



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

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

INVESTIGACIÓN DE PARÁMETROS DE DESEMPEÑO DE BATERÍAS DE ALTA TENSIÓN DE VEHÍCULOS HÍBRIDOS Y ELÉCTRICOS AL APLICAR UN SISTEMA DE MANTENIMIENTO CONTROLADO PARA UN DIAGNÓSTICO EFICIENTE.

AUTORES: MOYANO PÉREZ, AZAEL GUALBERTO
PANTOJA VILLACIS, DANIEL ALEJANDRO

DIRECTOR: ING. ERAZO LAVERDE, WASHINGTON GERMÁN



RESUMEN

Uno de los principales causantes de la contaminación ambiental en los últimos años es la industria automotriz, razón por la cual se ha optado por la utilización de energías y al uso de fuentes de energía renovables, de donde surgen los vehículos híbridos y eléctricos que, además de no necesitar un mantenimiento mecánico, necesitan de un mantenimiento específico de las baterías de alta tensión.



INTRODUCCIÓN

Actualmente el diagnóstico se lo realiza, evaluándolas en base a su estado de carga, reutilizándolas, descartándolas o a su vez, superado el tiempo de vida útil proporcionado por el concesionario, se opta por el cambio total de la misma, provocando así el desaprovechamiento de packs que la conforman, los cuales, una vez realizados un mantenimiento apropiado, pueden seguir cumpliendo con su función de una manera eficiente.



OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Investigar los parámetros de desempeño de las baterías de alta tensión de vehículos híbridos y eléctricos al aplicar un sistema de mantenimiento controlado para lograr un diagnóstico eficiente.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

INVESTIGAR

DETERMINAR

SELECCIONAR

DISEÑAR

MONITOREAR

MARCO TEÓRICO

Vehículo híbrido:

Emplea sus recursos energéticos para conseguir su movimiento, variando así la manera de utilizar sus motores.

Se puede destacar tres tipos de arquitectura:

- Arquitectura en Serie.
- Arquitectura en paralelo.
- Arquitectura mixta.

Vehículo eléctrico:

El motor eléctrico es cuatro veces más eficiente que el motor de combustión interna, el vehículo eléctrico es propulsado 100% por energía eléctrica.

Almacenamiento de energía: las tecnologías de almacenamiento de energía consisten en métodos utilizados para conservar la energía en cualquier forma y poder liberarla cuando ésta sea requerida.

Paquete de Baterías:

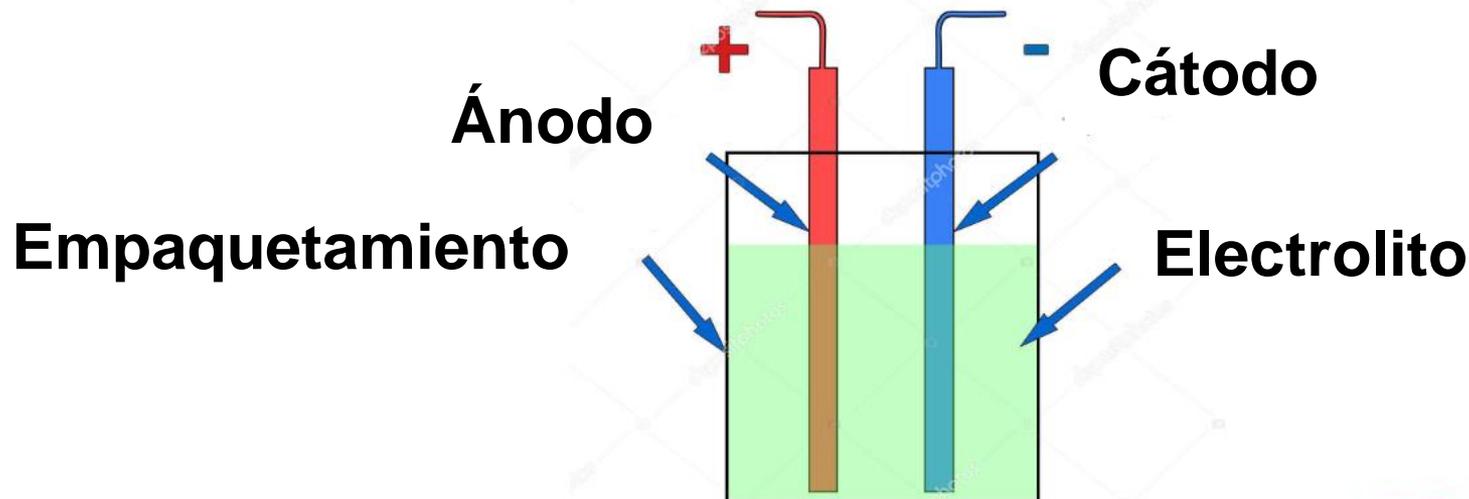
Básicamente, una batería para aplicación vehicular consiste en muchas células individuales apiladas en un orden específico con interconexión entre ellas para el flujo de potencia.

Tipos de baterías de alta tensión.

- Níquel Hierro Ni-Fe
- Níquel Cadmio Ni-Cd
- Níquel Hidruro Metálico Ni – MH
- Iones de litio Li-ion
- Polímero de litio LiPo

CARACTERÍSTICAS

- Material de construcción
- Voltaje Nominal V
- Capacidad A/h o KW/h
- Resistencia interna Ohm
- Potencia



MARCO TEÓRICO

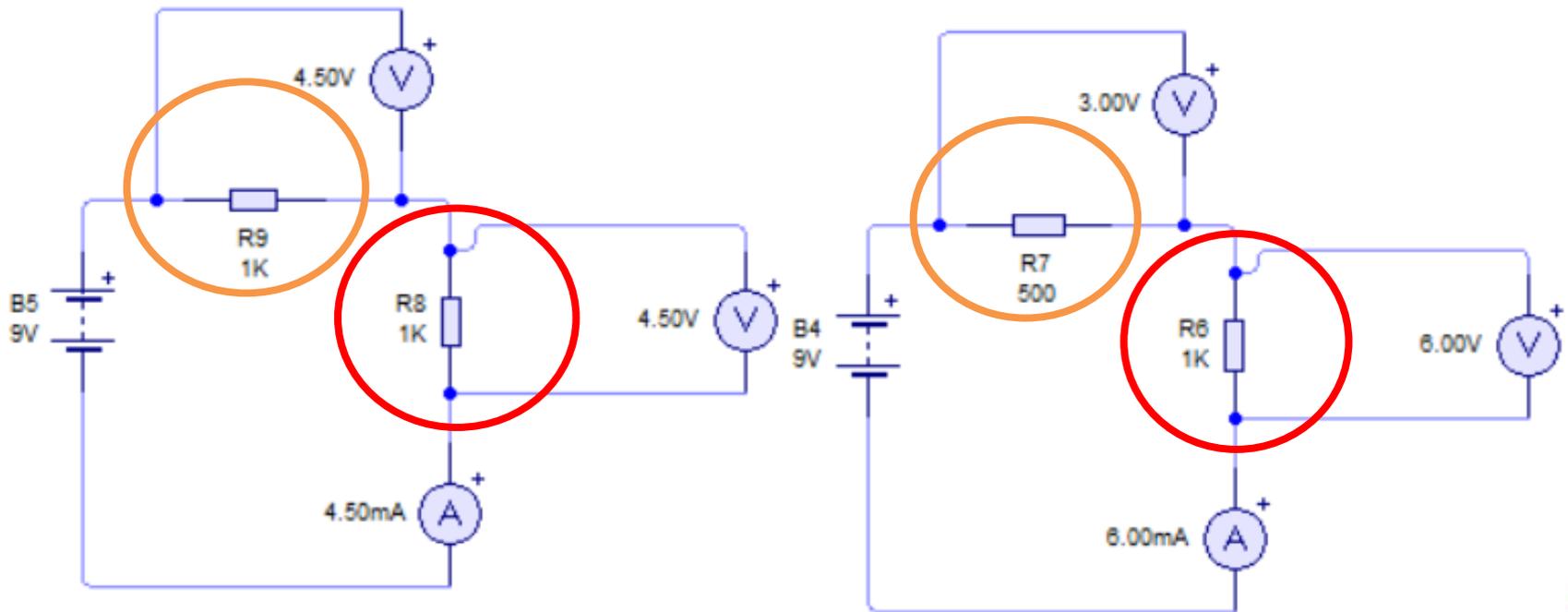
Los parámetros más representativos de las baterías se observan en la siguiente tabla.

De las baterías dependerá la autonomía de los vehículos: híbridos y eléctricos.

Marca	Modelo	Voltaje nominal	Número de celdas	Voltaje por celda	Composición	Capacidad
BMW	i3	360 V	96	3.75 V		22 kW/h
BMW	I8	355 V	96	3.7 V		7.1 kW/h
Honda	Accord	144 V	20	7.2 V	NiMH	5,5 A/h
Honda	Civic	158.4 V	22	7.2V	NiMH	5.5 A/h
Hyundai	Ioniq	360 V	94	3.8 V	LiNiMnCo2	28 kW/h
Kía	Optima	360 V	96	3,75 V	Lithium Ion	9.8 kW/h

Resistencia interna de una batería.

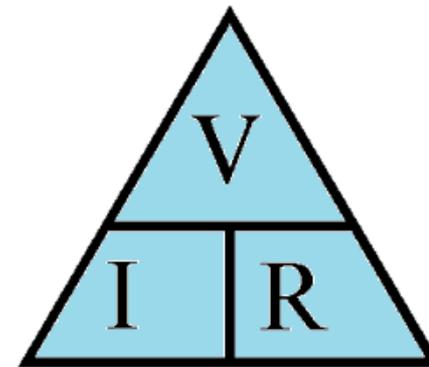
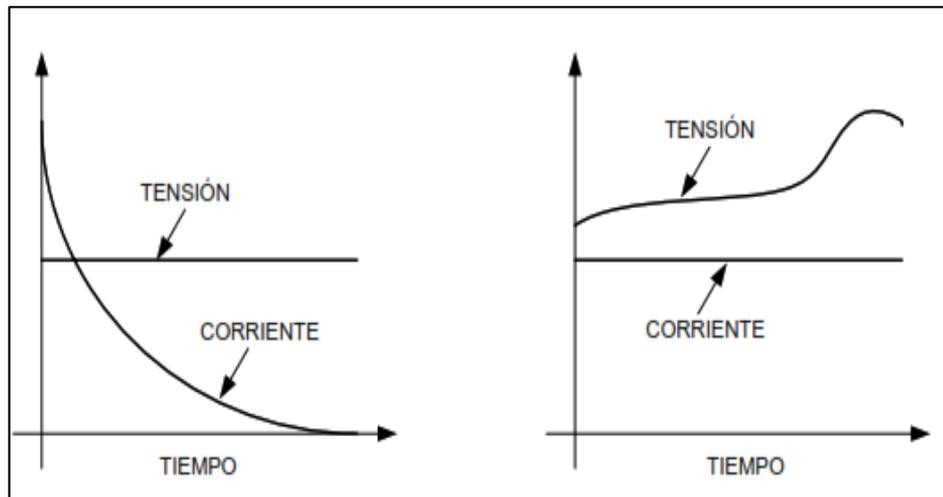
- Resistencia interna
- Carga



MARCO TEÓRICO

Proceso de carga de una Batería

Existen diferentes métodos para realizar la carga de una batería de media y gran capacidad y estos se pueden clasificar en función de la forma en que puede variar la tensión o la corriente durante el proceso de carga o en función del tiempo que se requiere para realizar la recarga de la batería.



$$V = I \times R$$

$$I = V / R$$

$$R = V / I$$

DISEÑO

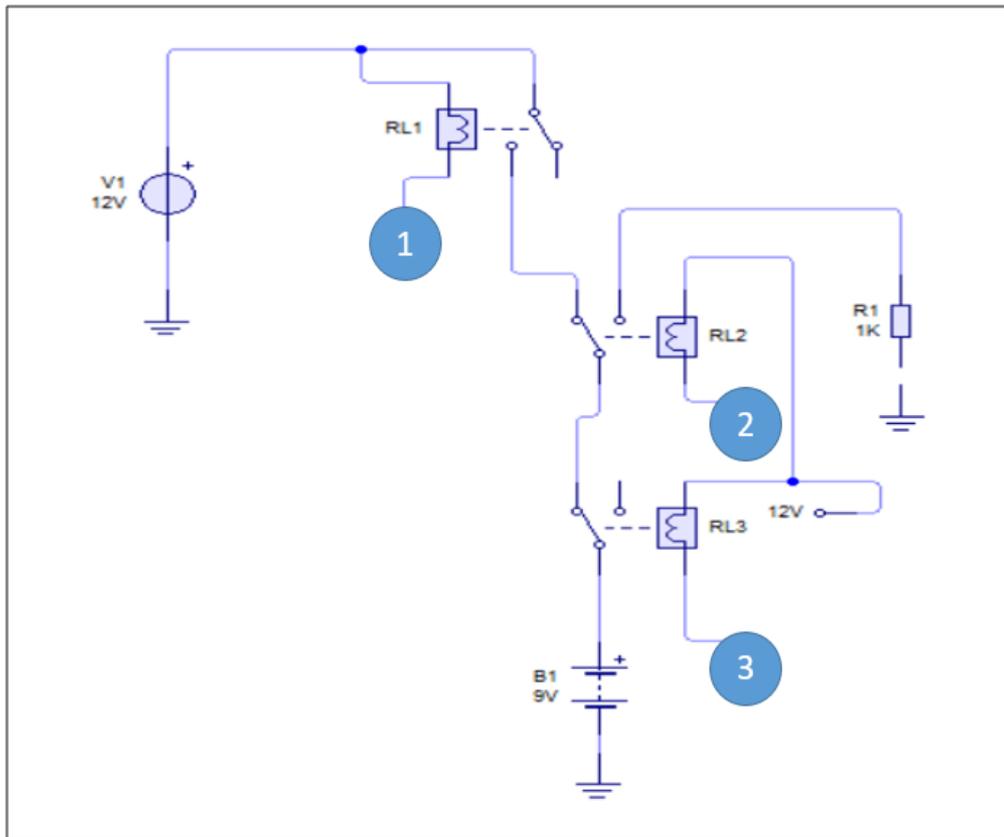
Requerimientos funcionales y de diseño

- Carga de 3 etapas
 - Corriente constante ($V < \%$)
 - Corriente constante ($\% < V < 120 \%$)
 - Absorción (voltaje constante)
- Corriente de carga ajustable
- Porcentaje de carga ajustable
- Tiempos de carga a voltaje constante.
- Tiempos de reposo después de la descarga
- Corriente de descarga menor a 1 A
- Tiempos de Ecuilización
- Obtención de gráficos de comportamiento de la batería

DISEÑO

FASES DE DISEÑO

CONEXIONES ENTRE CIRCUITOS



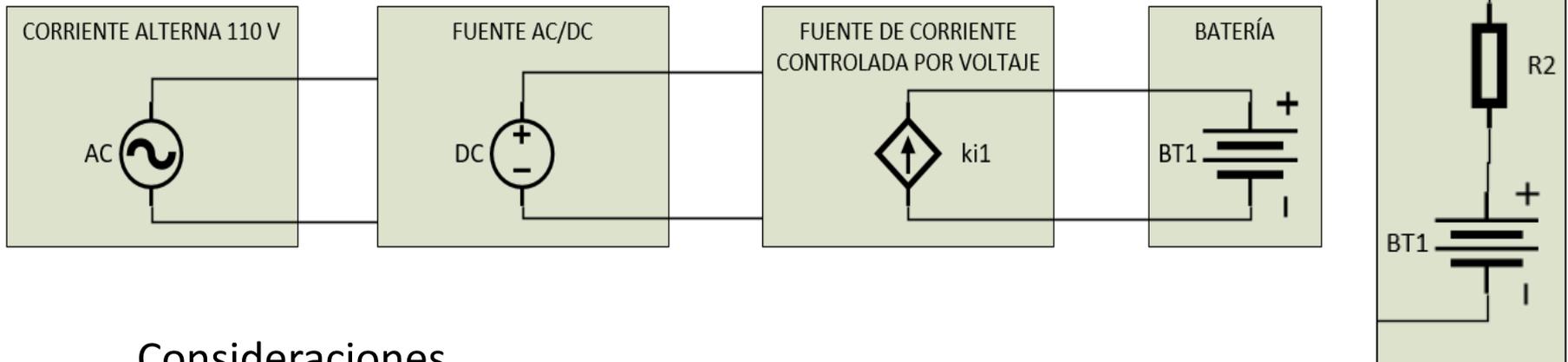
Consideraciones

- Señales digitales necesarias = 48
- Voltímetros necesarios = 16
- Interconexión entre relés de equalización
- Circuitos de carga y descarga independientes

DISEÑO

FASES DE DISEÑO

CIRCUITO DE CARGA INDIVIDUAL



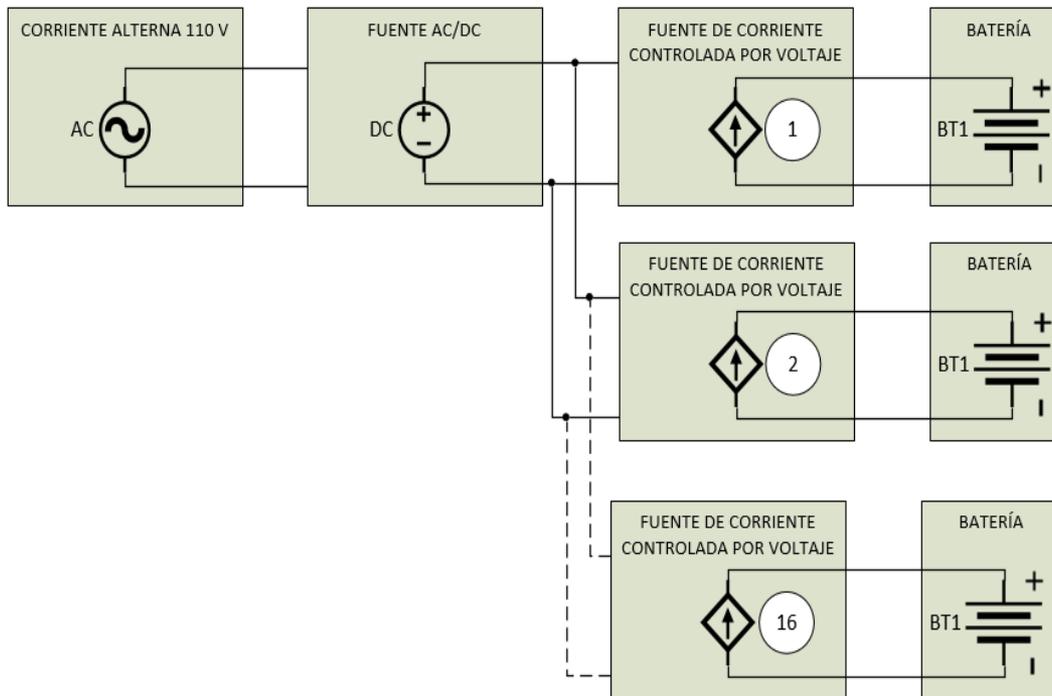
Consideraciones

- Resistencia interna de la batería
- Resistencia interna componentes del equipo
- Voltaje de carga
- Corriente de carga a utilizar

DISEÑO

FASES DE DISEÑO

CIRCUITO DE CARGA GENERAL



- Tener 1 volt más que el voltaje mínimo necesario para la alimentación de la fuente DC/DC
- Potencia necesaria para poder activar 16 fuentes de corriente
- Cálculo se realiza en la situación menos favorable (carga rápida limitada a 3 amperios)
- Eficiencia 75%
- Consumo de 8 ventiladores de 12V y 0.5 A cada uno

DISEÑO

FASES DE DISEÑO

CIRCUITO DE CARGA GENERAL- FUENTE AC/DC



$$P_{TOTAL} = (16 * (12V * 3.25A)) + (8 * (0.5A * 12V))$$

$$P_{TOTAL} = 672 \text{ Watts}$$

$$P_{NOMINAL} = \frac{P_{REAL}}{0.75} = \frac{672 \text{ Watts}}{0.75} = 896 \text{ Watts}$$

$$P_{\text{por fuente}} = \frac{896 \text{ Watts}}{2} = 448 \text{ Watts}$$

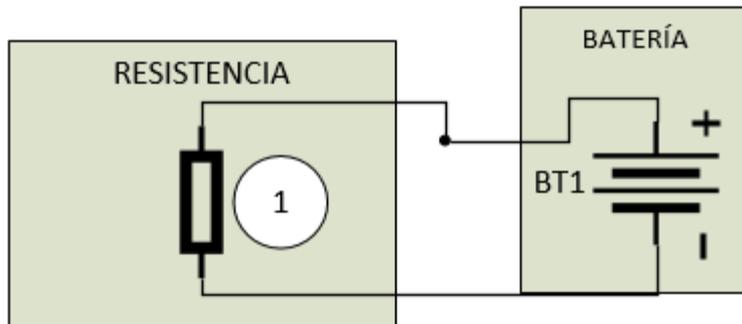
$$P_{REAL} = P_{NOMINAL} * 0.75 = 700 * 0.75 = 525 \text{ Watts}$$

DISEÑO

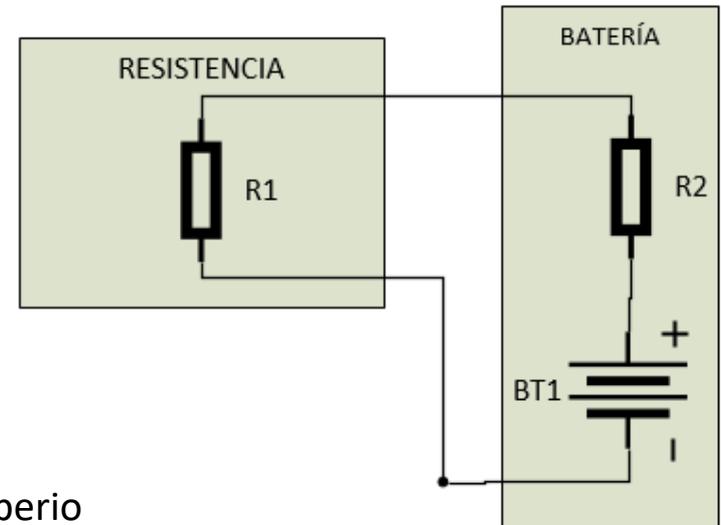
FASES DE DISEÑO

CIRCUITO DE DESCARGA

Ideal



Real



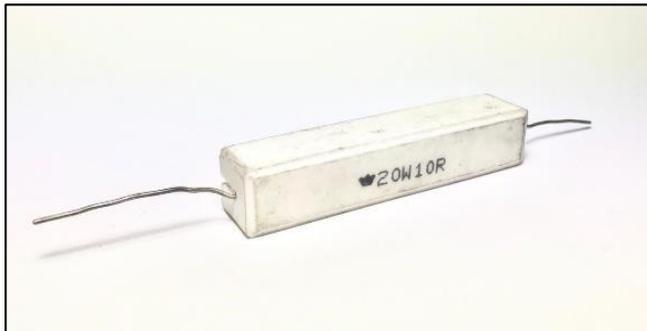
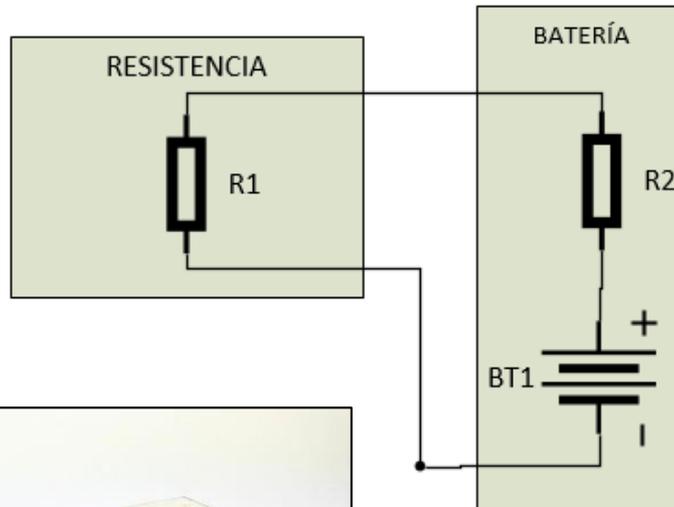
Consideraciones

- Corriente máxima de descarga menor a 1 amperio

DISEÑO

FASES DE DISEÑO

CIRCUITO DE DESCARGA



$$V_{batería} = \frac{V_{medido} * (R_1 + R_2)}{R_1}$$

$$R_2 = \frac{V_{batería}}{I} - R_1$$

$$0 = \frac{11.04 V}{0.75 A} - R_1$$

$$R_1 = 14.72 \text{ Ohm}$$

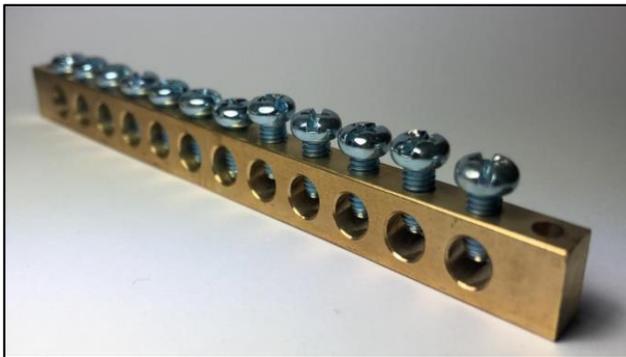
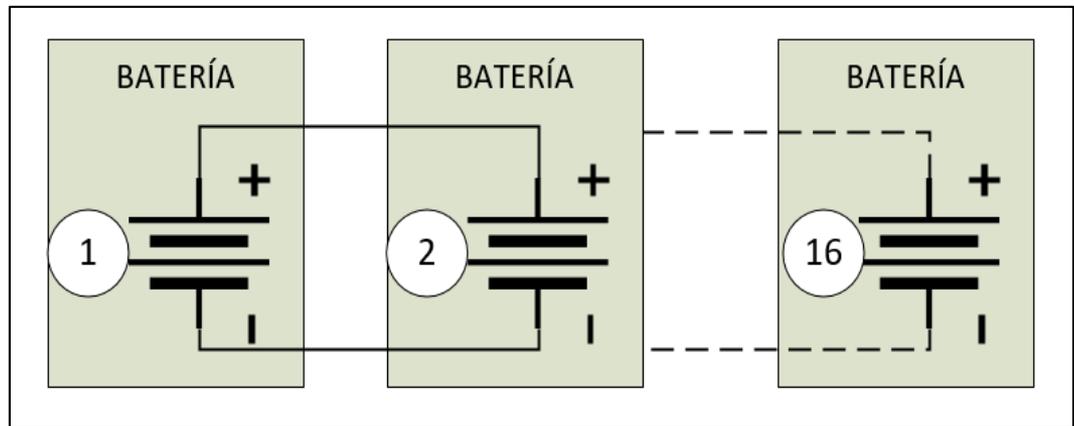
$$P = 11.04 V * 0.75 A$$

$$P = 8.28 \text{ Watts}$$

DISEÑO

FASES DE DISEÑO

CIRCUITO DE ECUALIZACIÓN



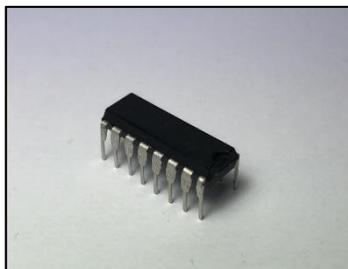
DISEÑO

FASES DE DISEÑO

CIRCUITO DE CONTROL DE FUENTES DE CORRIENTE

Features

- 256 taps for each potentiometer
- Potentiometer values for 10 k Ω , 50 k Ω and 100 k Ω
- Single and dual versions
- SPI™ serial interface (mode 0,0 and 1,1)
- ± 1 LSB max INL & DNL
- Low power CMOS technology
- 1 μ A maximum supply current in static operation
- Multiple devices can be daisy-chained together (MCP42XXX only)
- Shutdown feature open circuits of all resistors for maximum power savings

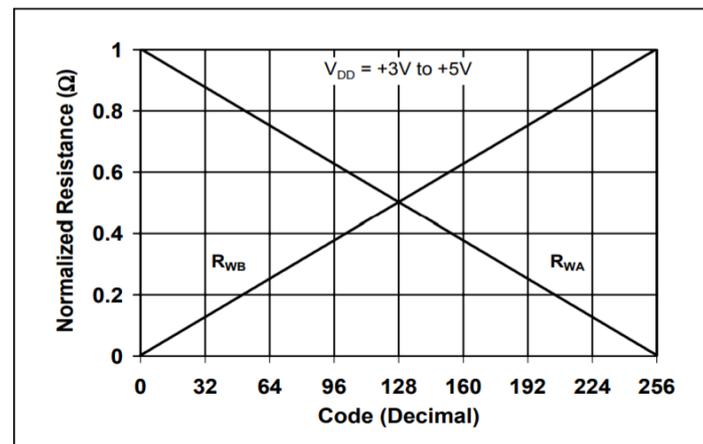


MCP42010

P1 (255; 5.1)

P2 (0; 0)

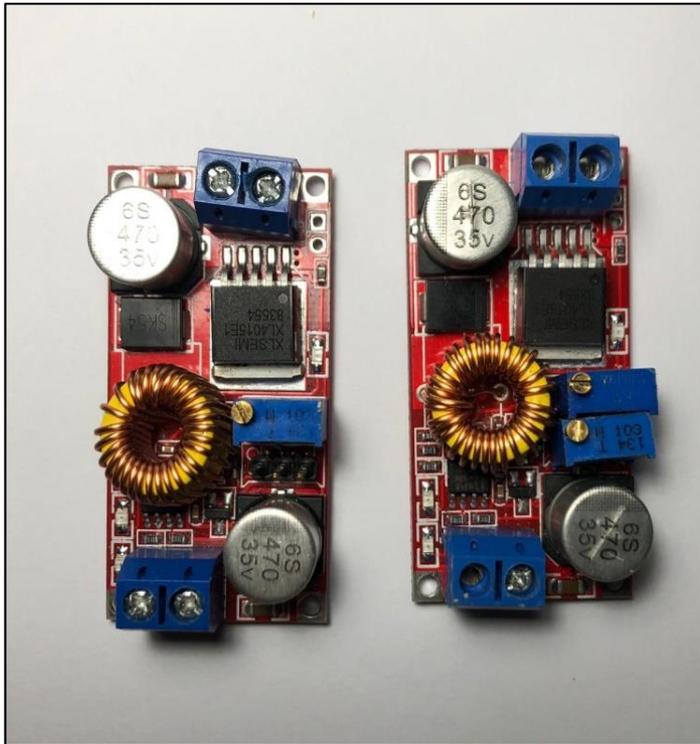
$$Y = 0.02 * (X)$$



DISEÑO

FASES DE DISEÑO

CIRCUITO DE CONTROL DE FUENTES DE CORRIENTE



DISEÑO

FASES DE DISEÑO

CIRCUITO DE CONTROL DE RELÉS

1 Features

- 8-Bit Serial-In, Parallel-Out Shift
- Wide Operating Voltage Range of 2 V to 6 V
- High-Current 3-State Outputs Can Drive Up to 15 LSTTL Loads
- Low Power Consumption: 80- μ A (Maximum) I_{CC}
- $t_{pd} = 13$ ns (Typical)
- ± 6 -mA Output Drive at 5 V
- Low Input Current: 1 μ A (Maximum)
- Shift Register Has Direct Clear
- On Products Compliant to MIL-PRF-38535, All Parameters Are Tested Unless Otherwise Noted. On All Other Products, Production Processing Does Not Necessarily Include Testing of All Parameters.



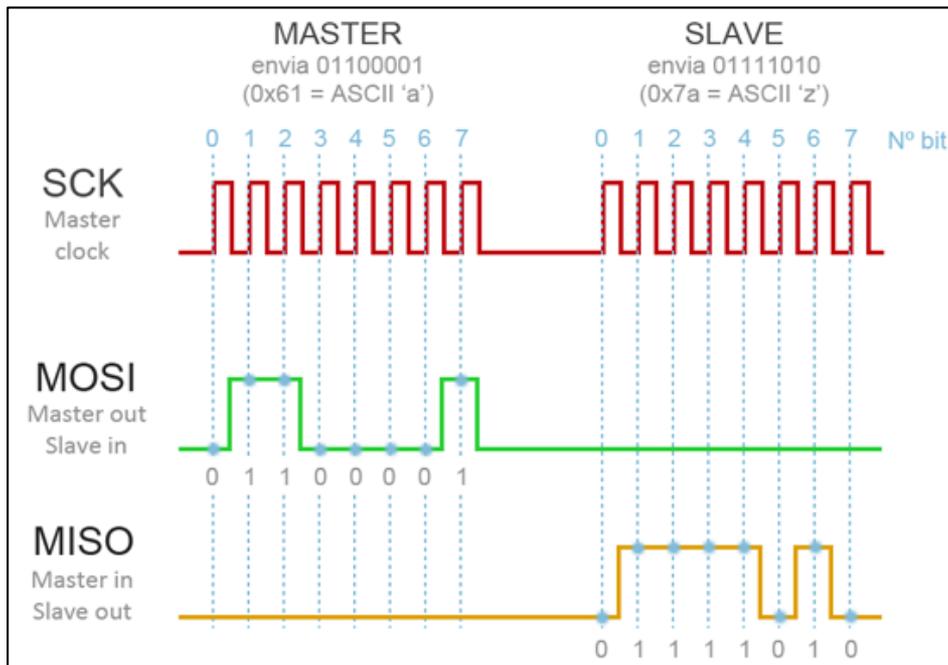
74HC595

DISEÑO

FASES DE DISEÑO

CIRCUITO DE CONTROL GENERAL- BUS SPI

BUS SPI (Serial Peripheral Interface)

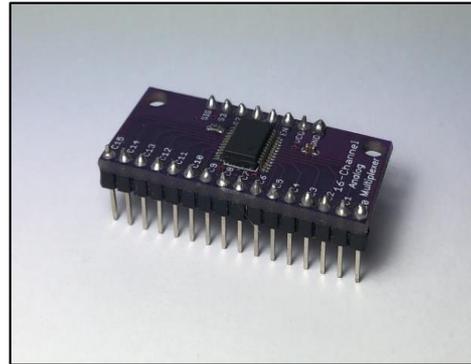
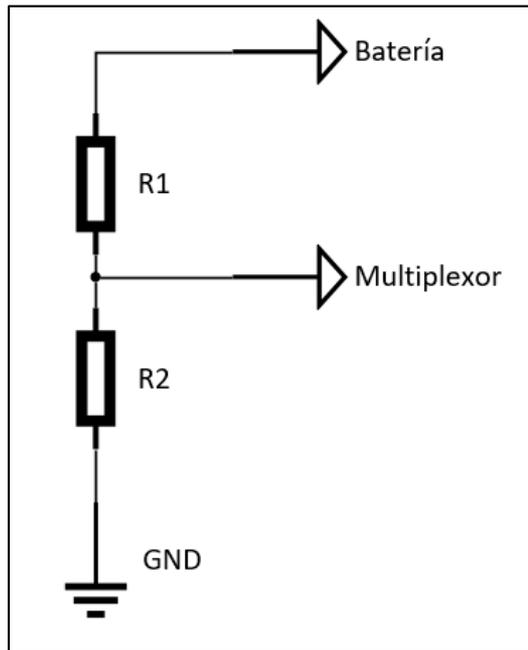


- Aplicaciones de corta distancia
- Altas frecuencias de funcionamiento
- 3 pines físicos necesarios para su aplicación
- Conexión en cascada de dispositivos
- Lectura/escritura de datos
- 8 bits de funcionamiento (256 valores)
- Disponible en cualquier placa de Arduino

DISEÑO

FASES DE DISEÑO

CIRCUITO DE CONTROL GENERAL- MEDICIONES



74HC4067

$$V_{\text{Multiplexor}} = V_{\text{Batería}} * \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$5 = 30 * \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$R_1 + R_2 = 6 * R_2$$

$$R_1 = 5 * R_2$$

DISEÑO

FASES DE DISEÑO

CIRCUITO DE CONTROL GENERAL- MEDICIONES

Inputs					Channel ON
\overline{E}	S3	S2	S1	S0	
L	L	L	L	L	Y0 to Z
L	L	L	L	H	Y1 to Z
L	L	L	H	L	Y2 to Z
L	L	L	H	H	Y3 to Z
L	L	H	L	L	Y4 to Z
L	L	H	L	H	Y5 to Z
L	L	H	H	L	Y6 to Z
L	L	H	H	H	Y7 to Z
L	H	L	L	L	Y8 to Z
L	H	L	L	H	Y9 to Z
L	H	L	H	L	Y10 to Z
L	H	L	H	H	Y11 to Z
L	H	H	L	L	Y12 to Z
L	H	H	L	H	Y13 to Z
L	H	H	H	L	Y14 to Z
L	H	H	H	H	Y15 to Z
H	X	X	X	X	-

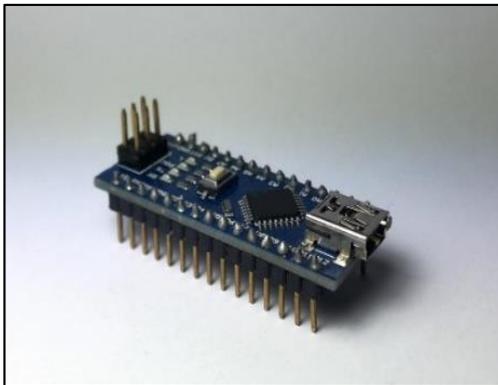
[1] H = HIGH voltage level;
L = LOW voltage level;
X = don't care.

- Pines para activación = 4
- Pines de lectura analógica = 16
- Pines de salida de lecturas = 1

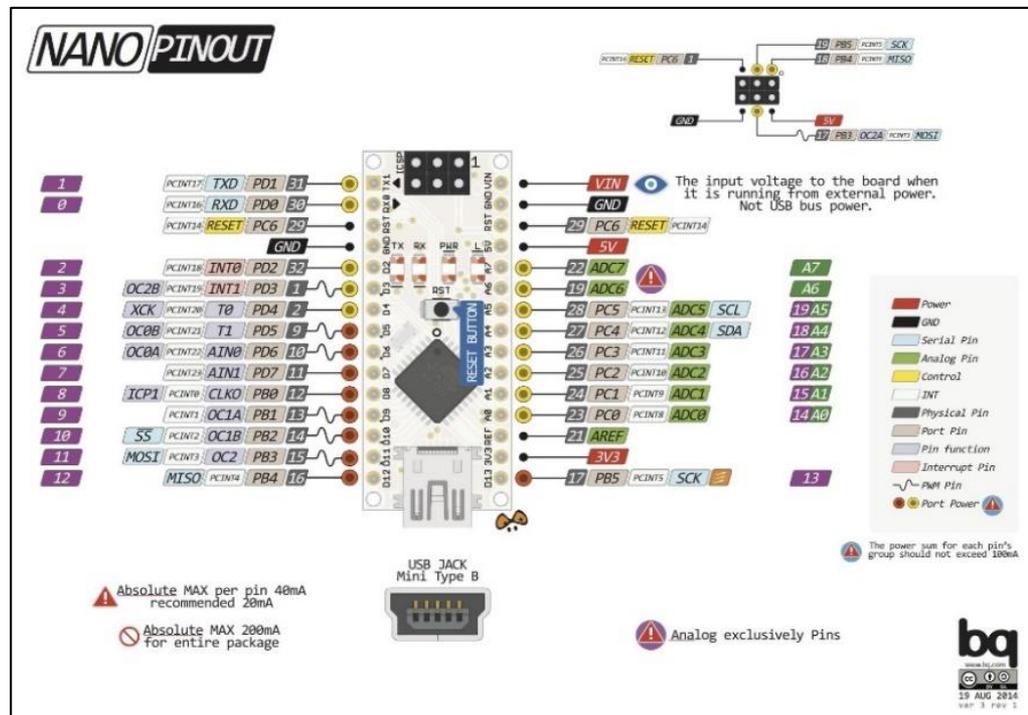
DISEÑO

FASES DE DISEÑO

CIRCUITO DE CONTROL GENERAL



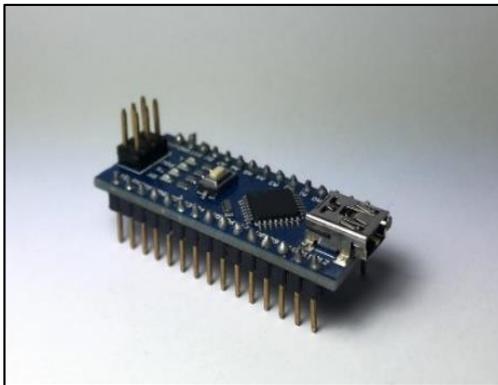
Arduino Nano



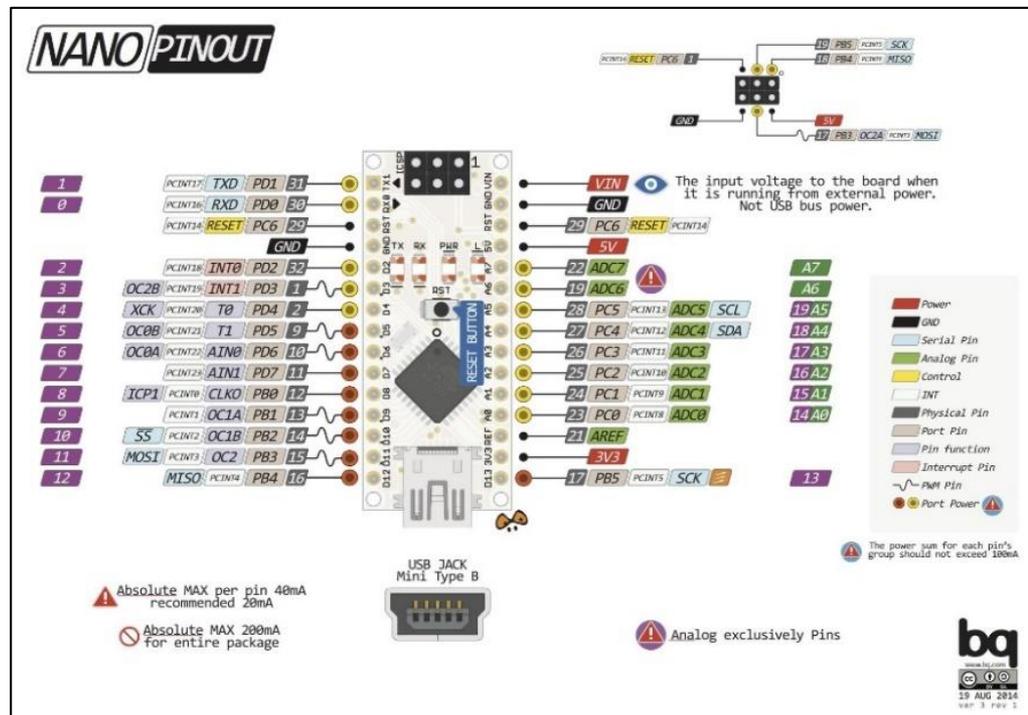
DISEÑO

FASES DE DISEÑO

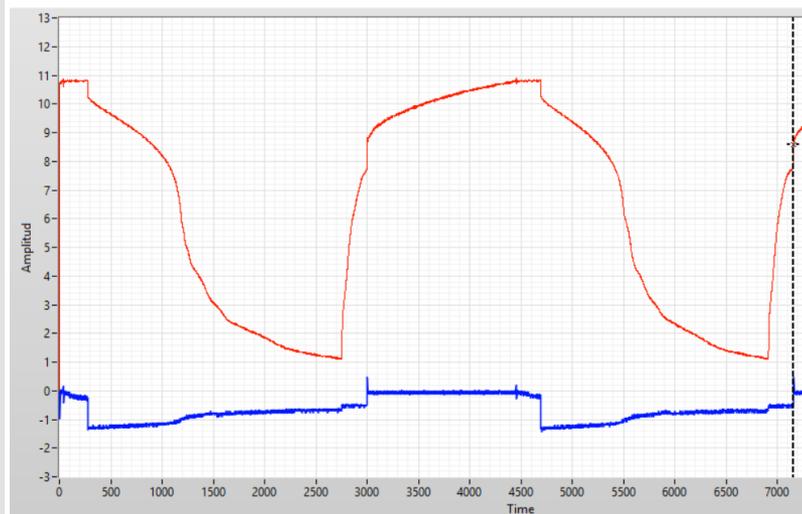
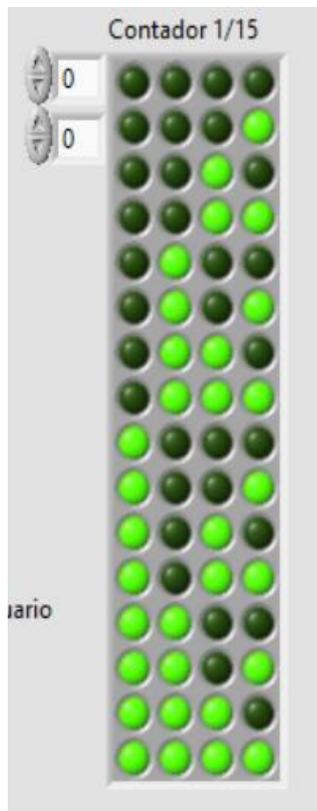
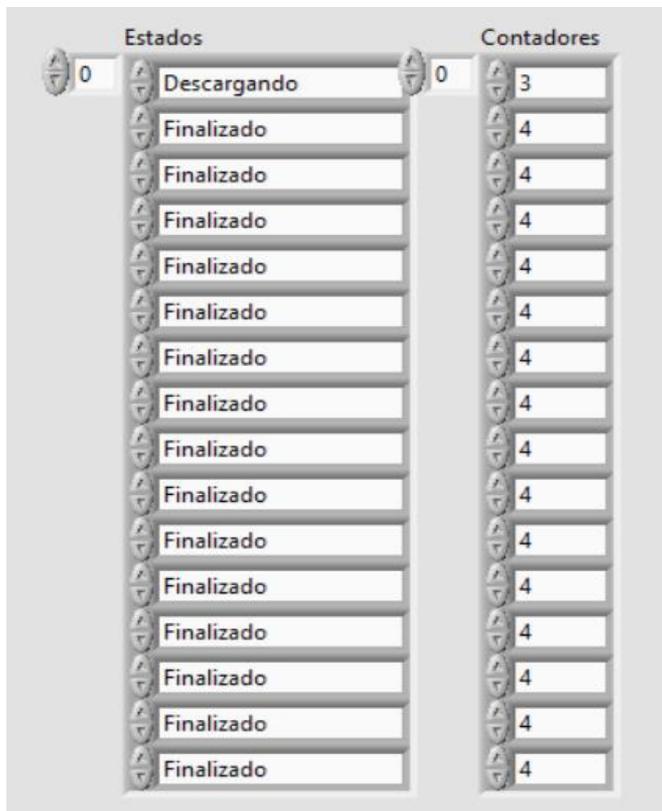
CIRCUITO DE CONTROL GENERAL



Arduino Nano



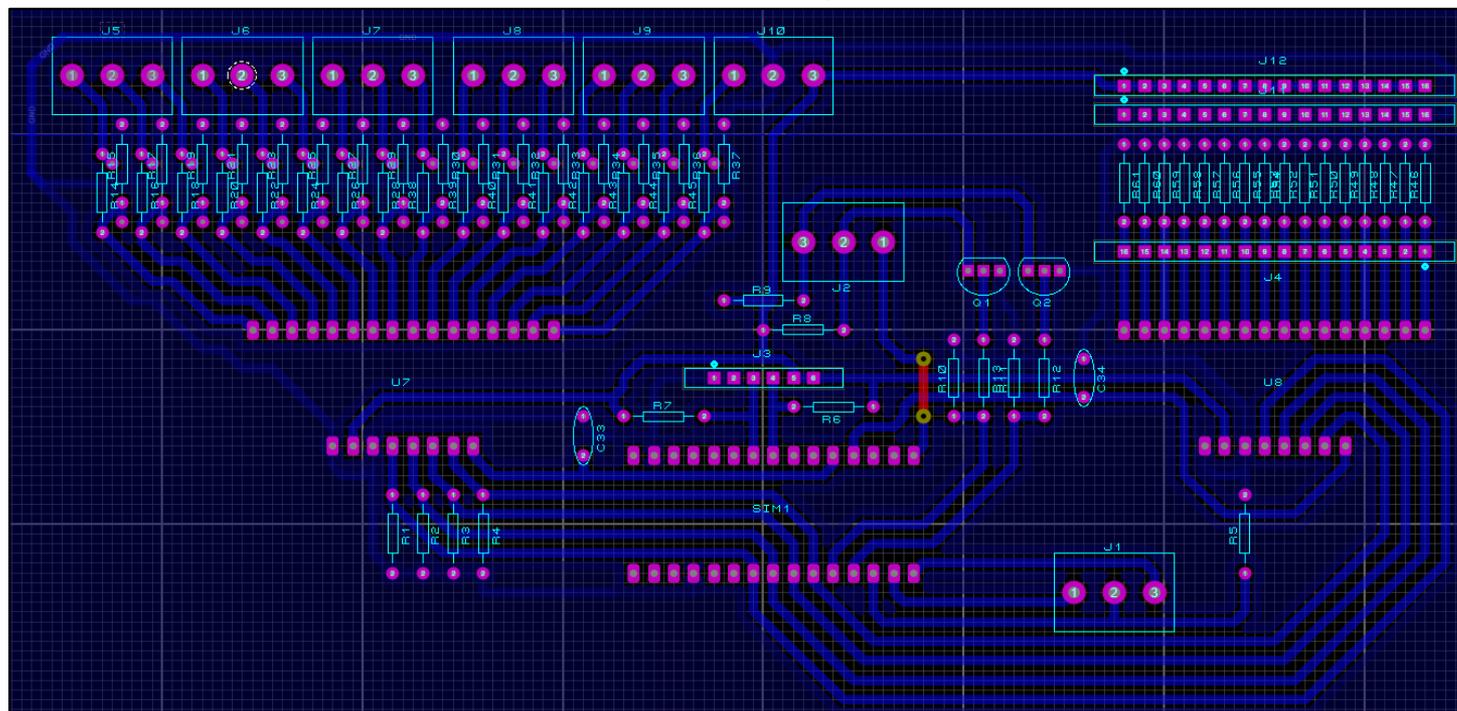
SELECCIÓN DE SOFTWARE



CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO

DISEÑO DE PLACAS

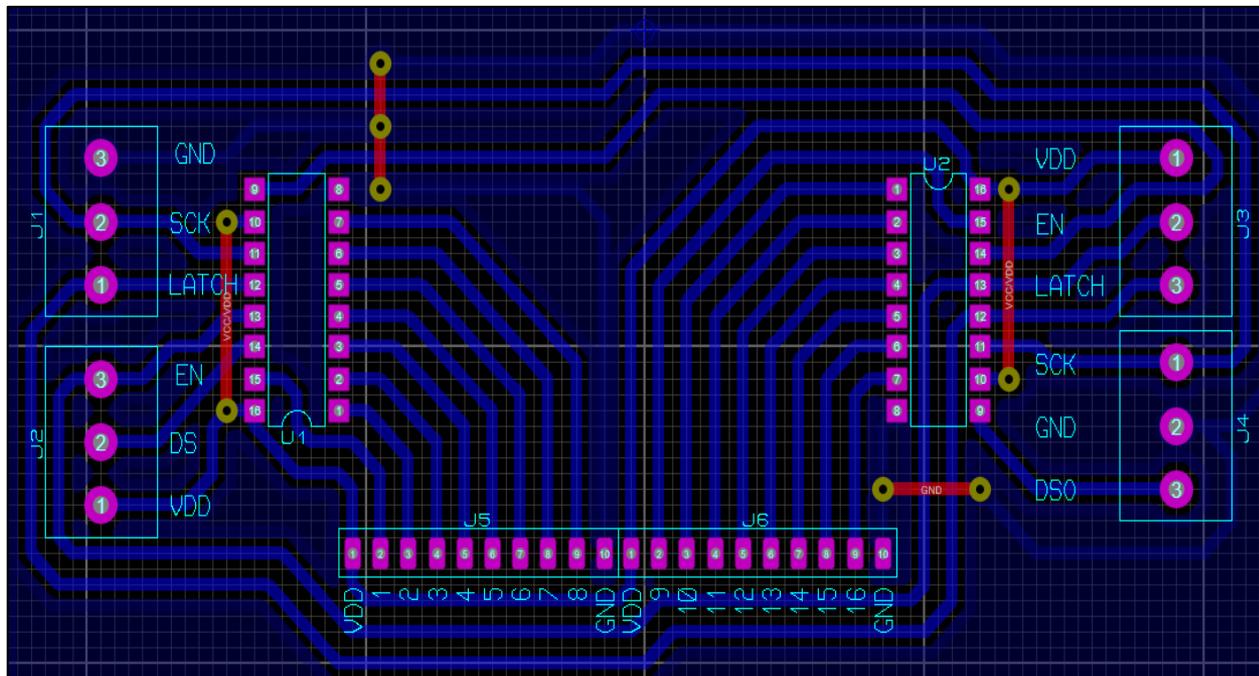
Placa de control general



CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO

DISEÑO DE PLACAS

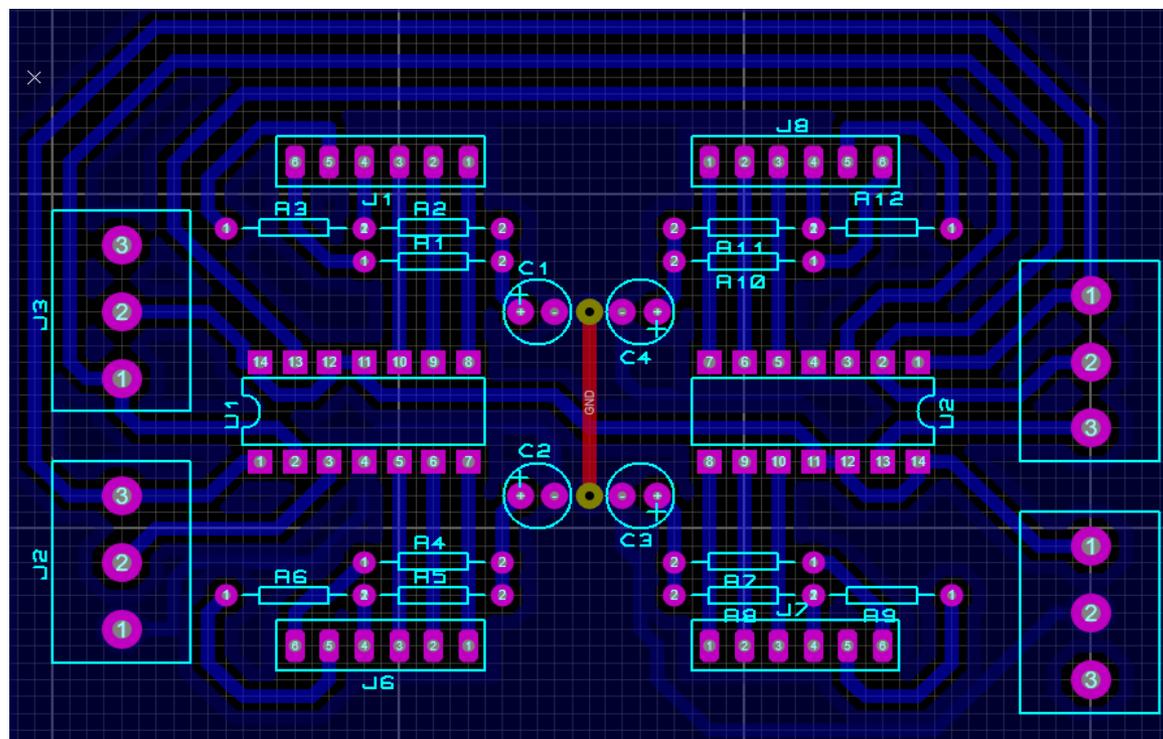
Placa de control de módulos relés (3 placas)



CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO

DISEÑO DE PLACAS

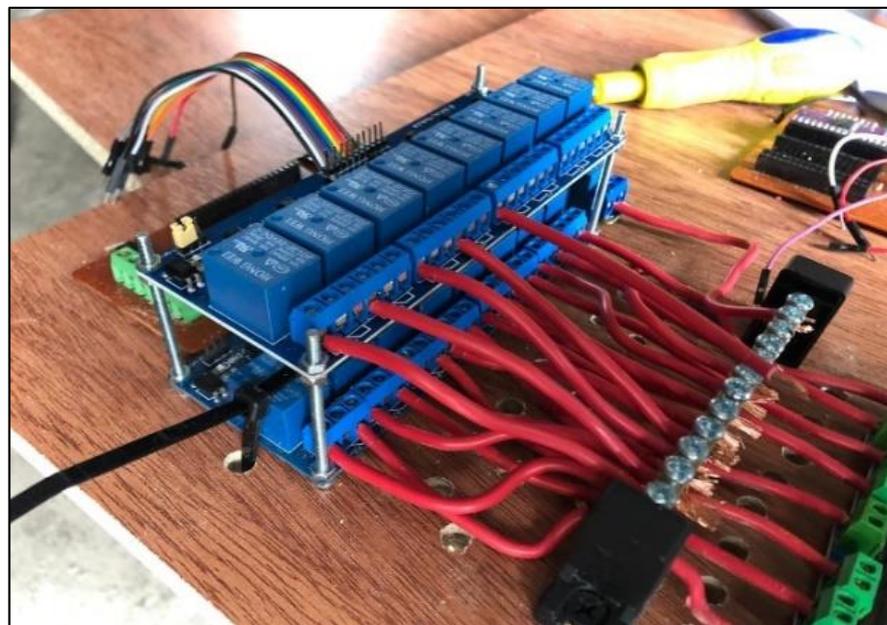
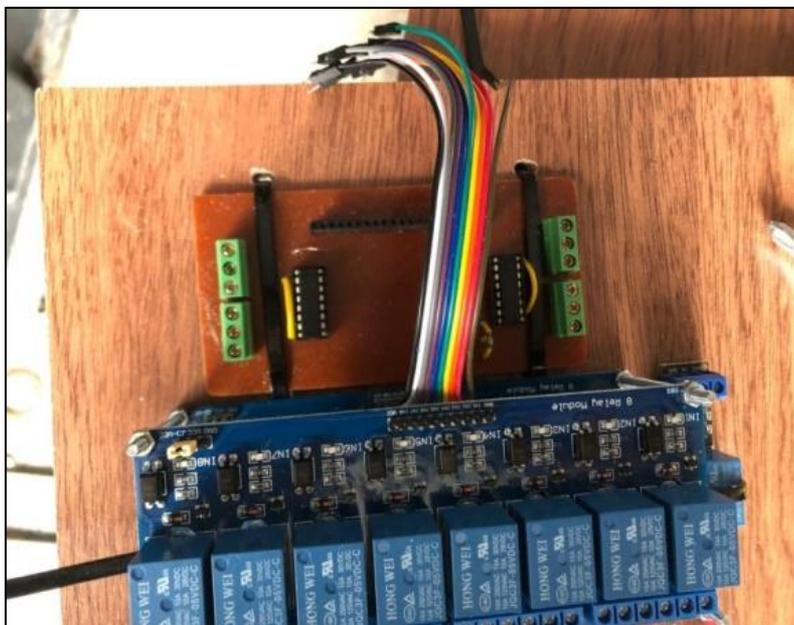
Placa de control de las fuentes de corriente (4 placas)



CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO

CONEXIÓN DE CIRCUITOS

Circuito de Ecuación

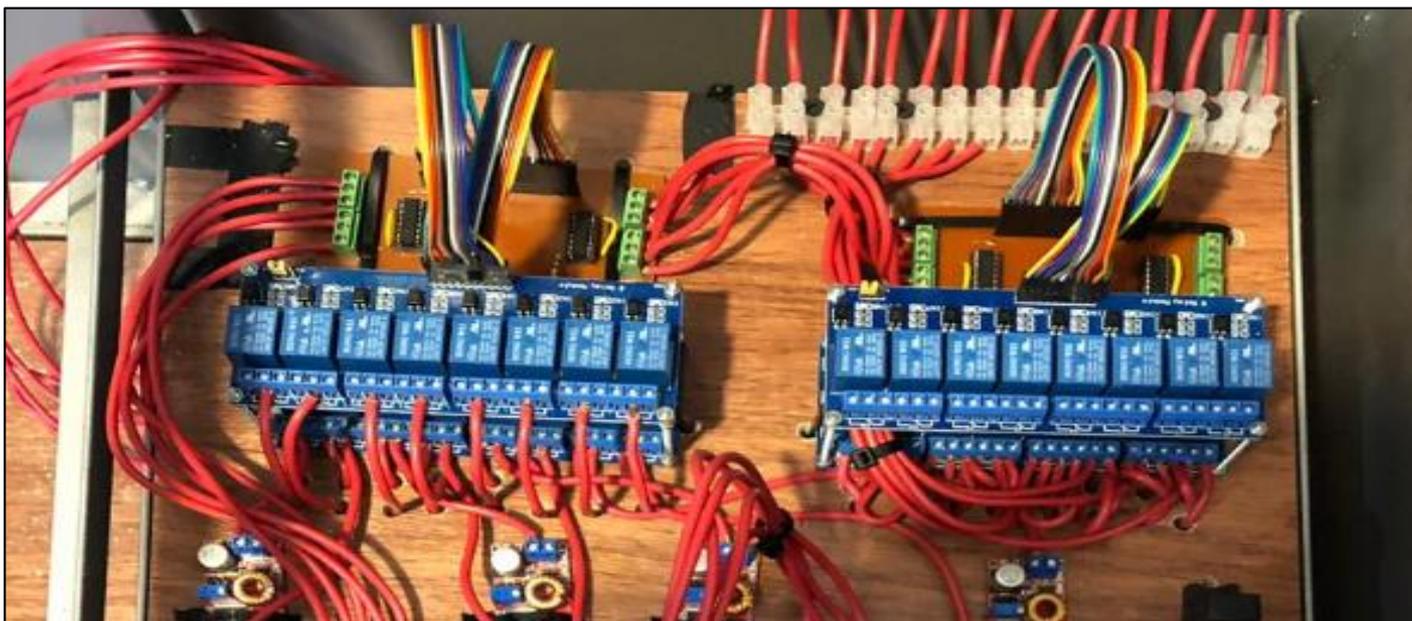


CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO

CONEXIÓN DE CIRCUITOS

Circuito de Carga

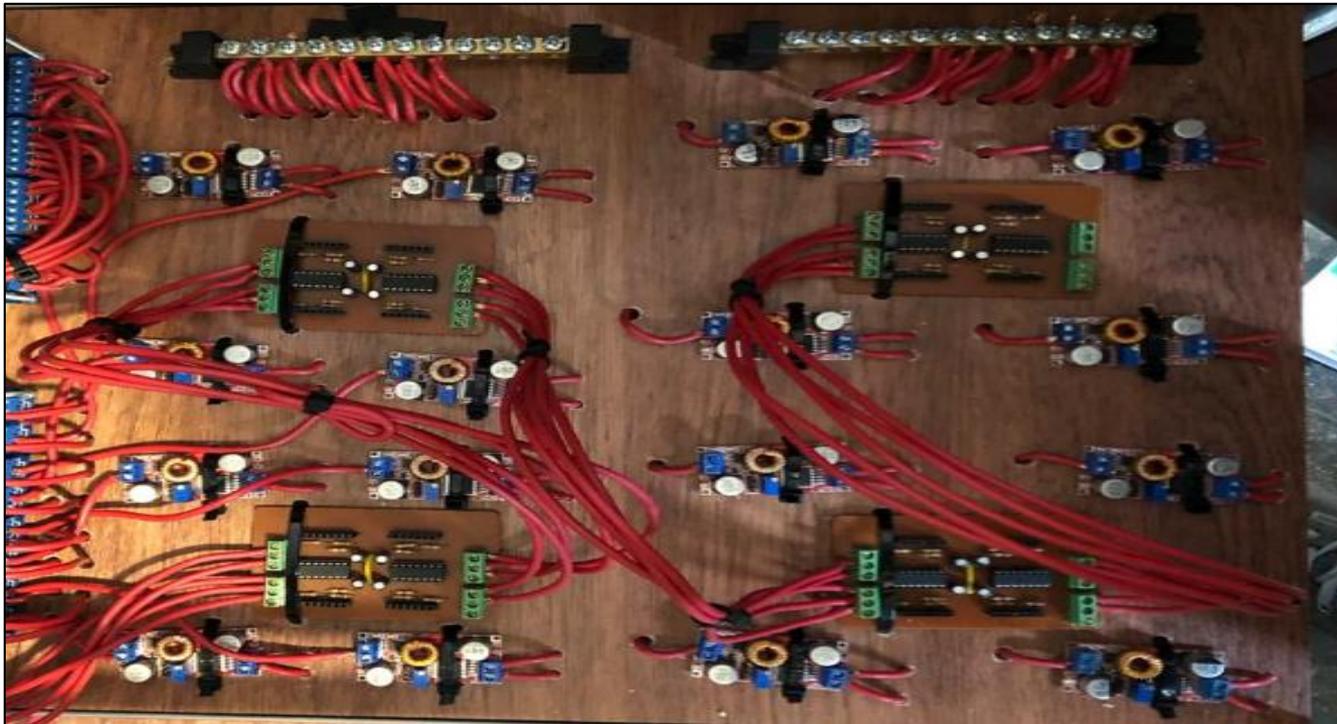
Circuito de Descarga



CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO

CONEXIÓN DE CIRCUITOS

Fuentes de corriente con sus módulos de control en el BUS SPI



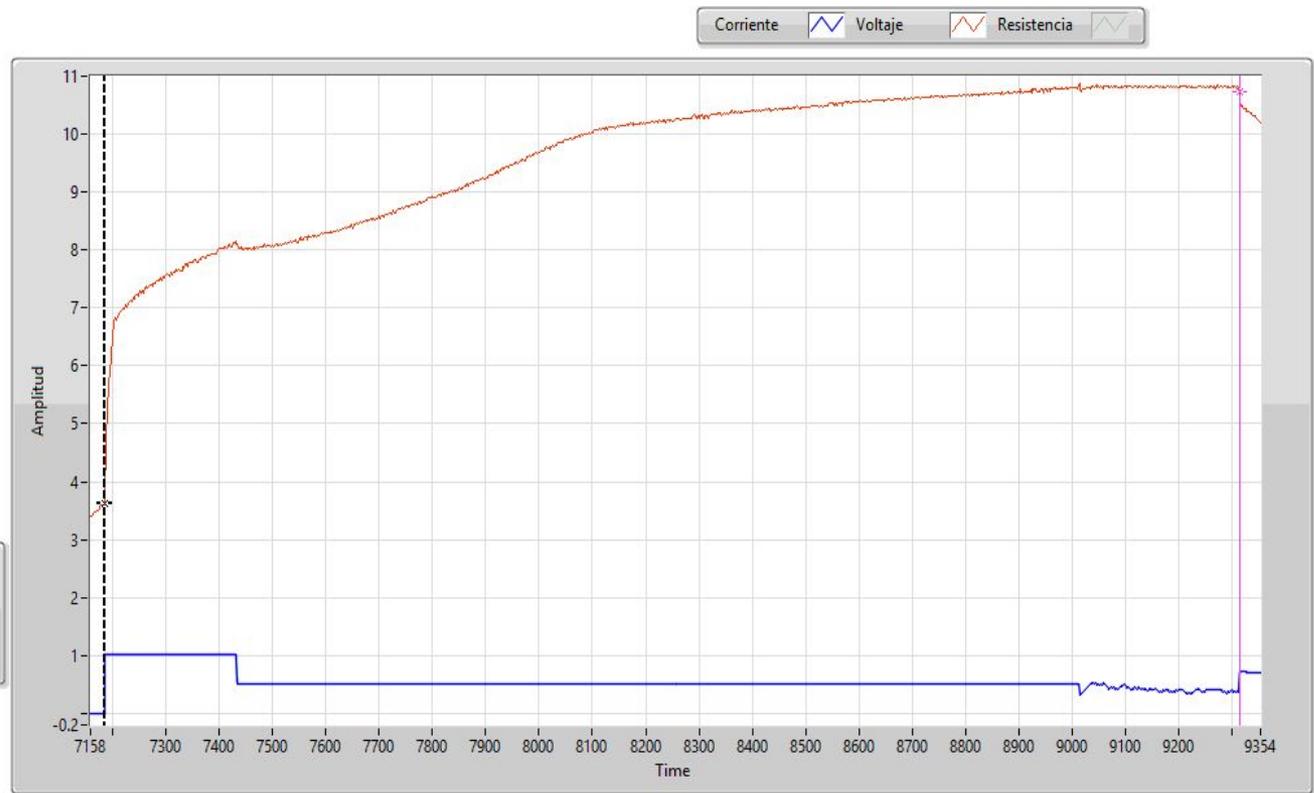
PRUEBAS

PRIMER ENSAYO

Parámetros de carga :

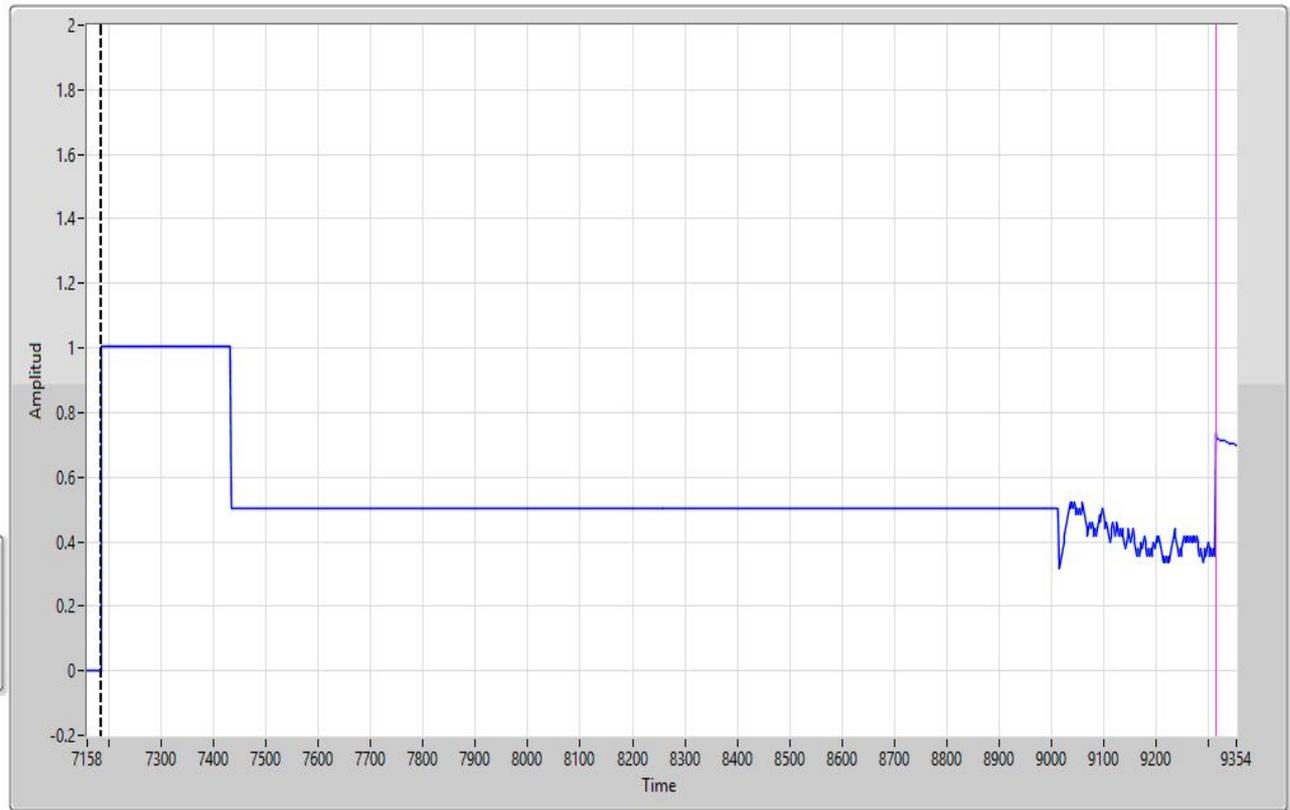
	Hasta el 90% del: $V_{nominal}$	Del 90% al 120% del: $V_{nominal}$	El voltaje nominal permanece constante durante 4 minutos
C_{carga} A	1	0,5	Corriente variable

Voltaje de carga :



Corriente de carga :

Corriente  Voltaje  Resistencia 



Cursors:	X	Y
Cursor 1		
Voltaje	7186	3.61757
Cursor 2		
Voltaje	9314	10.7439

Resumen de valores del primer ensayo:

Ciclos	Carga			Descarga		
	V_i (v)	V_f (v)	t(m)	V_i (v)	V_f (v)	T (m)
1	7,15	10,8	31,43	10,8	1	52,6
2	3,61	10,8	35,46	10,8	1	50,3
3	3,75	10,8	35,86	10,8	1	52

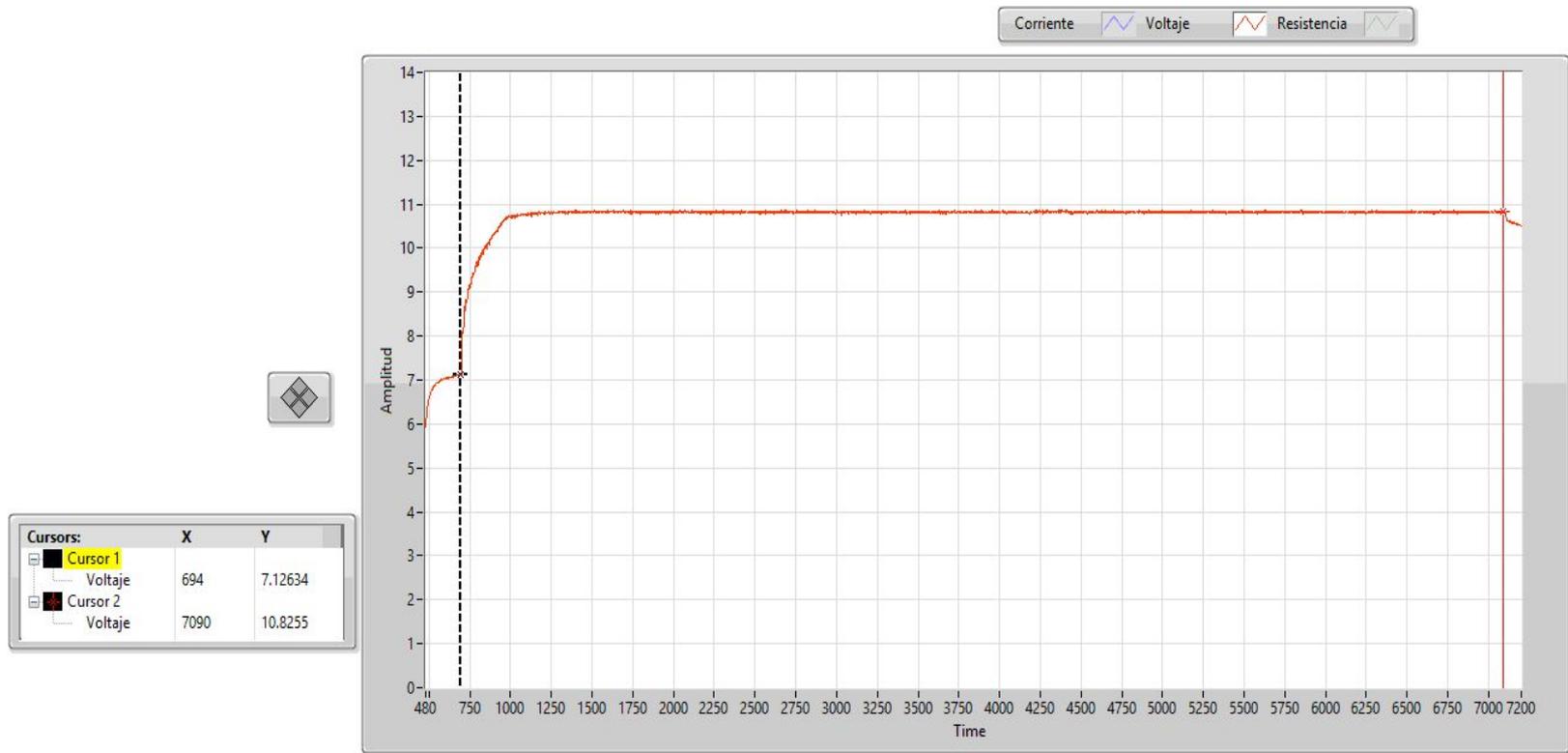
PRUEBAS

SEGUNDO ENSAYO

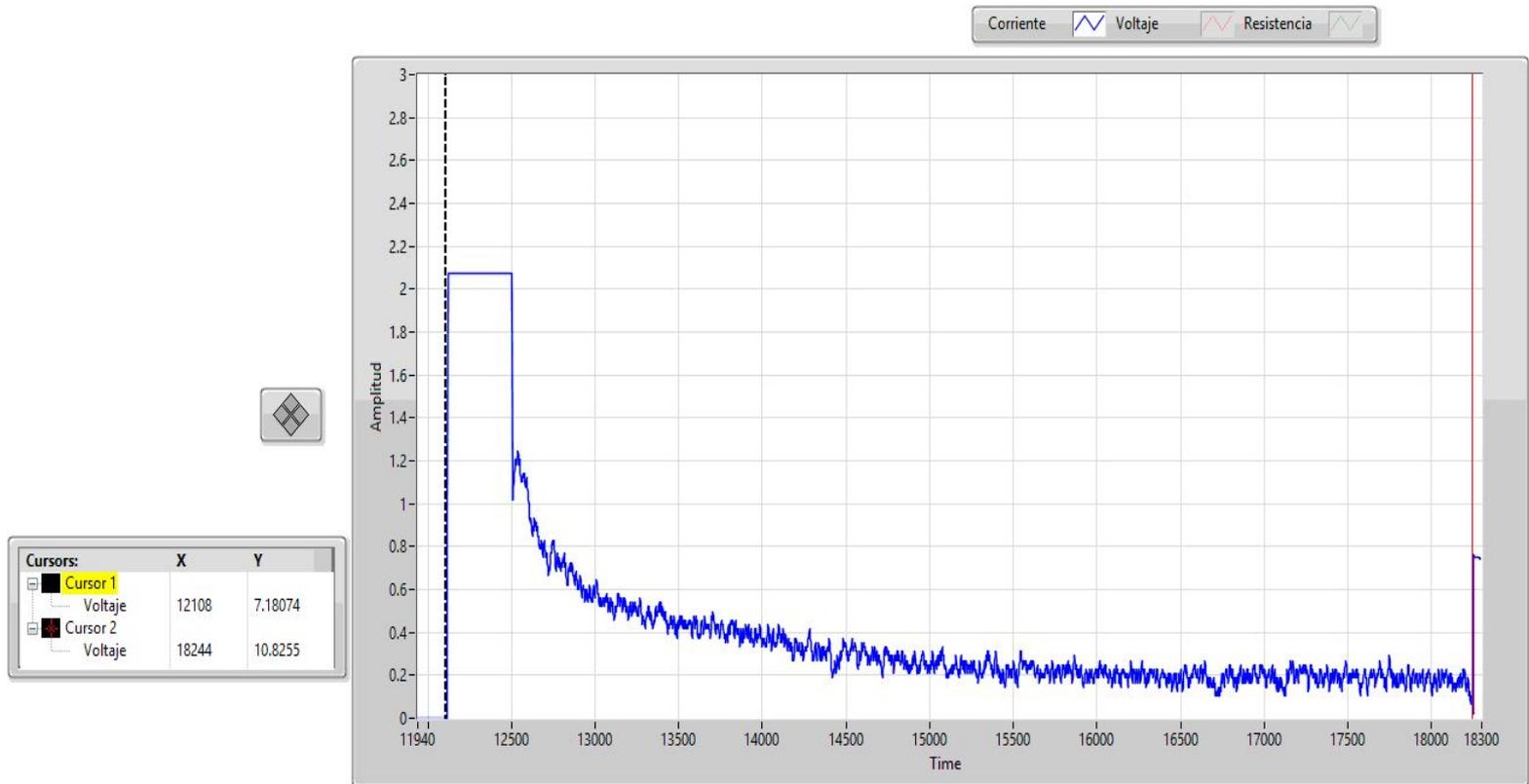
Parámetros de carga :

	Hasta el 90 % $V_{nominal}$	Del 90% hasta el 120% del: $V_{nominal}$	La batería absorbe corriente de carga hasta que la misma tienda a cero.
C_{carga} A	2	2	Corriente variable

Voltaje de carga :



Corriente de carga :



Resumen de valores del segundo ensayo:

Ciclos	Carga			Descarga		
	$V_i(v)$	$V_f(v)$	t(m)	$V_i(v)$	$V_f(v)$	T (m)
1	7,12	10,8	107,35	10,8	1	78,05
2	7,18	10,8	102,26	10,8	1	85,06
3	7,20	10,8	83,86	10,8	1	84

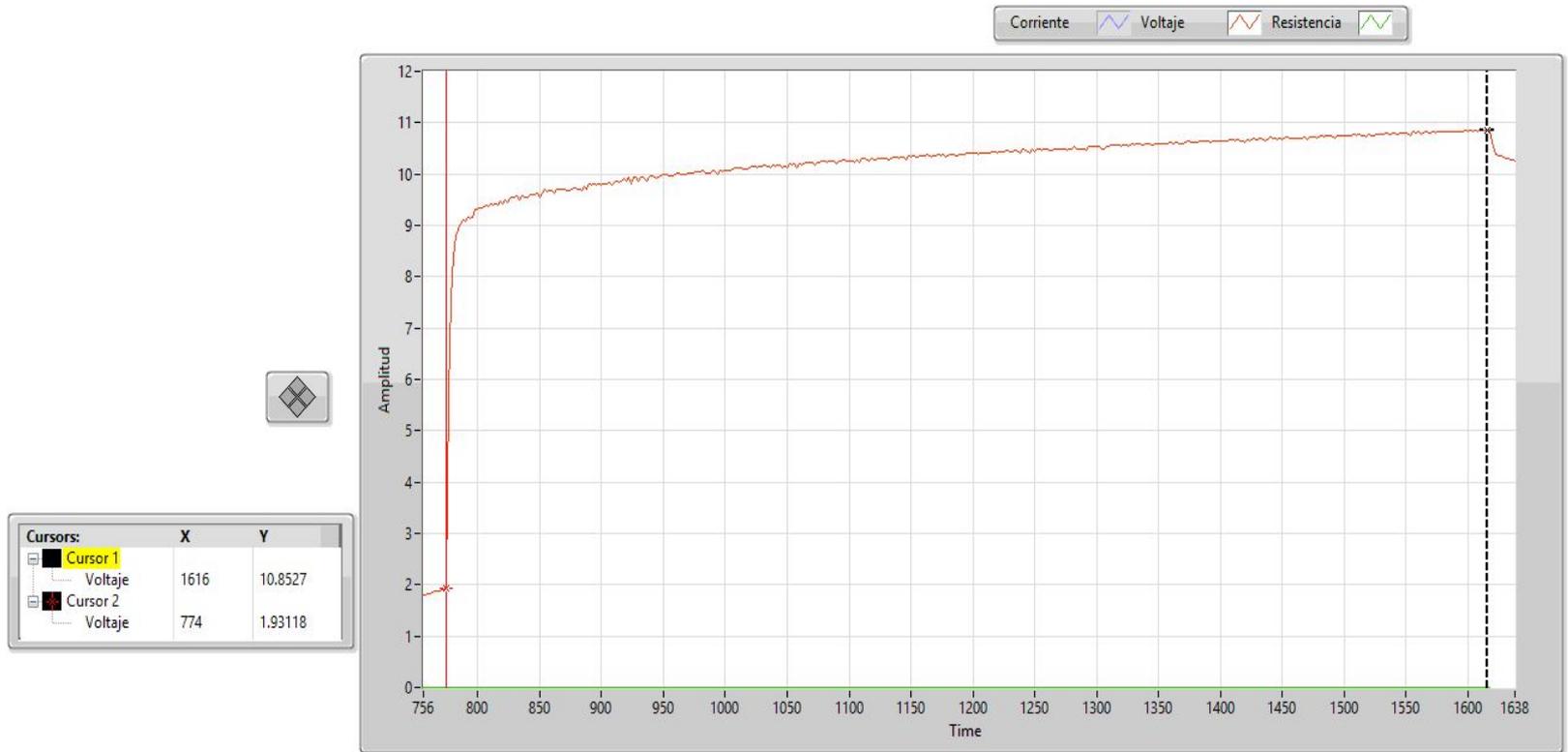
PRUEBAS

TERCER ENSAYO

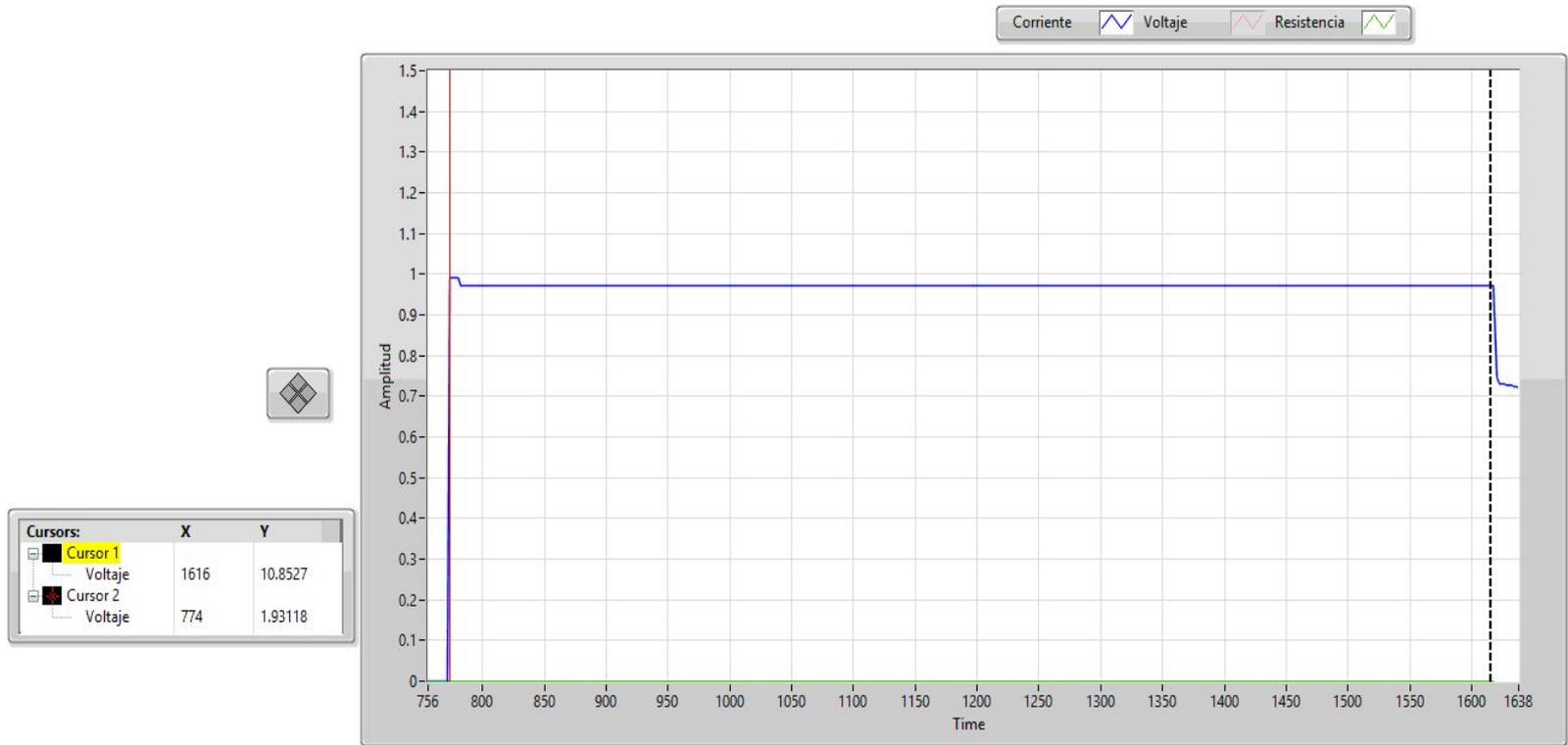
Parámetros de carga :

	Hasta el 90 % $V_{nominal}$	Del 90% hasta el 120% del: $V_{nominal}$	Durante 4 minutos después del 120 %
C_{carga} A	1	1	1

Voltaje de carga :



Corriente de carga :



Resumen de valores del tercer ensayo:

Ciclos	Carga			Descarga		
	V_i (v)	V_f (v)	t(m)	V_i (v)	V_f (v)	T (m)
1	1,93	10,8	14	10,8	1	51,36
2	1,84	10,8	14,36	10,8	1	50,1
3	1,87	10,8	14,8	10,8	1	51,7

COMPARATIVA

	Eficiencia (ensayo1)	Eficiencia (ensayo2)	Eficiencia (ensayo3)	tiempo consumido en el último ciclo (ensayo1)	tiempo consumido en el último ciclo (ensayo2)	tiempo consumido en el último ciclo (ensayo3)
Carga	- 14.09%	21,88%	-5,71%	35,86minutos	83.86 minutos	14,8 minutos
Descarga	-1,14%	7.62 %	0,66%	52 minutos	84 minutos	51,7 minutos

En la tabla se observa los valores más importantes de los 3 ensayos, las eficiencias con signo negativo muestran, en el caso de la carga, un aumento en el porcentaje señalado en el tiempo de carga, en el caso de la descarga las eficiencias con signo negativo muestran una disminución del tiempo de descarga.

La corriente ya sea de un valor alto o bajo, 0,5 amperios y 1 amperios apreciados en el ensayo 1 y 3 respectivamente, suministrada a una batería en las dos primeras etapas del algoritmo de carga afecta exclusivamente al tiempo empleado en cargar la misma, sin afectar incrementos en el tiempo de descarga.

Ciclos	Carga			Descarga		
	V_i (v)	V_f (v)	t(m)	V_i (v)	V_f (v)	T (m)
1	1,93	10,8	14	10,8	1	51,36
2	1,84	10,8	14,36	10,8	1	50,1
3	1,87	10,8	14,8	10,8	1	51,7

Se puede apreciar que la etapa 3 llamada de “absorción” afecta proporcionalmente al tiempo empleado en descargar la batería.

Ciclos	Carga			Descarga		
	$V_i(v)$	$V_f(v)$	t(m)	$V_i(v)$	$V_f(v)$	T(m)
1	7,12	10,8	107,35	10,8	1	78,05
2	7,18	10,8	102,26	10,8	1	85,06
3	7,20	10,8	83,86	10,8	1	84

ENSAYO SELECCIONADO

El ensayo 2 es el seleccionado para realizar el mantenimiento de las baterías con el fin de recuperar la vida útil de las mismas.

	Hasta el 90 % $V_{nominal}$	Del 90% hasta el 120% del: $V_{nominal}$	La batería absorbe corriente de carga hasta que la misma tienda a cero.
C_{carga} A	2	2	Corriente variable

ENSAYO SELECCIONADO

Después de ser sometidas las baterías al mantenimiento para recuperar su estado de salud, se recomienda utilizar los parámetros del ensayo 3 para una carga ya en uso frecuente, por requerir menor tiempo de carga que los demás ensayos.

	Hasta el 90 % $V_{nominal}$	Del 90% hasta el 120% del: $V_{nominal}$	Durante 4 minutos después del 120 %
C_{carga} A	1	1	1

CONCLUSIONES

- Se Investigó y valoró fuentes bibliográficas confiables, tales como tesis previas para sistemas de mantenimiento controlado de baterías de alta tensión, bases digitales para desarrollar la presente investigación.
- Se determinó parámetros de funcionamiento de baterías de alta tensión de las principales marcas de vehículos híbridos y eléctricos en el Ecuador.
- Se determinó parámetros característicos de las baterías tales como sistemas de carga/ descarga, estado de salud.
- Se seleccionó elementos electrónicos para la construcción del equipo de diagnóstico y monitoreo.

CONCLUSIONES

- Se diseñó y construyó la interfaz y el equipo de diagnóstico y monitoreo controlado de baterías de alta tensión.
- Se monitoreo baterías de alta tensión mediante la toma de medidas en tiempo real cada 2 segundos.
- Se utilizó diferentes parámetros de carga y el punto más próximo a la descarga completa (1 V) para aumentar el tiempo de descarga de la batería y así mejorar su capacidad de almacenar energía en un 7.62%.
- Se determinó que, del algoritmo de 3 etapas, la etapa que incide directamente sobre el incremento del tiempo de descarga de una batería es la etapa de absorción.

CONCLUSIONES

- Acorde a los ensayos realizados, la etapa de absorción del algoritmo de carga empleado, es la que tiene más incidencia sobre incremento del tiempo de descarga de ciclo a ciclo, durante el proceso de mantenimiento.
- Las cargas a corriente constante de valores superiores a 1 amperio e inferiores a 2,5 amperios, son recomendables para realizar cargas completas a baterías, disminuyendo el tiempo empleado en el proceso.
- Cuando el voltaje se mantiene constante, mientras la batería se va cargando, la corriente tiende a disminuir hasta valores próximos a cero, siendo esto un indicativo de que la etapa de carga del algoritmo utilizado a voltaje constante garantiza una carga completa de la batería.

RECOMENDACIONES

- En todo momento seguir las indicaciones estipuladas en el protocolo de pruebas, para evitar daño en el equipo.
- No sobrepasar la tasa de carga y descarga estipulada por cada fabricante de baterías.
- Nunca conecte la batería con polaridad inversa ya que esto daña el equipo.
- No someter a mantenimiento a baterías que presenten daños físicos como: hinchamiento, ruptura de su recubrimiento en general.
- Antes de utilizar el banco cerciórese de estar capacitado para hacerlo.
- No sobrepasar la corriente de carga mayor a 2.5 amperios ya que puede poner en riesgo la salud de la batería y la integridad del operario del banco.

RECOMENDACIONES

- El porcentaje de descarga de una batería, para procesos de mantenimiento y recuperación de vida útil, debe ser lo más bajo posibles, aproximándose en valor (en voltaje) a 1 voltio, para garantizar una descarga completa.
- Utilizar una corriente de carga media- alta en las etapas 2 y 3 del algoritmo de carga para disminuir el tiempo empleado para realizar un mantenimiento completo de N ciclos.
- Para futuras investigaciones, se recomienda realizar la descarga a intensidad constante.

RECOMENDACIONES

- Incrementar el voltaje de carga a un valor de 24 voltios, permitiendo realizar ensayos de carga con parámetros de corriente y voltaje mayores, disminuyendo tiempos empleados en cada ciclo de carga y descarga.
- Realizar ensayos de mantenimiento con mayor número de ciclos de carga y descarga con la finalidad de obtener un valor máximo para la prolongación de la vida útil de una batería.



Gracias

