



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO AUTOMOTRIZ

“INVESTIGACIÓN DE LA DURABILIDAD Y TIEMPO DE VIDA ÚTIL DE LAS BATERÍAS DE ALTA TENSIÓN DE VEHÍCULOS HÍBRIDOS Y ELÉCTRICOS A TRAVÉS DE LA PROGRAMACIÓN AUTOMATIZADA DE PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA”

Autores:

ESPINOZA CUADRADO, JONATHAN STALIN
GUAMUSHIG TARCO, WILFRIDO MEDARDO

Director:

Ing. José Quiroz



“El genio se hace con un 1% de talento y un 99 % de trabajo”

- Albert Einstein

ANTECEDENTES

En la actualidad, hay varios factores que están llevando a la industria automotriz a abandonar paulatinamente los motores de combustión interna como sistema para mover un vehículo, entre ellos la certeza de que las reservas de petróleo se agotarán en algún momento y una conciencia de época mucho más enfocada en el cuidado del medio ambiente



En el Ecuador creció la venta de vehículos híbridos y eléctricos en un 197% y 51% respectivamente, esto se debe principalmente al ahorro de combustible que estos presentan frente a los vehículos tradicionales

El mercado de vehículos tanto híbridos como eléctricos va en crecimiento en el Ecuador, principalmente debido a la eliminación de impuestos y aranceles para la importación de este tipo de vehículos, sin embargo menciona que el mayor problema que tiene actualmente esta industria son sus baterías, ya que varias características del vehículo dependen de estas, entre las más importantes tenemos su autonomía y su peso



OBJETIVO GENERAL

Investigar la durabilidad y tiempo de vida útil de las baterías de alta tensión de vehículos híbrido y eléctricos a través de procesos de carga y descarga automatizados.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obtener el estado de vida útil de las baterías y parámetros importantes tales como el SOC y el DSOC.
- Establecer una programación computarizada, capaz de procesar las señales provenientes de las baterías con respecto al estado de carga.
- Someter a ensayos a las baterías de alta tensión, para determinar el comportamiento que estas toman.
- Valorar sistemáticamente el estado de baterías procesadas, para lograr una clasificación en base a su nueva capacidad real.
- Identificar los beneficios de los procesos de carga y descarga en baterías de alta tensión, según la batería estudiada.

META

Automatizar el proceso de carga y descarga de baterías de alta tensión que permita recupera el estado de salud (SOH%) de las baterías de alta tensión.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

Tipos de vehículos



Vehículos híbridos



Impulsados por motores
eléctricos y de combustión
interna

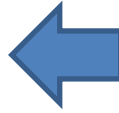
Vehículos Eléctricos



Impulsados por motores
eléctricos



Materiales



**Níquel Cadmio
Níquel Metal
Iones de Litio
Polímero de Litio**



Acumuladores de Energía

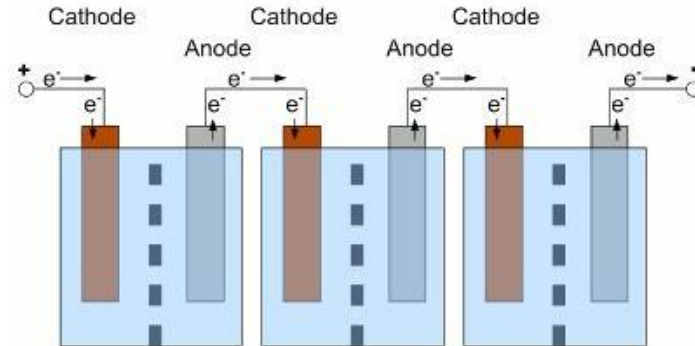


son

**Celdas electroquímicas que
convierten la energía
química en eléctrica**



Partes



Toyota Prius ←



- Ni-MH
- 28 celdas en serie
- Tensión de celda 7,2V
- Tensión total 201,6V



Baterías de alta tensión



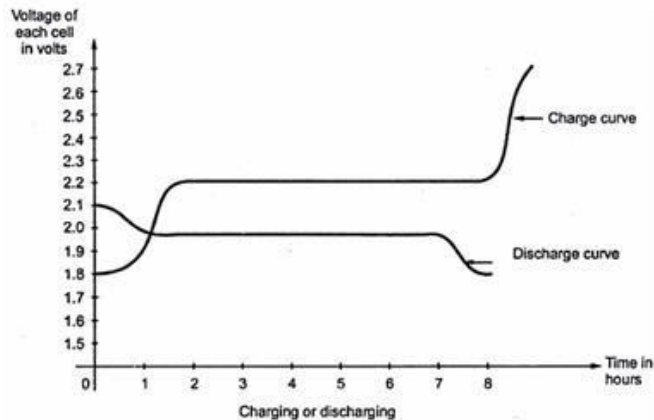
Toyota Highlander



- Ni-MH
- 30 celdas en serie
- Tensión de celda 9,6V
- Tensión total 288V



Mantenimiento de Baterías



Intercambio de celdas



Por efectos de temperatura
-Las internas se cambian por las externas

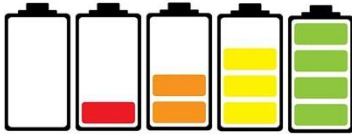
Ciclado de Baterías



Procesos de carga y descarga
-Reacondiciona baterías



Parámetros de estado de batería



SoH (Estado de salud)



Estado actual de la batería tras los ciclo de uso de la misma

- Capacidad real
- Resistencia interna

$$SoH\% = \frac{Capacidad\ Real * 100}{Capacidad\ Nominal}$$

Resistencia interna

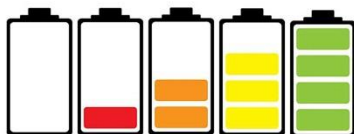


Parámetro relacionado con el estado de salud de la batería

- Afectado por la temperatura
- Mayores valores presentan daño

$$R_B = \frac{V_{vacío} - V_{carga}}{I_{carga}}$$

Parámetros de medición de batería



Capacidad Real [mAh]



$$C = \int_{t_0}^{t_f} I_d dt$$

Corriente extraída de la batería en función del tiempo

-Comúnmente es inferior a la nominal

-A corriente constante se facilita el cálculo

$$C = \text{tiempo} * \text{Corriente descarga}$$

SOC%



$$SoC = SoC_0 - \frac{1}{C_N} \int_{t_0}^t \eta_i I_d \tau$$

Estado de carga de la batería

- No tiene relación con la tensión de la batería
- A corriente constante se facilita el cálculo

$$SoC = SoC_0 - \frac{I_{\text{carga}} * \text{tiempo}}{Cap_{\text{Nominal}}}$$

Automatizar



**-Microcontroladores
-PLCs**



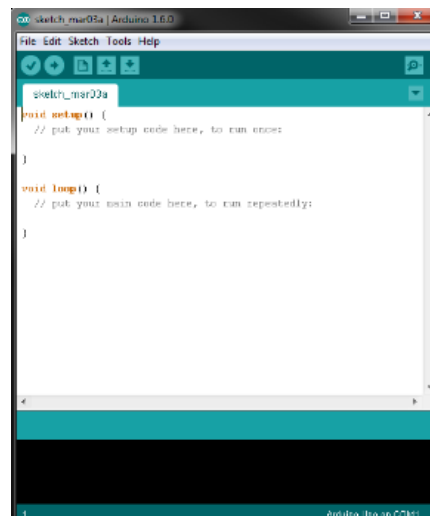
**Arduino
(Microcontrolador)**



**Se transferir tareas a un
conjunto de componentes
tecnológicos y electrónicos**



**Mediante lenguaje de programación
se establecen tareas para ser
grabadas**



Arduino

Comunicación



- Protocolo I2C
- Comunicación Serial

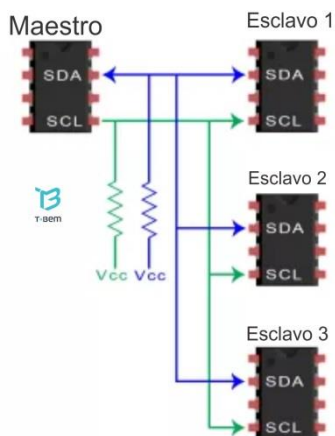


Compañía de fuente abierta
y hardware abierto
-Manufactura placas de
desarrollo



Pc / Serial

Módulos / I2C
MCP4725



CAPÍTULO III

ANALIZADOR DE BATERÍAS DE ALTA TENSIÓN PROGRAMADO Y AUTOMATIZADO MEDIANTE PROCESOS DE CARGAS Y DESCARGAS.

Demandas eléctricas



Tensión



**Rango de corriente
0A / 2,5 A**



**Potencia necesaria
para el analizador**

$$P = I_{c/d} * V_{c/d} * N$$

$$P = 2.875 * 11.04 * 16$$

$$**P = 507.84 W**$$



**Mayor demanda
9,6V**

$$V_{c/d} = 9.6 * \left(\frac{115}{100} \right) = 11,04V$$

Tensión de carga y descarga requeridas

Tensión del Toyota Highlander 9.6V

factor de seguridad de 1.15

$$V_{c/d} = V * (115\%)$$

$$V_{c/d} = 9.6 * \left(\frac{115}{100}\right)$$

$$V_{c/d} = 11.04 V$$



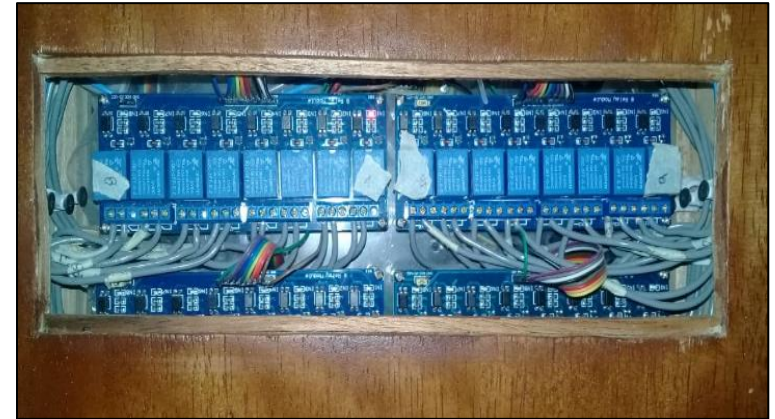
Intensidad de carga y descarga requeridas

por lo que el analizador será capaz de manejar corrientes de 0 a 2.5A, se tomó en cuenta un factor de seguridad de 1.15, para lo que se planteó una corriente de carga y descarga máxima.

$$I_{c/d} = I_{max} * (n)$$

$$I_{c/d} = 2.5 * (1.5)$$

$$I_{c/d} = 2.875 A$$



Potencia de carga y descarga requeridas

La potencia para el proceso será diseñada tomando en cuenta un factor de seguridad de 1.2, y capaz de realizar el proceso automatizado a 16 celdas de batería

$$P = \frac{Ic}{d} * \frac{Vc}{d} * N$$

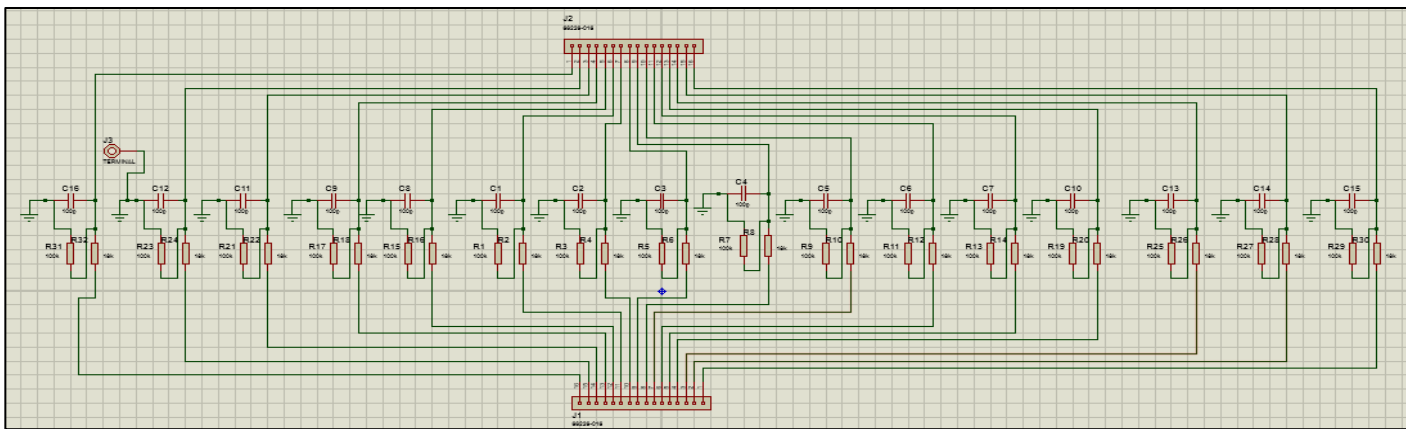
$$P = 2.875 * 11.04 * 16$$

$$P = 507.84 W$$

ENTRADA DE SEÑALES ANALÓGICAS

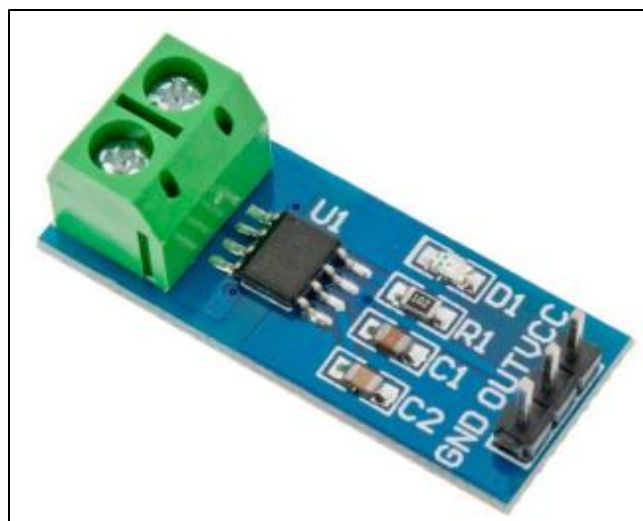
Voltaje

se diseñó una placa de voltímetros para 16 canales, en base a divisores de tensión con alto valor de resistencia para evitar pérdida de potencia en la lectura.

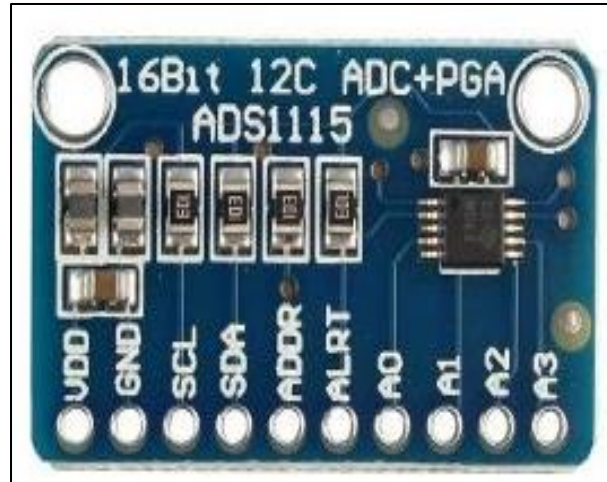


Intensidad

La intensidad será medida por medio de sensores de corriente de tipo efecto Hall

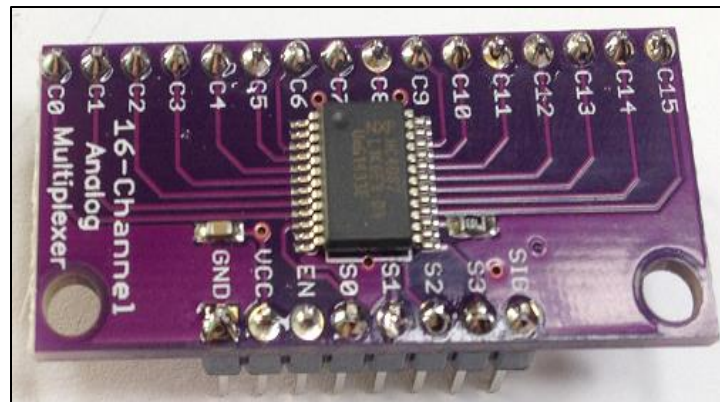


se optó por la utilización de un ADS externo, el ADS 1115 amplía el rango de lectura por lo que se incluirá en el diseño



Ampliación de entradas analógicas

Se utilizó un multiplexado a la entrada de las señales de voltaje, el cual incrementa el numero de canales de entrada del arduino
El multiplexor utilizado es el módulo 74HC4067

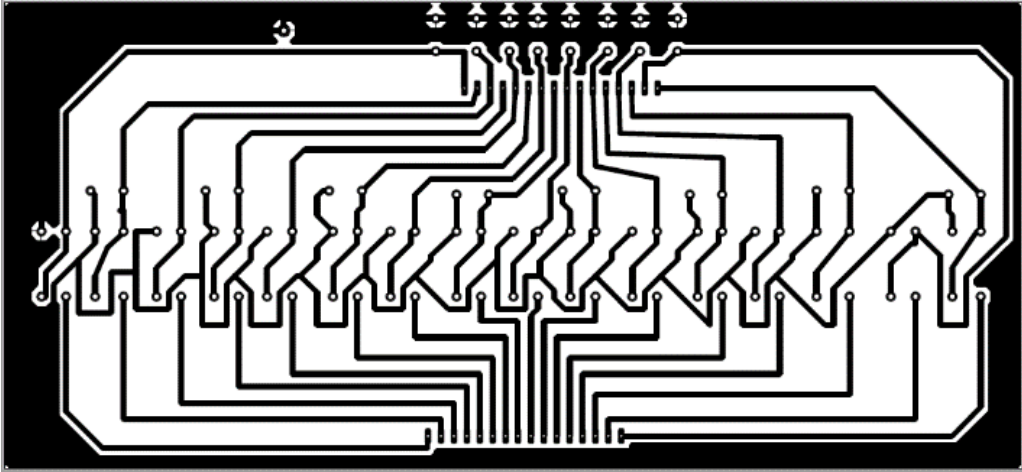
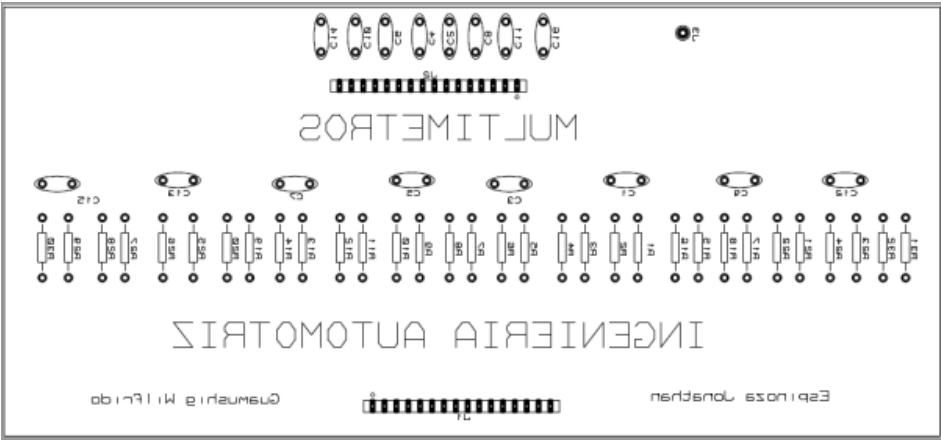


ELABORACIÓN DE PLACAS DE BAQUELITA

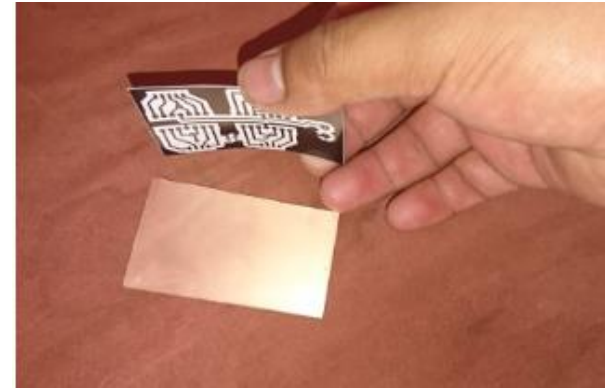
Algunas placas fueron diseñadas y construidas para su utilización por lo que se adjunta un breve resumen del proceso.

Se realiza el diseño en software, en este caso se utilizó el software Proteus, y se imprime el diseño en papel fotográfico, a laser.

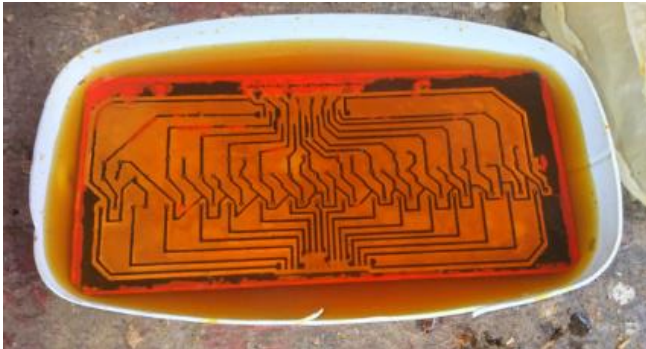




El circuito impreso deberá ser planchado sobre una placa de baquelita a la medida del mismo. Para luego retirar el papel de la baquelita con la ayuda de un chorro de agua y las manos, haciendo dicho proceso con cuidado de sacar la impresión impregnada en la placa



Realizamos el proceso de quemado de baquelita, por medio de ácido Cloruro Férrico o ácido para baquelita, para luego retirar el tóner de la baquelita ya quemada.



El proceso finaliza con la perforación de las placas y la suelda de los componentes electrónicos, además se creyó conveniente la protección de las pistas de las placas con barniz o esmalte que dará mejores resultados



Fuentes de Alimentación

El analizador de baterías debe cumplir con una demanda de aproximadamente 530 W de potencia, para lo que se optó por la adquisición de fuentes reguladas, normalmente utilizadas en las computadoras

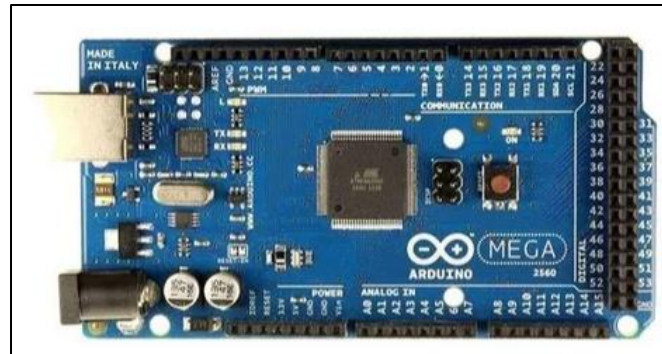


$$P_f = P * n_f$$

$$P_f = 507.84 * 1.7$$

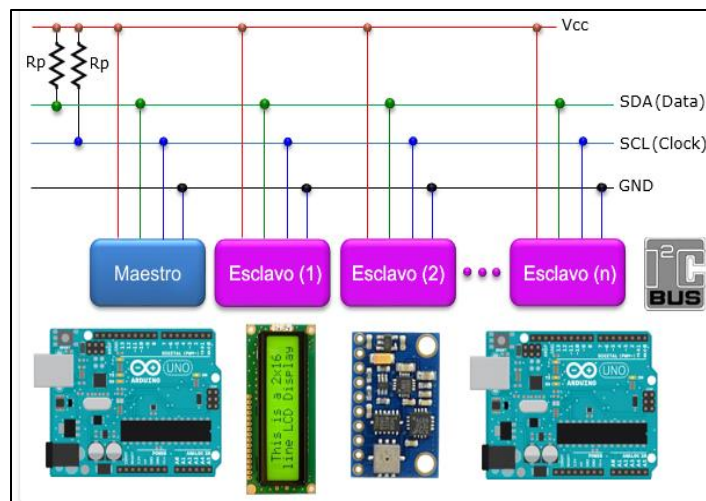
$$P_f = 863.328 \text{ W}$$

Arduino es una marca de microcontroladores mundialmente conocida ya que su programación es muy versátil, además cuenta con una amplia gama de dispositivos basados en el microcontrolador AtMega.
Por lo que se optó por la utilización del Arduino MEGA



Protocolo I2C y Comunicación Serial

El I2C es un protocolo de comunicación y en el arduino MEGA incluido en un puerto llamado SDA y SCL. El protocolo conecta hasta 127 dispositivos como esclavos, dándole un registro a cada uno, con una velocidad de 100 a 1000 kbits/s.



Control de canales de carga y descarga

El procesamiento de datos termina con el control de canales que habiliten y deshabiliten la carga o descarga de las celdas de la batería de alta tensión, este proceso fue realizado por medio de módulos reles



ETAPA DE CARGA

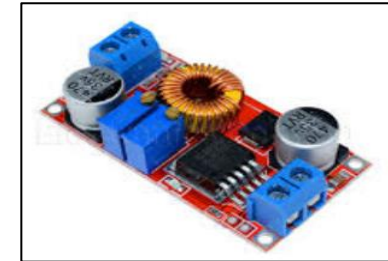
El valor de voltaje requerido es inferior al voltaje de la fuente de alimentación por lo que se requiere una fuente Step Down

Para ello se debe tomar en cuenta la potencia requerida por celda

$$P_c = P/N$$

$$P_c = 507.84/16$$

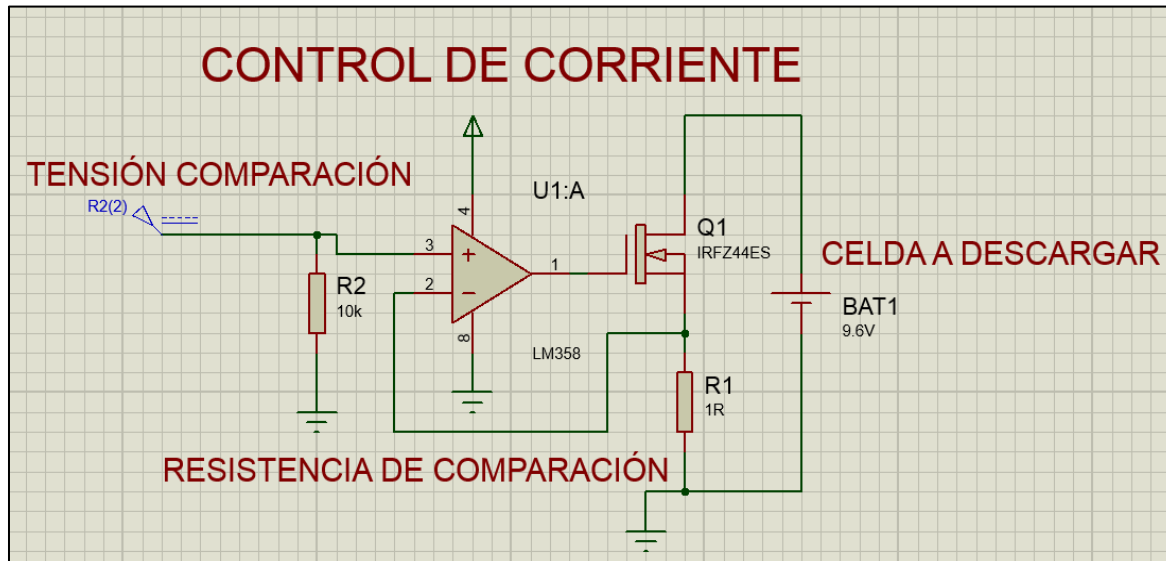
$$P_c = 31.74 \text{ W}$$



La fuente DC/DC deberá ser capaz de entregar 31.74 W, por lo que se seleccionó la fuente XL4015 con regulación de tensión y voltaje que trabaja a 75W como máximo debido a que las fuentes de menor potencia bordean los 30 W, valor inadecuado de trabajo para el presente diseño.

ETAPA DE DESCARGA

La corriente de descarga controlada es vital para el proceso automatizado de cargas y descargas, para lo cual se diseñó un circuito de descarga a corriente constante basado en el requerimiento de potencia por celda de batería.



La ley de ohm intervendrá en el circuito, que crea la relación entre la tensión de comparación y la resistencia de comparación, replanteando las variables en la siguiente ecuación, y tomando en cuenta un bajo valor de resistencia igual a 1 ohm, valor tomado por efectos de disipación de calor, se encuentra la siguiente relación entre la tensión de control y la corriente

Donde

I_d = Corriente de descarga

T_c = Tensión de comparación

R_c = Resistencia de comparación

$$I_d = T_c / R_c$$
$$I_d = \frac{T_c}{1 \text{ ohm}}$$

$$I_d = T_c$$
$$1A = 1V$$

Por lo que podemos concluir que por cada voltio podremos ajustar nuestra corriente de descarga a 1 amperio de corriente

Reemplazando la ecuación de corriente de descarga en relación a la tensión de control podemos expresar a la potencia de la resistencia en la siguiente ecuación

$$\begin{aligned}P_{rc} &= T_c * I_{c/d} \\P_{rc} &= I_{c/d} * I_{c/d} = I_{c/d}^2 \\P_{rc} &= 2.875^2 \\P_{rc} &= \mathbf{8.27 W}\end{aligned}$$

Donde

P_{rc} = Potencia de la resistencia de control

T_c = Tensión de comparación

$I_{c/d}$ = Corriente de carga o descarga, para el diseño del analizador

Por lo que se adquirió una resistencia de potencia de 2.2 ohm y una resistencia de 1ohm a 5W para realizar un paralelo entre ambas por efectos de disipación potencia, provocando que aproximadamente la mitad de la potencia de la resistencia de control sea disipada en cada resistencia, lo que nos da

Donde

Rc= Resistencia de control final

R1 y R2 = Resistencias en paralelo

$$Rc = \left(\frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} \right)^{-1}$$
$$Rc = \left(\frac{1}{1} + \frac{1}{2.2} \right)^{-1}$$
$$Rc = \mathbf{0.95\ ohm}$$

Ajustando la relación anterior entre tensión de comparación y corriente de descarga, y tomando en cuenta la corriente máxima de descarga, se encontrará el valor máximo de voltaje a ingresar al operacional

$$I_d = \frac{T}{0.95ohm}$$
$$I_d = 1.053T$$
$$1A = 1.053V$$
$$2.875A = 3.026V$$

El circuito propuesto provocará que el transistor Mosfet utilizado, trabaje en zona activa, lo que provoca que este disipe calor, y la corriente que puede manejar se reduzca. Los requerimientos propuestos, muestran un control de corriente de máximo 2.875 A.

$$P_m = V_{c/d} * I_{c/d}$$
$$P_m = 11.04 * 2.875$$
$$P_m = 64.86 \text{ W}$$

Donde

P_m = Potencia máxima requerida para el mosfet

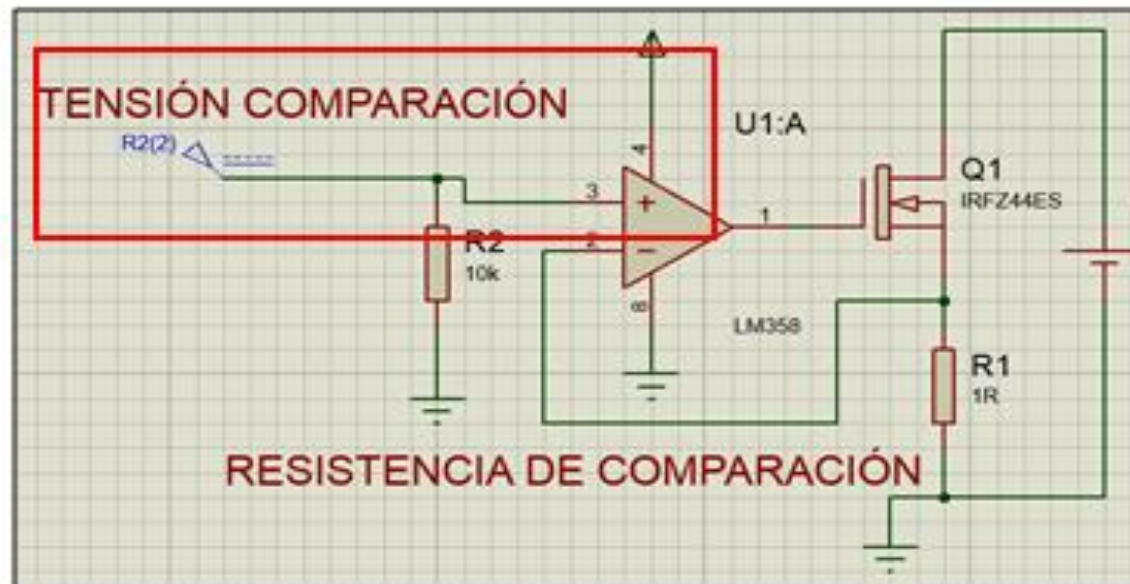
$V_{c/d}$ = Voltaje de carga o descarga máximo

$I_{c/d}$ = Intensidad de carga o descarga máxima

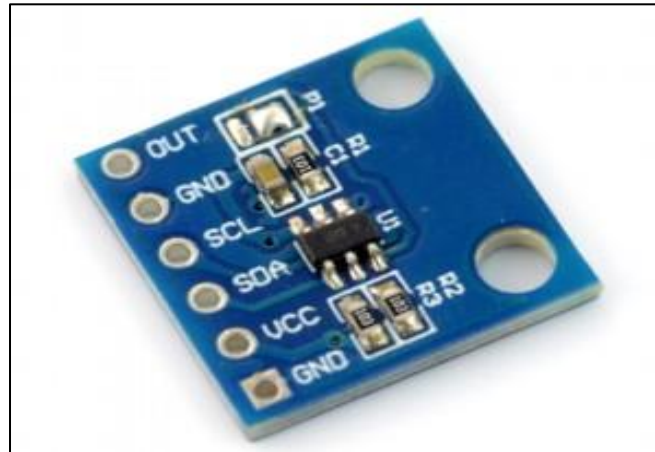
Para lo que se selecciona un Mosfet comercial y de altas prestaciones llamado IRFZ44n

DIGITALIZACIÓN DE LA POTENCIA

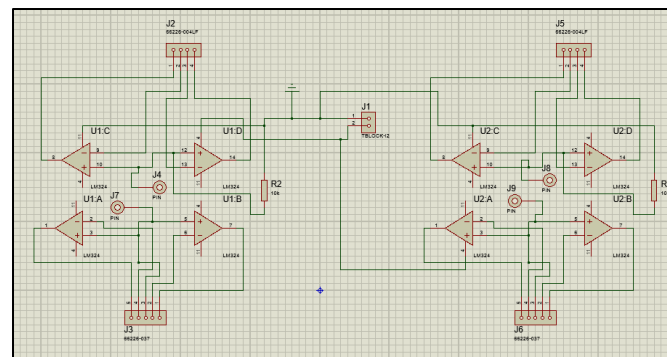
La automatización de las cargas y descargas amerita que el control de la potencia sea digital



La digitalización de la carga se la realizo mediante el uso de los dispositivos llamados DAC

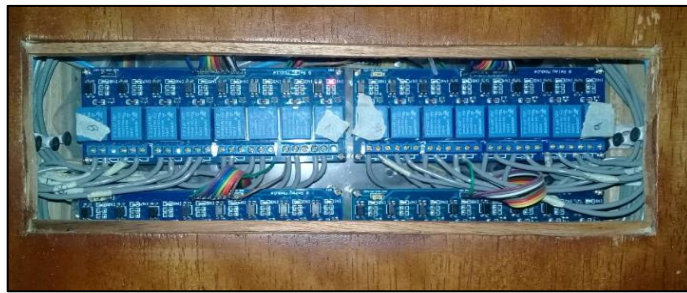


En el caso de la etapa de descarga es necesario la elaboración de un circuito de control en base al circuito propuesto para la corriente regulada, capaz de conectar 16 canales de operación digital, para lo cual se planteó el siguiente diseño



MUESTRA DE DATOS

Indicadores luminosos

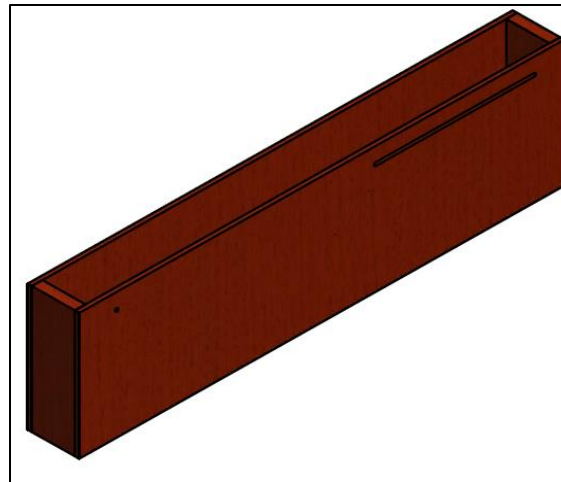


Pantalla de control

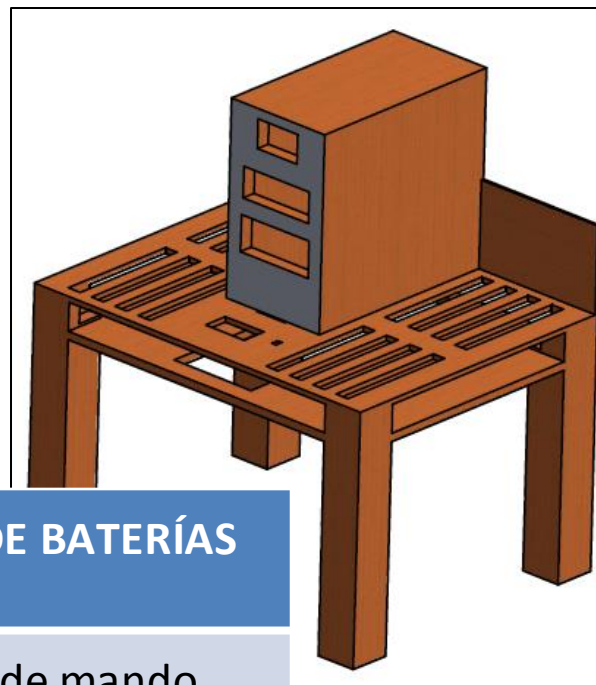


PORTA CELDAS

Para la ubicación de la celda de batería se planteó una porta celda con terminales positivo y negativo,



Analizador de baterías

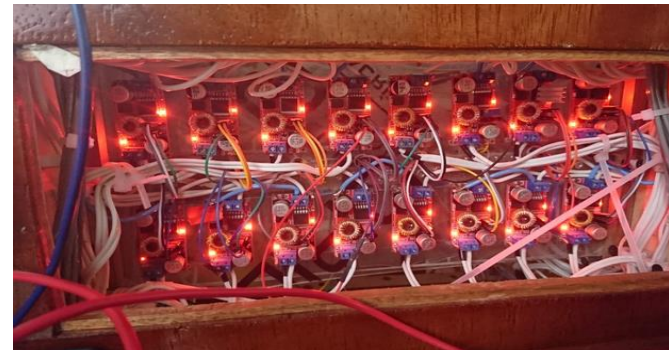
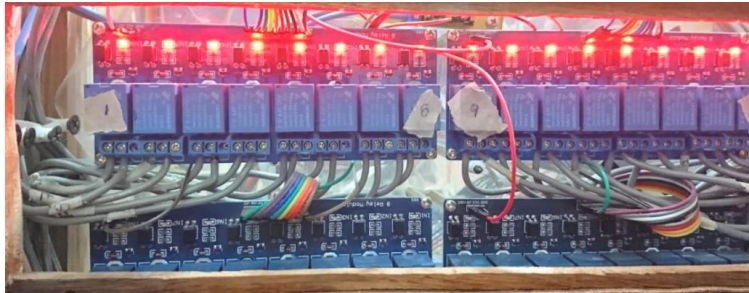


DIMENSIONAMIENTO DE ANALIZADOR DE BATERÍAS

Parámetro	Banco	Control de mando
Largo	1090 mm	900 mm
Ancho	1400 mm	400 mm
Alto	900 mm	700 mm

PROTOCOLO DE PRUEBAS

En el presente capítulo se establece un protocolo de pruebas dispuestas para el análisis del comportamiento de celdas de la batería de alta tensión, frente a procesos automatizados de carga y descarga.



PROCESO DE MANTENIMIENTO DE BATERIAS

DESCARGA DE EQUILIBRIO.

Este proceso pretende equilibrar el valor de tensión de todas las celdas por lo que se establece una descarga controlada de 1 amperio al 40 % del valor de tensión nominal

DESCARGA A LA CAPACIDAD MÍNIMA

De forma automática el analizador debe establecer una descarga al 15 % del valor de tensión nominal a una corriente inferior a la anterior, para que el proceso sea más estable y se evite cambios de polarización dentro de las celdas que pudieran causar daños en ellas.

Precarga de restauración

El siguiente paso es restaurar la tensión nominal de la celda y esto se hace con una carga controlada de un amperio por 30 min estimando un valor máximo del 120 % de la tensión nominal.

Tiempo de estabilización.

Una vez cargada la celda al 100%, se la deja reposar por 10 minutos, tiempo en el cual las celdas deberán mantener su voltaje nominal.

Carga completa de su capacidad.

Los procesos anteriores pretenden establecer a la batería a un estado de carga del 30% aproximadamente, por lo que el presente proceso cargara la celda al 100% de su capacidad mediante una carga controlada de 2 amperios por una hora

Análisis de capacidad de carga.

Una vez que la celda ha sido cargada al 100% de su capacidad, es posible realizar un análisis de su capacidad real, ya que durante todo este proceso se extraerán datos suficientes para hallar su capacidad real en función al tiempo y corriente de proceso que en este caso será de un amperio, continuación e establece un sistema de categorización de estado.



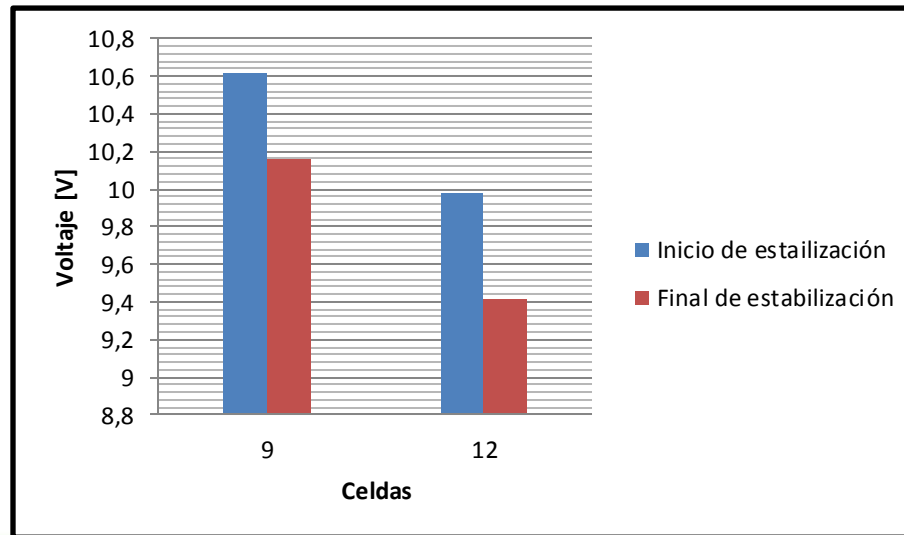
RECATEGORIZACION DE BATERIAS

CATEGORÍA	COLOR	SoH
A	Verde	90 – 100 %
B	Amarillo	80 – 90 %
C	Naranja	60 – 80 %
X	Rojo	Menor a 50 %

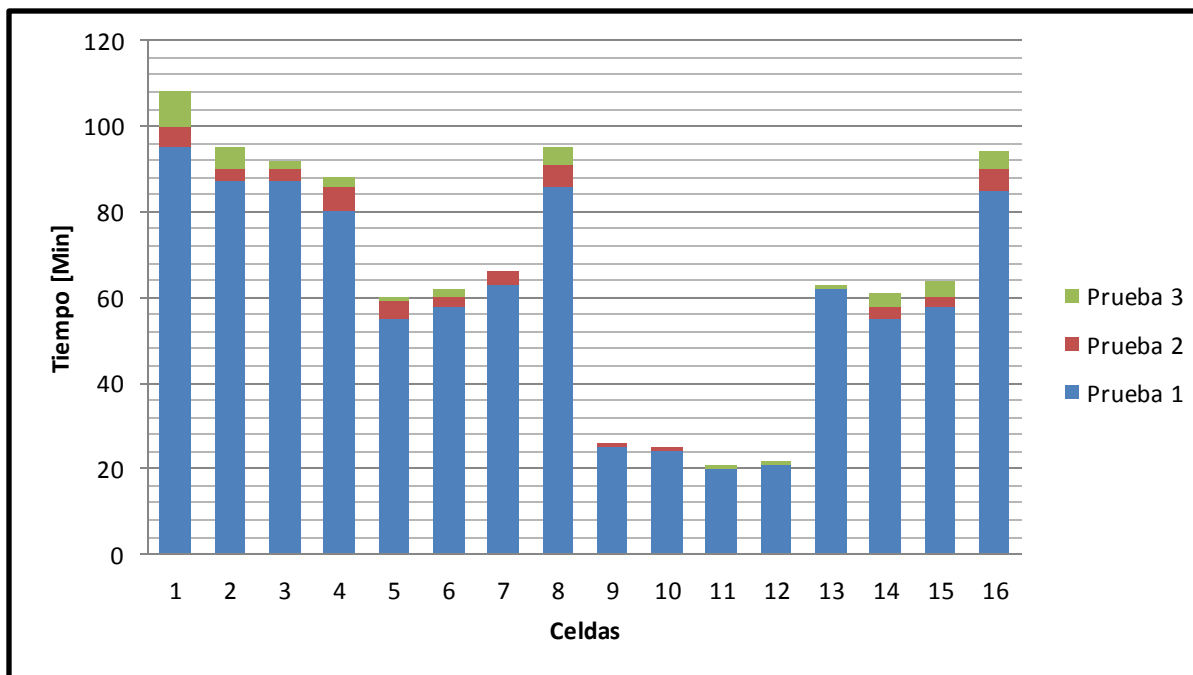
Análisis de resultados

se analiza el comportamiento de las celdas de batería, al haberla sometido a las pruebas experimentales basadas en procesos de carga y descarga automatizadas, se realizó tres pruebas automatizadas de carga y descarga con corriente y tiempo controlados

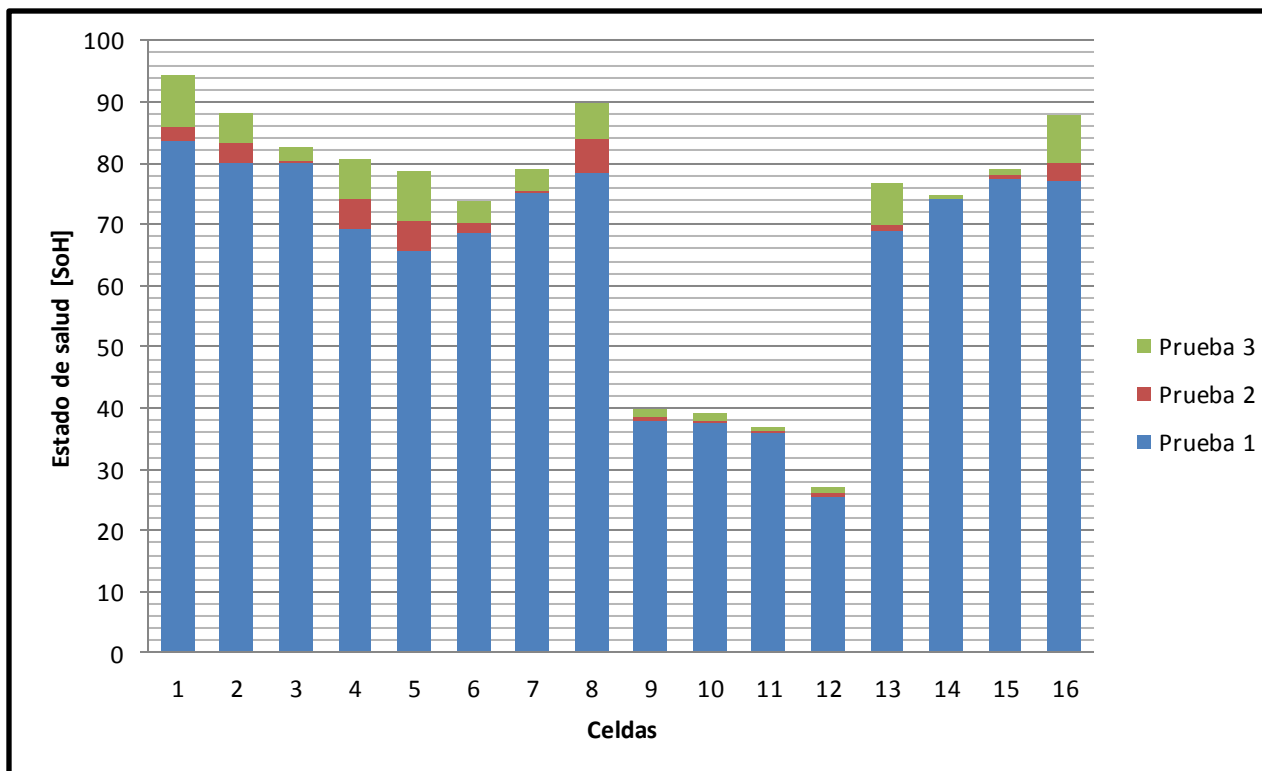
Perdida de capacidad



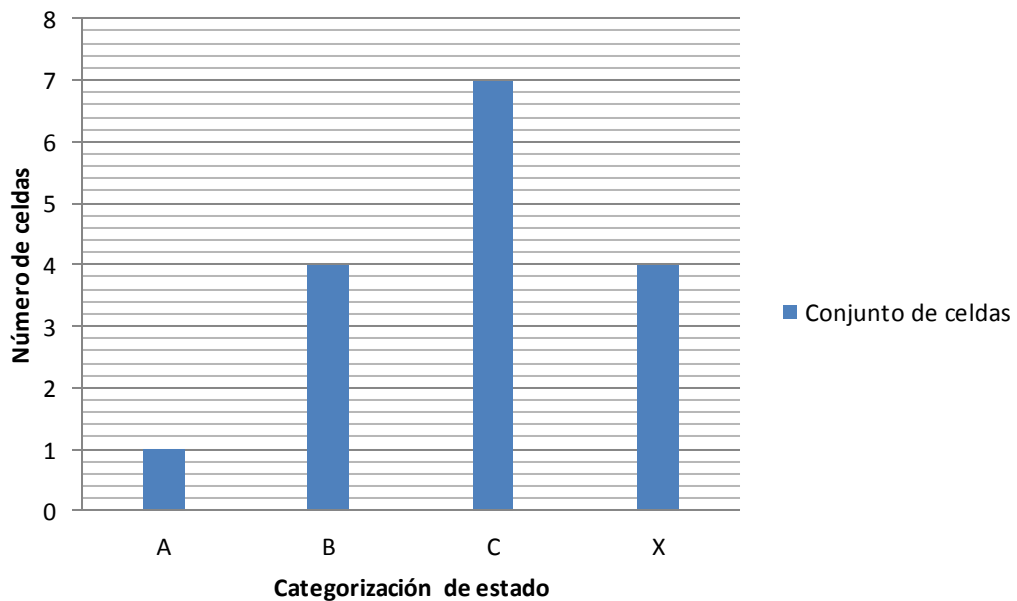
Análisis de tiempo de descarga por prueba

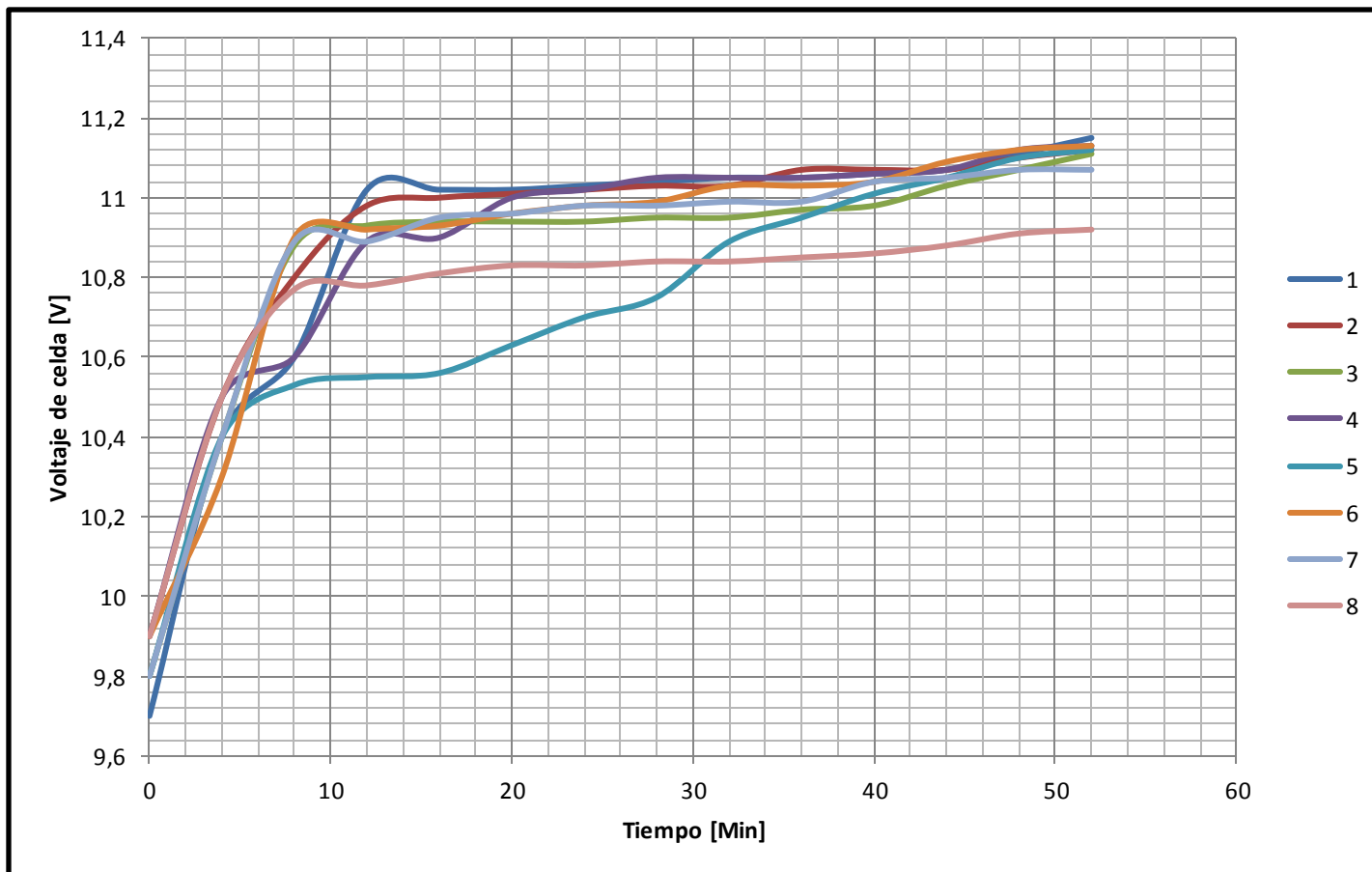


Análisis de estado de salud por prueba

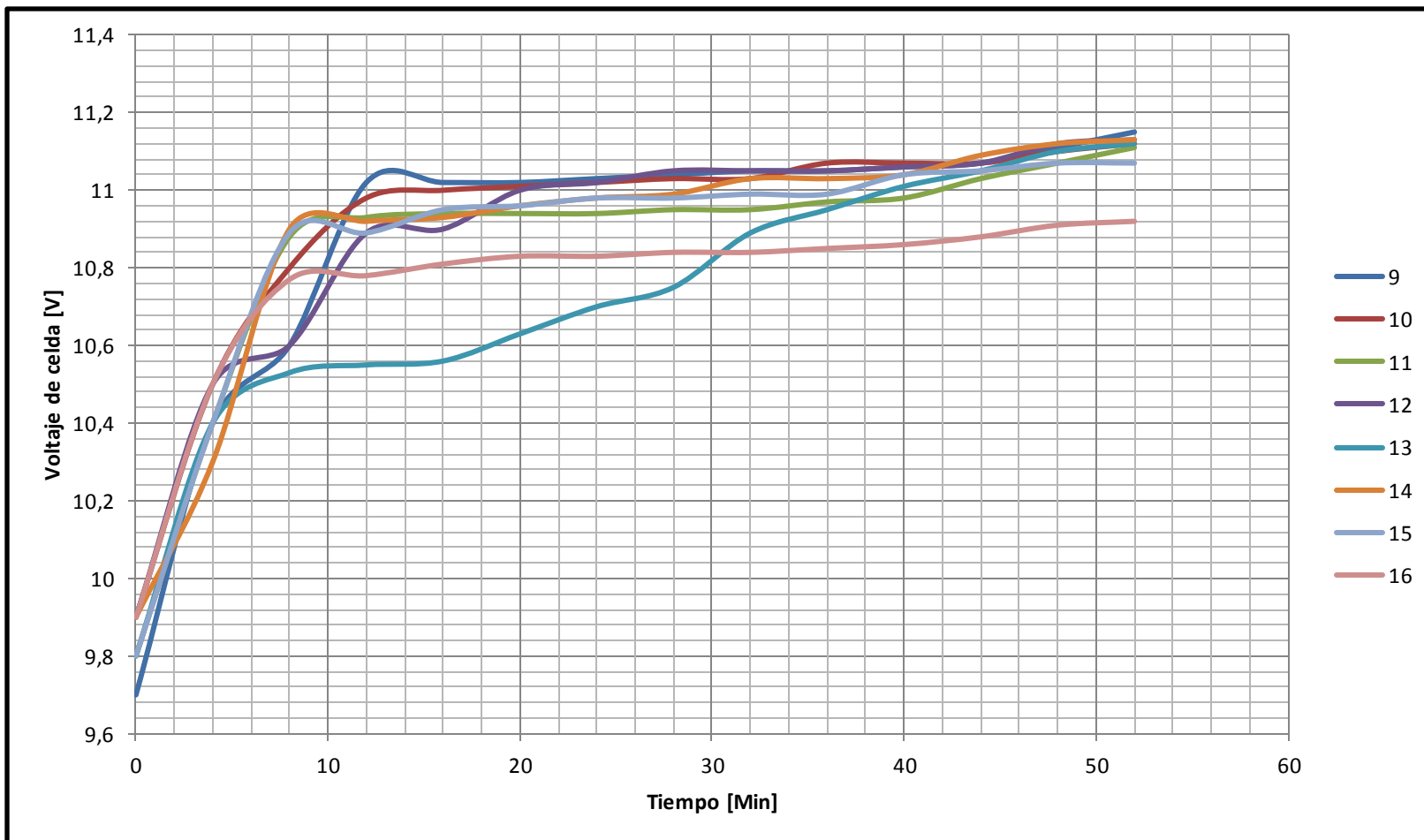


Análisis de categorización

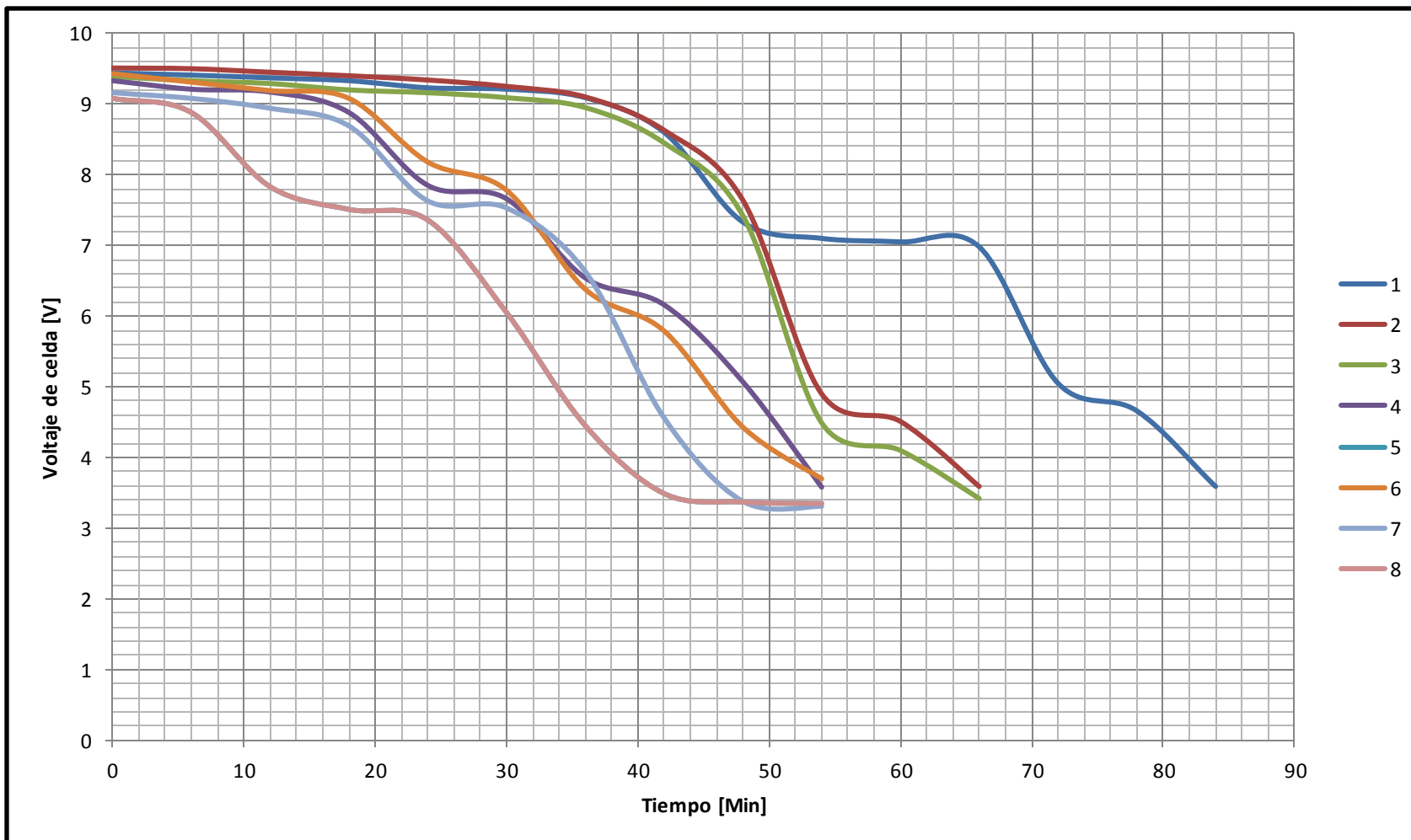




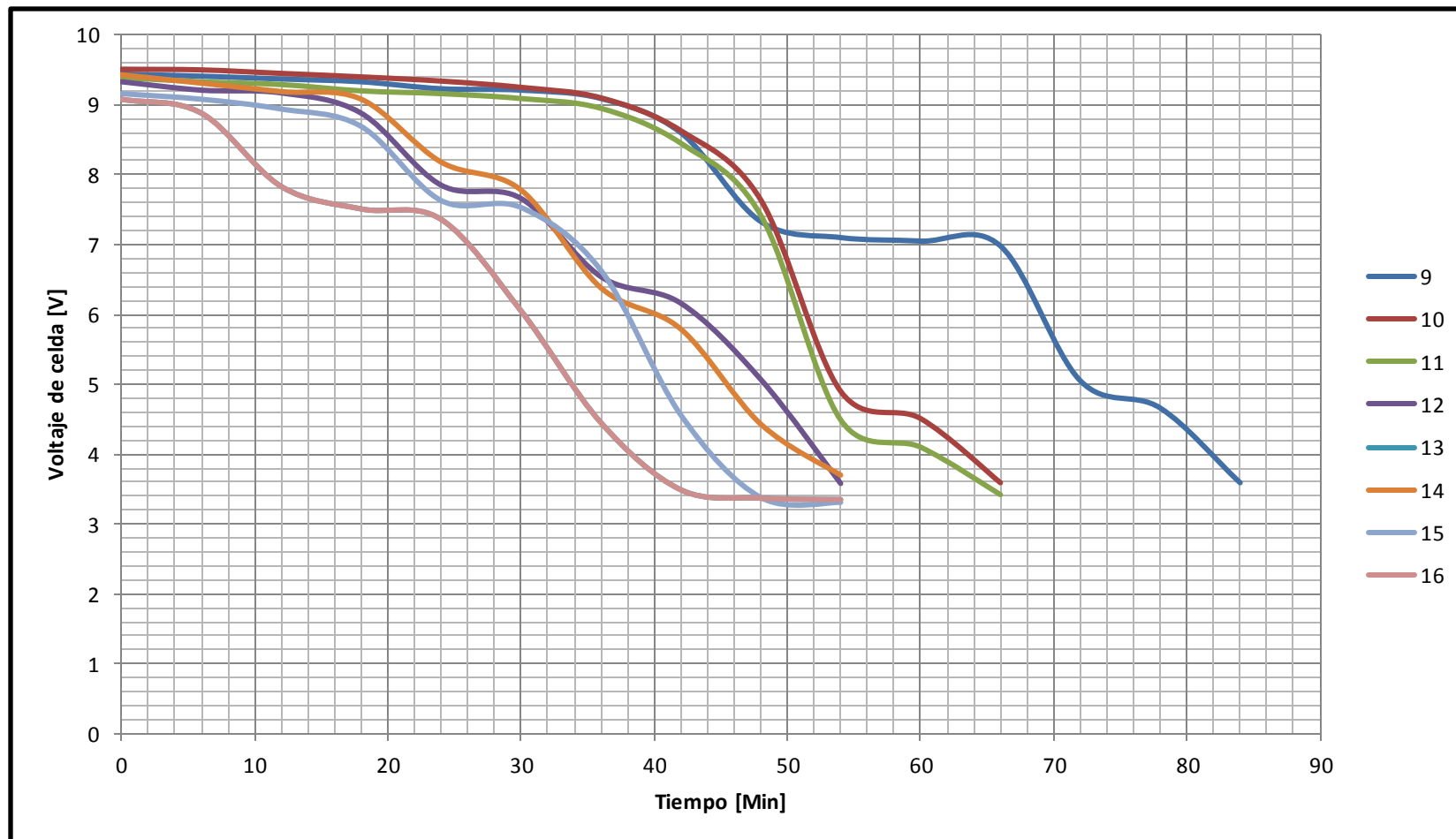
Curva de carga de celdas 1 a 8



Curva de carga de celdas 9 a 16



Curva de carga de celdas 1 a 8



Curva de carga de celdas 9 a 16

CONCLUSIONES

- El diseño de analizadores para baterías de alta tensión debe ser estimado desde las baterías a las que se pretende estudiar, por lo que se concluye que el analizador construido servirá para celdas menores a 10 voltios exclusive.
- La lectura de señales provenientes de la batería influyen directamente en el cálculo del estado de la misma, siendo imprescindible que estas señales sean medidas y estudiadas, a lo largo de los procesos de carga y descarga.
- La programación automatizada permite el cálculo inmediato de los estados de carga, y salud de la batería, por lo que la programación automatizada es una gran ventaja a la hora de estudiar el comportamiento de celdas frente a procesos de carga y descarga
- El comportamiento de las baterías, frente a pruebas consecutivas de mantenimiento, que consisten en cargas y descargas programadas, repercuten en el estado las mismas.

- Existen celdas de batería de alta tensión, que no muestran mejoría a un proceso de mantenimiento, debido a que estas ya tienen daños internos irreversibles.
- Las celdas que se encuentran en el centro de cada conjunto de celdas, tienden a presentar más daño, es decir son estas las que presentan menor estado de salud por la temperatura a la que se ven sometidas en su uso diario.
- La finalización de procesos automatizados de carga y descarga, permite un reagrupamiento de celdas con mejor estado, para luego volver a ser parte de una batería de alta tensión útil en un vehículo eléctrico o híbrido

RECOMENDACIONES.

- Las celdas que no muestren mejoría frente a los procesos de mantenimiento, sean recicladas para diversos usos, ya que estas quedan inhabilitadas para usarlas en sets de baterías de alta tensión, pero su estado puede ser útil para otros fines
- Realizar procesos de mantenimiento automatizado a las baterías de alta tensión, de forma periódica, al menos dos veces por año, este proceso produce un desgaste equilibrado de las celdas, además de aumentar el estado de salud y vida útil de las baterías.
- Conectar las celdas con el analizador de baterías apagado, para tener la certeza de que se encuentra correctamente conectada.
- Tener cuidado con los bornes del analizador y los bornes de las celdas ya que durante el mantenimiento circulan corrientes altas que pueden ser muy peligrosas para cualquier persona.

