓN MEMORIA DE EXPERIENCIA PROFESIONAL
DEBERA (N) DESARROLLAR MIGUEL ANGEL SORIA MÁRQUEZ

**“REESTRUCTURACIÓN DEL ARREGLO DE CELDAS RECARGABLES DE ION-LITIO SM2524 Y
REDISEÑO DE LA TARJETA DE PROTECCIÓN.”**

PRESENTAR LA REESTRUCTURACIÓN DEL ARREGLO DE CELDAS SM2524, EL REDISEÑO DEL
MÓDULO DE PROTECCIÓN, MEJORAS A LA CAJA QUE LO RESGUARDA Y EL MANUAL DE
INSTALACIÓN QUE UTILIZA EL PERSONAL DE LA SECRETARIA DE LA DEFENSA NACIONAL.

- EXPLORACIÓN DEL MODULO DE PROTECCIÓN.
- REINGENIERÍA DEL MODULO DE PROTECCIÓN.
- REORDENAMIENTO DE SECCIONES DEL ARREGLO DE CELDAS.
- MODIFICACIONES A LA CAJA Y TAPA.
- MANUAL DE SOPORTE Y GUÍA DE INSTALACIÓN.
- CONCLUSIONES.

MÉXICO D.F., A 16 DE DICIEMBRE DEL 2014.

ASESORES


ING. MAURICIO DARIO SÁNCHEZ RAMÍREZ


ING. PATRICIA LORENA RAMÍREZ
JEFE DEL DEPARTAMENTO ACADÉMICO
DE INGENIERÍA EN COMUNICACIONES Y
ELECTRÓNICA



**REESTRUCTURACIÓN DEL ARREGLO DE CELDAS
RECARGABLES DE ION-LITIO SM2524 Y REDISEÑO DE LA
TARJETA DE PROTECCIÓN.**

Contenido

JUSTIFICACIÓN	8
OBJETIVO	9
CAPÍTULO I. Exploración del módulo de protección.	10
1-1 Introducción	10
1-2 Descripción general del circuito integrado	
MAS2903	18
1.2.1 Características	18
1-3 Problemática y pruebas	20
1.3.1 Problemática	20
1.3.2 Pruebas	23
1-4 Análisis de las terminales del circuito integrado	
MAS2903	27
1.4.1. Conceptos	29
1-5 Análisis de corriente y tensión transitorias durante el proceso de descarga del arreglo de celdas	40
CAPÍTULO II. Reingeniería del módulo de protección.	46
2-1 Razón de las modificaciones	46
2-2 Modificaciones a la tarjeta de protección	52
2-3 Regulación de voltaje	55

2.3.1	Factores electroquímicos	60
2.3.2	Propuesta de regulación	61
2.3.2.1	Regulador de voltaje lineal	62
2.3.2.2	Tipos de reguladores	62
2.3.2.3	Regulador de voltaje LDO	63
2.3.2.4	Consideraciones de diseño	64
2.3.3	Circuito de regulación de la tarjeta de Protección	66
CAPÍTULO III. Reordenamiento de secciones del arreglo de Celdas.		70
3-1	Razón de las modificaciones	70
3-2	Modificaciones al arreglo de celdas	72
CAPÍTULO IV. Modificaciones a la caja y tapa.		79
4-1	Razón de las modificaciones	80
4-2	Modificaciones a la caja y tapa	81
CAPÍTULO V. Manual de Soporte y Guía de Instalación		86
5-1	Introducción	86

CAPITULO VI. Conclusiones	87
ANEXO	88
REFERENCIAS	104

REESTRUCTURACIÓN DEL ARREGLO DE CELDAS RECARGABLES DE ION-LITIO SM2524 Y REDISEÑO DE LA TARJETA DE PROTECCIÓN

JUSTIFICACIÓN

Las baterías recargables de ion-litio son hasta la fecha, las baterías que mejor desempeño han tenido en el medio militar, la capacidad y densidad de energía la han hecho una batería muy eficiente y con un rendimiento por demás óptimo con respecto a los demás tipos de baterías recargables, pero debido al proceso de fabricación y a los componentes utilizados para Oello, se deben dotar en todas las aplicaciones, de un circuito de control externo, para evitar daños a la batería, al equipo para el cual provee de energía, incluso al usuario de dicho equipo, que en este caso son los miembros del personal militar de la Secretaría de la Defensa Nacional (en adelante SEDENA).

La Dirección General de Transmisiones (DGT) a través de su Logística, adquirió en años pasados, un arreglo de celdas recargables de ion-litio el cual, fue requerido para ensamblar una batería, y que, en primera instancia a petición de la Logística de la DGT, no incluía ninguna tarjeta de protección. Desde luego generó problemas en la recarga de la batería ya que al ser recargadas en los equipos que normalmente usa la DGT y al ser éstas, baterías ensambladas por ellos mismos, los cargadores no detectaban el tipo de química de la batería, ni proporcionaban el voltaje y la corriente necesarias para dicha recarga, ya que los cargadores que se encuentran en la ensambladora de baterías, son del tipo inteligente, de la marca Harris CO; son cargadores para 2 o seis baterías; éstos equipos identifican el tipo de Química de la batería por medio de una terminal conectada en la tapa y así proporcionan el método de carga adecuado para cada tipo de batería; esto es: corriente, voltaje y tiempo necesario para la recarga.

Debido a que el arreglo de baterías adquirido y ensamblado en las instalaciones de la DGT no incluía ningún tipo de protección contra cortocircuito, sobrecorriente o alguna tarjeta electrónica que incluyera algún tipo de comunicación con el cargador, que indicara que ésta ya se encontraba completamente cargada, la batería no alcanzaba su máxima carga o en la mayoría de los casos no era

siquiera detectada. Algunas veces el nivel de carga se excedía, al grado de que las baterías explotaban o se descargaban por completo, esto representaba un gran peligro ya que el litio es un material altamente explosivo.

Ante esta situación, se realizó una revisión de las baterías y de los cargadores para analizar los casos de detección de sobrecarga y de explosiones, se realizaron modificaciones y mejoras tanto al arreglo de baterías como a la caja en la cual se alojaban.

En este trabajo se presenta el análisis, el rediseño, las modificaciones y el manual de instalación realizado para que el personal del Batallón Logístico de Transmisiones (BLT) fuese quien instalara dichas tarjetas de protección. Basado en este manual se impartió un curso teórico-práctico de capacitación, así como la supervisión en todo momento de la instalación de la tarjeta de protección.

OBJETIVO

Presentar el rediseño que incluye las modificaciones y mejoras realizadas al arreglo de celdas recargables SM2524, a la tarjeta de protección y a la caja que lo resguarda, así como la guía de instalación que utiliza el personal del Batallón Logístico de Transmisiones a través de la ensambladora de baterías.

Capítulo I

EXPLORACIÓN DEL MÓDULO DE PROTECCIÓN

1.1 Introducción.

Como se mencionó previamente, el Batallón Logístico de Transmisiones, ensambló una batería recargable de ion-litio, para la cual requirió comprar un arreglo de celdas que en una conexión serie paralelo tiene la capacidad nominal de 14.8V a 6Ah, ésta batería con esas características específicas, sí se encuentra en el mercado comercial, pero muy pocos fabricantes pueden venderla alrededor del mundo, y es que, el hecho de ser para uso militar reduce posibilidades de mercado, ya que el fabricante no vende su producto si no es a través de sus distribuidores autorizados en cada país, y éste hecho limita incluso al país destino. Hace algunos años, la SEDENA emitió una invitación para desarrollar dicha batería y fuesen ellos quienes ensamblaran sus propias baterías en las instalaciones militares. La empresa para la cual laboro, fue la encargada de desarrollar este proyecto, y ya tiene más de 6 años como proveedor de este arreglo de baterías recargables de ion-litio.

La SEDENA proporcionó baterías de ion-litio recargables del fabricante original, con el fin de obtener la mayor información para desarrollar dicho proyecto. La batería podría ser abierta y analizada en todas sus características y forma física, así como sus componentes químicos. Cuando se analizó la batería de ion-litio se percató del uso de dos tarjetas de control dentro de la batería, a lo que se clasificó como “Módulo de Protección”, dichas tarjetas son las encargadas de limitar la corriente de carga y descarga, así como limitar el suministro de voltaje cuando este decrece hasta aproximadamente 10 Volts y también limitar el nivel de carga de la batería a 16 Volts.

Al término del análisis se entregaron los informes a la SEDENA, incluida una propuesta de modificación al arreglo de celdas recargables de ion-litio que incluían dos tarjetas de control y una sugerencia de modificación a la caja en la cual se aloja. En respuesta, la Secretaria se limitó a comprar solo los arreglos de celdas sin tarjetas de control argumentando que las tarjetas de control resultaban innecesarias. Durante dos años compraron

aproximadamente 10,000 arreglos de celdas y de los primeros 1000 ensamblados por el personal militar dentro de sus instalaciones, aproximadamente 800 tuvieron problemas en la recarga o en la descarga, pues el personal encargado siempre tuvo dificultades para controlar el método de carga y de descarga. Posteriormente llegaron a la conclusión de que la tarjeta de control era necesaria si querían aprovechar 10,000 arreglos de celdas que la DGT tenía en sus almacenes y nuestra empresa fue convocada para rediseñar la tarjeta, el arreglo de celdas y la caja.

Como primera fase para realizar el rediseño del arreglo de baterías recargables, se analizó cada tarjeta del módulo de protección para comprender cada parte que la conformaba, cada parte correspondiente a la carga, a la descarga y las correspondientes a las protecciones; así como la distribución del arreglo de celdas.

La Figura 1.1 muestra el diagrama general de la tarjeta, la cual se analiza por partes más adelante. En ella se encontró que es comandada por un circuito integrado que limita el nivel mínimo y máximo de carga, así como el nivel mínimo y máximo de descarga. Cuenta también con la opción para seleccionar el número de celdas de ion-litio, y la particularidad de incluir las protecciones de sobrecorriente, sobre-voltaje y cortocircuito. De esta manera se controla una sección del arreglo con un solo circuito integrado, es decir una sección de la batería con solo una tarjeta de protección, lo que implica, dos tarjetas por cada arreglo de celdas, ya que cada arreglo consta de dos secciones.

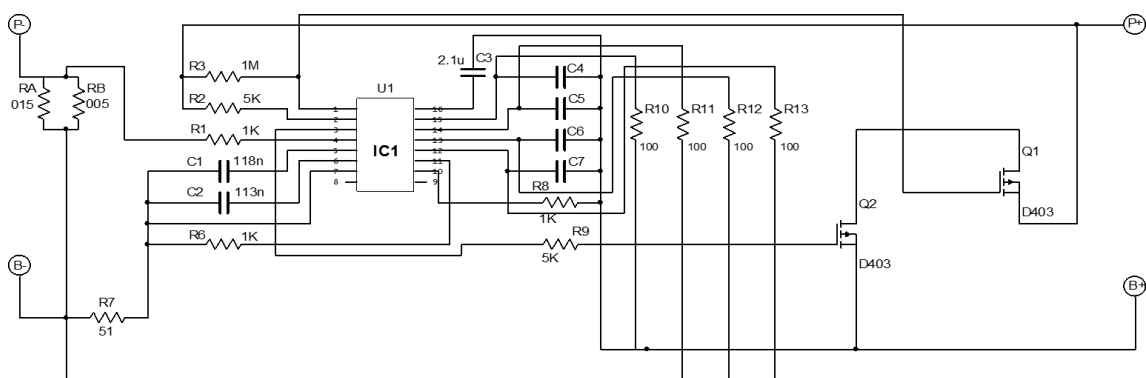


Figura 1.1. Diagrama esquemático básico de la tarjeta de control.

La Figura 1.2 muestra una imagen real del primer arreglo de celdas recargable tal como estaba constituido, está integrado por 24 celdas recargables de ion-litio, interconectadas entre sí en arreglos serie-paralelo y divididas en dos secciones de 12 celdas; cada sección consta de 4 paquetes en serie de 3 celdas en paralelo, cada celda tiene una capacidad de 3.7 Volts y 3000 mAh, esto nos dará un voltaje nominal en cada sección de 16 Volts.



Figura 1.2. Primer arreglo de celdas recargables de ion-litio.

La Figura 1.3, es la representación gráfica de un arreglo de celdas y de la distribución de sus dos secciones. En dicha figura se puede observar la distribución de celdas para formar primeramente un arreglo de 3 celdas en paralelo llamado “**paquete**” (Figura 1.3a), posteriormente un segundo arreglo al que se denomina “**sección**”, y que está formado de 4 paquetes de celdas en conexión serie.

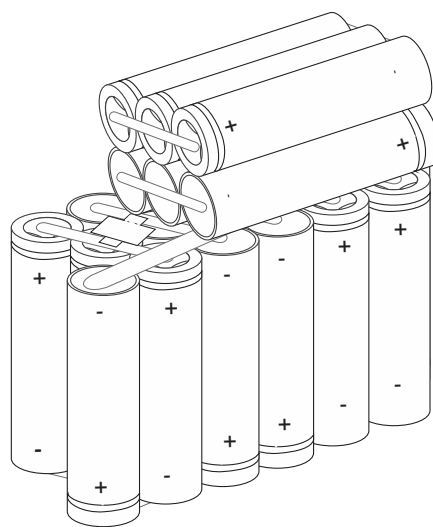


Figura 1.3, Representación gráfica de la distribución de celdas.

Este arreglo de celdas cuenta con dos secciones, identificando como **Sección 2**, al grupo de celdas que se encuentra en la parte trasera y superior del arreglo (Figura 1.3b) y como **Sección 1**, las correspondientes al arreglo que consta de un solo conjunto (Figura 1.3c).

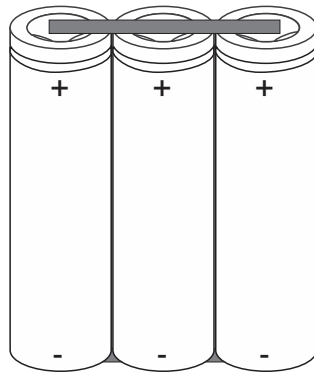


Figura 1.3a. Paquete de Celdas

Estas dos secciones, no tienen ningún tipo de interconexión entre sí mismas, ni siquiera dentro del radio, pues su operación es completamente independiente. Los arreglos de las celdas en serie-paralelo proporcionan la capacidad de carga necesaria para abastecer de energía los radios y corresponde a 6Ah y 14.8V por sección cuando esta se encuentra cargada al 100%.

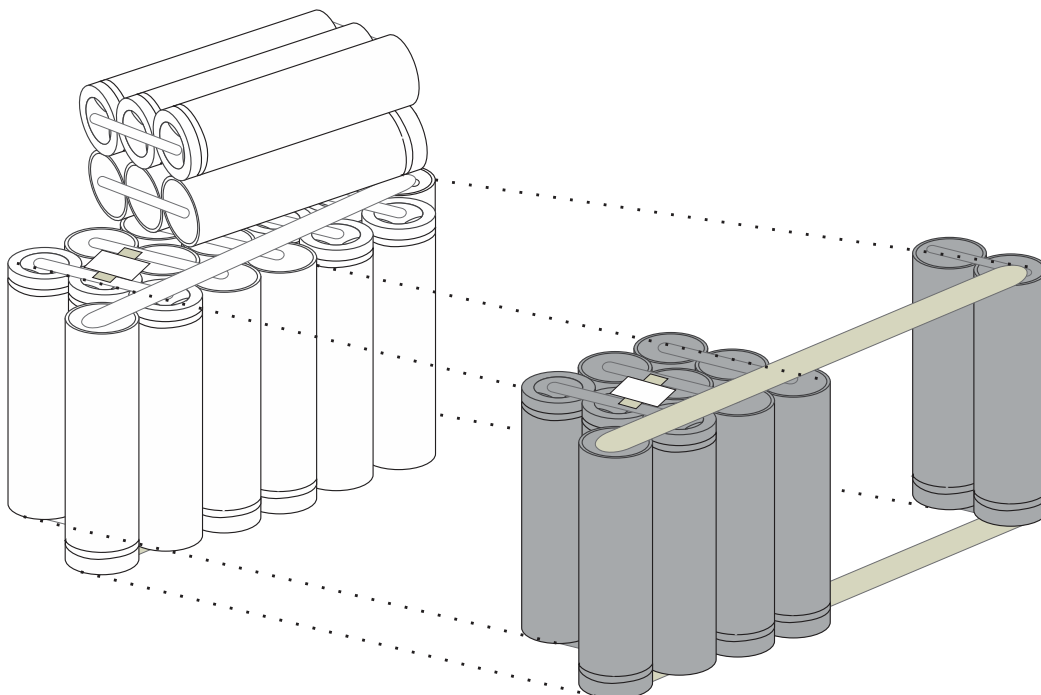


Figura 1.3b. Identificación de los paquetes de celdas que integran la "Sección 2"

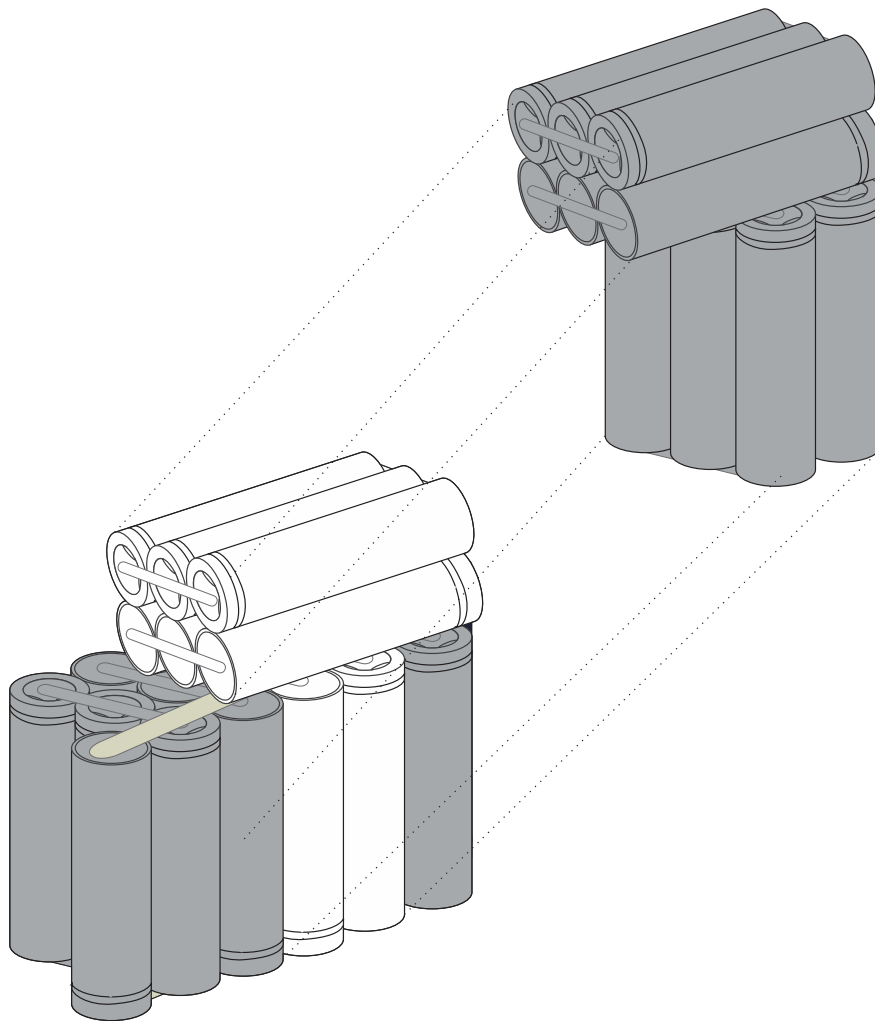


Figura 1.3c. Identificación de paquetes de celdas que integran la “Sección 1”

En la Figura 1.4, se muestra un esquema a bloques del sistema de protección que nos indica de forma general la operación de la tarjeta, que consiste básicamente de 4 etapas: **a) Terminales de entrada**, **b) Protecciones**, **c) Control (Circuito Integrado)**, y **d) Terminales de salida**.

a) Terminales de entrada:

Se refiere a los voltajes de alimentación para operación de la tarjeta, así como los voltajes respectivos de cada paquete de celdas, los cuales deben encontrarse entre 2.7 Volts mínimo, cuando la celda este descargada y 4.2 Volts máximo, cuando la celda está completamente cargada. La configuración del circuito integrado nos indica que puede proteger 3 o 4 celdas, y para nuestro caso, 4 paquetes de celdas. Se tienen 3 entradas para protección de celdas: V1, V2 y V3.

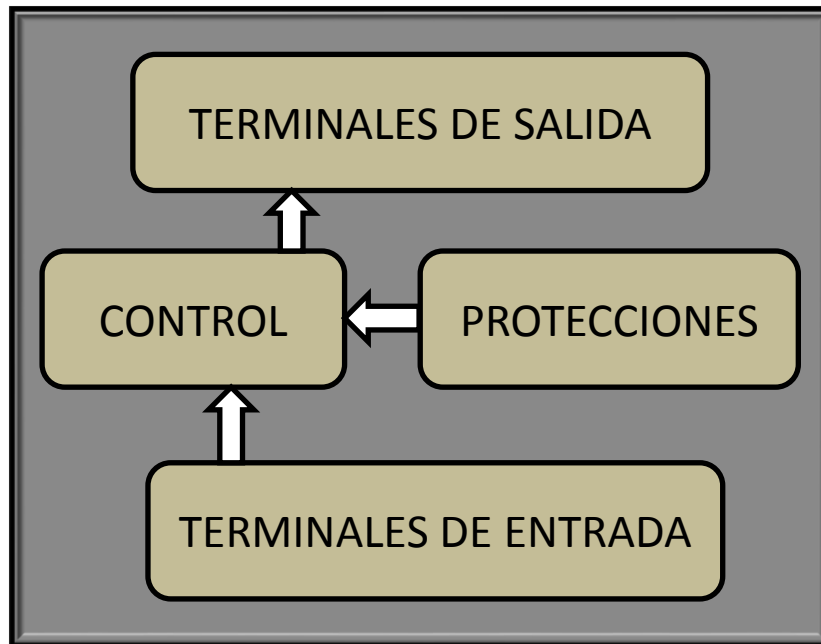


Figura 1.4. Diagrama a bloques de la tarjeta.

Para el voltaje del primer paquete de celdas V_1 se tienen presentes 3.7 Volts entre la terminal negativa B- y el primer paquete de celdas, para el segundo paquete de celdas V_2 , se tendrá la suma del primer paquete más el voltaje del segundo paquete, es decir:

$$V_1 + V_2 = 7.4 \text{ Volts}$$

$$3.7 \text{ Volts} + 3.7 \text{ Volts} = 7.4 \text{ Volts};$$

V_3 para el tercer paquete de celdas, que es la suma de los tres paquetes, 11.1 Volts.

$$V_1 + V_2 + V_3 = 11.1 \text{ Volts}$$

$$3.7 \text{ Volts} + 3.7 \text{ Volts} + 3.7 \text{ Volts} = 11.1 \text{ Volts}$$

La suma del cuarto paquete será el voltaje que existe entre la terminal **B+** y el otro extremo del paquete de celdas donde se inicia el circuito serie, **B-** para la terminal negativa y **B+** para la terminal positiva de la batería, como se puede visualizar en la Figura 1.5.

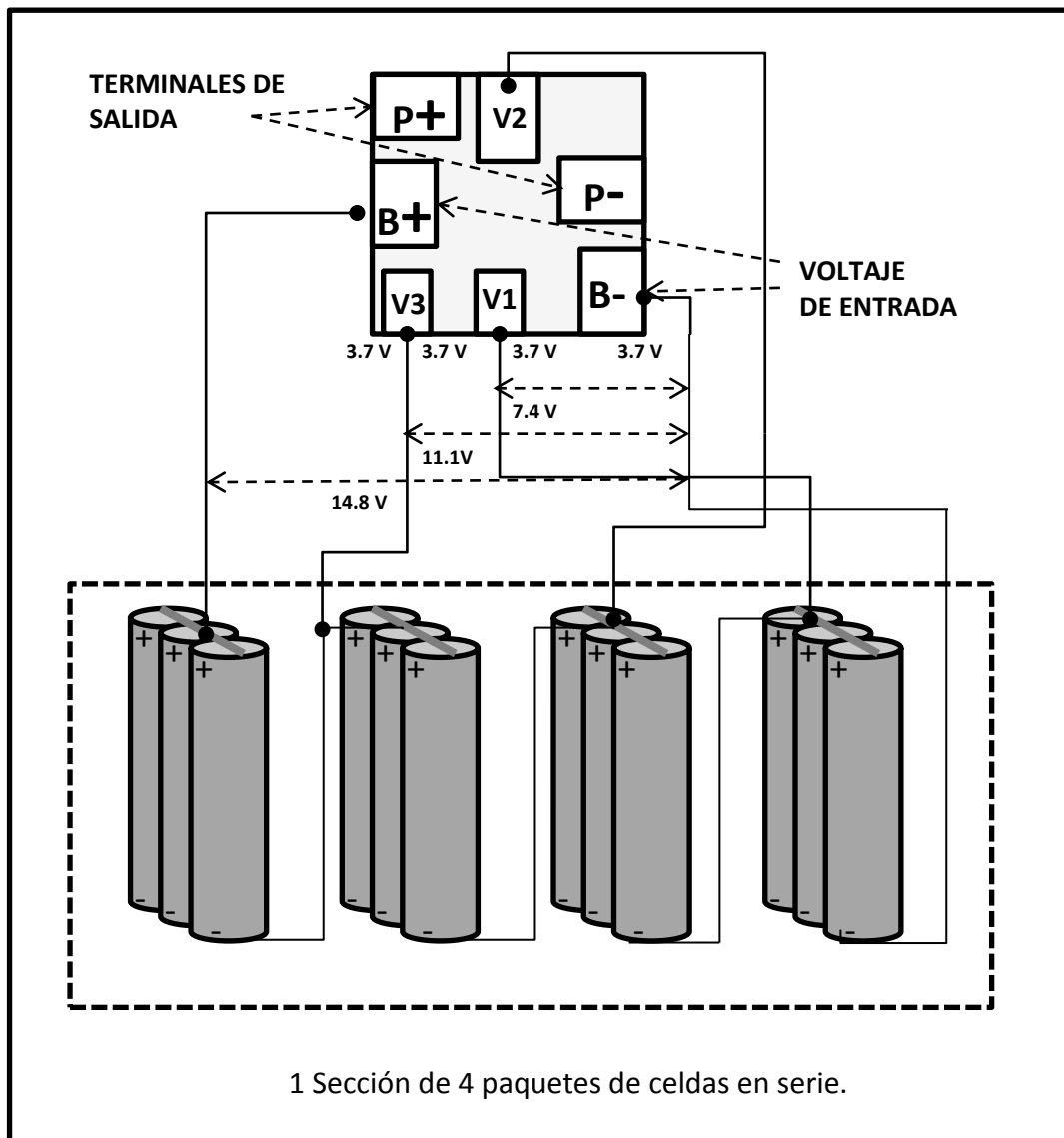


Figura 1.5. Interconexión de los Paquetes de celdas.

b) Protecciones:

La etapa de protecciones se encuentra dentro del circuito integrado, estas son: sobrecarga y sobre-descarga; por lo cual en la tarjeta solo se encontraron los componentes externos de polarización e interconexión con algún otro elemento del circuito.

c) Control:

En esta etapa encontramos el circuito integrado maestro que controla los niveles de corte de voltaje superior y corte de voltaje inferior, así como lo correspondiente a las protecciones de sobrecarga y sobre-descarga.

d) Terminales de salida:

Por último, las terminales de conexión al exterior de la batería. Estas terminales resultan ser las mismas para el caso de “recarga de la batería” como para la “descarga”, **P+** y **P-**.

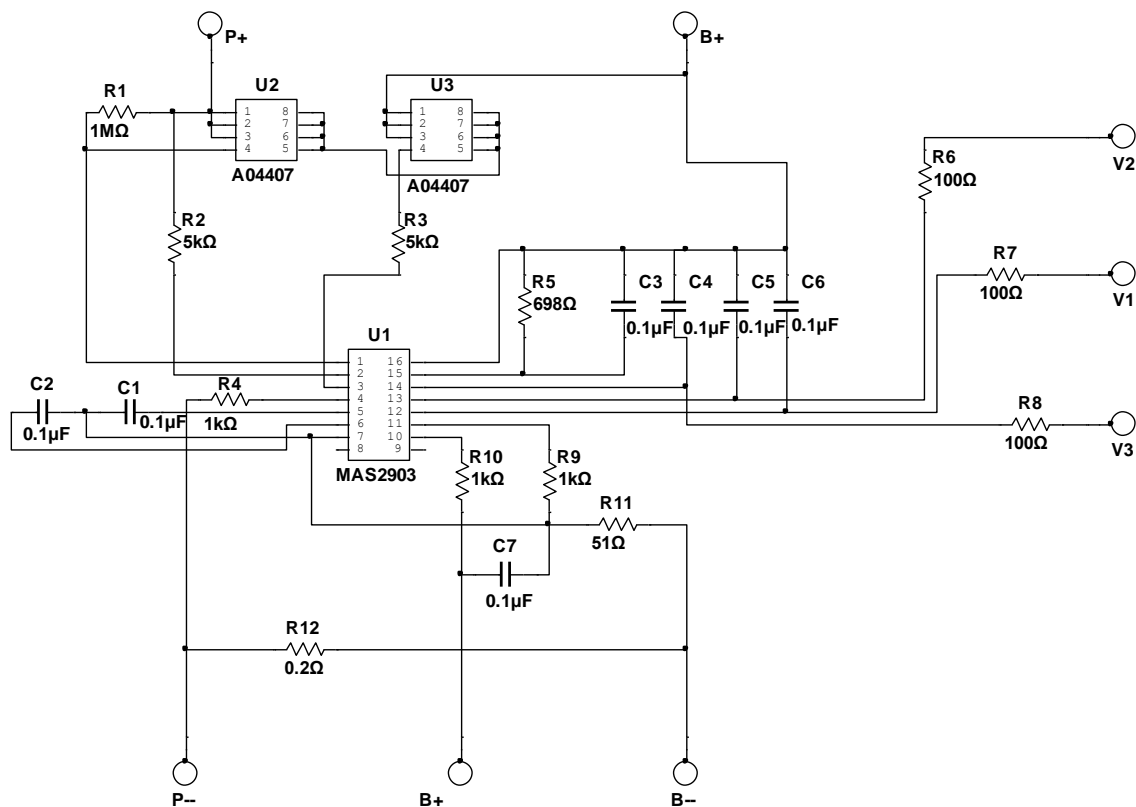


Figura 1.6. Diagrama eléctrico de la tarjeta.

Diagrama Eléctrico.

En la Figura 1.6, se muestra el diagrama eléctrico de la tarjeta encargada de controlar la carga y descarga de las celdas. Las terminales marcadas como **B-** y **B+** indican el voltaje de alimentación de la tarjeta y por lo tanto el voltaje de la batería total,

que para nuestro caso siempre estará entre 10.8 Volts y 16 Volts. **P-** y **P+**, son las terminales del voltaje de salida de la tarjeta de control a las cuales se conectarán para su descarga o recarga. **V₁**, **V₂** y **V₃** son las terminales por las cuales el circuito integrado se encargará de detectar cada una de las celdas incluidas en la batería. Parte de la razón del estudio de este trabajo es la resistencia **R₁₂**, la cual limitaba de un modo significativo el flujo de la corriente al grado de interrumpirlo cuando la carga demandada excedía los 3.5 Amperes.

1.2 Descripción general del circuito integrado MAS2903

Es un circuito de protección para una serie de 3 o 4 paquetes de celdas de ion-litio o polímero de litio recargables.

1.2.1 Características

*Detección de voltaje de alta precisión para cada celda o paquete de celdas.

*Tres niveles de protección de sobre corriente.

*Retraso de tiempo para la detección de sobrecarga y detección de sobre corriente.

*Conmutable entre un serial de 3 celdas o uno de 4 celdas.

*La operación de carga y descarga puede ser controlada a través de las terminales.

*Rango amplio de voltaje de operación de 2 a 24Volts.

*Rango amplio de temperatura necesario para aplicaciones militares.

*Baja corriente de consumo.

La Figura 1.7, indica la nomenclatura de las terminales del circuito integrado, Se analizarán algunas terminales del circuito integrado en el apartado 1.4.

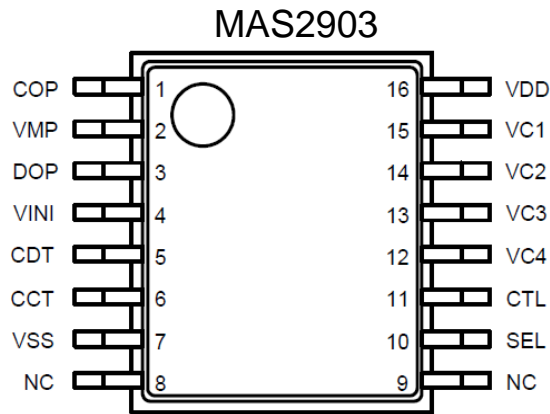


Figura 1.7. Distribución de terminales del circuito integrado MAS2903

La Figura 1.8, muestra la conexión básica del circuito.

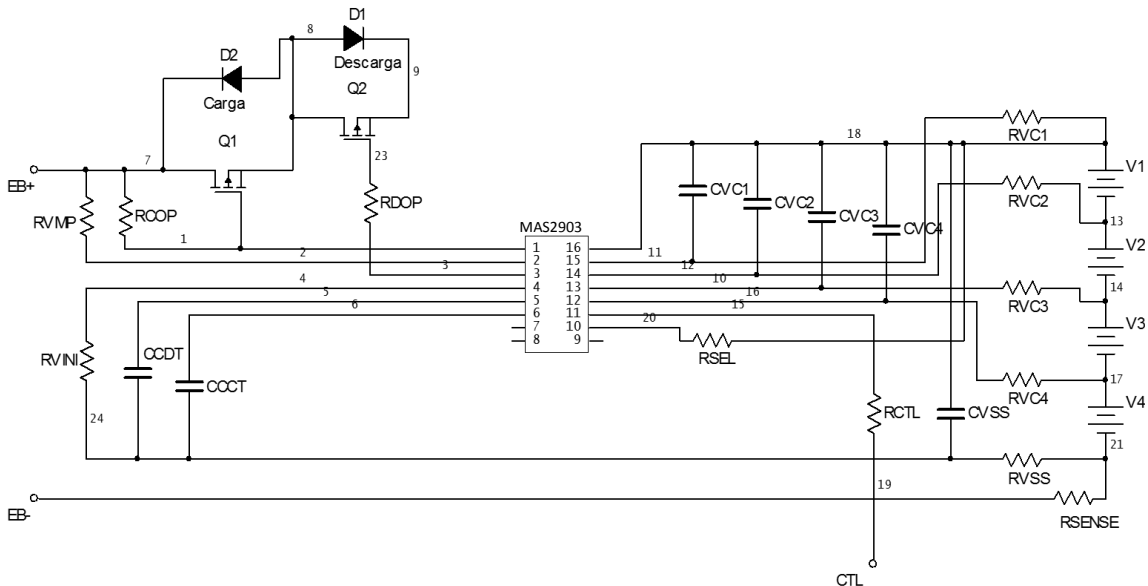


Figura 1.8. Ejemplo de conexión del circuito integrado MAS2903 para 4 celdas.

La Figura anterior muestra un diagrama del circuito base propuesto por el fabricante para el control y protección de las celdas de ion-litio, en él, se encuentran las terminales del voltaje de alimentación. En la primera etapa de la circuitería se encuentran los transistores de efecto de campo que funcionan como interruptores para cuando sea el caso de recarga o de descarga. Los voltajes a controlar serán detectados mediante los terminales del 12 al 15 del circuito integrado, son estos los terminales esenciales del circuito, las terminales por las que cada tarjeta estará especialmente vigilada ya que estos voltajes son claves para la operación correcta de la tarjeta, y por consecuencia del rendimiento óptimo de la batería.

1.3 Problemática y pruebas

Un aspecto importante acerca de las baterías recargables que son ensambladas dentro del Batallón Logístico de Transmisiones, es la certeza de que estas se encuentran cargadas al 100% para poder ser consideradas en buen estado, y puedan ser enviadas a las diferentes unidades militares a lo largo y ancho de la república mexicana. Para tal efecto, es necesario realizar pruebas de carga y descarga antes de efectuar el ensamble, a esta acción se le llama “ciclo de carga”. El Batallón Logístico de Transmisiones, (BLT) utiliza focos incandescentes de 12 Volts/18 Watts para realizar estas pruebas.

El procedimiento es el siguiente:

Se conectan las terminales de los focos en un arreglo en paralelo directamente a la batería para que pueda ser descargada y progresivamente se le va agregando a la vez un foco más para observar el comportamiento de la batería cuando se le exige cada vez más corriente.

Este procedimiento se vio interrumpido debido a que la tarjeta de protección que incluye cada arreglo de baterías presentaba un problema cuando la cantidad de corriente que se le demandaba a dicha batería rebasaba los 3.5 Amperes.

El diseño original de la tarjeta aparentemente soportaba 6.5 Amperes de corriente, entonces el rango del circuito de protección era lo suficientemente amplio para permitir la descarga con dichos focos, teniendo en cuenta que la capacidad de la batería es de 6.6Ah, por lo tanto, en cuanto al límite de sobre-corriente, no debía presentar problema alguno. En la realidad esto no fue así, dado que la protección contra sobre-corriente de la tarjeta de protección se activaba mucho antes de lo especificado, de manera que, cada vez que la corriente era elevada a poco más de 3 Amperes, se activaba alguna protección y el suministro de corriente por parte de la batería era interrumpido.

Este hecho generó inquietud entre el personal encargado de proporcionar dichas baterías a las diferentes unidades militares. El problema se presentó en un lote de 100 tarjetas que se fabricaron

en primera instancia. Para analizar este problema se realizaron mediciones de corriente y voltaje que la tarjeta proporcionaba en el instante mismo de activar el interruptor de conexión de lámparas para descarga de la batería (Figura 1.9).

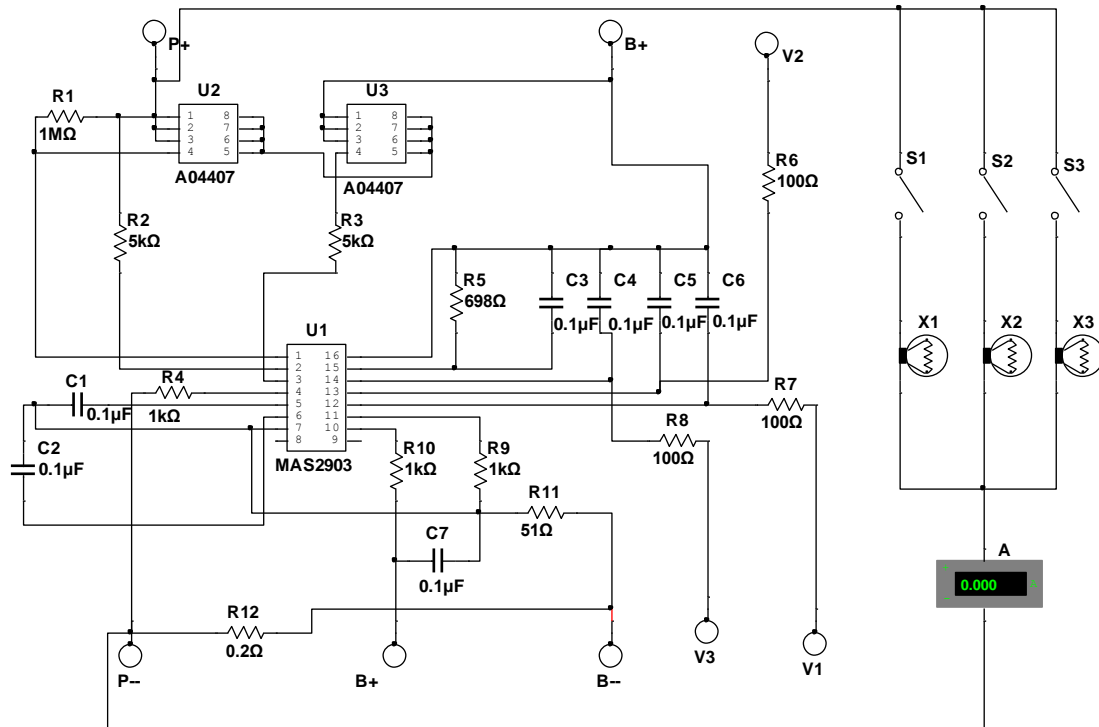


Figura 1.9. Diagrama de conexión de carga

1.3.1 Problemática

El proceso de análisis fue el siguiente: En tres pasos se conectaba carga a la batería en cuestión.

El paso número 1, era conectar una lámpara, la cual como especificación tiene 12 Volts, 5/32 Watts, lo que nos indica que se trata de un foco incandescente con dos filamentos, y que al conectar uno de ellos (el de baja intensidad), se consumirán solo 5 Watts, y al conectar ambos filamentos (el de baja y alta intensidad), se tendrá entonces un consumo total de 32 Watts.

El paso número 2, consistía en agregar otra lámpara de las mismas características para tener aproximadamente el doble de corriente de consumo.

En el paso número 3, se agrega un foco de 12 Volts 50 Watts. Esto nos elevaría la corriente a un nivel mayor a los 4 o 5 Amperes dependiendo del estado de carga de la batería. Debido a la necesidad del BLT de reacondicionar lo más pronto posible las baterías, la descarga de la batería debe realizarse en el menor tiempo posible, así que se eligió siempre conectar ambos filamentos de los focos en un arreglo en paralelo en los pasos 1 y 2. De este modo al conectar la primera lámpara y accionar el interruptor S1 de la Figura 1.10, la corriente de consumo era de aproximadamente 2 Amperes ya que el voltaje de la batería recién cargada es de aproximadamente 16V, se tiene:

$$I(t') = \frac{P_f}{V_b} \quad ; \quad I = \frac{32 \text{ Watts}}{16 \text{ Volts}} = 2 \text{ Amperes} \dots\dots\dots (1.1)$$

Donde $I(t')$ es la corriente en el instante 1

P_f = es la potencia de consumo del foco

V_b = es el voltaje de la batería

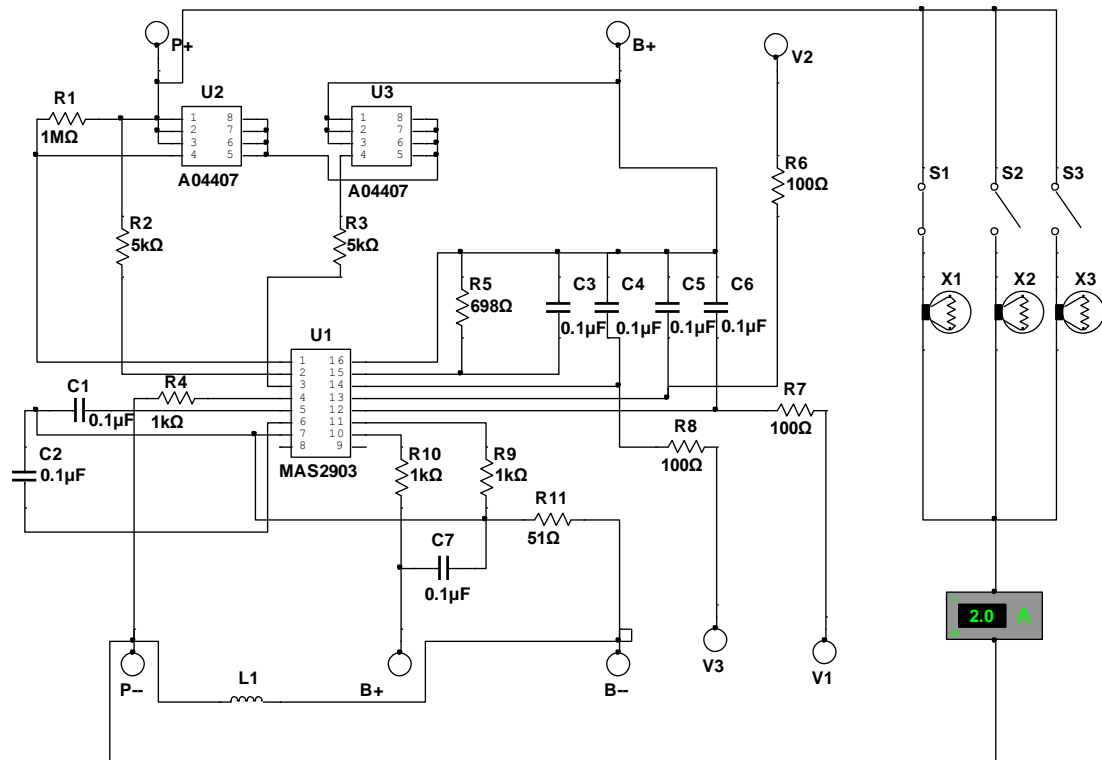


Figura 1.10. Conexión de la primera lámpara.

Con esta corriente la tarjeta no presentaba ningún problema, después se conectó la siguiente lámpara y el comportamiento, fue el siguiente:

$$I(t'') = \frac{Pf''}{Vb} ; I(t'') = \frac{64 \text{ Watts}}{15.6 \text{ Volts}} = 4.1 \text{ Amperes} \dots\dots\dots (1.2)$$

Donde $I(t'')$ es la corriente en el instante 2 (Figura 1.11).

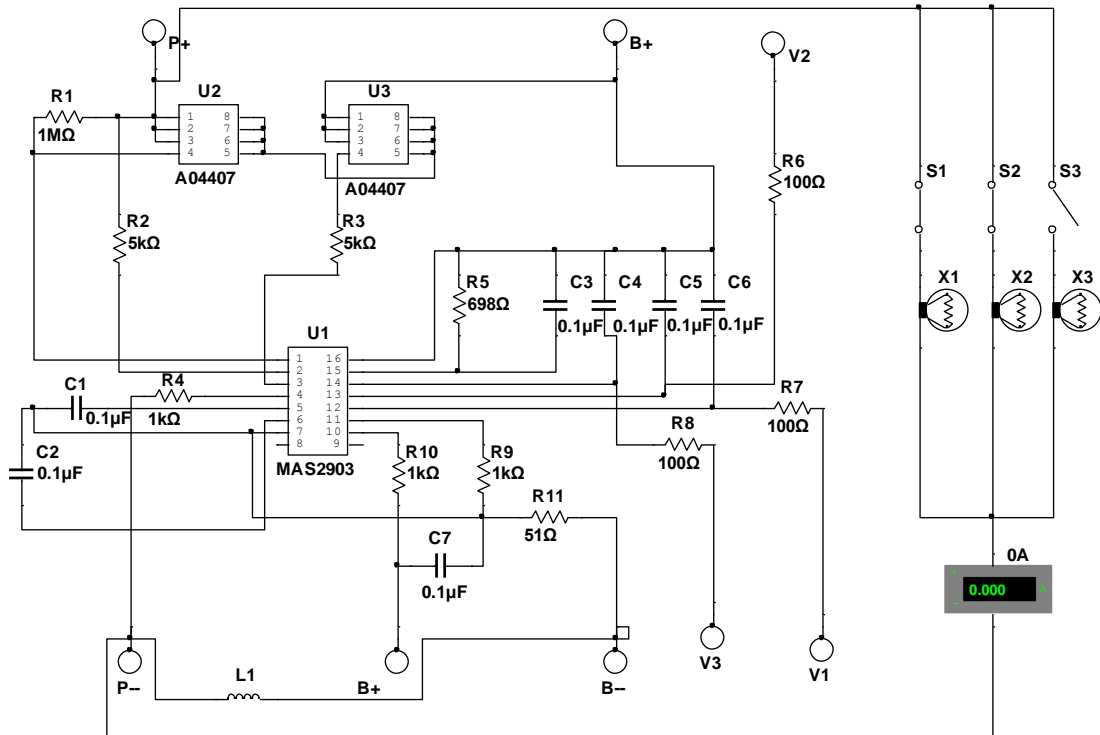


Figura 1.11. Conexión de la Segunda lámpara.

Con este arreglo, la corriente de consumo de las lámparas es de poco más de 4 Amperes, y suficiente para que la protección sea activada, por lo tanto la circulación de corriente es interrumpida y no se registra valor de corriente en el amperímetro. Ante este hecho el personal de transmisiones informó a la empresa para la corrección de esta falla.

1.3.2 Pruebas

Se inició verificando el funcionamiento de la batería en el radio de alta frecuencia modelo FALCON II del fabricante Harris, realizando cargas y descargas a diferentes temperaturas, utilizando el radio en función de transmisión y recepción por varias horas, hasta que las baterías se descargaran.

Al cabo de varios días de análisis, el resultado fue, que la batería dentro del radio nunca presento problemas mientras se transmitía o se recibía información, pues la corriente demandada por el radio nunca excedió los 2 Amperes de corriente, solo demandaba más corriente cuando se le agregaban accesorios como el GPS y las pantallas de LCD como monitores, pero aun así, nunca excedieron los 3 Amperes.

El siguiente paso fue verificar el arreglo de baterías de manera independiente, es decir fuera de su caja y sin la tarjeta de protección (Figuras 1.12 y 1.13) ya que este arreglo cuenta con sus propias protecciones como son: Un fusible con la capacidad de auto recuperación que, además detecta sobre-corriente y cortocircuito (Polyswitch de nomenclatura EVC), así como un protector de sobre temperatura.

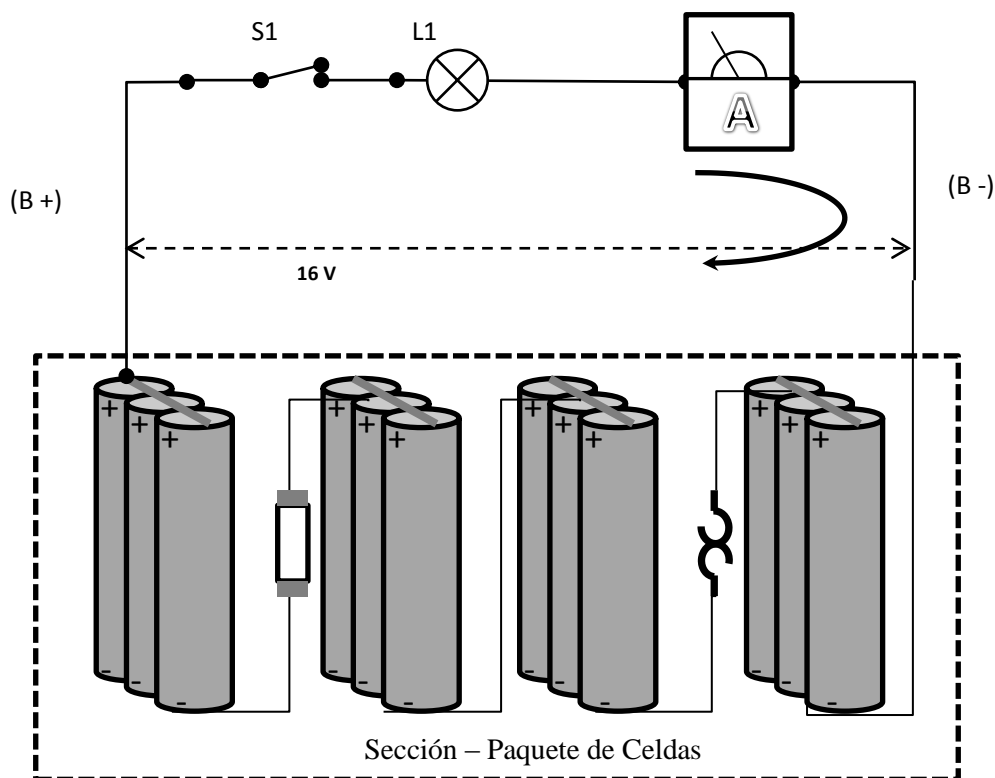


Figura 1.12. Conexión de carga al arreglo de celdas.

Las especificaciones del polyswitch con nomenclatura EVC060, corresponde a un fusible de auto recuperación de 6.6 Amperes. Cabe aclarar que el fabricante de la tarjeta de protección no proporcionó especificaciones de corriente ni tiempo de soporte de corriente máxima, por lo cual se consideró que la protección de esta

corriente de salida máxima de la tarjeta debía estar por debajo del rango de 6.6 Amperes para no dañar el arreglo en el caso de que, a éste se le demandara una corriente mayor o bien por un cortocircuito. Al analizar las especificaciones del componente EVC06 también se puede leer un rango de corriente de hasta 11 A, se procedió a realizar pruebas de descarga del arreglo desconectando la tarjeta de protección.

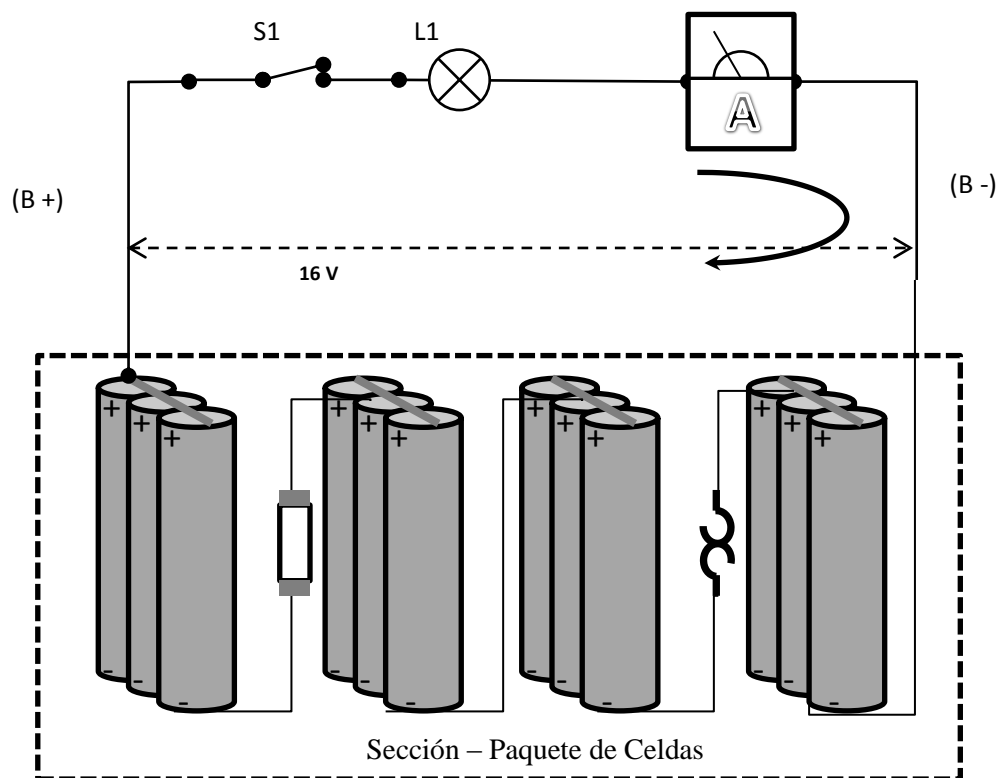


Figura 1.13. Conexión del arreglo de sitio

Se repitieron los pasos 1 y 2 mencionados en el apartado 1.3.1, con la particularidad de que ahora, en el arreglo de baterías la circulación de corriente nunca se vio interrumpida, el procedimiento fue el siguiente:

En el paso 1, se inició el proceso de descarga con una lámpara, en el paso 2, se agregó la segunda lámpara y a continuación, el paso 3 sin la tarjeta de protección, el arreglo de celdas si permitía agregar un tercer foco de 12 Volts, 50 Watts. Los resultados son los siguientes:

$$I(t''') = \frac{P'''}{V} ; I(t3) = \frac{114 \text{ Watts}}{15.4 \text{ Volts}} = 7.4 \text{ Amperes} \dots\dots\dots (1.3)$$

Donde $I(t''')$ es la corriente en el instante 3, Figura 1.14.

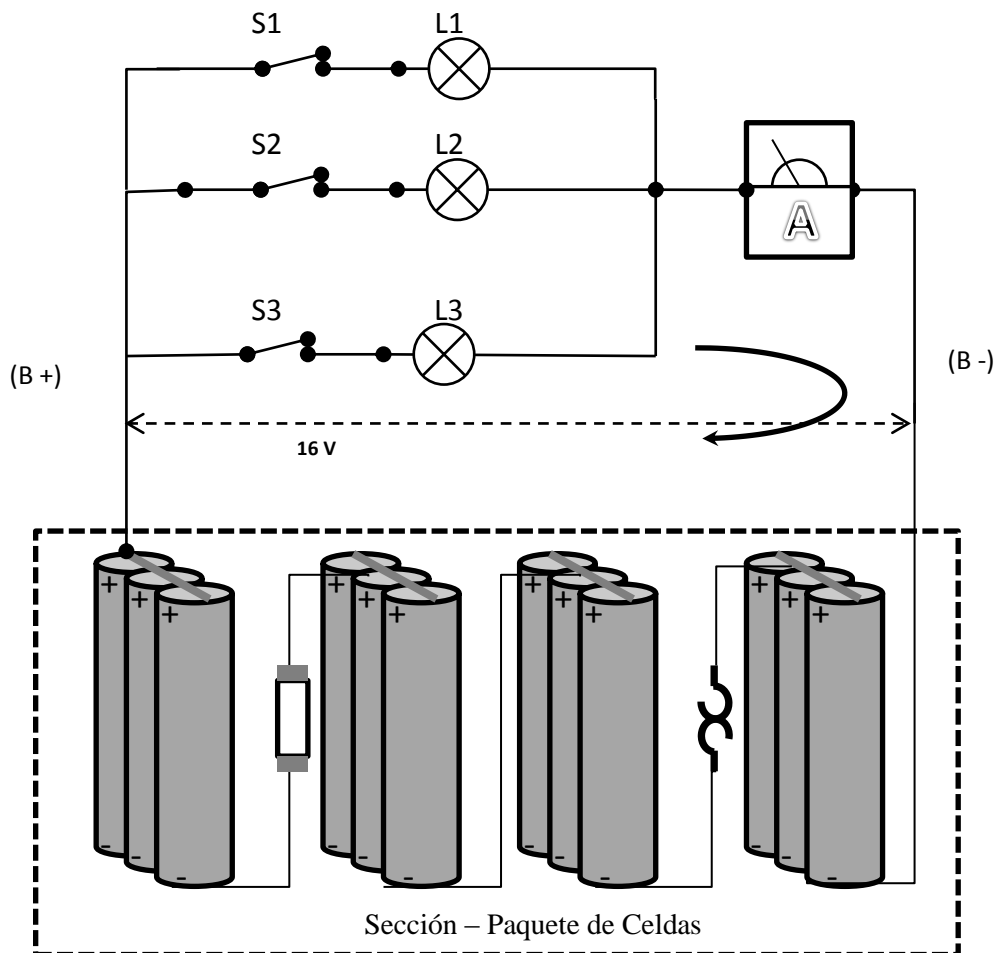


Figura 1.14. Conexión de la carga sin tarjeta de protección.

Lo que se descubrió fue que la protección que se activaba en el instante 3, no correspondía a la protección incluida en el arreglo de baterías es decir al polyswitch, pues éste se activaría hasta rebasar los 11 Amperes, manteniendo esa corriente por un tiempo de aproximadamente 15 segundos.

Quedaba descartado ese dispositivo como causante de la inhibición de la tarjeta, se continuó con la verificación del protector de temperatura, un dispositivo marcado con matricula TH7 y que su especificación indica 70°C la temperatura de apertura de la protección térmica. Para verificar su acción, se incrementó la temperatura de las celdas hasta casi 71°C con el auxilio de una pistola de calor y la corriente proporcionada por el arreglo de

baterías, permanecía sin ninguna variación, lo que indicaba que el problema de la interrupción de la corriente no se generaba por ninguna de las protecciones incluidas en el arreglo y seguramente en la tarjeta de protección se encontraría la respuesta, además de que en las pruebas normales de descarga la temperatura nunca aumento de manera súbita como para que este fuera el motivo de la inhibición de la tarjeta, pero se analizó este dispositivo térmico con el fin de eliminar cualquier posible causante de la problemática.

1.4 Análisis de las terminales del circuito integrado.

Con las pruebas que hasta entonces se tenían, se determinó realizar un análisis al C. I. (circuito integrado), ya que podría resultar que el circuito de protección no estuviera realizando dicha función correctamente. Así, se efectuó la revisión de la hoja de especificaciones, comenzando por los valores máximos y mínimos permitidos en cuanto a voltajes de entrada para cada pack de celdas, y de los niveles máximos para los voltajes de la alimentación del propio circuito integrado.

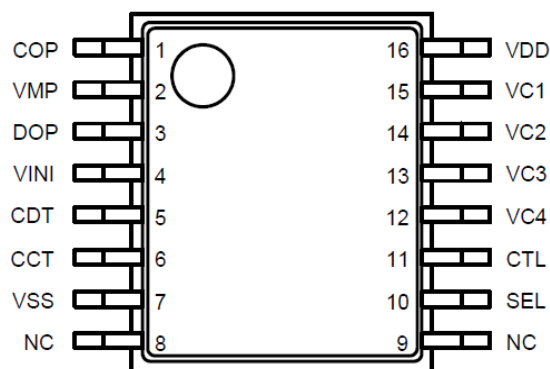
Tabla 1.1. Niveles máximos y mínimos permisibles por el circuito integrado.

V_{CU}	V_{CL}	V_{DL}	V_{DU}	V_{IOV1}
$4.3 \pm 0.025 \text{ V}$	$4.1 \pm 0.050 \text{ V}$	$2.4 \pm 0.080 \text{ V}$	$3.0 \pm 0.100 \text{ V}$	$0.20 \pm 0.025 \text{ V}$

Dónde: $[V_{CU}]$ es el Voltaje de detección de sobrecarga, $[V_{CL}]$ Voltaje de liberación de sobrecarga, $[V_{DL}]$ Voltaje de detección de sobre descarga, $[V_{DU}]$ Voltaje de liberación de sobre descarga, y $[V_{IOV1}]$ Voltaje de detección de sobrecorriente1.

La Figura 1.15, muestra la distribución de terminales que ya se había presentado anteriormente y la descripción de cada terminal del circuito integrado.

CIRCUITO INTEGRADO MAS2903



Terminal No.	Símbolo	Descripción
1	COP	Conexión de control de carga de la compuerta del FET (NCH salida de drenaje abierto)
2	VMP	Detección de voltaje entre VC1 y VMP (Terminal de detección de sobrecorriente 3)
3	DOP	Conexión de control de descarga de la compuerta del FET (salida CMOS)
4	VINI	Detección de voltaje entre VSS y VINI (Terminal de detección de sobrecorriente 1,2)
5	CDT	Conexión del capacitor de detección de sobredescarga, detección de retraso de sobrecorriente 1
6	CCT	Conexión del capacitor para detección de retraso de sobrecarga
7	VSS	Entrada negativa de la fuente de alimentación, voltaje negativo de la batería 4
8	NC	Sin conexión
9	NC	Sin conexión
10	SEL	Terminal para intercambiar entre serie de 3 celdas o 4 celdas. Nivel VSS: Serie de 3 celdas; Nivel VDD: Serie de 4 celdas
11	CTL	Control de carga del FET y descarga del FET
12	VC4	Conexión del voltaje negativo de la batería 3 y voltaje positivo de la batería 4
13	VC3	Conexión del voltaje negativo de la batería 2 y voltaje positivo de la batería 3
14	VC2	Conexión del voltaje negativo de la batería 1 y voltaje positivo de la batería 2
15	VC1	Conexión del voltaje positivo de la batería 1
16	VDD	Conexión del voltaje positivo de la fuente de alimentación y voltaje positivo de la batería 1

Figura 1.15. Descripción de terminales del Circuito Integrado MAS2903

Tabla 1.2. Valores máximos permitidos

Referencia	Símbolo	Terminal	Valor máximo	Unidad
Voltaje de entrada entre VDD y VSS	V_{DS}	.....	VSS - 0.3 a VSS + 26	V
Terminal de entrada de voltaje	V_{IN}	VC1, VC2, VC3, VC4, CTL, SEL, CCT, CDT, VINI	VSS - 0.3 a VDD + 0.3	V
Terminal de entrada de voltaje VMP	V_{VMP}	VMP	VSS - 0.3 a VSS + 26	V
Terminal de salida de voltaje DOP	V_{DOP}	DOP	VSS - 0.3 a VDD + 0.3	V
Terminal de salida de voltaje COP	V_{COP}	COP	VSS - 0.3 a VSS + 26	V
Disipación de potencia	P_D	.....	400	mW
Operación a temperatura ambiente	T_{opr}	.....	- 40 a + 85	°C
Temperatura de almacenamiento	T_{stg}	.....	- 40 a + 125	°C

1.4.1 Conceptos y Condiciones del Circuito Integrado

Para continuar con el análisis se recurrió a los conceptos y condiciones que el fabricante establece para el funcionamiento óptimo del circuito integrado. Los cuales se enumeran a continuación:

1. Corriente de consumo en operación y corriente de consumo en off (apagado).

- 1.1. Corriente de consumo en operación (I_{OPE}). La corriente en la terminal V_{SS} cuando $V_1=V_2=V_3=V_4=3.5V$ y $V_{VMP}=V_{DD}$, es la corriente de consumo durante la operación
- 1.2. Corriente de consumo apagado (I_{PDN}). Es la corriente en la terminal V_{SS} cuando $V_1=V_2=V_3=V_4=1.5 V$ y $V_{VMP}=V_{SS}$.

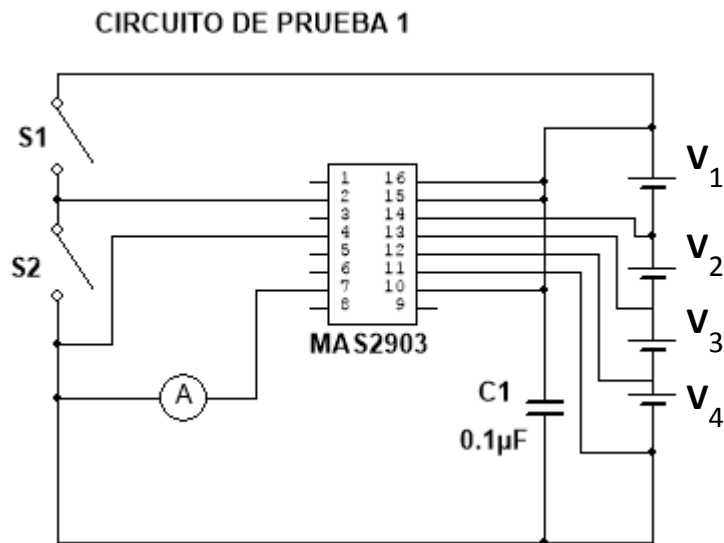


Figura 1.16. Circuito de prueba propuesto por el fabricante para medir las corrientes I_{OPE} e I_{PDN} .

2. Voltaje de detección de sobrecarga, Voltaje de liberación de sobrecarga, voltaje de detección de sobredescarga, voltaje de liberación de sobredescarga, voltaje de detección de sobrecorriente1, voltaje de detección de sobrecorriente2, voltaje de detección de sobrecorriente 3, entrada de voltaje “High” o “alto” de la terminal CTL, entrada de voltaje “Low” o “bajo” de la terminal CTL, entrada de voltaje “High” de la terminal SEL, entrada de voltaje “Low” de la terminal SEL.

2.1. Voltaje de detección de sobrecarga (V_{CU1}), Voltaje de liberación de sobrecarga (V_{CL1}).

V_{CU1} , es el voltaje de V_1 cuando el voltaje de la terminal COP se encuentra en estado “H” (alto), ($V_{DD} \times 0.9$ V o más) después que el voltaje V_1 ha incrementado gradualmente partiendo del estado inicial. V_{CL1} es el voltaje de V_1 cuando el voltaje de la terminal COP es “L” (bajo) después que el voltaje ha incrementado gradualmente.

2.2. Voltaje de detección de sobrecarga (V_{DU1}), Voltaje de liberación de sobrecarga (V_{DL1}).

V_{DL1} , es el voltaje de V1 cuando el voltaje de la terminal DOP es alto, después que el voltaje V1 ha decrementado gradualmente partiendo del estado inicial. V_{DU1} es el voltaje de V1 cuando el voltaje de la terminal DOP es L después que el voltaje ha incrementado gradualmente. Cuando el voltaje de V_n ($n=2$ a 4) es cambiado, V_{CU_n} , V_{CL_n} , V_{DL_n} , V_{DU_n} pueden ser determinados al mismo tiempo como cuando $n=1$.

2.3. Voltaje de detección de sobrecorriente V_{IOV1}

Es el voltaje de la terminal V_{INI} cuando el voltaje de la terminal DOP es "H" después de que V_{INI} ha sido incrementado gradualmente iniciando del status inicial.

2.4. Voltaje de detección de sobrecorriente 2 V_{IOV2} .

Es el voltaje de la terminal V_{INI} cuando el voltaje de la terminal DOP es H después de que el voltaje de la terminal CDT fue establecido a V_{SS} siguiendo el estado inicial de la terminal V_{INI} cuando ha sido decrementado gradualmente.

2.5. Voltaje de detección de sobrecorriente 3 V_{IOV3}

Es la diferencia de voltaje entre V_{DD} y V_{VMP} ($V_{DD}-V_{VMP}$) cuando el voltaje de la terminal DOP es H después que el voltaje V_{MP} ha sido decrementado gradualmente.

2.6. Voltaje de entrada H, CTL, (V_{CTLH}), voltaje de entrada L, CTL (V_{CTLL})

V_{CTLH} es el voltaje de CTL cuando los voltajes COP y DOP son H, después que el voltaje CTL ha sido incrementado gradualmente. La entrada de voltaje V_{CTLH} , el voltaje CTL cuando COP y DOP son L después que el voltaje CTL ha sido decrementado.

2.7. Entrada de voltaje "H" SEL (V_{SELH}), entrada de voltaje "L" SEL (V_{SELL})

Aplicar de 0 a 4V en el estado inicial y confirmar que la terminal DOP es H. V_{SELL} es el voltaje de la terminal SEL cuando el voltaje DOP ha sido decrementado, V_{SELH} es el voltaje de la terminal SEL cuando el voltaje de la terminal DOP es H después que SEL ha sido incrementado gradualmente.

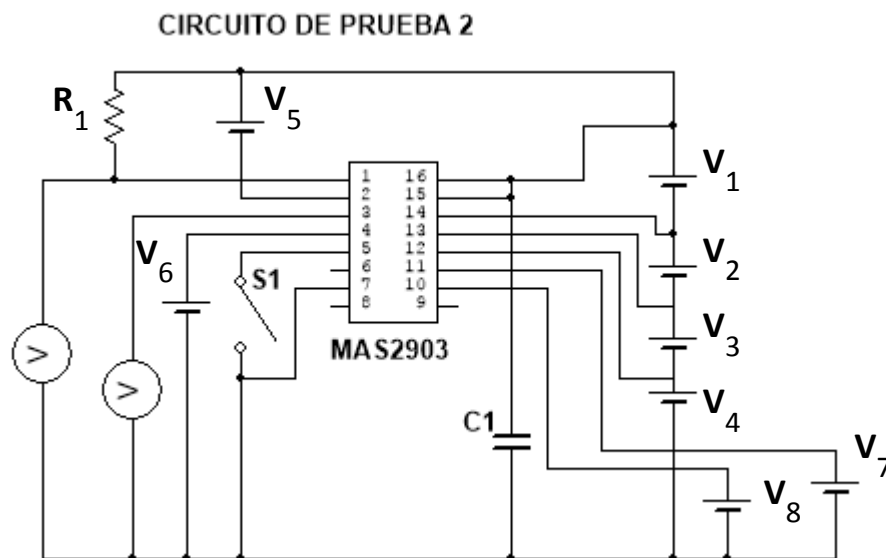


Figura 1.17. Circuito de prueba propuesto por el fabricante para medición de voltajes.

3. Tiempo de retardo de detección de sobrecarga, Tiempo de retardo de detección de sobredescarga, Tiempo de retardo de detección de sobrecorriente 1, Tiempo de retardo de detección de sobrecorriente 2, Tiempo de retardo de detección de sobrecorriente 3.

Confirmar que las terminal DOP y COP están en L, cuando $V_{VMP}=V_{DD}$, $V_{INI}=V_{SS}$ y que $V_1=V_2=V_3=V_4= 3.5V$.

3.1. Tiempo de retardo de detección de sobrecarga (t_{cu})

Es el tiempo que toma para que el voltaje de la terminal COP cambie de L a H, después de que el voltaje de V1 ha cambiado instantáneamente a 4.5V, a partir del estado inicial.

3.2. Tiempo de detección de retardo de sobre descarga (t_{DL})

Es el tiempo que le toma para que el voltaje de la terminal DOP cambie de L a H, después de que el voltaje V1 es cambiado instantáneamente a 1.5 V

3.3. Tiempo de retardo de detección de sobrecorriente 1 (t_{IOV1})

Es el tiempo que toma para que el voltaje de la terminal DOP cambie de L a H después que el voltaje de la terminal V_{INI} cambie instantáneamente a 0.4V

3.4. Tiempo de retardo de detección de sobrecorriente 2 (t_{IOV2})

Es el tiempo que toma para que el voltaje de la terminal DOP cambie de L a H después que el voltaje de la terminal V_{INI} cambie instantáneamente a $V_{IOV2max} + 0,2V$.

3.5. Tiempo de retardo de detección de sobrecorriente 3 (t_{IOV3})

Es el tiempo que toma para que el voltaje de la terminal DOP cambie de L a H después que el voltaje de la terminal V_{MP} cambia instantáneamente de $V_{IOV3min} - 0.2 V$.

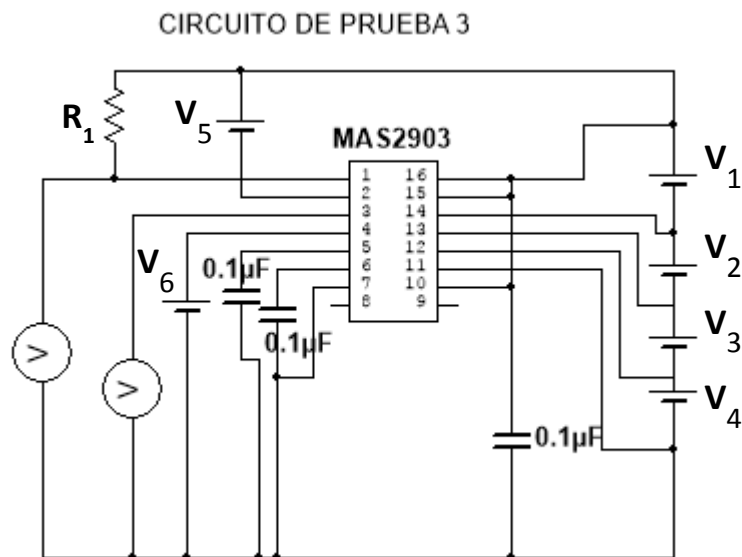


Figura 1.18. Circuito de prueba propuesto por el fabricante para medición de retrasos de tiempo.

- 4. Resistencia entre V_{MP} y V_{DD} , Resistencia entre V_{MP} y V_{SS} , Corriente en la terminal V_{C1} , Corriente en la terminal V_{C2} , Corriente en la terminal V_{C3} , Corriente en la terminal V_{C4} , Corriente en la terminal CTL, “H”, Corriente en la terminal CTL, “L”, Corriente en la terminal SEL, “H”, Corriente en la terminal SEL, “L”, corriente de fuga de la terminal COP, corriente de disipación en la terminal COP, corriente de fuente en la terminal DOP, corriente de disipación en la terminal DOP.**

$$V_{VMP} = V_{SEL} = V_{DD}, V_{INI} = V_{CTL} = V_{SS}, V_1 = V_2 = V_3 = V_4 = 3.5V.$$

4.1. Resistencia entre V_{MP} y V_{DD} (R_{VDM})

Es obtenida de $R_{VDM} = V_{DD} / I_{VDM}$ usando el valor de la corriente de la terminal V_{MP} (I_{VDM}) cuando V_{VMP} es V_{SS} .

4.2. Resistencia entre V_{MP} y V_{SS} (R_{VSM})

Es obtenida de $R_{VSM} = V_{DD} / I_{VSM}$ usando el valor de corriente de la terminal V_{MP} (I_{VSM}) cuando $V_1=V_2=V_3=V_4=1.8V$

4.3. Corriente en la terminal $V_{C1}, V_{C2}, V_{C3}, V_{C4}$, ($I_{VC1}, I_{VC2}, I_{VC3}, I_{VC4}$)

En el estado inicial, la corriente que fluye través de V_{C1} es la corriente en la terminal V_{C1} (I_{VC1}), la corriente que fluye través de V_{C2} es la corriente en la terminal V_{C2} (I_{VC2}), la corriente que fluye través de V_{C3} es la corriente en la terminal V_{C3} (I_{VC3}), la corriente que fluye través de V_{C4} es la corriente en la terminal V_{C4} (I_{VC4}).

4.4. Corriente en la terminal CTL, "H", Corriente en la terminal CTL, "L"

El estado inicial la corriente que fluye través de la terminal CTL es la corriente de la terminal CTL "L" (I_{CTL}) después cuando $V_{CTL}=V_{DD}$ la corriente que fluye través de la terminal CTL es la corriente de la terminal CTL "H" (I_{CTLH})

4.5. Corriente en la terminal SEL, "H", Corriente en la terminal SEL, "L"

El estado inicial la corriente que fluye través de la terminal SEL es la corriente de la terminal SEL "H" ($I_{SE LH}$) después cuando $V_{SEL}=V_{SS}$ la corriente que fluye través de la terminal SEL es la corriente de la terminal SEL "L" ($I_{CSE LL}$)

4.6 Corriente de fuga de la terminal COP (I_{COH}), corriente de disipación en la terminal COP (I_{COL}).

(I_{COL}) es la corriente que fluye a través de la terminal COP cuando $V_{COP} = V_{SS} + 0.5V$. Después de eso la corriente que fluye a través de la terminal COP cuando

$V_1=V_2=V_3=V_4=6V$ y $V_{COP}=V_{DD}$ y $V_{COP}=V_{DD}$ es la corriente de fuga I_{COH}

4.7 Corriente de fuente en la terminal DOP (I_{DOH}), corriente de disipación en la terminal DOP (I_{DOL}).

I_{DOL} es la corriente que circula a través de la terminal DOP cuando $V_{DOP} = V_{SS} + 0.5 V$. después de que la corriente fluye a través de la terminal DOP cuando $V_{VMP} = V_{DD} - 2V$ y $V_{DOP} = V_{DD} - 0.5V$ es la corriente de fuente I_{DOH} .

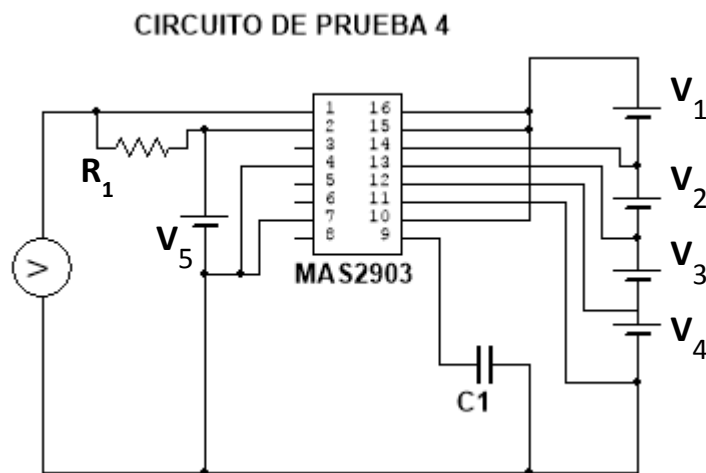


Figura 1.19. Circuito de prueba propuesto por el fabricante para medición de corrientes.

Para que el circuito integrado opere de manera óptima deberán considerarse todas las características de corrientes y voltajes, incluyendo para su análisis los siguientes estados del circuito.

1. Estado normal (En operación)

Cuando todos los voltajes de la batería están en el rango entre V_{DLn} a V_{CU_n} y la corriente de descarga es más baja que el valor especificado (el voltaje de la terminal V_{INI} es más bajo que V_{IOV1} y V_{IOV2} , y el voltaje de la terminal V_{VMP} es más alto que V_{IOV3}) la carga y descarga del FET están activadas.

2. Estado de sobrecarga

Cuando uno de los voltajes de la batería comienza a ser más alto que V_{CU_n} y el estado continúa por t_{cu} o más largo, la terminal COP comienza a tener alta impedancia. La terminal COP es llevado hacia el voltaje de la terminal EB+ por un resistor externo y la carga del FET es detenida para detener la

carga. Esto es llamado estado de sobrecarga. El estado de sobrecarga es liberado cuando una de las siguientes dos condiciones ocurre.

- (1) Todos los voltajes de la batería se convierten en V_{CLn} o menos.
- (2) Todos los voltajes de la batería son V_{CU_n} o menor, y el voltaje de la terminal V_{MP} es $39/40 \times V_{DD}$ o menos.

3. Estado de sobredescarga.

Cuando alguno de los voltajes comienza a ser menor que V_{DLn} y este estado continúa por t_{DL} o más, el voltaje de la terminal DOP comienza a ser el nivel de V_{DD} , y la descarga del FET es apagada para detener la descarga de la batería. Esto es llamado estado de sobredescarga. Después la descarga es detenida debido al estado de sobredescarga, la serie MAS2903 introduce un estado de power-down.

4. Estado power-down

Cuando la descarga es detenida debido a un estado de sobre descarga, la terminal VMP es llevada al nivel de V_{SS} mediante el resistor R_{VSM} . Cuando el voltaje de la terminal VMP es menor que $V_{DD}/2$, el IC entra en el modo estado power-down. Las condiciones de cada terminal de salida son las siguientes

- (1) Terminal COP : alta impedancia
- (2) Terminal DOP : V_{DD}

El estado power-down es liberado cuando la siguiente condición se presenta:

- (1) El voltaje de la terminal VMP es $V_{DD}/2$ o mayor.

Las siguientes dos condiciones liberan el estado de sobredescarga.

- (1) En caso de que el voltaje de la terminal VMP sea $V_{DD}/2$ o mayor y el voltaje de la terminal VMP menor que V_{DD} , el estado de sobredescarga es liberado cuando todos los voltajes de la batería son V_{DU_n} o mayores.
- (2) En caso de que el cargador es conectado, el estado de sobredescarga es liberado y el estado de sobredescarga

es liberado cuando todos los voltajes de la batería son V_{DLn} o mayores.

5. Estado de sobrecorriente.

El MAS2903 tiene 3 niveles de detección de sobrecorriente (V_{IOV1} , V_{IOV2} y V_{IOV3}) y tres niveles de detección de retraso de tiempo (t_{IOV1} , t_{IOV2} y t_{IOV3}) que corresponden a cada nivel de detección de sobrecorriente. Cuando la descarga de corriente se vuelve más alta que el valor especificado (el voltaje entre V_{SS} y V_{INI} es más grande que V_{IOV1}) y el estado continúa para t_{IOV1} ó más, la serie MAS2903 entra en un estado de sobrecorriente en el cual Terminal DOP se vuelve V_{DD} para apagar la descarga del FET y detener la descarga. La terminal DOP comienza a presentar alta impedancia y la terminal +EB eleva su voltaje para apagar la carga del FET y detener la carga, y la terminal VMP es llevado al voltaje al valor de V_{DD} por el resistor interno R_{VMP} . La operación del nivel de detección de corriente 2 (V_{IOV2}) y detección de retraso de tiempo de sobrecorriente 2 (t_{IOV2}) es el mismo para V_{IOV1} y t_{IOV1} . En el estado de sobrecorriente, la terminal VMP es llevado al nivel V_{DD} por el resistor interno en el circuito integrado. El estado de sobrecorriente es liberado cuando se tiene la siguiente condición:

- (1) El voltaje de la terminal VMP es V_{IOV3} o mayor porque un cargador es conectado o la carga (30 M-ohms o más) es desconectada.

6. Función de carga de la batería en 0V.

Respecto a la carga de batería auto descargada (0V), el CI tiene dos funciones de cuál debería ser seleccionada.

- (1) La carga de la batería en 0V es permitida
Cuando el voltaje del cargador es mayor que V_{OCHA} , la batería en 0V puede ser cargada.
- (2) La carga de la batería en 0V es prohibida
Cuando uno de los voltajes de la batería es menor que V_{OINH} , la batería no puede ser cargada

7. Terminal CTL.

La terminal CTL es usado para control de las salidas de voltaje de las terminales COP y DOP. La terminal CTL tiene prioridad sobre el circuito de protección de la batería.

Tabla 1.3. Condiciones establecidas por la terminal CTL

TERMINAL CTL	TERMINAL COP	TERMINAL DOP
H	Alta impedancia	V_{DD}
Open	Alta impedancia	V_{DD}
L	Estado normal	Estado normal

8. TERMINAL SEL

La terminal SEL es usada para cambiar entre 3 y 4 celdas la protección. Cuando la terminal SEL es Low, la detección de sobredescarga de la celda V_4 es prohibida y una sobredescarga no es detectada aun si la celda V_4 es cortocircuitada.

Tabla 1.4. Condiciones establecidas por la terminal SEL

TERMINAL SEL	CONDICION
H	Protección de 4 celdas
Open	Indefinido
L	Protección de 3 celdas

Mediante la revisión de estas condiciones se realizaron pruebas para identificar el origen del problema de la inhibición de la tarjeta.

El **estado normal** o de operación resultó innecesario de revisar debido a que, mientras la descarga no rebasara los 3.5 Amperes el estado de operación se mantenía normal. Igualmente se descartó que la tarjeta se encontrara en un **estado de sobrecarga** ya que al momento de la inhibición, la batería nunca estaba conectada a un cargador de baterías. De manera tal, que por el tipo de situación se debían analizar 2 estados en los cuales era muy posible determinar el origen de la inhibición, estos fueron: **Estado de sobredescarga**, y **Estado de sobrecorriente**.

Para el **estado de sobredescarga** el cual nos dice que: cuando alguno de los voltajes comienza a ser menor que V_{DLn} y continua por t_{DL} o más, el voltaje en DOP que corresponde a la terminal

número 3, comienza a ser el nivel de V_{DD} , y la descarga del FET es apagada para detener la descarga de la batería entonces el Circuito Integrado introduce un estado de power-down.

Como V_{DL1} es el voltaje V_1 cuando el estado de la terminal DOP es “H”, para nuestro caso de análisis se midió $V_1 = 4.1$ Volts, pero el voltaje en la terminal DOP es 16.3 V, el mismo voltaje que V_{DD} , a continuación el FET es apagado y la batería se inhibe ya que el circuito integrado entra en el modo power-down.

Para **el estado de sobrecorriente** se tiene que: Cuando la descarga de corriente se vuelve más alta al valor especificado, este valor es la diferencia entre los voltajes V_{SS} y V_{INI} , y este resultado deberá ser menor a V_{IOV1} , si este nivel continua así por un periodo de tiempo t_{IOV1} o más, el circuito integrado entrara en el modo de sobrecorriente, El voltaje en la terminal DOP (terminal 3) se iguala a V_{DD} para detener primero la descarga del FET y posteriormente apagarlo cuando en la terminal DOP existe alta impedancia, también sucede que, la terminal VMP (terminal 2) es llevado al nivel V_{DD} vía el resistor interno R_{VDM} (R_{VDM} es un resistor interno del circuito integrado entre la terminal VMP y V_{DD}).

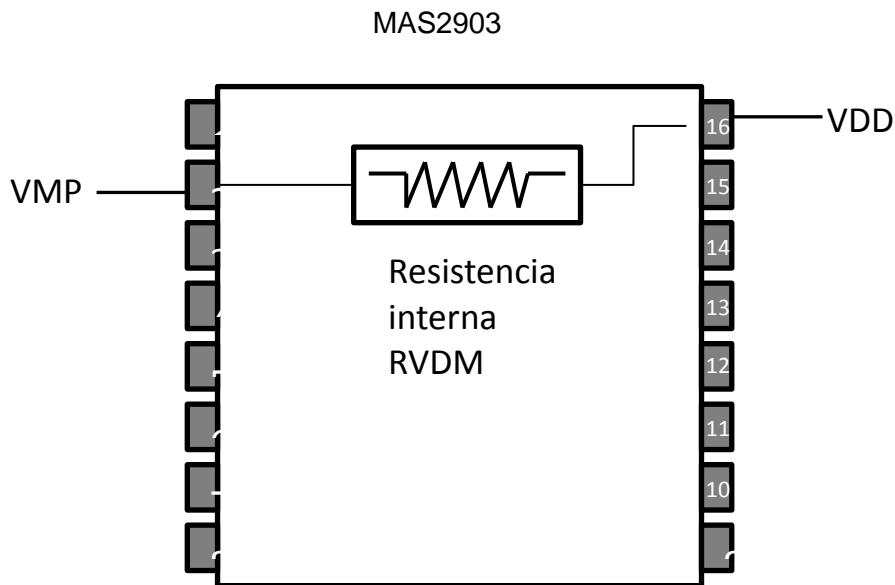


Figura 1.20. Resistencia interna RVDM.

Aunque, el circuito integrado incluye tres niveles de detección de sobrecorriente, el caso de la inhibición de la tarjeta se suscita después de que se ha elevado la corriente en tres ocasiones por un tiempo que sobrepasa cualquier nivel de t_{IOVn} , ya que el interruptor en las pruebas es accionado y nunca se vuelve a regresar a su

posición de off, sino que se queda en “on” mientras exista energía suficiente en la batería para ser descargada.

Este estado de sobrecorriente impone una condición para ser desbloqueado y es el hecho de conectar un cargador o bien la carga sea desconectada, hecho que no sucedía durante la pruebas. De modo que la protección activada para nuestro caso correspondía al estado de **sobrecorriente**.

1.5 Análisis del comportamiento de la corriente

Como se mostró en los pasos anteriores, se determinó que la protección que inhibía a la tarjeta correspondía a la protección contra sobrecorriente, después de haber aislado el problema que nos remitía a inspeccionar los circuitos correspondientes a la tarjeta de protección, se decidió analizar el comportamiento de la corriente en cada instante que era activado un interruptor. De esta manera se optó por acudir a un laboratorio especializado con el fin de visualizar el comportamiento de la corriente. Se decidió acudir a la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME) con el fin de visualizar el comportamiento del circuito.

Utilizando las baterías en cuestión, el banco de focos que se usa para la descarga de las mismas y el equipo especializado propiedad de la ESIME, se logró tener un punto preciso para poder visualizar el problema y buscar la mejor solución, para satisfacción de la SEDENA.

En este caso, a petición de la empresa las pruebas se desarrollarían conectando las secciones de la batería en su modo 32V (conexión en serie de sus terminales) y se utilizaron focos de 24V, 21W. Después de algunos intentos y de mostrar el efecto de la inhibición de la tarjeta, se descubrió que lo que causaba la interrupción de la corriente, era un pico de corriente que activaba la protección contra sobre corriente de la tarjeta de control.

Las siguientes gráficas muestran el efecto del pico de corriente que se visualizó en el laboratorio. En la Figura 1.21, se visualiza el nivel de voltaje que proporciona la batería, es el instante 0, justo antes de que sea operado el interruptor de palanca mecánico que activa la conexión de los focos para la descarga de la batería. El nivel de la corriente en la gráfica corresponde también al instante en el que aún no se le ha conectado dicha carga por lo cual el nivel es 0 Amperes.

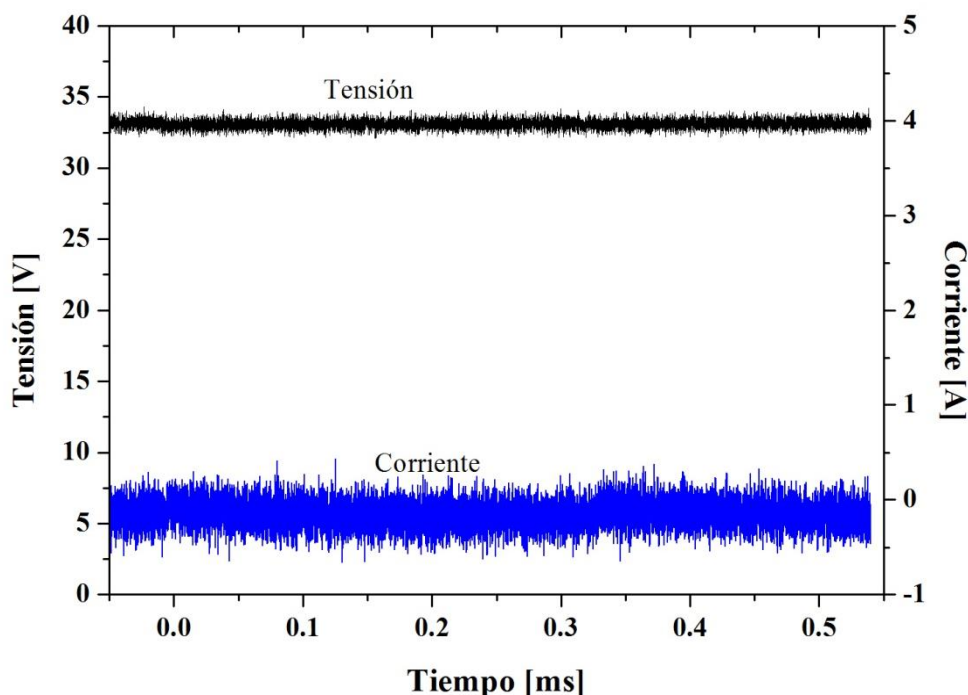


Figura 1.21. Niveles de Corriente y Voltaje antes de conectar la carga.

Para el instante 1, se activa el interruptor número 1, que conecta a la batería que en ese momento registra un voltaje de 33V, un foco de 24V, 21W. Esto nos da una corriente resultante de aproximadamente 0.6 Amperes, este hecho no representaba ningún problema. En el instante 2, es activado un segundo foco con las mismas características, Ahora el voltaje de la batería ya se encuentra en 31V y la corriente resultante aproximada es 1.3 Amperes, aun no se presentaba nada anormal. En el instante 3, es conectado un foco de halógeno 24V, 50W y la corriente de aproximadamente 3.4 A, esto ya provocaba un pico de corriente tan alto que la tarjeta de protección era activada y suspendía el suministro de corriente.

La Figura 1.22, muestra el comportamiento de la corriente y el voltaje en el instante 3, momento en que es operado a “ON” la posición del tercer interruptor y se ha conectado una carga de más de 3 Amperes.

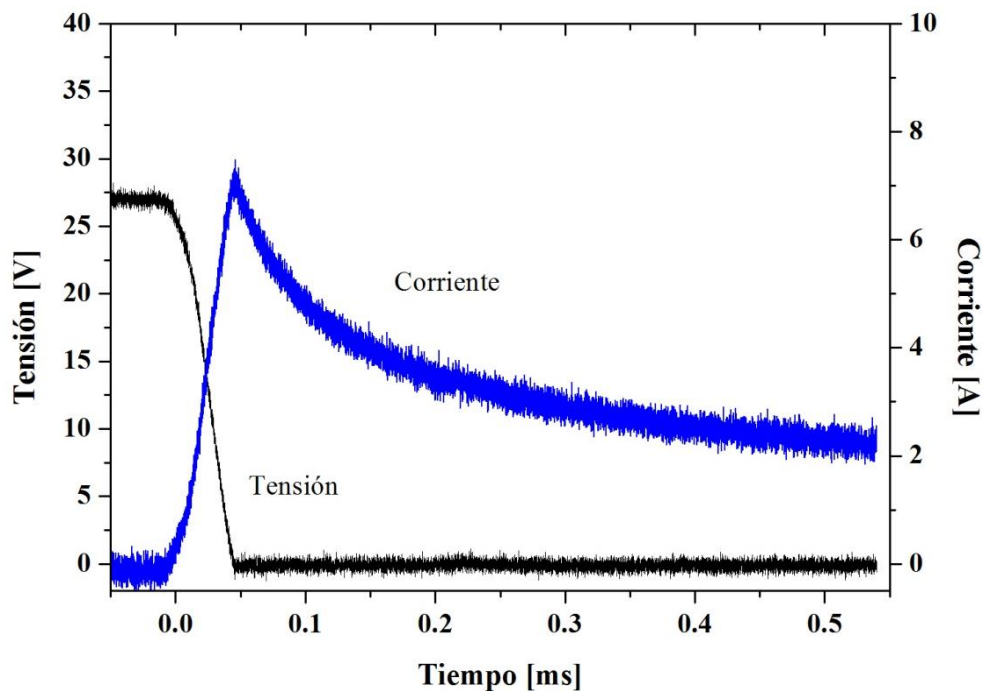


Figura 1.22. Niveles de corriente y voltaje al activar el segundo interruptor, la carga se encuentra inicialmente conectada.

También se realizaron pruebas con focos a temperatura ambiente (fríos) y con focos calientes (focos que ya habían sido usados en pruebas preliminares), esto, considerando que cuando los focos de halógeno se encuentran fríos, presentan una menor resistencia, por lo que al energizarlos, se presenta un pico transitorio de corriente que se atenúa a medida que el foco se calienta, y produce una caída de tensión alta, debida a la resistencia interna de la batería, que podría ser suficiente para que opere el circuito de protección de la tarjeta especialmente con los focos que están inicialmente fríos (a temperatura ambiente). También se registró que si los focos son apagados y encendidos en un lapso corto de tiempo, los filamentos mantienen una resistividad alta por lo que el transitorio de corriente no es tan severo y la tarjeta de protección no opera. Pero si se dejan enfriar lo suficiente la resistividad se restablece a un valor bajo, que nuevamente llevara a un transitorio de corriente elevado al ser energizados.

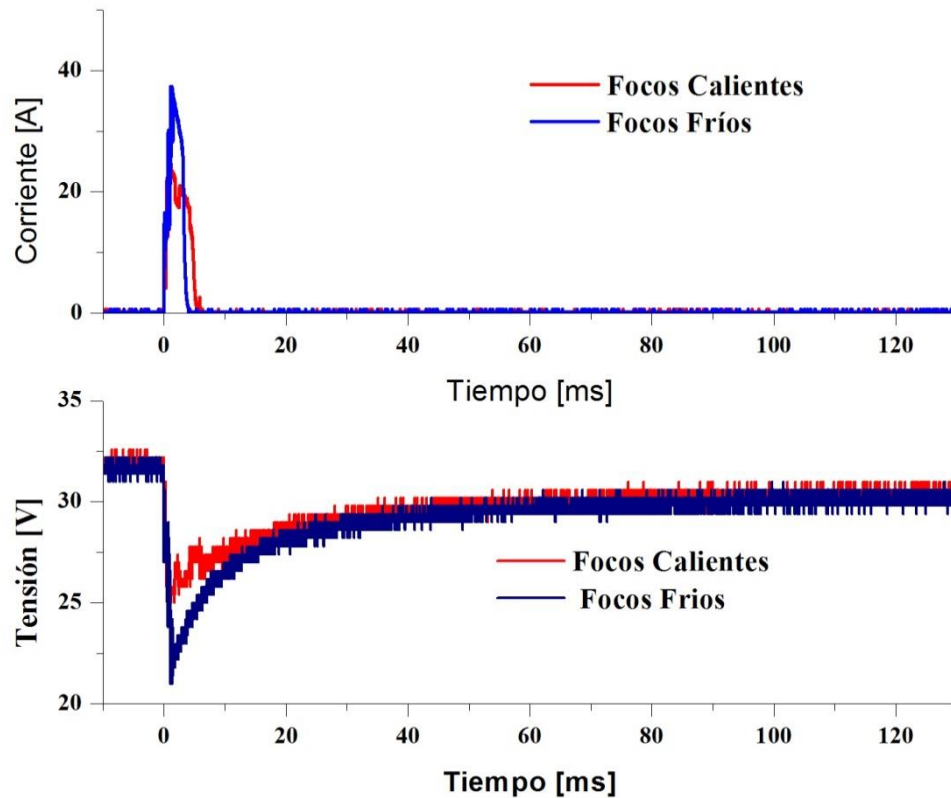


Figura 1.23. Gráficas con focos fríos y calientes.

**No se realizaron mediciones de temperatura*

Los resultados al final de las pruebas y obtención de gráficas fueron un factor determinante por el cual se debió modificar la tarjeta de protección. Estas gráficas fueron realizadas en el edificio de Laboratorios Pesados de la ESIME Zacatenco. El equipo usado fue el siguiente: Bobina de corriente (Figura 1.24), osciloscopio Tektronix (Figura 1.25), arreglo de baterías recargables de ion-litio (Figura 1.26) y banco de focos (Figura 1.27).



Figura 1.24. Bobina de Corriente.

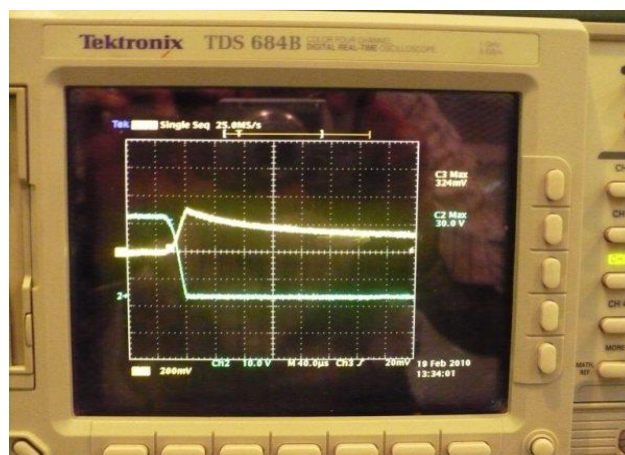


Figura 1.25. Osciloscopio Tektronix Modelo TDS684B

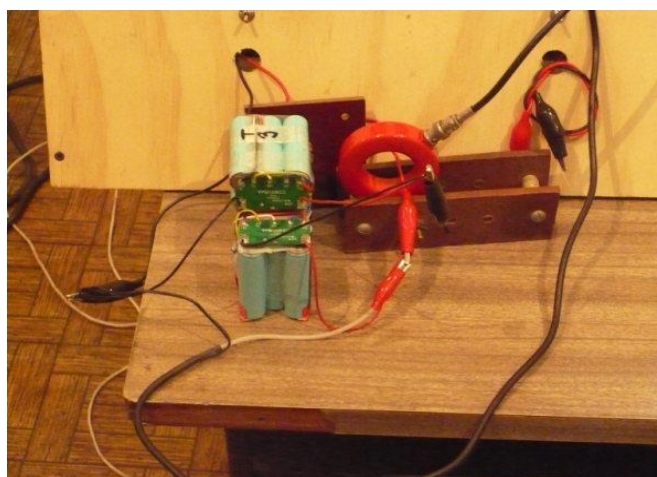


Figura 1.26. Arreglo de celdas para batería recargable de Ion-Litio

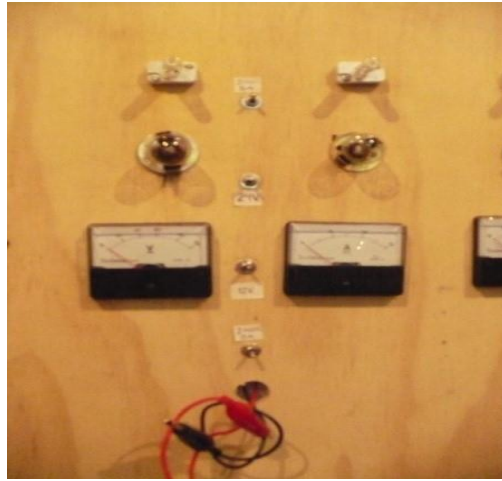


Figura 1.27. Banco de Focos de prueba.

Capítulo II

REINGENIERÍA DEL MÓDULO DE PROTECCIÓN.

2.1 Razones del rediseño.

El análisis se retomó desde el punto de la problemática de la limitación de corriente, de lo cual se detectó que se trataba de la protección contra sobre corriente incluida en la tarjeta de protección, ya que al conectar la carga al arreglo de baterías sin esta tarjeta de protección, nunca se interrumpió el suministro de corriente. Se realizaron prácticas con el circuito integrado encargado del control de los límites de voltaje y corriente para detectar la posible falla que siempre nos refería a dicha protección, en la Figura 2.1, se muestra la conexión de prueba del circuito integrado.

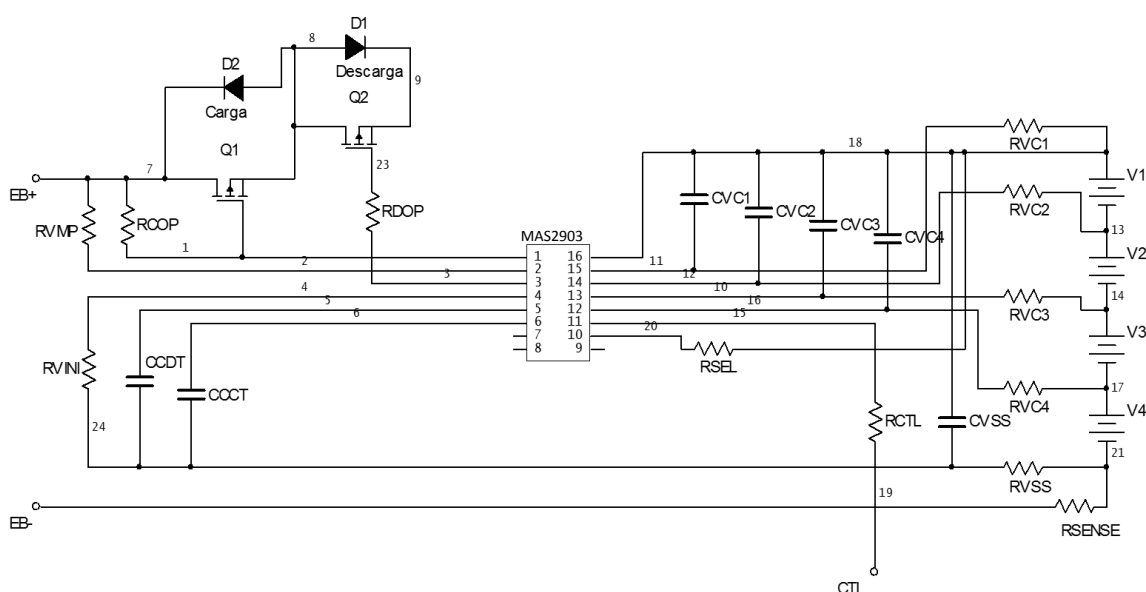


Figura 2.1. Diagrama de conexión de prueba del C. I. MAS2903.

En la Tabla 2.1. se encuentra el rango de valores posibles con los que se puede polarizar el circuito de prueba.

Utilizando el circuito integrado fuera de la tarjeta de control, se realizó un circuito de prueba para verificar lo que nos había revelado el análisis de la corriente. El resistor R12, con un valor de

0.02 ohms, tiene la función de detectar en primera instancia (Figura 2.2), el nivel de corriente en una conexión externa al circuito integrado MAS2903.

Tabla 2.1. Valores recomendados de componentes externos.

	Valor Recomendado	Rango
RVC1	1	0 a 1 kΩ
RVC2	1	0 a 1 kΩ
RVC3	1	0 a 1 kΩ
RVC4	1	0 a 1 kΩ
RDOP	5.1	2 ta10 kΩ
RCOP	1	0.1 a 1 MΩ
RVMP	5.1	1 a 10 kΩ
RCTL	0	0 a 100 kΩ
RVINI	0	0 a 100 kΩ
RSEL	0	0 a 100 kΩ
RSENSE	0	0 o mayor mΩ
RVSS	0	0 a 51 Ω
CVC1	0.1	0.1 0 a 0.33 μF
CVC2	0.1	0.1 0 a 0.33 μF
CVC3	0.1	0.1 0 a 0.33 μF
CVC4	0.1	0.1 0 a 0.33 μF
CCCT	0.1	0.01 o mayor μF
CCDT	0.1	0.02 o mayor μF
CVSS	1	0 a 10 μF

Con un valor de R12 de 0.02 ohms, el circuito de polarización externo del circuito integrado, solo permitía una corriente de descarga de aproximadamente 3.5 Amperes, mientras que la necesidad para que la tarjeta opere de manera óptima para esta aplicación, es de 6.6 Amperes, que es la máxima corriente que se le puede demandar a la batería, ya que así se especifica en la hoja de datos.

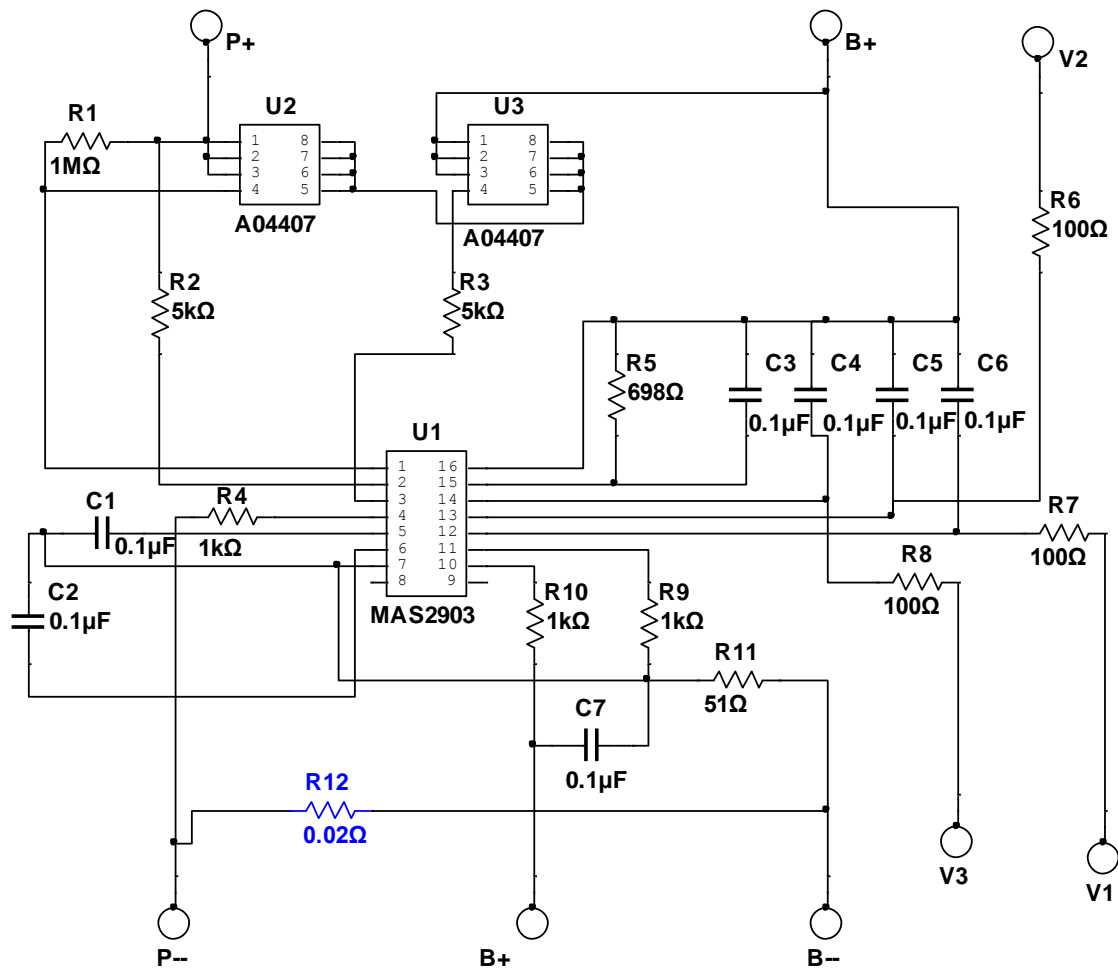


Figura 2.2, Ubicación del resistor limitador de corriente.

Se experimentó conectando bobinas de algunos milihenrys en sustitución de la resistencia R12, para oponerse a la variación de la intensidad del efecto del pico de corriente, La Figura 2.3, muestra el resultado del instante en que son activados los interruptores que activan la carga, en la cual se observa una corriente nula que indica que se activado la protección de la tarjeta.

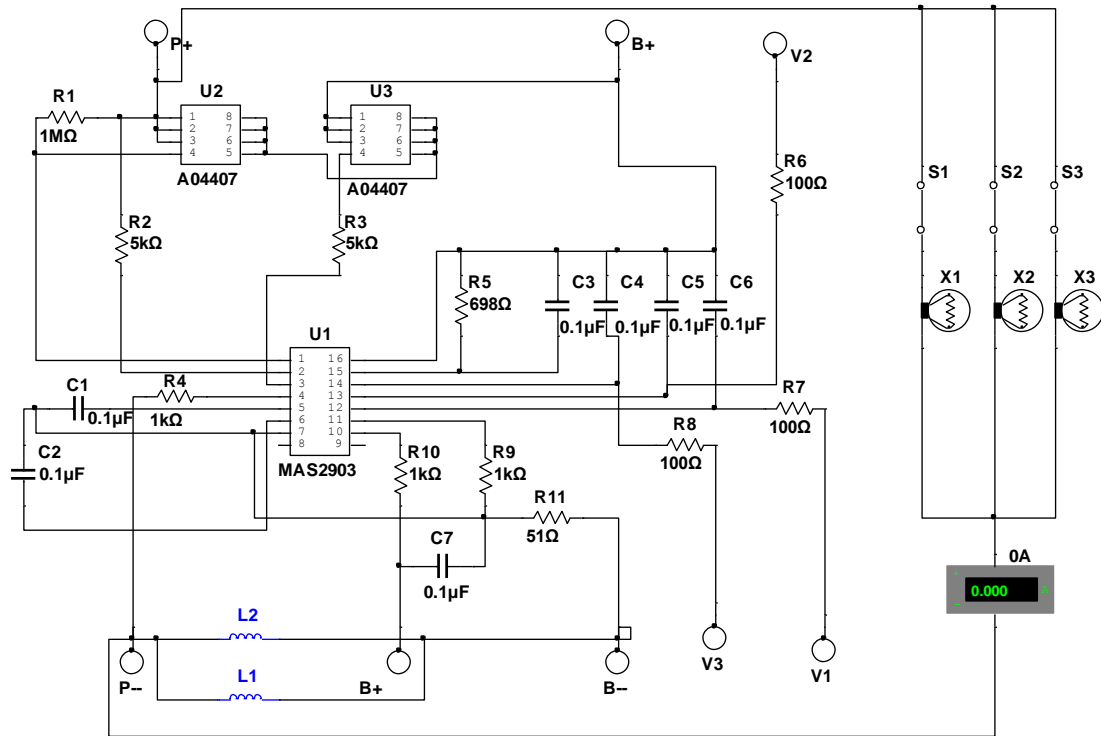


Figura 2.3. Conexión de carga utilizando bobinas como limitadoras de corriente.

Después del intento con las bobinas se realizó un análisis del circuito considerando el diagrama funcional del circuito integrado. En la Figura 2.4, se muestra parte del diagrama funcional del circuito integrado MAS2903 con los resistores externos asociados. Se observa que la limitación de corriente de descarga se realiza con amplificadores operacionales configurados como detectores no inversores de nivel positivo y circuitos retardadores para disparar el dispositivo interruptor (transistores MOSFET). Según la hoja de datos, el voltaje de detección de sobre corriente es ajustable. En el diseño original los fabricantes lo hicieron a un nivel de voltaje tal que como ya se indicó el valor de la corriente de descarga fuera de 3.5 Amperes. Se conectaron resistores de valores menores al valor original hasta conseguir que el valor de la corriente de descarga fuera próxima a 6.6 Amperes.

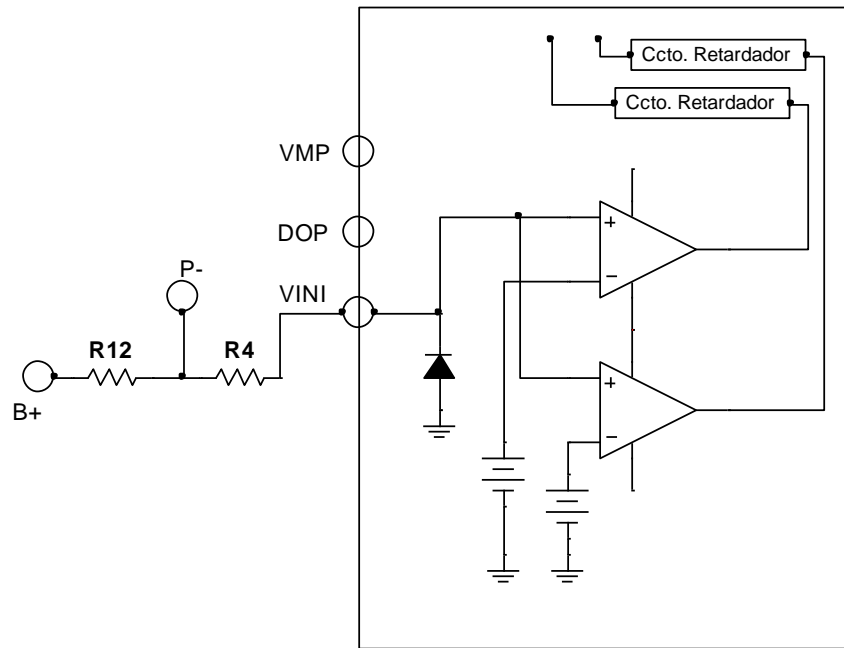


Figura 2.4, Parte del diagrama funcional de circuito MAS2903 con los resistores asociados.

Un resistor del doble del valor que se tenía originalmente conectado en paralelo con el resistor R12, resultó ser la opción que mejoraría el desempeño de la tarjeta. Se conectaron resistores del mismo valor en paralelo para verificar el valor que nos permitiera un flujo de corriente superior a los 6 amperes. El resistor de 0.01 ohm permitió que la corriente de descarga superara los 6 amperes. (Figura 2.5).

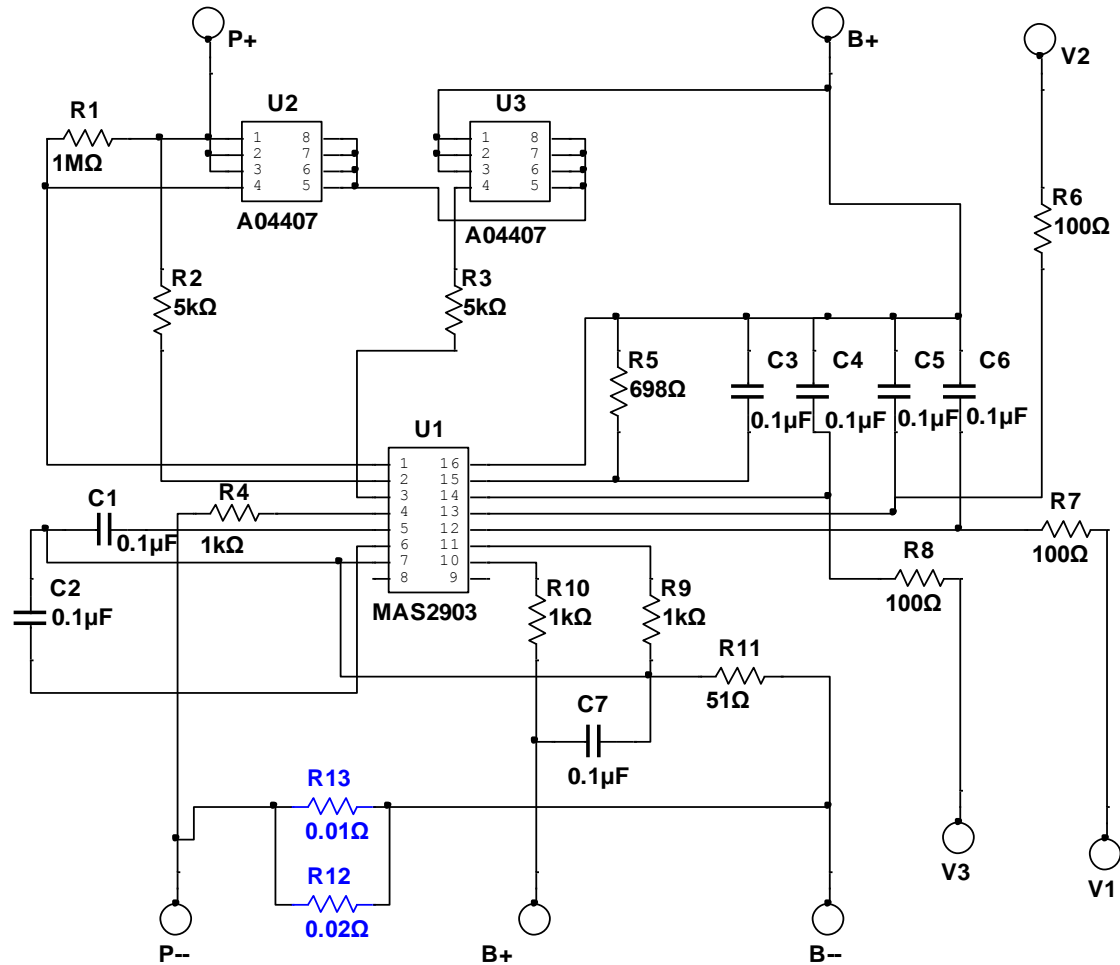


Figura 2.5, Modificación del resistor limitador.

Con esta modificación se retomó la fase de pruebas de descarga de baterías utilizando el procedimiento de tres pasos mencionado en el apartado de la problemática 1.3.1. Ahora el circuito queda como muestra la Figura 2.6.

La conexión de otro resistor en paralelo, permitió realizar la libre descarga de la batería a una corriente superior a los 6 amperes, que en esencia era lo que el BLT buscaba, sin embargo no se conocía el límite de la corriente de descarga ni la dimensión del pico de corriente, o si este al ser liberado por el resistor equivalente pudiese dañar al propio circuito o a las celdas de ion-litio, por lo tanto se acudió de nuevo al laboratorio de la ESIME. Ahí, se realizó el mismo proceso anterior de descarga por pasos, y verificar el comportamiento de la corriente de la batería con la tarjeta modificada.

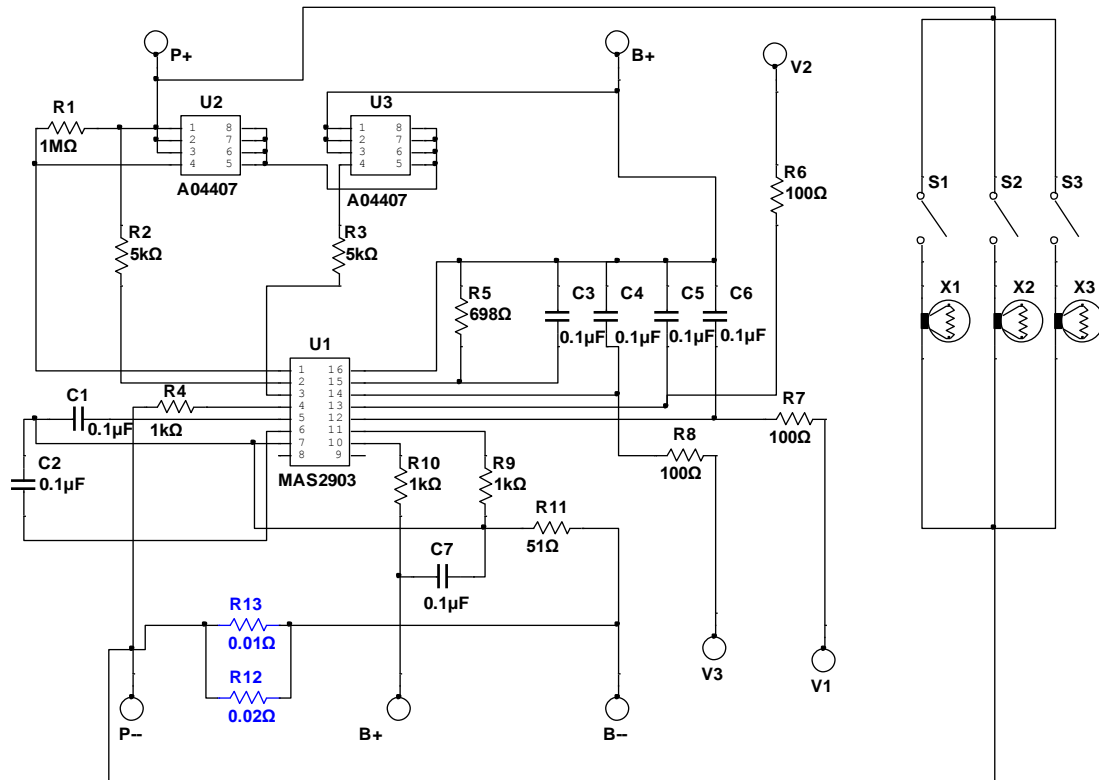


Figura 2.6, Modificación a la tarjeta de protección.

2.2 Modificación a la tarjeta de Protección

Con esta modificación a la tarjeta de protección, se continuó con las pruebas de descarga y análisis de la corriente, para verificar si efectivamente este reemplazo había solucionado el problema. Se comenzó con la descarga de la batería por medio del banco de focos, utilizando la batería nuevamente en su modo 32V. Obteniendo así, un mejor desempeño, pues ahora la tarjeta ya no se inhibía y la batería podía ser descargada a una corriente de descarga de poco más de 6 amperes como lo indica la Figura 2.7.

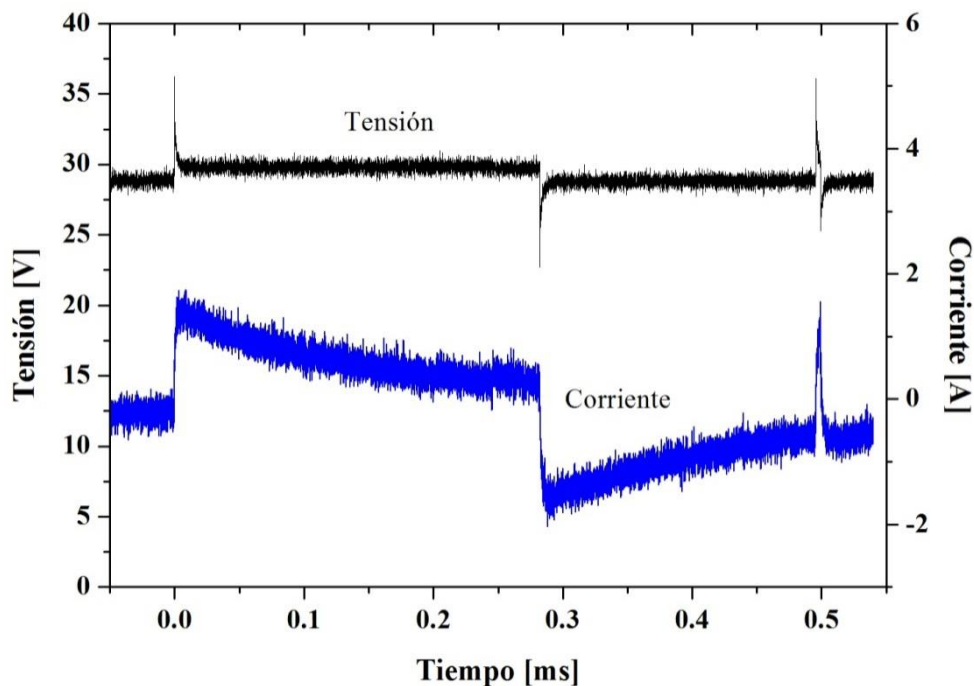


Figura 2.7. Gráfica de la corriente cuando la tarjeta ya ha sido modificada.

En la gráfica anterior, es posible observar el efecto de cada acción de agregar un foco a la vez, y como, durante la activación de los interruptores que conectan la carga a la batería, la corriente que proporciona la batería ya no se interrumpe, y la batería ahora puede ser descargada a la tasa de corriente que el personal militar requiera, *sin exceder* la capacidad de la batería de lo contrario las celdas sufrirían daños irreversibles incluso provocar algún incidente.

Al final de las pruebas, los resultados obtenidos fueron satisfactorios, se tenía ya una tarjeta que proporcionaba una corriente considerable para la descarga de la batería y solo restaba presentar dichas pruebas al personal encargado de las mismas. El diagrama final de la tarjeta es el siguiente.

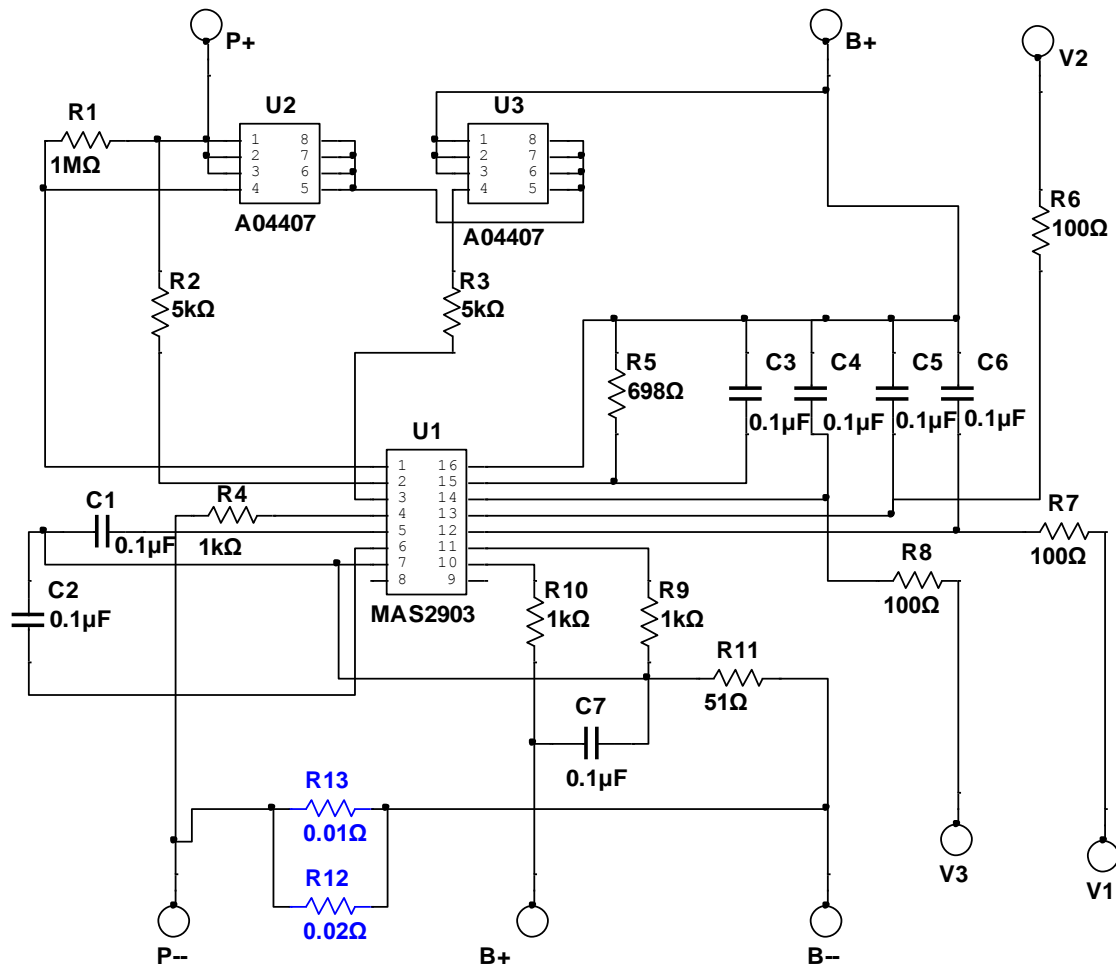


Figura 2.8. Diagrama de la Tarjeta modificada.

Con tal modificación, la tarjeta fue instalada en 50 arreglos de baterías recargables de ion-litio, las cuales fueron enviadas a las unidades militares alrededor de la república mexicana, con el fin de comprobar su desempeño en condiciones extremas de temperatura. Después de 30 días de prueba de estas baterías, hubo una reunión con el personal encargado del ensamble de baterías en la DGT con comentarios muy buenos de aceptación. Solo argumentaban que la descarga resultaba muy dispereja entre ambas secciones, es decir, mientras una sección de la batería podía descargarse en tiempo aproximado de 6 horas y 45 minutos con una carga de 1 ampere, la otra sección podía tardar 6 horas 30 minutos con una carga igual de 1 ampere. Así mismo, cuando recargaban una sección de la batería podía llegar a su carga completa en dos horas y media con una corriente de 1.5 amperes, y la otra sección podría tardar unos 15 minutos más en obtener su carga completamente.

Se sugirió un nuevo análisis para tratar de resolver la situación sin dejar de lado algunos fenómenos electroquímicos que ocurren en la elaboración de baterías los cuales se tratarán en el punto siguiente.

2.3 Regulación de Voltaje

Para el nuevo análisis de la batería se tiene en cuenta que, si bien no representaba un defecto en la operación de la batería, si se debería tener una razón ante tal efecto de disparidad de carga y de descarga. El hecho era que, mientras una sección de la batería alcanzaba su nivel máximo de carga, la otra sección aun no la alcanzaba, del mismo modo en la modalidad de descarga; una sección siempre llegaba su nivel de corte inferior antes que la otra, aún cuando estas se encontraran con el mismo nivel de voltaje inicial, se descargarán a la misma tasa de corriente y se activarán en el mismo instante.

Se realizó un desensamble completo del arreglo de baterías, es decir, se analizó cada sección de manera aislada, separando incluso cada sección en sus respectivos paquetes de celdas sin desconectarlos, con el fin de monitorear el estado de cada paquete de celdas y verificar el comportamiento de cada uno de ellos, así como los niveles de voltaje que registraba la tarjeta de protección al activar los modos de corte de nivel superior o inferior.

La Figura 2.9, muestra la forma en que se conectó cada pack de celdas para ser monitoreado durante la observación de disparidad de carga y descarga del arreglo de celdas recargables de ion-litio.

Cada lectura de voltaje de los packs de una sección representaría el comportamiento de dicho pack ante la carga o descarga. V_{p1} , V_{p2} , V_{p3} , V_{p4} son los voltajes medidos en el paquete 1, paquete 2, paquete 3 y paquete 4, respectivamente.

Los resultados fueron los mismos en ambas secciones, se registró disparidad entre packs tanto en la descarga como en la carga.

En la Tabla 2.2, se muestran los resultados obtenidos, en donde se puede apreciar que aproximadamente 1 volt de diferencia es el valor de voltaje de algún pack de alguna sección de la batería.

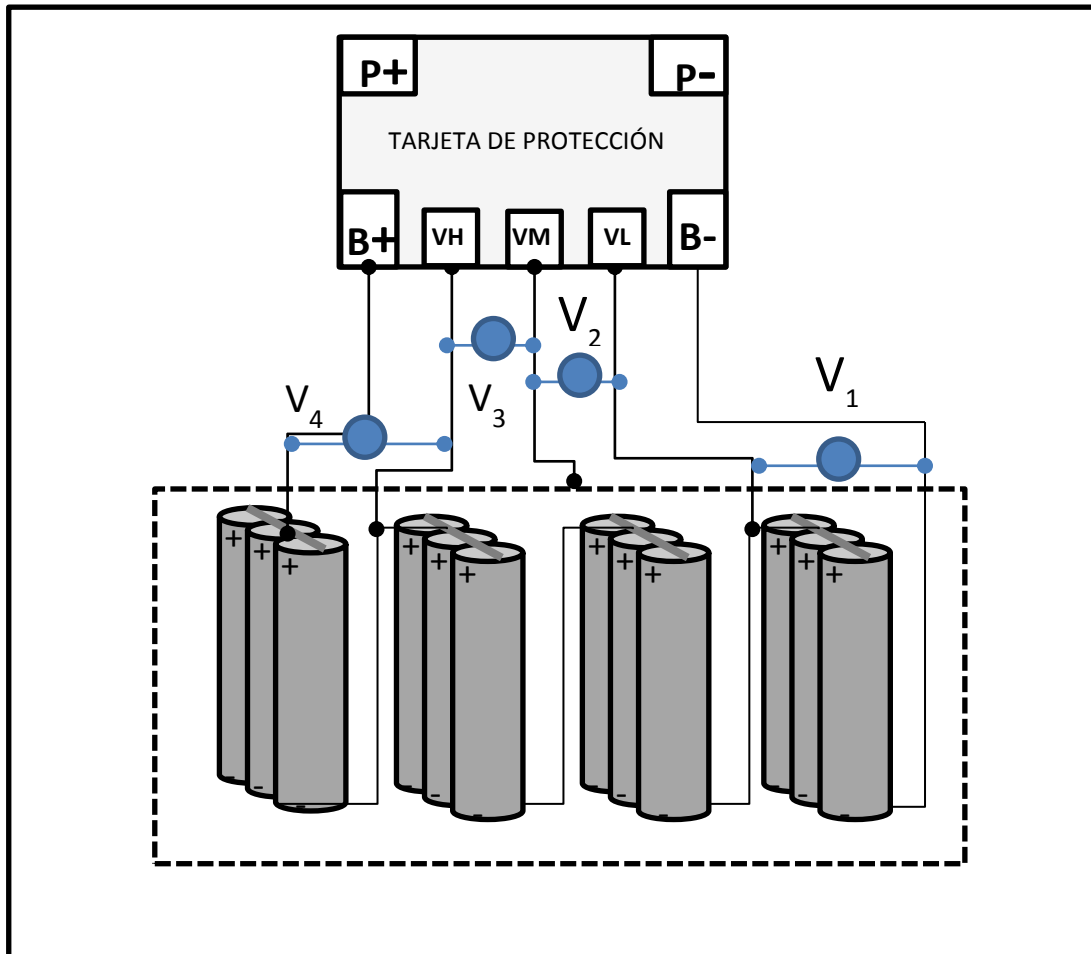


Figura 2.9. Registro de voltajes en paquetes de celdas.

Tabla 2.2. Tabla de rendimiento de una tarjeta de protección sin regulación

TIEMPO	VOLTAJE (VOLTS) SECCIÓN1	VOLTAJE (VOLTS) SECCIÓN2	CORRIENTE (AMPERES)
00:00	16.4	16.4	1
00:25	16.1	16.1	1
00:50	15.3	15.3	1
01:15	14.8	14.8	1
01:40	15	15	1
02:20	14.9	14.9	1
02:45	14.8	14.8	1
03:15	14.7	14.7	1
03:55	14.6	14.6	1
04:25	14.2	14.2	1
04:35	13.6	13.2	0
04:40	12.9	0	0

Los resultados anteriores muestran una descarga muy dispereja entre las dos secciones, por lo cual se comenzó con la revisión de los paquetes de celdas. Al analizarlos se observaron dos situaciones que generaban esta disparidad de carga y/o descarga.

En la Figura 2.10, se indica un ejemplo de las condiciones que se registraron al monitorear cada paquete de celdas para la modalidad de **recarga, situación No. 1**, el análisis indicó que mientras un paquete de celdas se encuentra cerca de alcanzar su nivel de carga completa y los demás paquetes aun no lo hacen, la tarjeta de control detecta el primer paquete de celdas en llegar a su nivel de carga máximo y activa el corte de carga dejando a los demás paquetes de celdas en un estado incompleto de carga. Este caso puede no ser tan representativo si fuese al menos un paquete el que quedase sin cargar completamente, ya que no representaría una diferencia grande en términos de rendimiento de la batería, pero si este fenómeno se presenta con al menos dos paquetes de celdas, entonces el rendimiento se estaría reduciendo por lo menos en un 20 o 30% de la capacidad de la batería, lo que representa un problema grave de rendimiento.

En la Figura 2.10, también se muestra el caso específico, en el que, el paquete de celdas marcado como *Paquete 1*, ya completó su carga al 100 %, mientras que los otros tres paquetes aun no alcanzan la carga completa, incluso en estas condiciones la tarjeta de control interrumpe la carga e impide la circulación de corriente del cargador hacia la batería, teniendo una señal errónea de carga completa, de este modo, se tiene una batería aparentemente cargada, puesto que así lo determinó el circuito integrado de control, pero con paquetes de celdas con carga incompleta, lo que reduce su capacidad de rendimiento.

Este efecto es una de las pocas desventajas del circuito integrado de control, ya que el nivel de corte de corriente de carga a la batería no depende del voltaje total de las celdas, sino que depende de que alguno de los 4 paquetes de celdas alcance su máximo nivel de carga (4.2 Volts) para que la tarjeta de control interprete que la batería está completamente cargada.

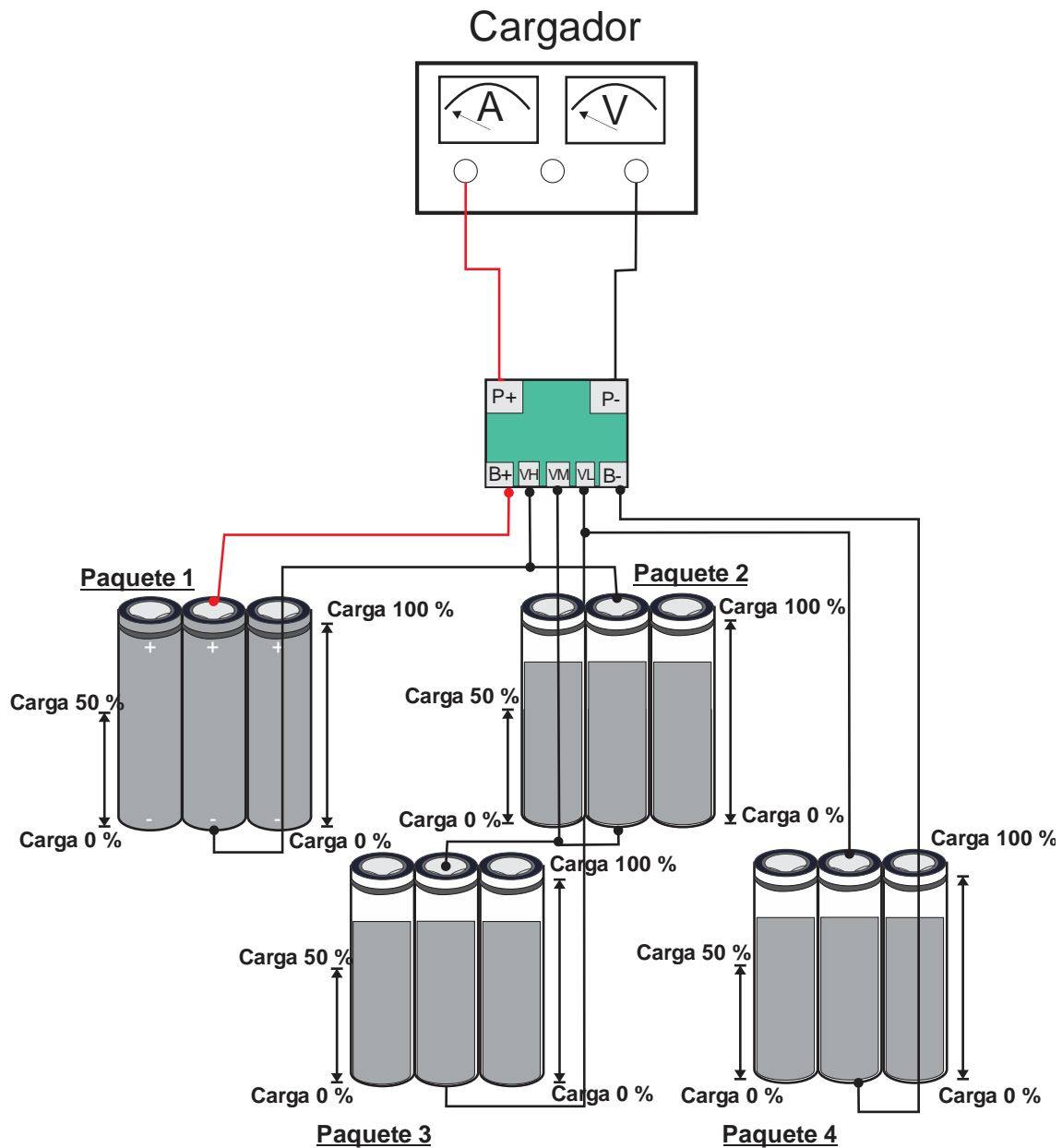


Figura 2.10. Carga incompleta de paquetes de celdas.

Para la modalidad de **descarga, situación No. 2**, se realizaron las mismas conexiones y del mismo modo ocurría la disparidad: se registró un paquete de celdas muy cercano a su nivel de corte inferior y mientras que los otros tres paquetes aun no alcanzaban el mismo nivel de corte inferior, como en el caso anterior, la tarjeta de control suspende la circulación de corriente a la carga y deja con un nivel de carga mayor a los otros tres paquetes de celdas, Figura 2.11.

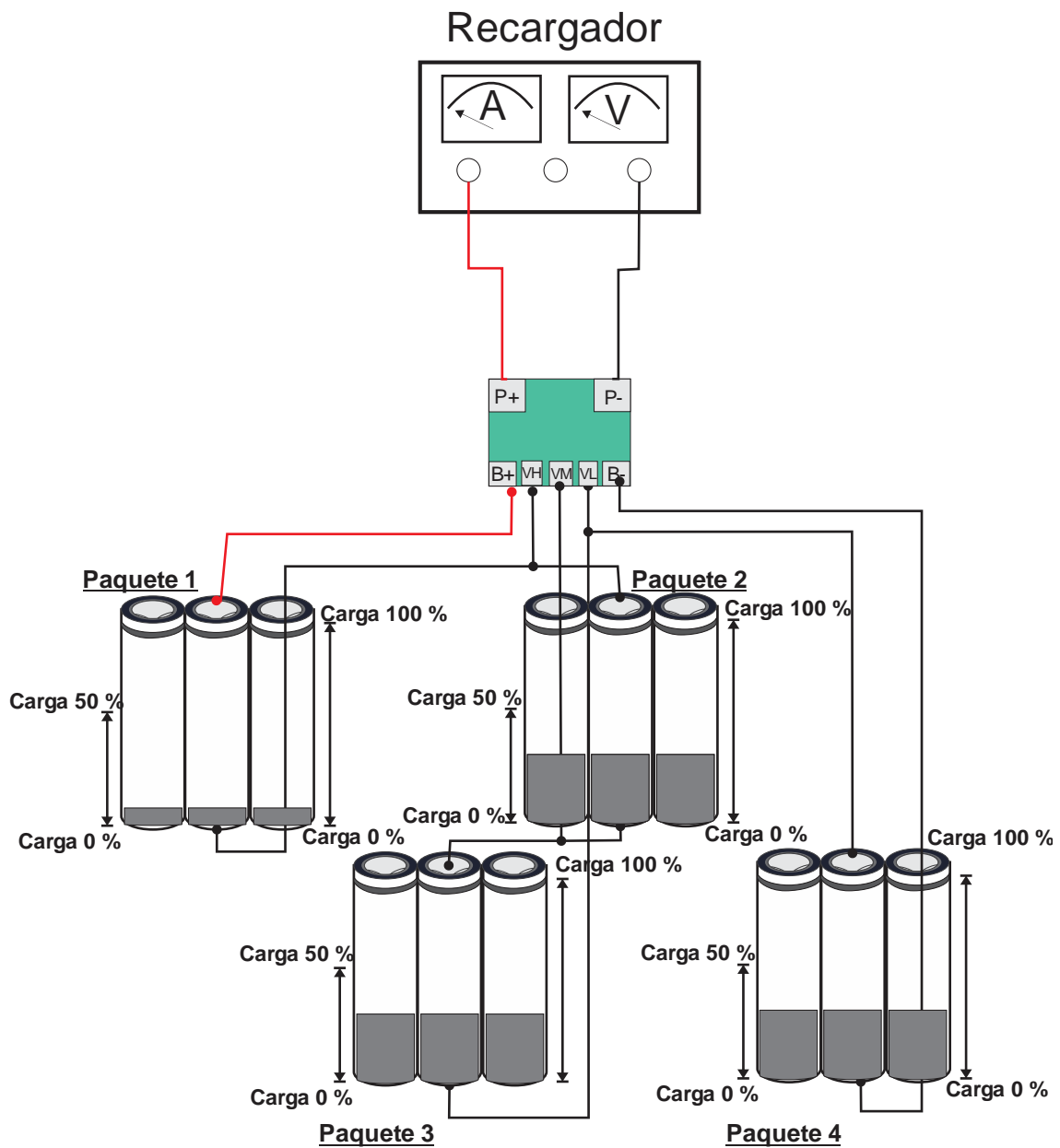


Figura 2.11. Descarga irregular de paquetes de celdas.

En la Figura 2.11, se muestra el caso en que los paquetes de celdas 2, 3 y 4, no se han descargado completamente, solo el paquete 1, ya ha alcanzado su nivel de voltaje inferior mínimo. También en este caso, la tarjeta detecta que un paquete de celdas ya ha llegado a su nivel mínimo de descarga y bloquea el paso de la

corriente de la batería hacia la carga. Lo que nos deja como resultado paquetes de celdas con nivel de descarga diferente y de la misma manera afecta al rendimiento pues al no ser descargadas por completo resta tiempo de trabajo a la batería.

Estos hechos provocan que las celdas no se carguen al 100 % ni se descarguen hasta el límite permisible, motivo por el cual se pensó en agregar una sección de regulación a la tarjeta de control, previa a la descarga y a la carga, para contrarrestar tales efectos y tratar de reducir en gran medida este hecho.

2.3.1 Factores Electroquímicos

Algunos aspectos electroquímicos importantes de considerar, son la existencia de una reacción química importante cuando se fabrica una celda de ion-litio, de Níquel-Metal Hidruro (NiMH) o Níquel-Cadmio (NiCd), la cantidad en miligramos o mililitros (según sea el caso del ingrediente o componente) no podrá ser exactamente la misma una vez que se realiza una producción en serie, si esta fabricación fuese manual el personal dedicado a esta tarea debería cuantificar cada ingrediente de modo por demás exacto para no rebasar la cantidad requerida, así como tampoco debería tener menor cantidad y como resultado se obtendrían celdas con carga más uniforme, pero en el caso de la fabricación de celdas de ion-litio o de cualquier otro tipo de los anteriormente mencionados, no es posible ya que al fabricar miles de ellas, esta diferencia aunque pequeñísima, representa un problema grande que el usuario final deberá considerar para cada uso específico y diseño de sus propias baterías.

Por tal motivo las celdas podrían tener algún exceso o faltante en alguno de sus componentes y aunque la diferencia puede no resultar significativamente importante en el acabado, o en la composición de la celda, si lo es y muy significativo en el desempeño de una celda cuando se conecta en un arreglo de celdas como pudimos constatar en los ejemplos anteriores.

Otro de los aspectos a considerar de modo verdaderamente importante es: La *Primer recarga*, durante la cual se presenta la formación de algún tipo de polímero en el interior de la celda, ésta primera recarga siempre la realiza el fabricante, pues es un factor a considerar para el control de calidad ya que se tienen estándares de producción de celdas de ion-litio y deberán medir el nivel de

contaminación de los electrolitos y la formación de polímeros en la celda, este fenómeno va a determinar en mucho el comportamiento de la celda a lo largo de su vida útil, motivo por el cual el fabricante siempre realiza esta recarga, por lo que el cliente o distribuidor siempre recibe dichas celdas de ion-litio a media carga.

Estos factores ya no están en posibilidades de ser controlados por el usuario, sino que resultan un factor con el que se tiene que trabajar, como en este caso. Ante la situación mencionada de la disparidad de descarga y carga de celdas se sugirió agregar una sección de regulación, para mantener el nivel de carga y descarga de modo más uniforme. El siguiente punto trata la propuesta de regulación para la tarjeta de protección.

2.3.2 Propuesta de Regulación

Un nuevo objetivo se tiene entonces, ahora consiste en establecer lo más uniformemente posible los niveles de voltaje para el caso de descarga de los paquetes de celdas que componen a la batería, considerando que, el objetivo, en ese momento, era que, esa tarjeta de protección funcionara lo mejor posible y sin demasiados cambios en su construcción y diseño.

“Se consideró solo la descarga ya que es, en este caso, donde el personal del BLT obtiene cuantificación de resultados, no así para el caso de la recarga, puesto que ésta se realiza en los equipos cargadores y no es posible para el propio personal acceder a la circuitería de los equipos y realizar una caracterización de resultados al recargar las baterías”.

Se propuso agregar una etapa de regulación en la tarjeta de control, que consta de un circuito Regulador de Voltaje que proporcione el voltaje de salida requerido para que no interfiera en la recarga de cada paquete de celdas y a su vez permita la circulación en sentido inverso para el caso de la descarga. Para la elección de la topología de regulación se analizaron las características de diseño para Reguladores de Voltaje y sus aplicaciones en baterías. Se descartaron todos los tipos que sugieren diseños con transformadores, principalmente por el espacio que ocuparían dentro de la caja. Para el diseño del circuito se tiene voltaje de corriente continua proporcionado por una batería, por lo que se determinó analizar la topología de un Regulador de Voltaje Lineal básico.

2.3.2.1 Regulador de Voltaje lineal

Este tipo de regulador usa un circuito de muestreo que sensa la tensión de salida para después compararlo con una referencia de tensión previamente fijada. La diferencia entre ambas es amplificada para obtener una mayor precisión mediante el amplificador de error y se aplica al elemento de control que hará las modificaciones pertinentes para obtener a la salida la tensión deseada (Figura 2.12).

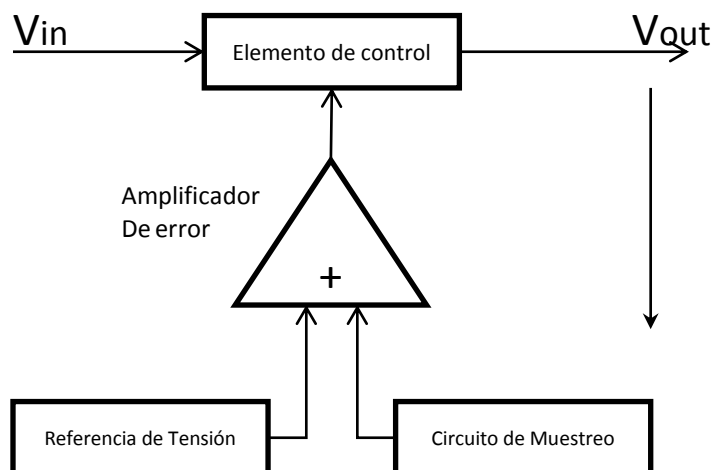


Figura 2.12. Diagrama básico de un regulador de voltaje lineal.

En el texto “Linear and Switching Voltage Regulator Fundamentals” (Fundamentos de Reguladores de Voltaje lineales y conmutados) que publica National Semiconductor aparecen varios tipos de Reguladores de entre los cuales, se eligió la topología LDO para elaborar la propuesta.

2.3.2.2 Tipos de Reguladores de voltaje

La diferencia más importante entre los reguladores lineales es el voltaje dropout, el cual está definido como: “la mínima diferencia de tensión entre la entrada y la salida a partir de la cual el circuito es capaz de mantener la regulación de voltaje”. Un punto crítico a considerar es que el regulador lineal debe **operar con el voltaje**

más pequeño a través de él, disipar la menor potencia interna y tener la más alta eficiencia. El regulador tipo LDO requiere el menor voltaje a través de él, mientras otros tipos de reguladores requieren de mayor voltaje.

2.3.2.3 Regulador de Voltaje LDO (Low-Dropout)

La mínima diferencia de tensión entre la entrada y la salida de un regulador lineal, se denomina *voltaje dropout*. Si el regulador lineal presenta un bajo voltaje dropout, se denomina regulador LDO por sus siglas en inglés de “Low Drop-Out”. La Figura 2.13, corresponde al diagrama de un regulador LDO. Este tipo de reguladores son muy útiles ya que proporcionan una tensión constante para un amplio rango de resistencias de carga. Protegen a la unidad de aplicación frente a la descarga y presentan mucho menos ruido en la señal generada.

El regulador LDO difiere en otros reguladores en que el dispositivo de control puede ser un simple transistor PNP para el caso de reguladores positivos. La mínima caída de voltaje que se requiere a través de un LDO para mantener la regulación de voltaje es justo el voltaje a través del transistor PNP:

$$V_{D(\min)} = V_{CE} \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

El máximo voltaje de dropout especificado de un regulador LDO es usualmente alrededor de 0.7 V a 0.8 V. El bajo voltaje de dropout es la razón de que los reguladores LDO dominen las aplicaciones con baterías, ya que maximizan la tensión de entrada disponible y funcionan con una mayor eficiencia. El crecimiento explosivo de baterías en productos de consumo en los últimos años ha impulsado el desarrollo de una línea de productos amplia en el regulador tipo LDO.

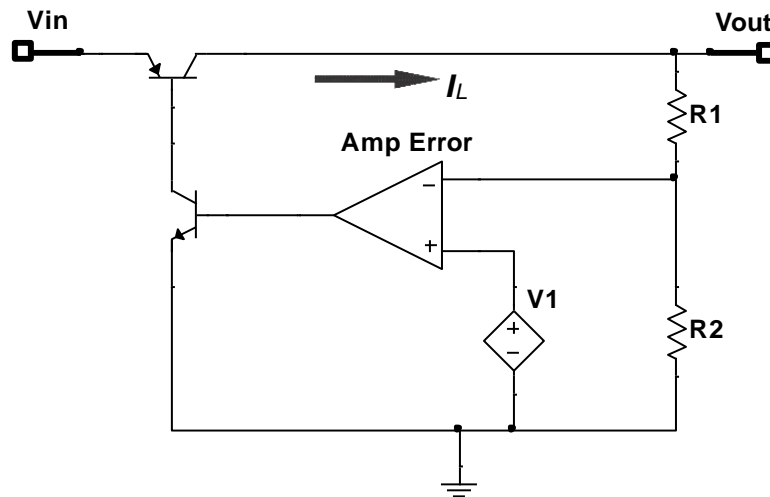


Figura 2.13 Regulador LDO.

2.3.2.4 Consideraciones para el diseño del regulador

La mejor elección para una aplicación específica puede ser determinada evaluando principalmente las siguientes características:

- Máxima corriente de carga
- Voltaje dropout (Voltaje de desenganche o de desconexión)
- Corriente de reposo
- Tipo de la fuente de voltaje de entrada (batería o AC)
- Regulación de línea
- Regulación de carga

MAXIMA CORRIENTE DE CARGA

La corriente máxima requerida en una aplicación deberá ser cuidadosamente considerada cuando se selecciona un Circuito Integrado regulador. La especificación de corriente de carga debe ser definida como un único valor o un valor que depende de la diferencia de voltaje de entrada-salida. El regulador seleccionado debe ser capaz de proveer suficiente corriente a la carga en el peor de los casos. Si el sistema se desempeña bien entonces es confiable.

VOLTAJE DROPOUT (V_D)

Como se mencionó anteriormente el voltaje dropout es la mínima diferencia de tensión entre la entrada y la salida a partir de la cual el circuito es capaz de regular la tensión de salida contra variaciones externas.

CORRIENTE DE REPOSO (I_q).

Es la diferencia entre la corriente de entrada y la corriente de salida. Consiste principalmente en la corriente de polarización que no contribuye directamente a la potencia de salida y por lo tanto, cuanto menor sea, mejor será la eficiencia del regulador. Tanto V_D como I_q son factores que afectan la eficiencia del regulador y han de ser minimizados para mejorar la eficiencia.

$$\text{Eficiencia (\%)} = \frac{I_{out}V_{out}}{(I_{out}+I_q)V_{in}} 100 \quad \dots\dots (2.2)$$

FUENTE DE VOLTAJE DE ENTRADA (BATERÍA)

Este aspecto es muy importante porque dependerá fuertemente de ello para elegir el tipo de regulador para cada aplicación. En aplicaciones de baterías, los reguladores LDO son usualmente la mejor opción porque utilizan el voltaje de entrada disponible más plenamente y pueden operar durante el ciclo de descarga de la batería.

REGULACIÓN DE LÍNEA

Es la variación en la tensión de salida producida por la modificación de la tensión de entrada en gran señal. Se trata de minimizar al máximo posible.

$$\text{Regulacion de linea} = \frac{\Delta V_{out}}{\Delta V_{in}} \approx \frac{g_{mp}r_{op}}{L_o} + \frac{1}{\beta} \left(\frac{\Delta V_{ref}}{\Delta V_{in}} \right) \quad \dots\dots (2.3)$$

Dónde:

- L_o es la ganancia del lazo a baja frecuencia
- $\beta = \frac{R2}{(R1+R2)}$
- g_{mp} y r_{op} son la transconductancia y resistencia de salida del transistor de potencia.

REGULACIÓN DE CARGA

Es la variación en la tensión de salida producida por la modificación de la corriente de salida en gran señal. Con ello se analiza el comportamiento de un regulador LDO ante distintos valores de impedancia en la carga. Se trata de minimizar al máximo.

$$\text{Regulacion de carga} = \frac{\Delta V_{out}}{\Delta I_{out}} = - \frac{r_{op}}{1 + L_o} \quad \dots\dots (2.4.)$$

De las ecuaciones se puede deducir que una alta ganancia del lazo implica una mejora en la regulación, sin embargo se sacrifica la estabilidad del regulador. Por lo tanto hay un compromiso entre precisión y estabilidad.

2.3.3 Circuito de regulación de la tarjeta de protección

En el apartado anterior se analizó la propuesta que se sugirió incluir en la tarjeta de protección para efectos de regulación de los niveles de voltaje de cada paquete de celdas, utilizando el diseño que utiliza un JFET como dispositivo de control (Figura 2.14).

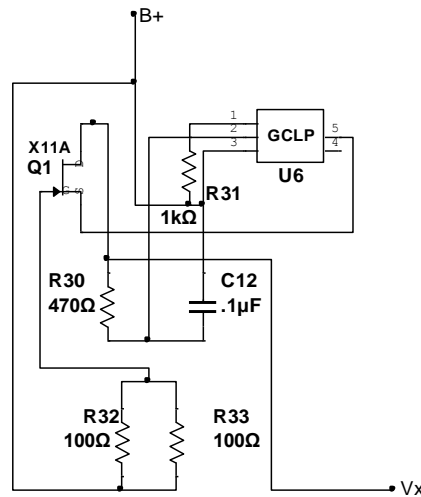


Figura 2.14. Regulador LDO con JFET de control.

Análisis del circuito.

Según la tensión de referencia elegida, la tensión de salida será:

$$V_{out} = V_{ref} \left(1 + \frac{R1}{R2} \right) \dots\dots\dots (2.5)$$

Si en algún momento, por ejemplo, la resistencia de salida sube, debido a que la corriente permanece constante, la tensión de salida aumentará momentáneamente. Este incremento en la tensión de salida, hace que la diferencia de tensión en la entrada del amplificador aumente provocando una tensión mayor. De este modo, la tensión V_{SG} del JFET decrece haciendo disminuir la corriente de salida hasta conseguir que V_{out} tenga el mismo valor estable que tenía antes. En el caso que la resistencia de salida disminuya, la tensión de salida se mantiene constante de la misma forma que en el caso anterior pero en sentido opuesto.

Por otro lado, si se produce una variación en la tensión de alimentación, la tensión de salida también permanece invariable, manteniendo siempre la misma proporción con V_{ref} . Si V_{in} aumenta, la corriente de salida también lo hará provocando que V_{out} incremente. Esta variación implica un aumento en la tensión de salida del amplificador y por lo tanto la corriente de salida que circula por el transistor se reduce haciendo que la tensión de salida vuelva a su estado anterior.

En la Tabla 2.3, se muestra una serie de niveles de voltaje obtenidos durante la descarga de una batería protegida con una tarjeta que incluye regulación.

Tabla 2.3. Tabla de valores obtenida de una tarjeta que incluye etapa de regulación.

TIEMPO	VOLTAJE (VOLTS) SECCIÓN1	VOLTAJE (VOLTS) SECCIÓN2	CORRIENTE (AMPERES)
00:00:00	16.5	16.5	1
00:25:00	16.24	16.24	1
00:50:00	15.45	15.48	1
01:15:00	14.8	14.83	1
01:40:00	15.04	15.05	1
02:20:00	14.89	14.91	1
02:45:00	14.82	14.83	1
03:15:00	14.76	14.77	1
03:55:00	14.61	14.62	1
04:25:00	14.48	14.49	1
04:35:00	14.3	14.36	0.9
04:40:00	14.2	14.28	0.9
04:46:00	14	13.9	0.8
05:00:00	12.4	12.6	0.8
05:01:40	11.2	11.4	0.7

Después de haber analizado la tarjeta de protección, de haber corregido la situación de la interrupción de corriente y la inclusión de la etapa de regulación, se cuenta ya con una tarjeta de protección con las características requeridas que el personal militar había solicitado para sus necesidades lo que representaba un gran logro en el análisis y modificación de la tarjeta. La Tabla 2.3, muestra el indicio de que la etapa de regulación funciona de manera adecuada, si bien no se ganan horas de desempeño de la batería, se ganó mucho en confiabilidad por parte del usuario final.

La Figura 2.15 es el diagrama resultante donde se integra la etapa de regulación en la tarjeta de protección.

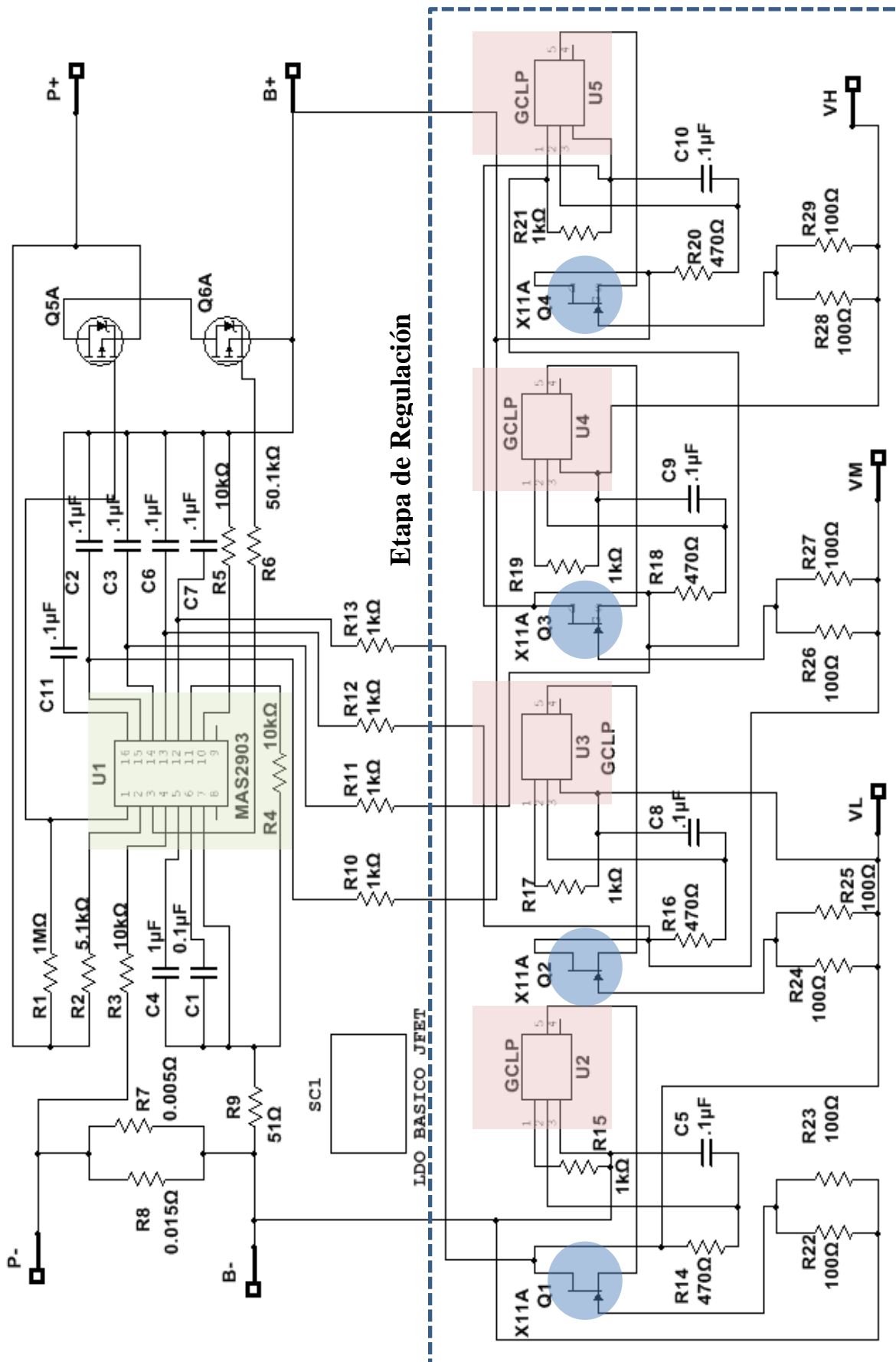


Figura 2.15. Etapa de regulación.

Capítulo III

REORDENAMIENTO DE SECCIONES DEL ARREGLO DE CELDAS

3.1 Razones del reordenamiento.

Se han explicado los problemas de la tarjeta de protección, sus soluciones y mejoras, pero también se debe tener en cuenta que el diseño del arreglo de celdas en primera instancia no presentaba problemas ya que no era operado de manera tal que se pudiera saber si el diseño en cuanto a dimensiones dentro de la caja que lo aloja era el adecuado o no, cuando ya se tuvo la tarjeta de protección adecuada con los valores adecuados de los resistores para su óptimo funcionamiento, la siguiente tarea fue instalar dicha tarjeta en los arreglos que se tenían en los almacenes de la SEDENA, por algunos meses se instalaron las tarjetas en las baterías y se supervisó el funcionamiento correcto, se observó un problema en cuanto al diseño de los arreglos, algunos de ellos no presentaban un aislamiento correcto y el personal de instalación se retrasaba en la instalación.

La Figura 3.1 muestra el diseño original de interconexión entre celdas. En la figura 3.2, la distribución de la sección 1 en el arreglo de celdas y, en la Figura 3.3, muestra la distribución de la sección 2 dentro del mismo arreglo. Esta distribución de celdas y de polaridad de las misma confundía a la gente encargada de la instalación por lo que algunas tarjetas resultaron dañadas, puesto que para obtener los voltajes V_1 , V_2 y V_3 , era necesario desprender los paquetes de celdas de la parte superior del arreglo perteneciente a la sección dos, quitar el aislante intermedio, y posteriormente puntear* las láminas en las cuales se soldarían los cables que se conectan a la tarjeta.

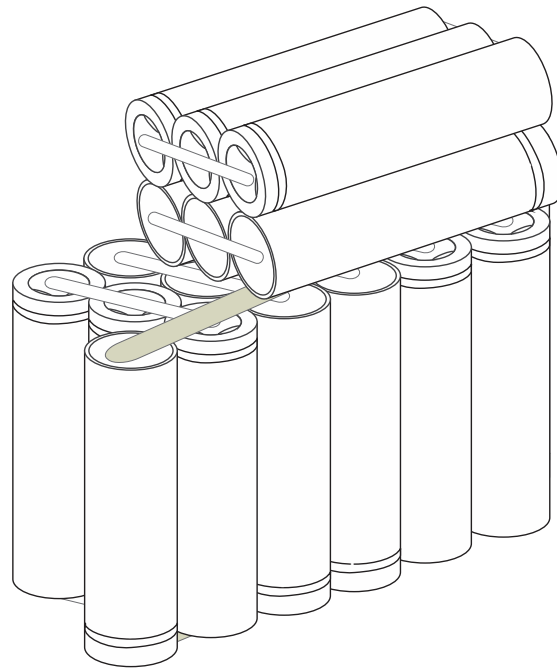


Figura 3.1. Distribución de celdas en el arreglo original.

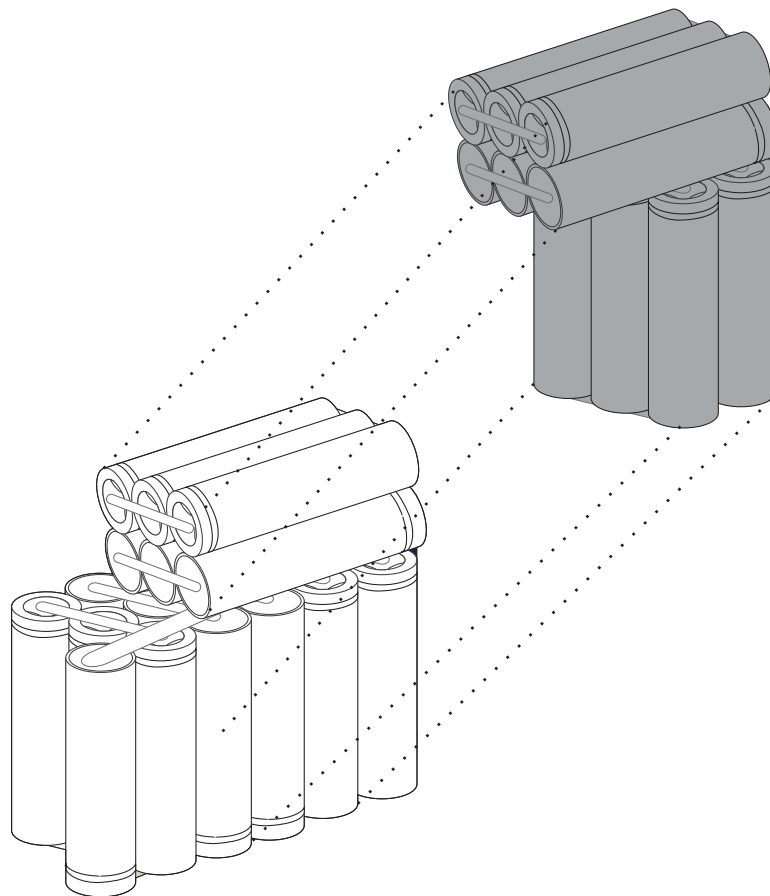


Figura 3.2. Distribución de celdas de la sección 1.

- *Punteado*: Proceso mediante el cual son unidas mediante un pequeño arco eléctrico dos terminales.

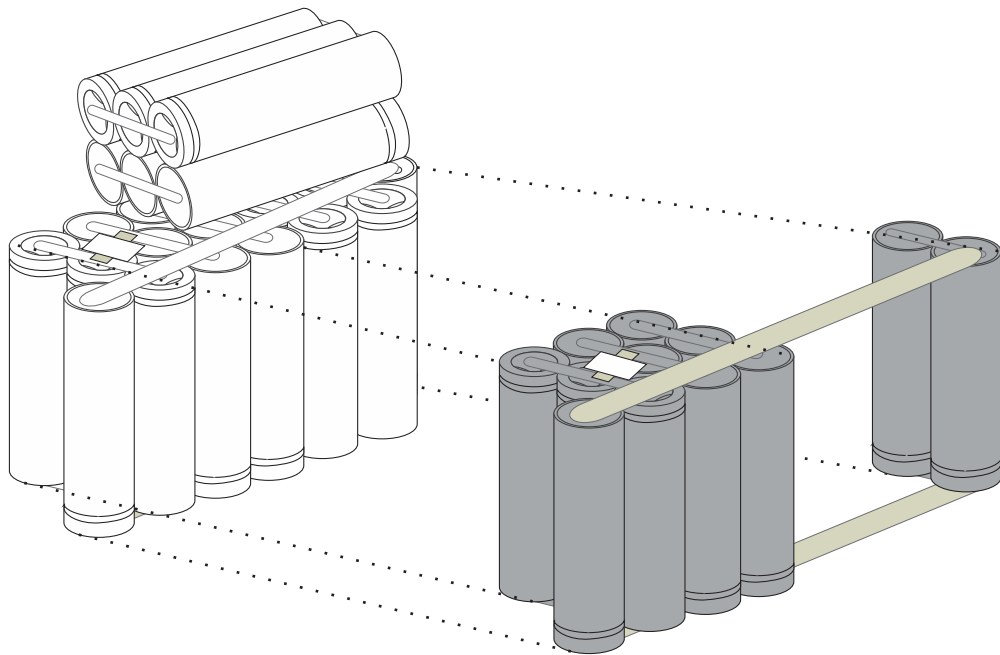


Figura 3.3. Distribución de celdas de la Sección 2.

3.2 Modificaciones al arreglo de celdas

Un nuevo contratiempo se presentaba, esta vez afectaba el tiempo de producción de baterías por parte del personal militar, para lo que se sugirió intervenir y proponer una distribución diferente de celdas en el arreglo, aunado a tomar fotografías para mostrar gráficamente y por medio de un manual impreso, los puntos precisos en los cuales se puntearían las láminas de interconexión en las cuales se soldarían las terminales para obtener los voltajes V_1 , V_2 y V_3 , necesarios para la tarjeta; el manual viene anexo en la parte final de este trabajo.

Las Figuras 3.4 y 3.5, muestran la interconexión del arreglo, y la conexión de la tarjeta de protección en el primer arreglo.

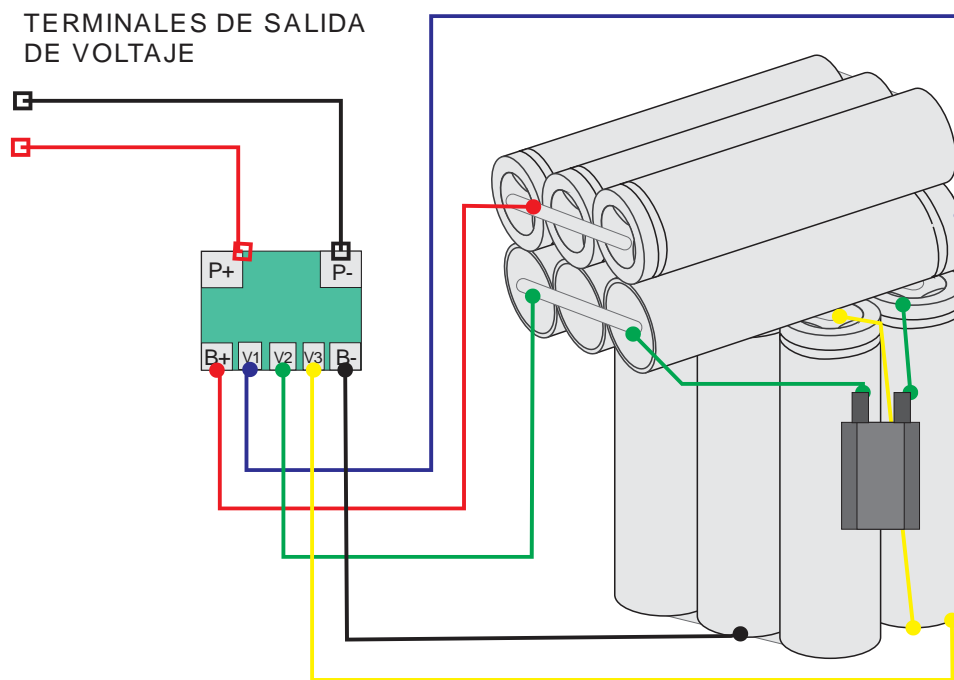


Figura 3.4. Identificación de puntos de interconexión en la Sección 1.

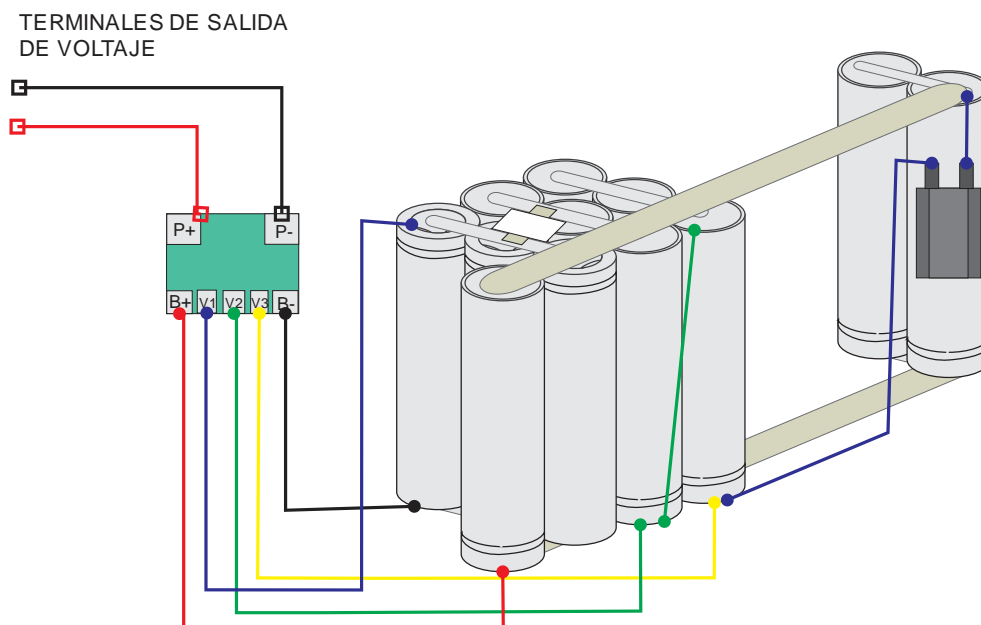


Figura 3.5. Identificación de puntos de interconexión en la Sección 2.

Para solucionar el problema se realizó un rediseño al arreglo de celdas para evitar que se presentara de nuevo este problema con el personal del BLT, siendo efectivo este cambio hasta la siguiente producción; en cambio para los arreglos existentes se efectuó una guía visual, indicando como se mencionó anteriormente, los puntos precisos de interconexión. La Figura 3.6 muestra la distribución de secciones en el arreglo actual y las Figuras 3.7 y 3.8 indican la distribución de las secciones en el nuevo arreglo.



Figura 3.6. Rediseño del Arreglo de celdas.

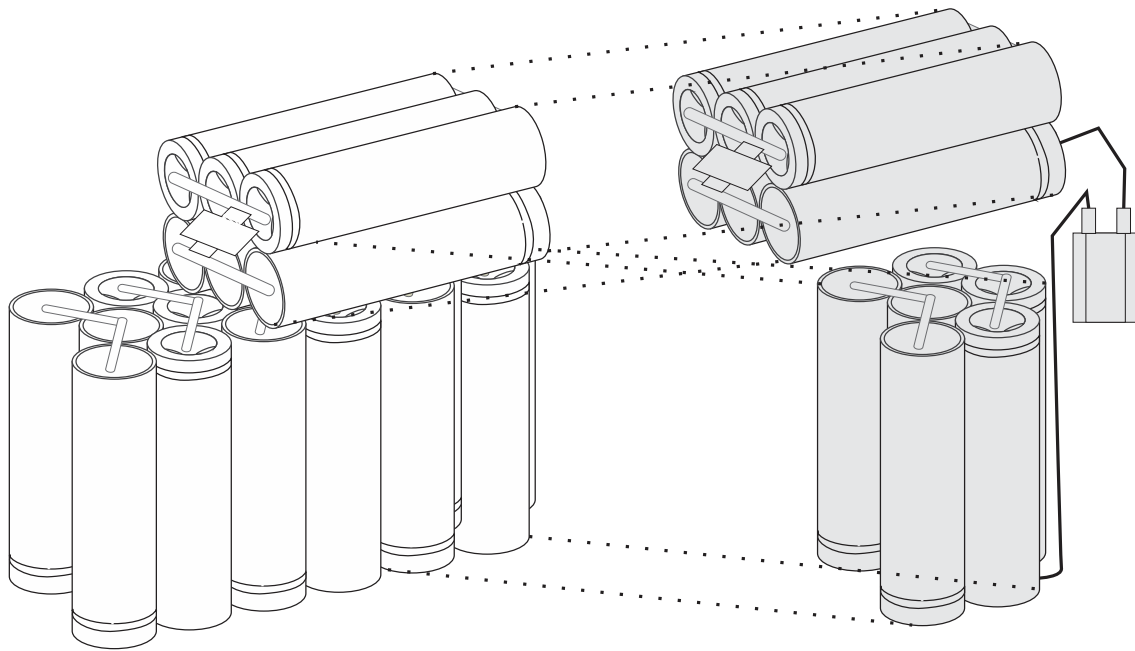


Figura 3.7. Localización de la Sección 1 en el nuevo arreglo.

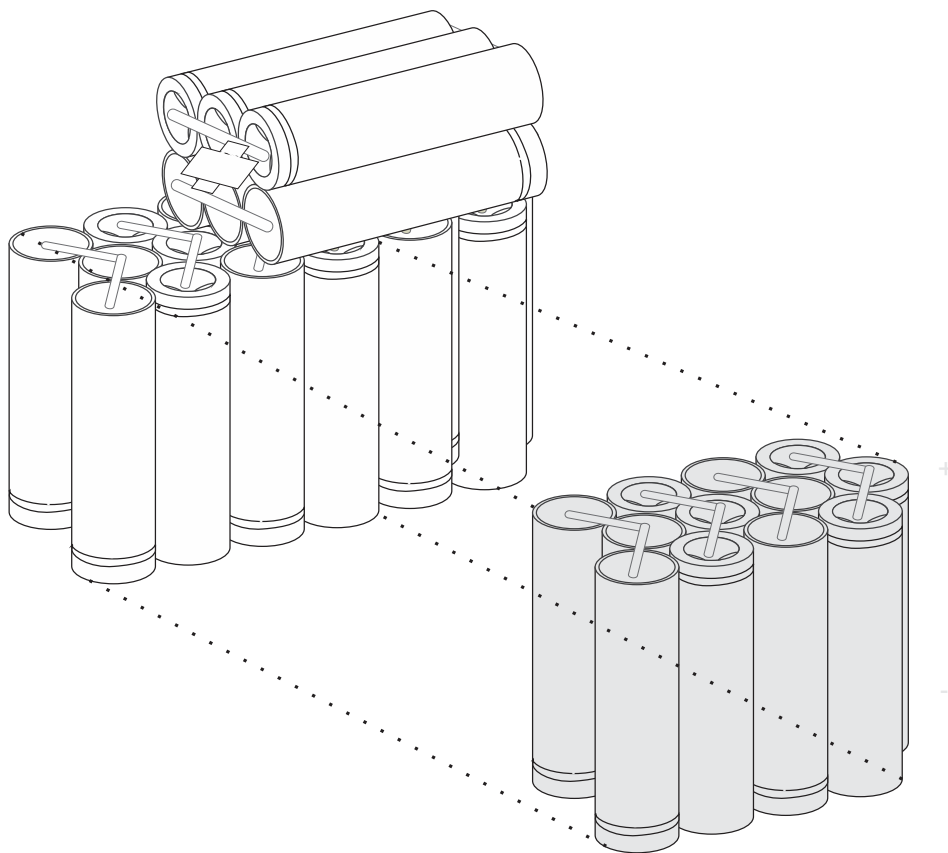


Figura 3.8. Localización de la Sección 2 en el nuevo arreglo.

Como se observa en las figuras anteriores, la interconexión de celdas y paquetes dentro del arreglo de celdas cambió para ser más comprensible en cuanto a las polaridades de los paquetes y la distribución de Secciones, se realizó un arreglo más compacto, y las láminas de interconexión no cruzan ningún paquete de celdas. Esto evita cualquier tipo de cortocircuito entre paquetes de celdas, se cambió la terminología de las terminales de interconexión, anteriormente marcados como V_1 , V_2 Y V_3 ahora se identifican como: VL, VM y VH; refiriéndose como VL: el voltaje bajo o voltaje del primer paquete de celdas, VM: es el voltaje medio o el voltaje existente en la segunda celda el cual deberá ser la suma del primer paquete más el voltaje del segundo paquete de celdas, VH: que es el voltaje alto o el voltaje del tercer paquete de celdas y es el voltaje resultante de la suma de los tres paquetes de celdas. La capacidad y funcionamiento de la batería, no se ve afectada en lo más mínimo.

Las Figuras 3.9 y 3.10, muestran la conexión de la tarjeta de protección a cada sección del arreglo.

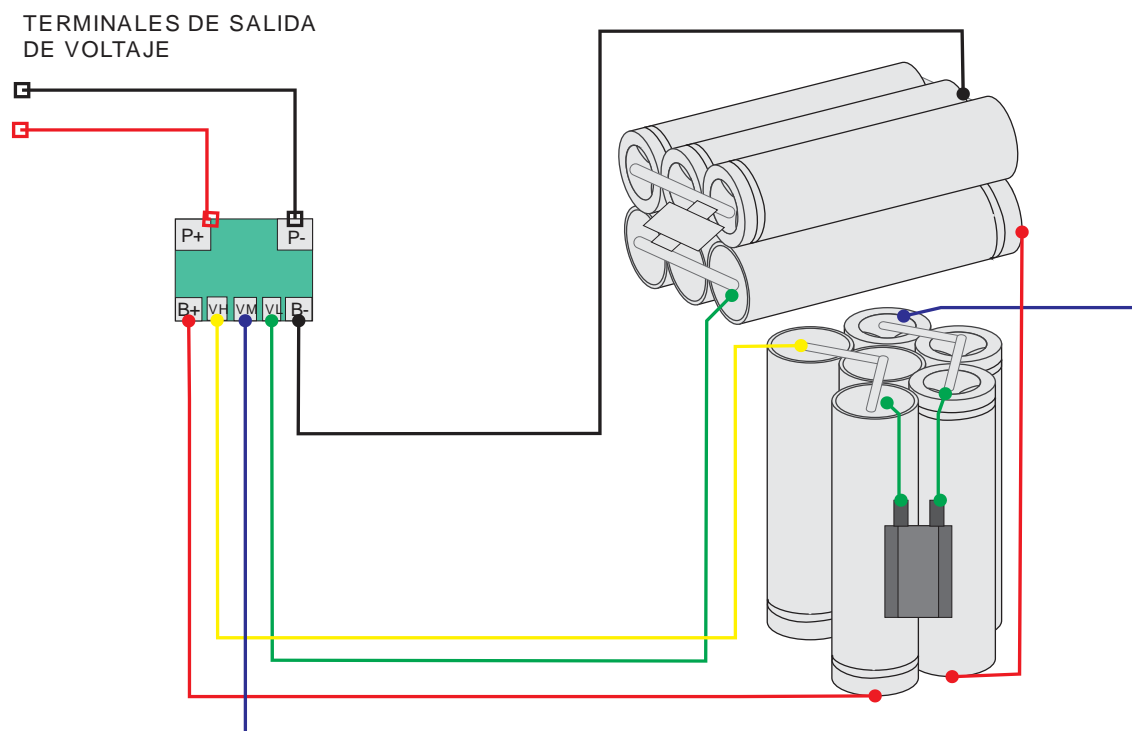


Figura 3.9. Conexión de la tarjeta en la Sección 1 del nuevo arreglo de celdas.

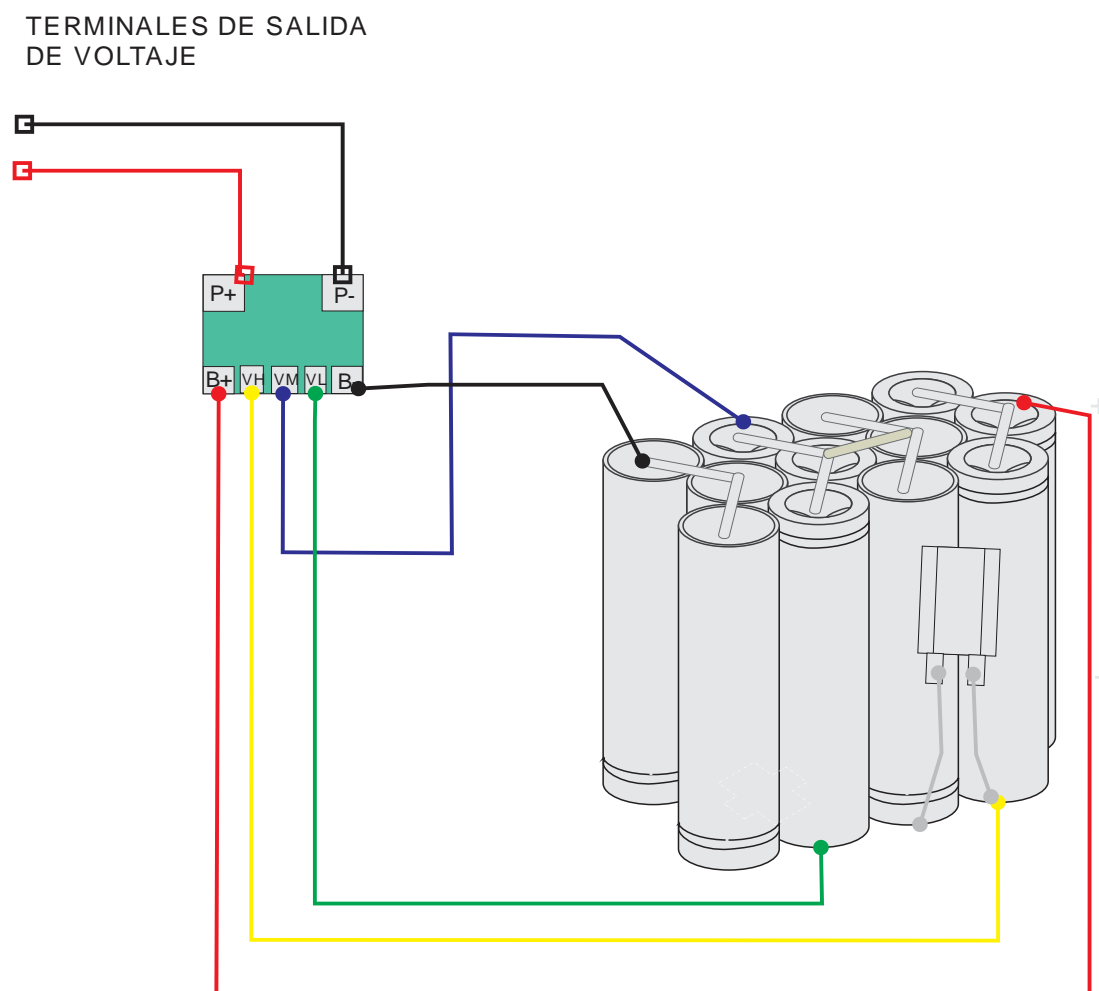


Figura 3.10. Conexión de la tarjeta en la Sección 2 del nuevo arreglo de celdas.

Para lograr este objetivo fue necesario capacitar mediante un curso teórico-práctico al personal militar para que fueran consideradas todas estas modificaciones, de este modo se realizó el rediseño al arreglo de celdas recargables de ion-litio. En la Figura 3.11 se muestra la imagen real del arreglo de celdas de ion-litio como se fabrica actualmente.



Figura 3.11. Arreglo de celdas actual con Tarjeta de Protección modificada.

Capítulo IV**MODIFICACIONES A LA CAJA Y TAPA**

Una vez que se ha logrado tener el arreglo de celdas adecuado para el ensamble de la batería de ion litio y sin problema alguno en cuanto al funcionamiento y suministro de corriente necesario solicitado por el personal de la DGT, se pensó en rediseñar la caja que lo aloja. Es importante mencionar que esta caja es usada en los dos tipos de baterías más usados por el personal militar del área de transmisiones los cuales son NiMH y Li-ion, ambos recargables.

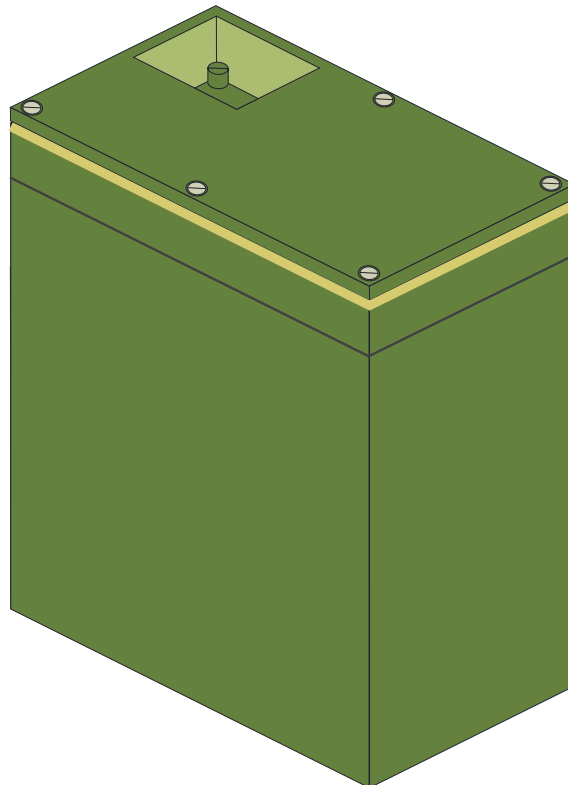


Figura 4.1. Isométrico de Caja.

4.1 Razones de las modificaciones

La Figura 4.1, muestra como estaba constituida la caja y su tapa antes de la *propuesta de modificación*, en esta figura podemos observar un modelo de caja que incluía piezas metálicas llamados “barriles”, los cuales son los encargados de sostener al tornillo que cerrará y asegurará a la tapa con la caja. La tapa estaba provista de 5 orificios y la caja contaba con la misma cantidad de barriles, con el fin de que la caja sellara lo mejor posible y los tornillos ayudaran al cierre, además de que entre la caja y la tapa se encontraba un empaque cuya función era la de retener cualquier tipo de líquido hacia el interior de la batería.

La Figura 4.2, muestra como estaba constituida la caja, incluyendo la vista interna y la ubicación de los barriles. Se puede apreciar que en el interior de la caja existían una especie de columnas cilíndricas desde el fondo de la caja hasta el borde superior, lo que limitaba de espacio en su interior para alojar la batería, anteriormente esta caja solo se usó para baterías de NiMH y NiCd. Esas “columnas” impedían que los arreglos de celdas de ion-litio pudieran alojarse en esta caja.

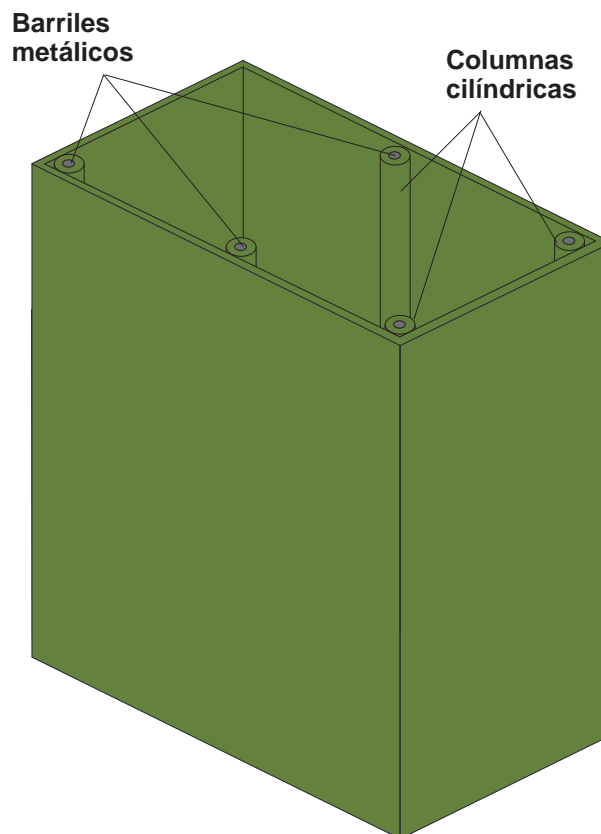


Figura 4.2. Isométrico de caja indicando barriles y columnas internos.

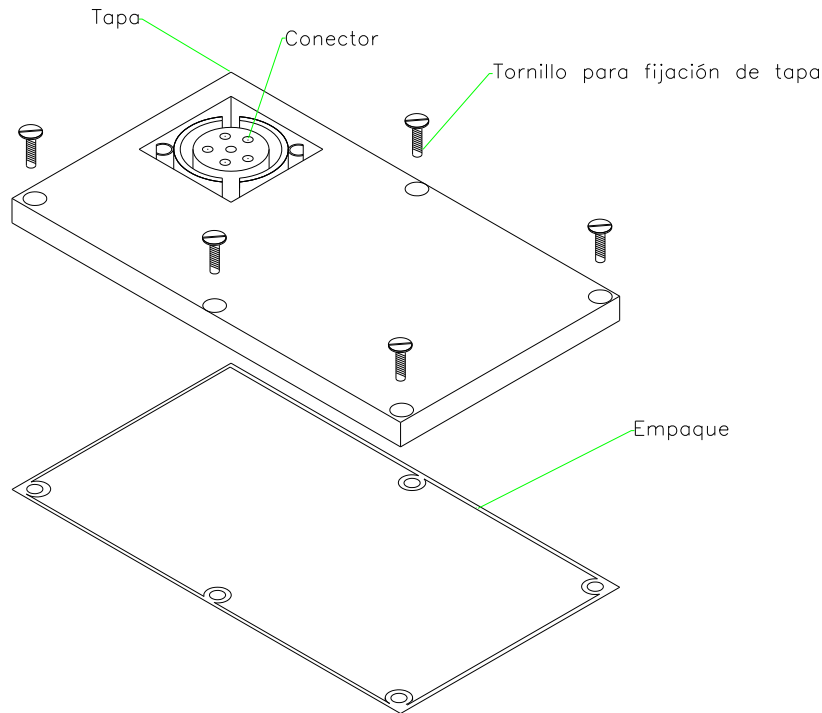


Figura 4.3. Isométrico de Tapa.

4.2 Modificaciones a la Caja y Tapa

Muchos aspectos se tomaron en consideración al realizar la propuesta. Como se puede observar en la figura anterior, el ensamblado de la caja bajo estas condiciones, tenía muchas fallas en el ensamble final, pues el empaque que utilizaban no cumplía con los estándares de calidad necesarios para tal efecto, hecho que provocaba un mal cierre de la caja ya que siempre sobresalía por la por algún costado, algún segmento del empaque, así como los tornillos de fijación de la tapa, que muchas veces eran omitidos o reemplazados por tornillos de condiciones diferentes que terminaban en un mal ensamble y esto obviamente daba como resultado una batería en condiciones no muy aceptables.

La propuesta incluyó:

- Modificación de la tapa y caja.
- Eliminar cilindros metálicos y columnas dentro de la caja.
- Eliminar los orificios en la tapa
- Eliminar tornillos o pijas para sellar la caja

- Eliminar el empaque
- Diseño que permite ensamblar la tapa con la caja por medio de una ceja en la orilla interna de la tapa.

La Figura. 4.4 muestra el diseño modificado. En él se aprecia, la eliminación de todos los orificios de ensamble de la tapa. Se nota un bisel en la parte inferior de la tapa con el fin de ensamblar a la caja sin necesidad de tornillos. De la caja se eliminaron los barriles metálicos y los cilindros plásticos así como el empaque. El diseño se realizó estandarizado para los dos tipos de batería recargable Ion-litio y NiMH.

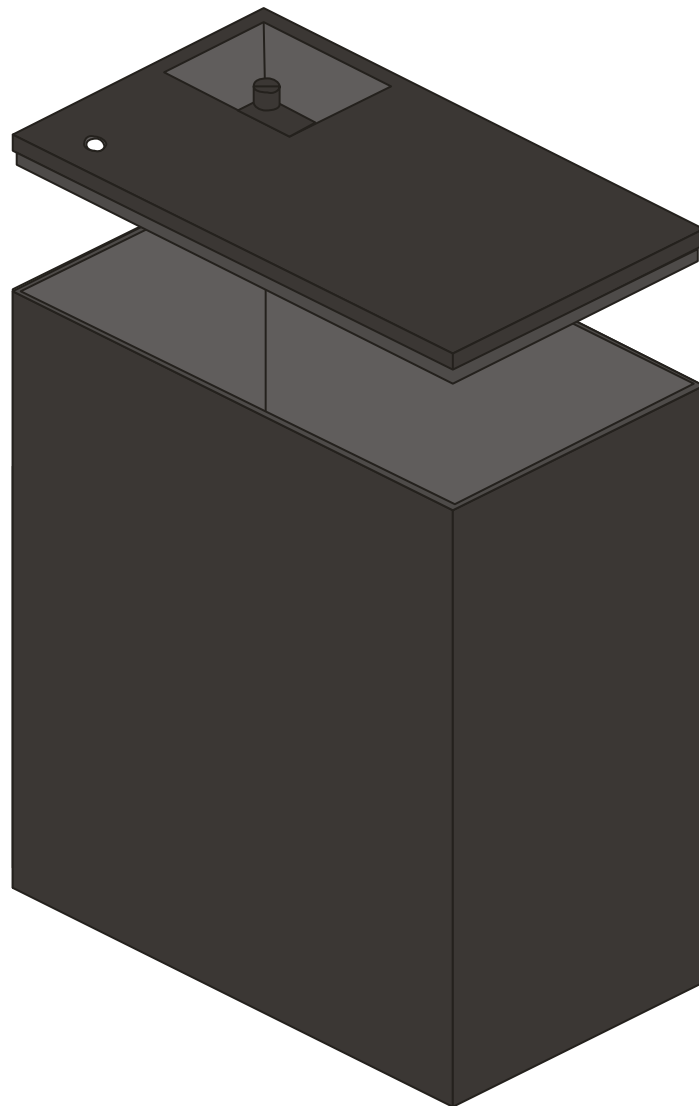


Figura 4.4. Modelo nuevo de caja y tapa con bisel.

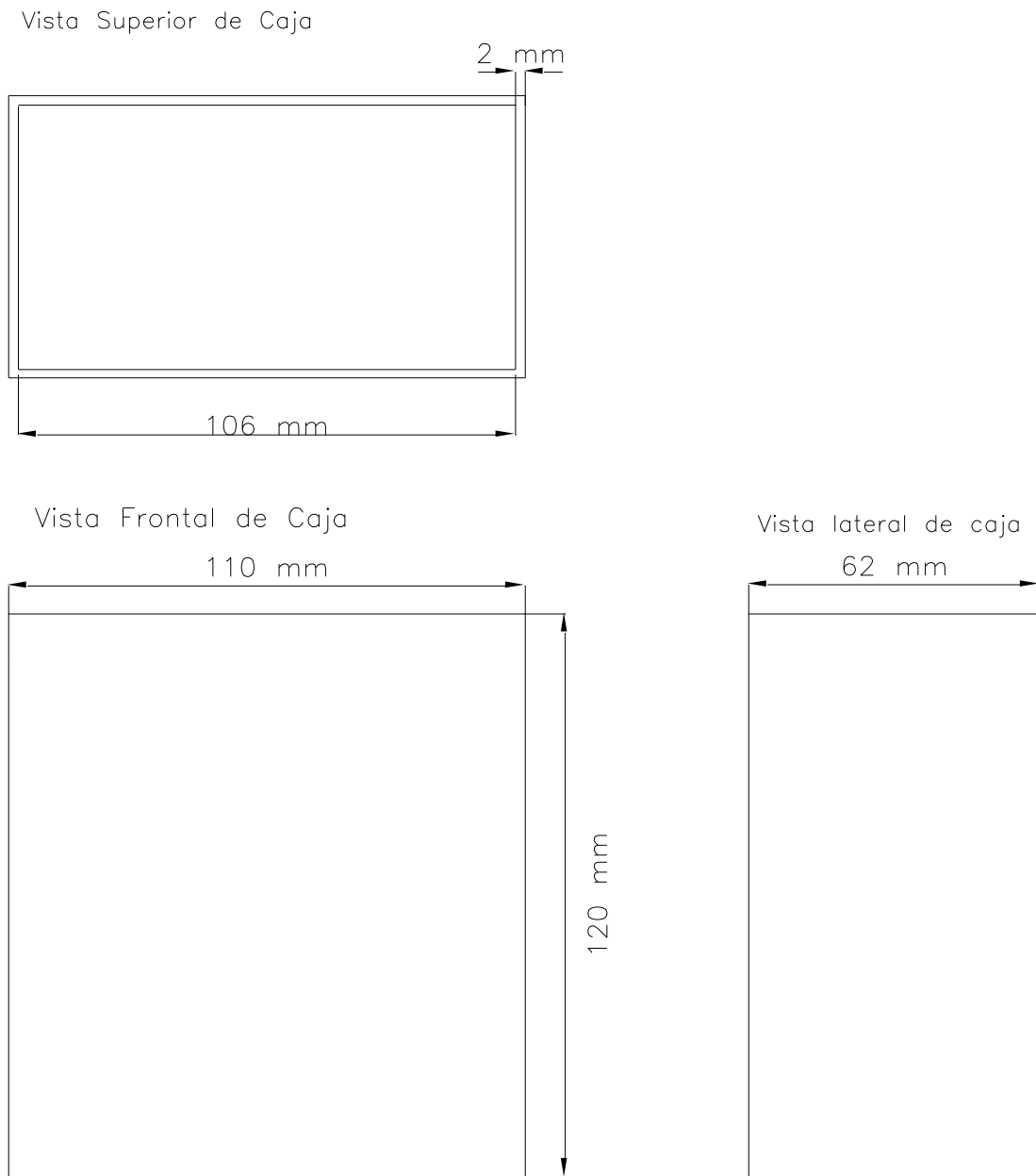


Figura 4.5. Diferentes vistas de la caja y dimensiones.

Isometrico de Tapa

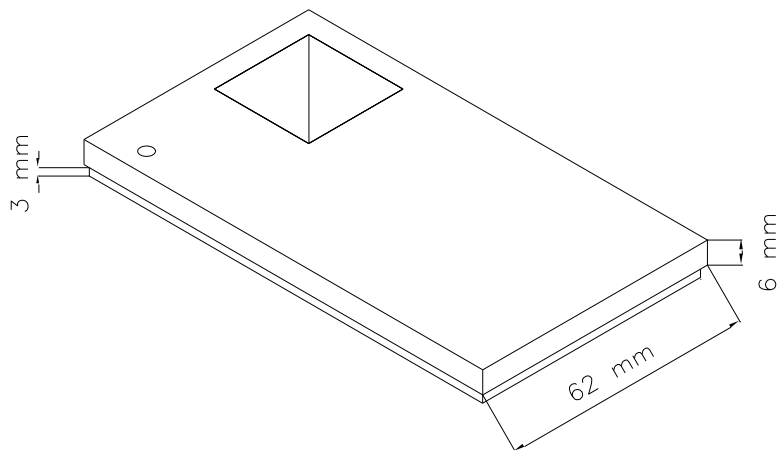
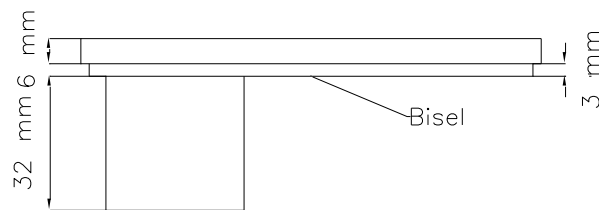


Figura 4.6. Isométrico de la Tapa y dimensiones

Vista Lateral de Tapa



Vista Superior de Tapa

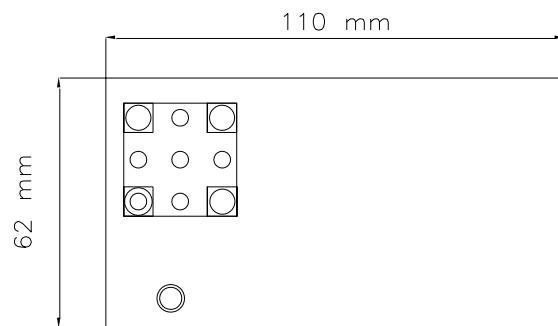


Figura 4.7. Diferentes vistas de la Tapa

En la Figura 4.8, se observa el isométrico de la caja completamente ensamblada. Así luce después de las modificaciones a la caja y tapa, lo cual cambió completamente la manera de ensamble y sellado por parte del BLT, ahorrando en componentes y en tiempo de sellado.

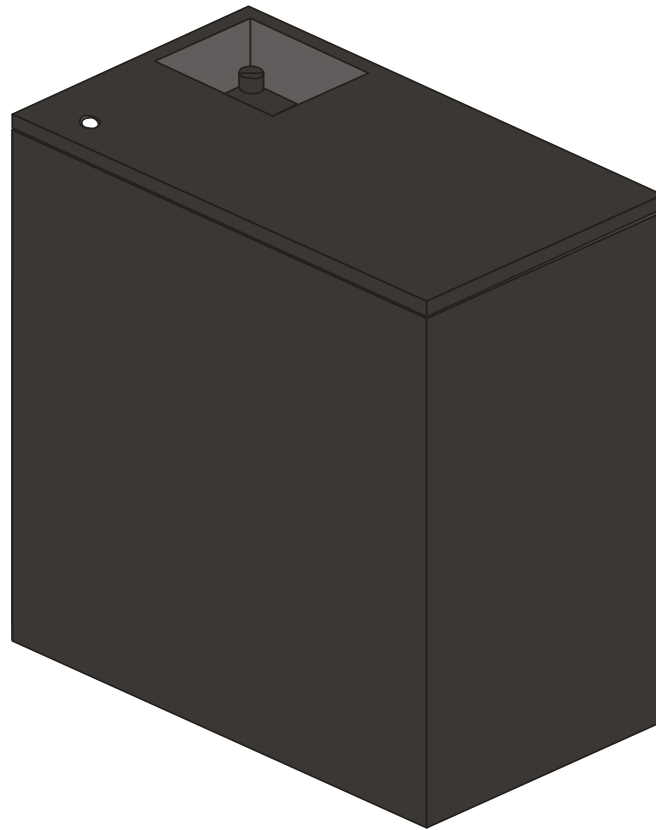


Figura 4.8. Isométrico de la caja ensamblada.

Capítulo V

MANUAL DE SOPORTE Y GUÍA DE INSTALACIÓN

5.1 Introducción

En este capítulo se presenta el Manual de soporte y guía de instalación que se utilizó en el curso de capacitación para el personal del Batallón Logístico de Transmisiones, en él se indican algunos conceptos básicos de las baterías recargables de ion-litio. El manual de instalación sirve como soporte al personal para cerciorarse del buen funcionamiento del arreglo de celdas, ya que en él se encuentra desglosado puntualmente el ensamble de cada paquete de celdas y por consiguiente cada sección del arreglo, de manera que puede utilizarse como una guía de fallas; además de que el documento en papel contiene fotografías con los puntos precisos de interconexión para evitar cualquier tipo de confusión al momento del ensamble.

En el Anexo de este trabajo se encuentra el Manual de Soporte y Guía de Instalación.

Capítulo VI

CONCLUSIONES

Durante el proceso de análisis de esta batería recargable de ion-litio, como de la tarjeta de protección, así como a cada una de sus partes, resultó interesante sumergirse en el mundo de las baterías recargables y en especial, las de ion-litio y percatarse que no solo existen “pilas” para control remoto o baterías para teléfono celular, sino que existe un universo de posibilidades, tamaños y capacidades que rodea este tipo de fuentes de energía.

Este trabajo representa una investigación que vincula instituciones como el IPN a través de sus laboratorios, de la SEDENA a través de su ensambladora de baterías y de la empresa para la cual tengo el gusto de colaborar.

El análisis del arreglo de celdas recargables y de cada parte que lo conforma, fue en primera instancia algo desconocido, lograr modificarlo y que fuese aceptado representó la tranquilidad y confianza del personal militar, lo que resultó en gran medida, una excelente carta de presentación ante esta dependencia. El análisis de la corriente con bancos de focos, analizar y ver lo que parecía invisible y que causaba tanto problema, así como visitar nuevamente “mis laboratorios” fue de lo más emocionante y satisfactorio, es como regresar a casa después de muchos años.

Lograr realizar una propuesta de regulación con una topología que no podía ser elegida solo por economía, por tamaño o por capricho y darse cuenta de que el uso de esta etapa, si bien no aumentaba el rendimiento de la batería, pero si su aceptación, representó un buen logro para la empresa. El reto mayor consistió en conjuntar todos estos sucesos y lograr resolver cada problema con los conocimientos que progresivamente se adquirían, así resultaría un Manual de instalación que el mismo Batallón Logístico de Transmisiones usaría por medio de su Ensambladora de Baterías.

El mejor de los logros es el saber que estas modificaciones y mejoras están representadas en cada batería que es utilizada por las fuerzas tácticas del Ejército Mexicano, solo saber que logré plasmar todo lo anterior en un instructivo y saber que tengo la gran oportunidad de plasmarlo nuevamente en papel como un proyecto nuevo con el cual se puede concluir un etapa tan significativa e importante a nivel personal y profesional, me llena de satisfacción y orgullo.

Miguel Angel Soria Márquez.

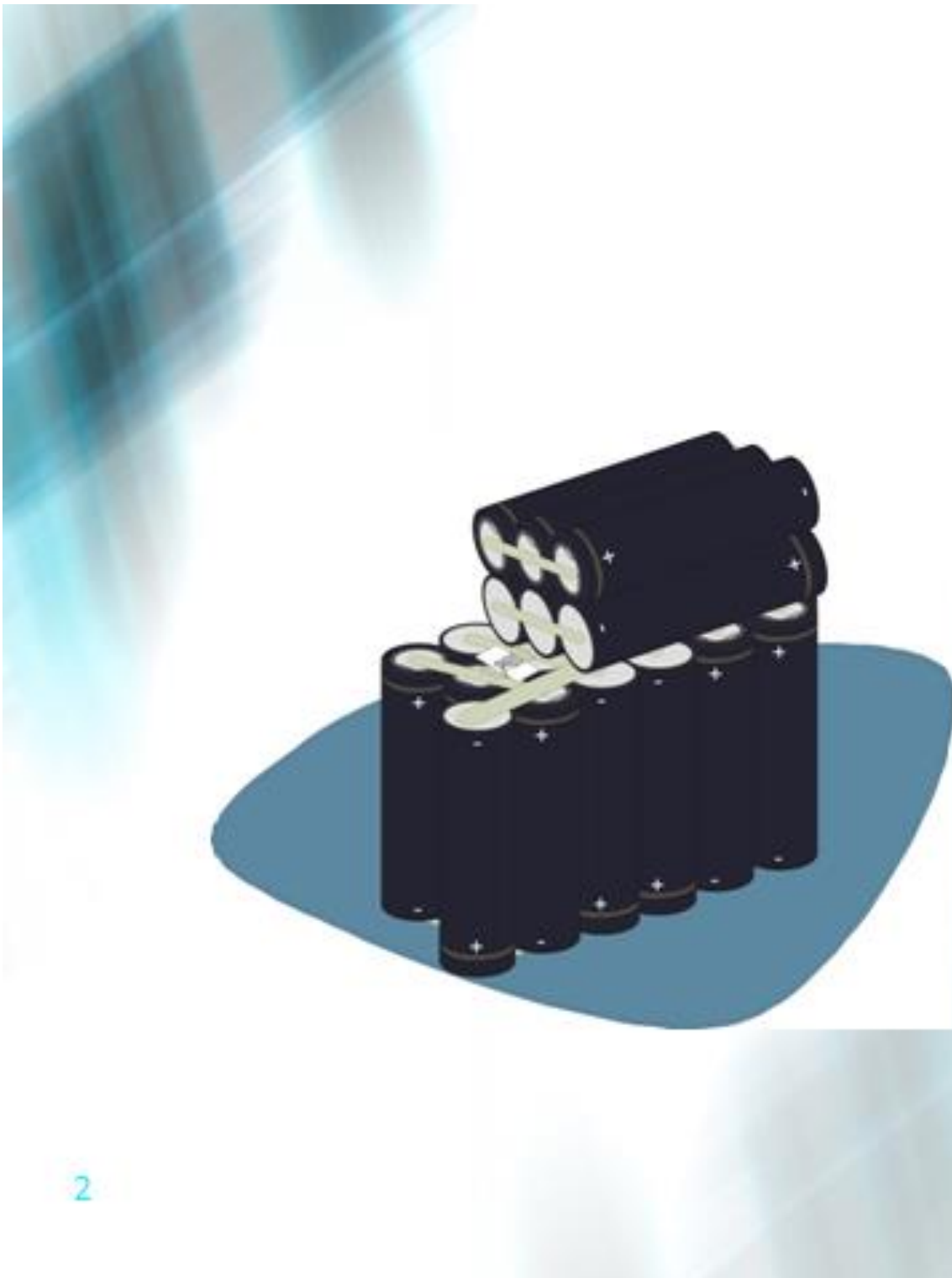
“ANEXO”

MANUAL DE SOPORTE Y GUÍA DE INSTALACIÓN



**INSTALACION DE
TARJETA DE PROTECCION
A INSERTOS RECARGABLES DE
ION-LITIO**

MANUAL DE INSTALACION



INTRODUCCION

Conceptos Básicos antes de instalar.

Es muy importante tener presentes algunos aspectos del inserto antes de instalar la tarjeta de protección. Para empezar solo personal debidamente familiarizado con este tipo de celdas debe instalar la tarjeta de protección, esto es debido al riesgo que podría presentar si no se tiene suficiente cuidado en cuanto a su manejo. En todo momento se debe tener presente el estado de la carga de las celdas, lo mas recomendable sería instalar sobre insertos que no estén completamente cargados, con el fin de aminorar cualquier daño en caso de algún cortocircuito o sobrecalentamiento de las celdas provocado por soldadura o por simple descuido en la manipulación de dicho inserto.

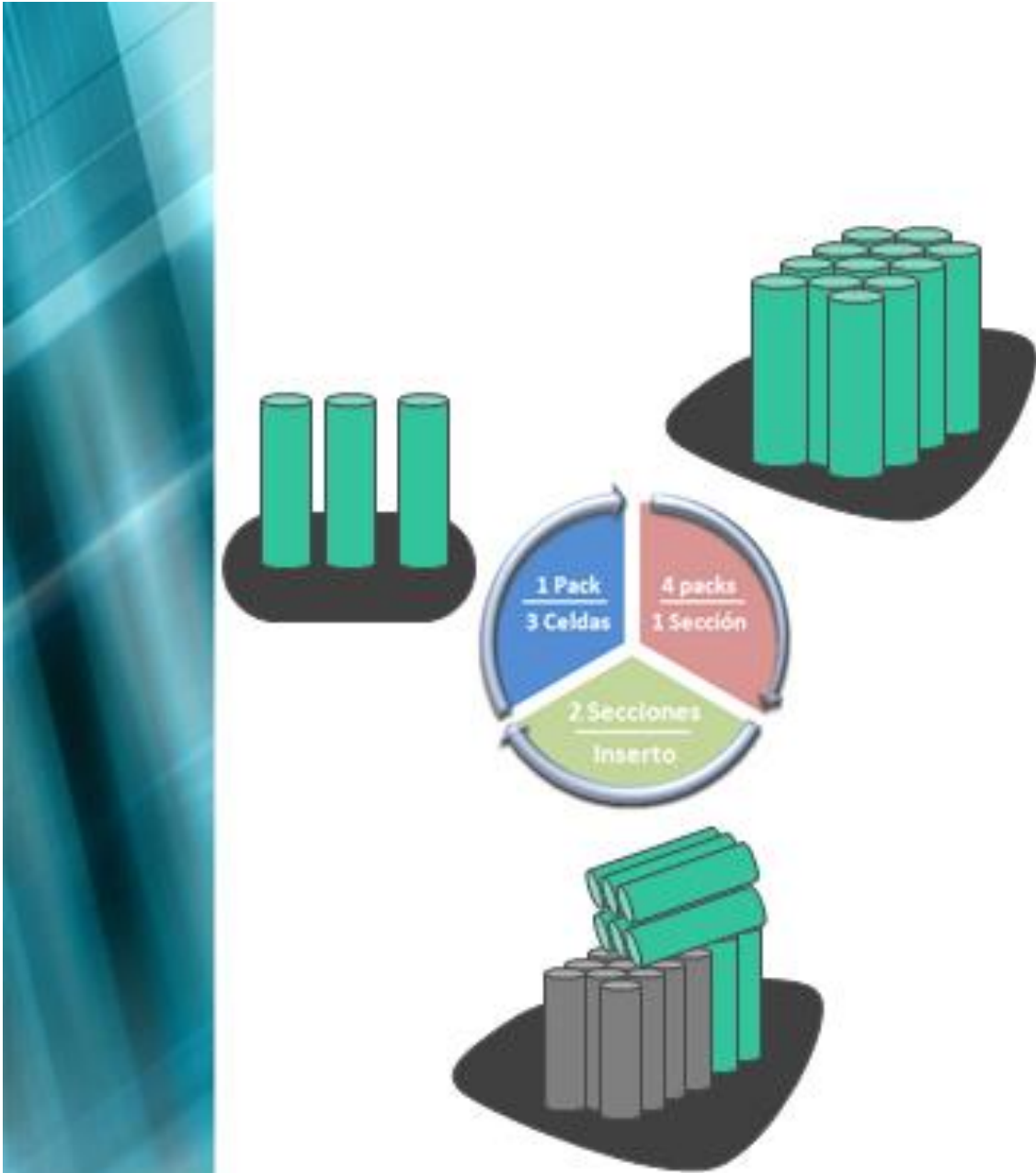
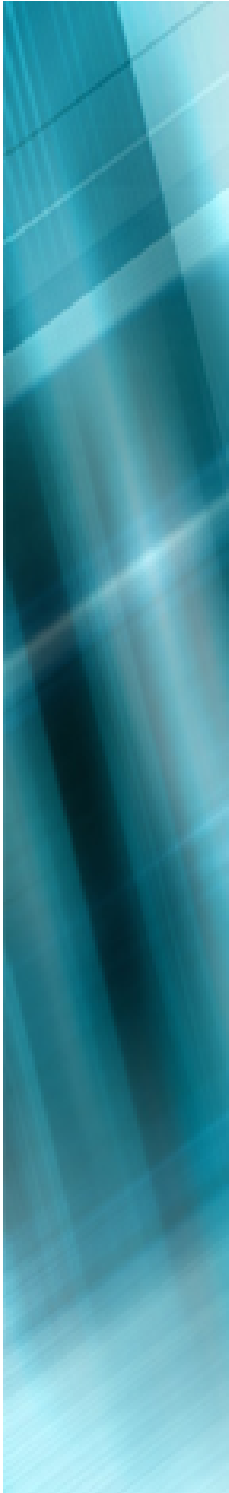


Figura 1. Distribución de celdas



DISTRIBUCIÓN DE PACKS.

Nuestro inserto recargable de ion-litio consta de 2 secciones, es decir 2 baterías . Cada sección esta compuesta de 12 celdas en un arreglo serie-paralelo; así se tienen 4 packs de 3 celdas, cada celda esta conectada en paralelo para formar 1 pack y cada pack esta conectado en serie para formar una sección, este arreglo nos permite mantener el voltaje requerido así como la corriente necesaria (Fig. 1).

Sera muy importante identificar cada pack correspondiente a cada sección para comprender la finalidad de la instalación de la tarjeta de protección, así que de ser posible se deberá marcar como sección 1, sección 2, pack 1, pack 2, etc..

IDENTIFICACION DE PUNTOS DE INTERCONEXION

La figura 2, nos muestra una imagen muy similar a la apariencia física del inserto, con el fin de identificar la distribución de secciones y packs, así como de los puntos de interconexión entre packs y las terminales de la tarjeta.

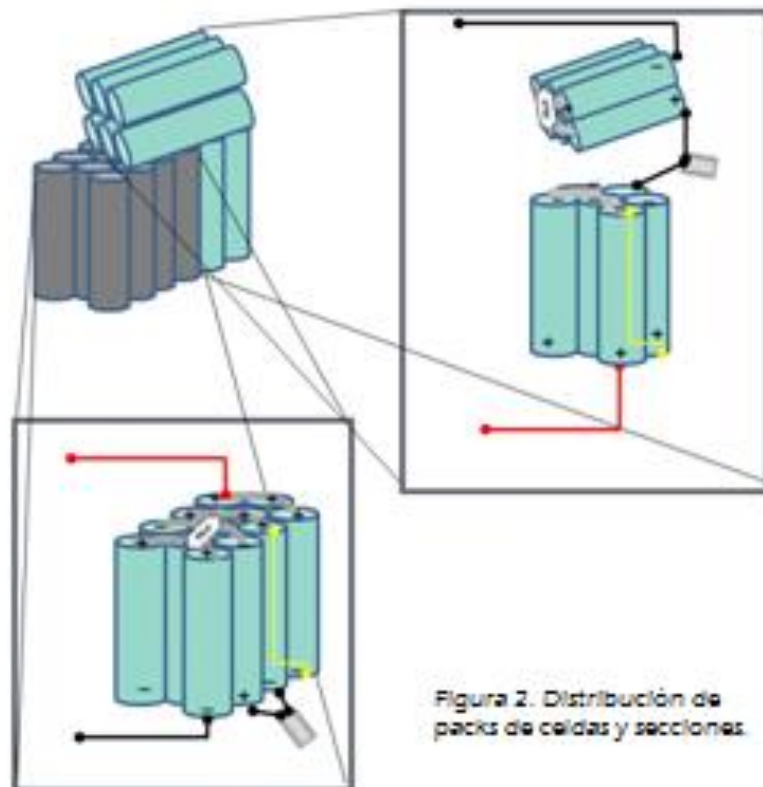


Figura 2. Distribución de packs de celdas y secciones.

PRECAUCIONES Y RECOMENDACIONES DURANTE EL ENSAMBLE DE LA TARJETA.

Es importante tener siempre presente la seguridad al soldar y de aislar los puntos de conexión, así como verificar siempre el estado físico de los insertos. Mencionamos los siguientes puntos en los cuales se debe poner mucha atención ya que representan un blanco fácil para provocar un corto circuito en el inserto o daño a la tarjeta.

1. Al trabajar con el inserto siempre se deben tener las terminales de cada sección rojo y negro, debidamente identificadas y aisladas o bien cortadas de las puntas de manera que no exista posibilidad de corto circuito entre ellas o con algún otro punto de conexión en el inserto.
2. Se debe revisar que los insertos cuenten con los aislantes de fabrica ya que estos son de un material con propiedades dieléctricas inmejorable para esta aplicación, es de suma importancia colocarlos o reemplazar por algún aislante con propiedades dieléctricas similares, esto evitara que durante el proceso de ensamble exista posibilidad de corto circuito entre terminales.

3. La tarjeta va colocada en una cinta de espuma con doble adhesivo y un espesor de aproximadamente 1mm, para fijar en cada parte del inserto correspondiente, con el propósito de que la parte de los componentes quede debidamente cubierta por tal cinta y la cara externa solo queda expuesta para realizar las conexiones correspondientes, esto nos ayuda a fijar la tarjeta durante el soldado de los cables a cada punto de interconexión, posteriormente se debe cubrir nuevamente con esta cinta para evitar cualquier cortocircuito.
4. Al termino del ensamble de cada tarjeta en su sección, se deberán verificar los voltajes en cada punto de soldado para cerciorarse de que no existe algún falso contacto y así continuar con el proceso de ensamble.
5. Ya que, para ensamblar la tarjeta de protección es necesario el desensamble de la parte superior del inserto, una vez que se termina la colocación de las dos tarjetas, se debe compactar nuevamente dicho inserto con cinta de filamentos para que no exista riesgo de movimientos entre packs de celdas y evitar cableado excesivo.

PROCEDIMIENTO

1. PREPARAR LA TARJETA CON TERMINALES DE INTERCONEXIÓN.

➤ Cada tarjeta requiere 5 cables:

* 2 para las conexiones de la batería como sección 1 (celda 1) ó sección 2 (celda 2).

* 3 para conexiones internas, entre "packs" de celdas. Necesariamente los colores del cable deberán ser los que se indican a continuación y que corresponden a una terminal de la tarjeta (Fig. 3).

** Los cables correspondientes a B- y B+, los cuales son el voltaje de entrada a la tarjeta. Se tomarán del mismo inserto para evitar cableado excesivo. (Fig. 4).



Figura 3. Relación de colores para los cables.

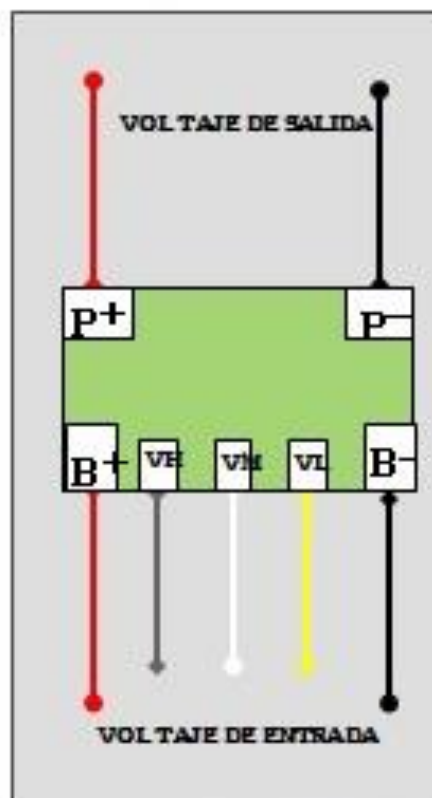


Figura 4. Tarjeta con cables de Interconexión.

2. CONEXIONES

Es importante recordar los puntos en los cuales se debe colocar la lamina con la maquina punteadora. Estas laminas deben colocarse antes de realizar cualquier conexión.

2.1. Conexiones en la Sección 1*

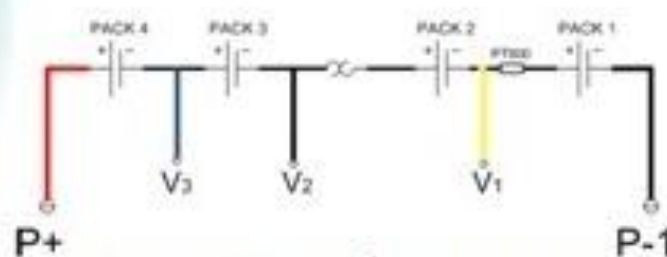


Figura 4. Diagrama eléctrico del inserto.

- * Como sección 1, tomaremos la parte de celdas correspondiente a la que no esta constituida de una sola pieza es decir, aquella que se encuentra dividida en dos partes: con dos packs en modo vertical y dos en modo horizontal.

La figura 5, indica el punto preciso de conexión entre la tarjeta y Sección 1 del inserto.

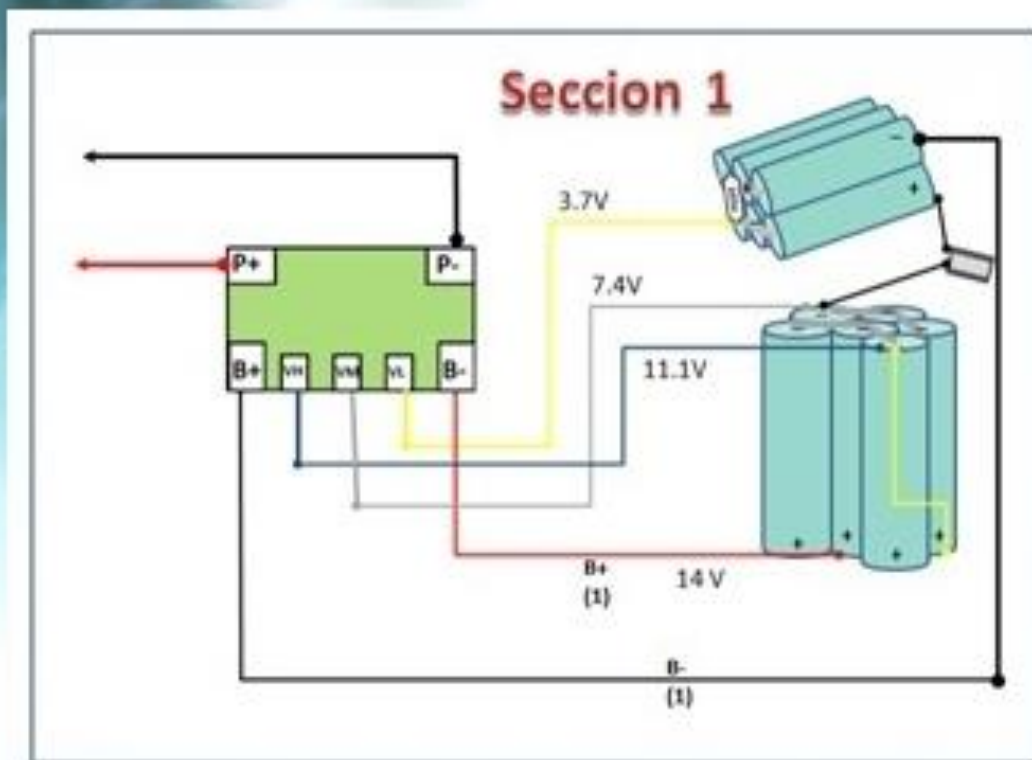


Figura 5. Puntos de Interconexión en la sección 1 del inserto y la tarjeta de protección.

2.2. Conexiones en la Sección Z

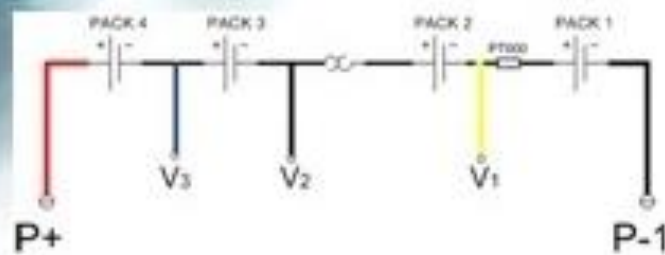


Figura 6. Diagrama eléctrico del inserto.

- * Como sección 2, tomaremos la parte de celdas correspondiente a la que esta constituida como una sola pieza.

La figura 7, indica el punto preciso de conexión entre la tarjeta y la Sección 2 del inserto.

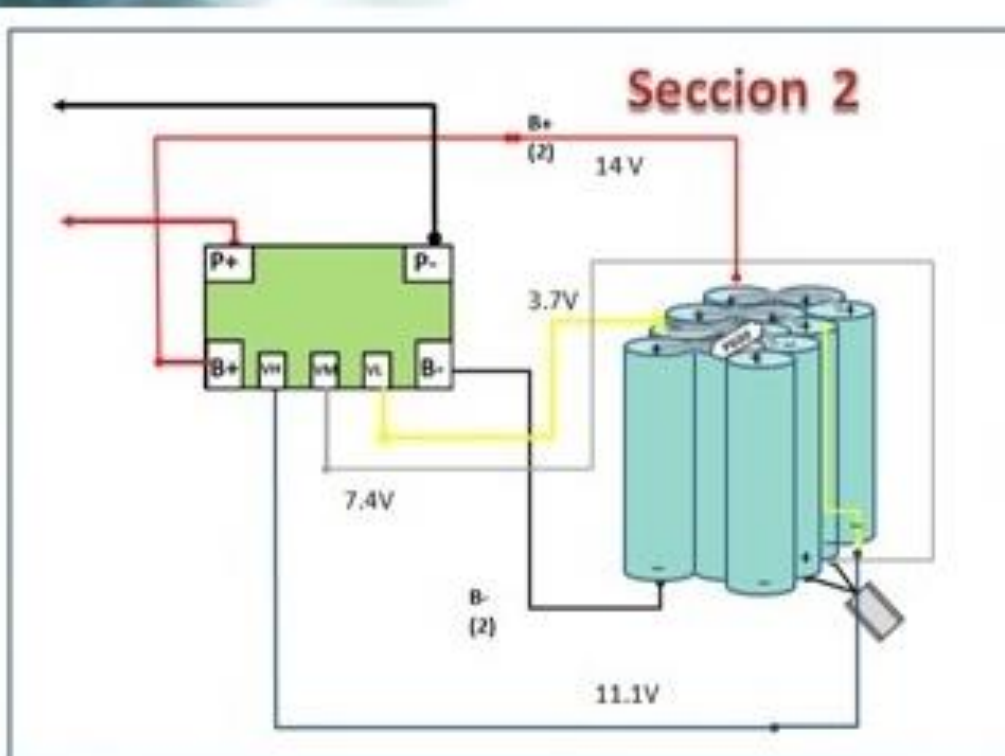


Figura 7. Puntos de Interconexión en la sección 1 del inserto y la tarjeta de protección



Referencias:

Acumuladores Electroquímicos. Fundamentos, nuevos desarrollos y aplicaciones. Jose Fullea Garcia.

Comprehensive Treatise of Electrochemistry. J. Bockris.

Electrochemical Engineering. Digby D. Macdonald.

History of lithium batteries. B. Scrosati.

Electrónica. Teoría de los Circuitos. Robert L. Boylestad

Electronica de potencia. Daniel W. Hart.

Amplificadores Operacionales y circuitos integrados lineales. Robert F. Coughlin

Linear and Switching Voltage Regulator Fundamentals. National Semiconductor.

http://profnik.moodlehub.com/pluginfile.php/21611/mod_resource/content/1/Linear-Voltage-Regulators-NatSemi.pdf

21/07/2014

Teoría Electrónica Industrial. Centro Nacional de Educación a Distancia.

<http://www.cursos-peru.com.pe/area-electricidad/curso-de-electronica-industrial/curso-de-electronica-industrial.html>

23/07/2014

Switching Regulators. Analog Devices.

<http://www.analog.com/static/imported-files/tutorials/ptmsect3.pdf>

22/07/2014

Linear and Switching Voltage Regulator Fundamental Part 1. Texas Instruments. <http://www.ti.com/lit/an/snva558/snva558.pdf>

21/07/2014

Linear Regulators. Motorola.

<http://www.ece.uic.edu/~vahe/spring2012/ece396/linreg.pdf>

21/07/2014

Reguladores de Tensión. Electrónica Básica para Ingenieros.

<http://es.scribd.com/doc/36560234/Electronic-A-Basica-Para-Ingenieros>

28/07/2014