

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación  
FIEC**

espol



**DISEÑO DE UNA SOLDADORA DE CABLES ELÉCTRICOS MEDIANTE  
EL USO DE SUPERCAPACITORES ALIMENTADOS POR UN SISTEMA  
FOTOVOLTAICO**

**INFORME DE MATERIA INTEGRADORA**

Previo la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**

Presentado por:

Jason Favio Niola Chacón

Mario Alberto Gómez Astudillo

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2021

## DEDICATORIA

A Dios por no haberme abandonado en mis más terribles momentos; a mis padrinos de beca, Ing. Adriana Collaguazo e Ing. Joffre Pesantez por la grandiosa ayuda incondicional que me ofrecieron, ya que, si no habría sido por el aporte que me brindaron, nunca habría podido terminar este ciclo universitario. Profundamente agradecido desde ahora hasta la eternidad, queridos padrinos.

A mi gran amigo el matemático Johni Bustamante, por su consideración, confianza y apoyo permanente en cada una de mis decisiones.

Al Ing. Miguel Yapur, por su consideración y apoyo brindado en situaciones de incertidumbres que padecí.

Al Ing. Dennys Cortez por alentarme moralmente cuando ni yo mismo creía en mis capacidades, gracias a eso, volví al ruedo, para ahora estar presentando este proyecto.

A la Lic. Piedad Pizarro por su noble ayuda en todas las dificultades en la que me encontré a lo largo de la carrera.

A mi compañero de proyecto, Mario Gómez por su comprensión y dedicación para poder terminar con éxito este trabajo.

Y a mis amigos, Mauricio Rebolledo, Andrés Intriago, Missael Fajardo, Álvaro Gurumendi y Pedro Carvajal con quienes compartí momentos de buena camarería en la carrera.

Jason Niola Chacón

## **DEDICATORIA**

Este proyecto lo quiero dedicar a Dios por las oportunidades que me ha brindado, a mis padres por darme el ejemplo de perseverancia y trabajo, y a mis hermanos y amigos por sus valiosos consejos.

Mario Gómez Astudillo

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecer a Dios por iluminarnos la mente para poder realizar totalmente este trabajo junto con mi compañero.

Este proyecto no habría sido posible sin la valiosa ayuda del Ing. Dennys Cortez Álvarez, nuestro profesor de materia, y el Ing. Damián Larco Gómez, nuestro tutor de proyecto, que supieron orientarnos oportunamente para poder realizar este proyecto.

Jason Niola Chacón

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecer primero a Dios por permitirme culminar mi carrera universitaria y a todas las personas que colaboraron con su ayuda en la realización de este trabajo, especialmente al Ing. Dennys Cortez Álvarez, profesor de la materia y al Ing. Damián Larco Gómez, tutor de nuestro proyecto, que contribuyeron directamente en nuestro proyecto con su asesoramiento.

Mario Gómez Astudillo

## DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Jason Favio Niola Chacón Y Mario Alberto Gómez Astudillo* damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

---

Jason Favio Niola  
Chacón

---

Mario Alberto Gómez  
Astudillo

## EVALUADORES



.....  
**Ing. Dennys Cortez Alvarez, MSc.**  
PROFESOR DE LA MATERIA

.....  
**Ing. Damián Larco Gómez, MSc.**  
PROFESOR TUTOR

## RESUMEN

Con la finalidad de solucionar el problema de la ruptura de los conductores de Alta y Media Tensión, mediante el soldado de estos, evitando realizar empalmes entre sí; para su debida restauración, este presente proyecto de tesis propone el diseño de una máquina soldadora con características técnicas que ayudarán de una manera notable, debido a que, contará con sistema de alimentación fotovoltaico para su correcto funcionamiento en lugares apartados de alguna red convencional de energía.

El prototipo de soldadora propuesto en este apartado es el diseño de un equipo compuesto por un arreglo de supercapacitores alimentados por una fuente fotovoltaica, que sea capaz de soldar cables eléctricos de hilos cobre, calibres entre 1/0 a 4/0 de las CLASES AA y A.

Para el diseño, se realizará los análisis y cálculos de soldadura de puntos por resistencia, lo cual permite determinar los niveles exactos de corriente que se debe emplear para la óptima reedificación de los hilos conductores del cable en un tiempo bastante breve. Luego, el correcto dimensionamiento del arreglo del banco de supercapacitores, que serán los encargados de producir dichos niveles de corriente para el proceso de soldar los cables conductores. También, la realización de las precisiones del controlador de corriente del equipo, además, la elaboración de los cálculos para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico que alimenta al sistema del equipo.

Y, por último, la determinación de las dimensiones físicas del equipo íntegro, en función de los valores encontrados con respecto a los dimensionamientos de los materiales que componen nuestra soldadora diseñada.

**PALABRAS CLAVES:** Cables eléctricos de MT, Soldadura de puntos por resistencia, Supercapacitores, Controlador de corriente, Fuente fotovoltaica.

## ABSTRACT

With the purpose of solving the problem of the rupture of the High and Medium Voltage conductors, by means of the welding of these, avoiding making connections between them; for its proper restoration, this present thesis project proposes the design of a welding machine with technical characteristics that will help in a remarkable way, because it will have a photovoltaic power system for its correct operation in places far from any conventional energy network.

The prototype of welding machine proposed in this section is the design of a team composed of an arrangement of supercapacitors fed by a photovoltaic source, which is capable of welding electrical cables whit copper wires, gauges between 1/0 to 4/0 of CLASS AA already.

Find the design, the analysis and calculations of resistance spot welding will be carried out, which allows determining the exact levels of current that must be used for the optimal rebuilding of the cable conductors in a fairly short time. Then, the correct sizing of the arrangement of the bank of supercapacitors, which will be in charge, of producing said current levels for the process of welding the conductive cables. Also, the realization of the precisions of the current controller of the equipment, in addition, the elaboration of the calculations for the dimensioning of the photovoltaic system that feeds the equipment system.

And, finally, the determination of the physical dimensions of the entire equipment, based on the values found with respect to the dimensions of the materials that make up our designed welding machine.

**KEYWORDS:** MV electric cables, Resistance spot welding, Supercapacitors, Current controller, Photovoltaic source.

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	I
ABSTRACT .....	II
ÍNDICE GENERAL .....	III
ABREVIATURAS .....	VII
SIMBOLOGÍA.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XI
ÍNDICE DE TABLAS .....	XIV
CAPÍTULO 1 .....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....	2
1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.3 OBJETIVOS DE NUESTRO PROYECTO .....	2
1.3.1 OBJETIVO GENERAL .....	2
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
1.4 CONTRIBUCIÓN DE NUESTRO PROYECTO.....	3
CAPÍTULO 2 .....	4
2. MARCO TEÓRICO .....	4
2.1 CABLES ELÉCTRICOS DE ALTA Y MEDIA TENSIÓN .....	4
2.1.1 ELEMENTOS DE LOS CABLES DE ALTA Y MEDIA TENSIÓN.....	7
2.1.2 EMPALMES EN CABLES ELEÉCTRICOS PARA MEDIA TENSIÓN.....	9
2.2 SOLDADORA DE CABLES ELÉCTRICOS .....	11
2.2.1 SOLDADORA POR PUNTOS DE RESISTENCIA: .....	12
2.3 SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO BASADOS EN SUPERCAPACITORES	15
2.4 SUPERCAPACITORES .....	15

2.4.2	BANCO DE SUPERCAPACITORES .....	21
2.5	SISTEMA DE ALMACENAMIENTO MEDIANTE BATERÍAS.....	22
2.5.1	DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LAS BATERÍAS.....	22
2.5.2	TIPOS DE BATERÍAS .....	23
2.6	FUENTE DE CORRIENTE CONSTANTE .....	23
2.7	CONTROLADORES DE VOLTAJES POR HISTÉRESIS .....	24
2.8	EL TRANSISTOR IGBT.....	25
2.9	EL PWM.....	25
2.10	FUENTES DE ENERGÍA FOTOVOLTAICAS .....	26
2.10.1	TIPOS DE PLANTAS FOTOVOLTAICAS .....	27
2.11	REGULADOR DE CARGA SOLAR (MPPT).....	27
2.12	ARDUINO .....	28
2.12.1	Funciones del ARDUINO .....	29
CAPÍTULO 3 .....		30
3.	METODOLOGÍA.....	30
3.1	CÁLCULOS Y DIMENSIONAMIENTOS DE LOS ELEMENTOS A UTILIZAR EN LA SOLDADORA .....	31
3.1.1	Cálculo del calor requerido para soldar:.....	36
3.1.2	Cálculo de voltaje de soldadura $V_{weld}$ : .....	40
3.2	DIMENSIONAMIENTO DEL BANCO DE SUPERCAPACITORES: .....	41
3.2.1	Desbalance de voltaje en la carga del banco de supercapacitores conectados en serie.....	47
3.3	DIMENSIONAMIENTO DEL BANCO DE BATERÍAS: .....	48
3.4	MÓDULO DE VOLTAJE DE SALIDA DUAL EN EL SISTEMA. ....	51
3.5	DISEÑO DEL CIRCUITO DE LA FUENTE DE CORRIENTE CONSTANTE PARA LA CARGA DEL SUPERCAPACITOR: .....	52
3.5.1	CÁLCULO DE DISIPADOR PARA EL TRANSISTOR 2N3055. ....	55

3.6	DISEÑO DEL CONTROLADOR PARA EL LÍMITE DE VOLTAJE DEL SUPERCAPACITOR.....	56
3.7	REGULADOR DE LA CORRIENTE DE SOLDADURA.....	62
3.7.1	ALGORITMO PARA GENERAR LA SEÑAL PWM.....	64
3.7.2	DRIVER PARA EL TRANSISTOR IGBT. ....	66
3.8	CÁLCULO PARA DIMENSIONAMIENTO DE PANELES SOLARES.....	69
3.9	DISEÑO DE INTERFAZ CON ARDUINO PARA LA MÁQUINA SOLDADORA	72
3.10	DISEÑOS EN PCB DEL SISTEMA ELECTRÓNICO DE LA SOLDADORA.....	77
3.10.1	Diseño PCB del circuito de fuente de corriente: .....	77
3.10.2	Diseño PCB del circuito controlador de voltaje por histéresis:.....	79
3.10.3	Diseño PCB del driver para el IGBT.....	80
CAPÍTULO 4 .....		82
4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	82
4.1	ANÁLISIS DEL DIMENSIONAMIENTO DEL BANCO DE SUPERCAPACITORES. ....	82
4.2	ANÁLISIS DEL BANCO DE BATERÍAS Y CIRCUITO DE CARGA DEL BANCO DE SUPERCAPACITORES. ....	84
4.3	ANÁLISIS DE LA FUENTE FOTOVOLTAICA. ....	87
4.4	ANÁLISIS DE CONTROLADOR DE VOLTAJE CON HISTÉRESIS. ....	88
4.5	ANÁLISIS DEL REGULADOR DE CORRIENTE. ....	89
4.6	ANÁLISIS DEL TIEMPO REQUERIDO PARA REALIZAR UNA REPARACIÓN DE UN CABLE CALIBRE 1/0 SOLDANDO HILO POR HILO. ....	92
4.7	DETERMINACIÓN DE LOS ESQUEMÁTICOS DEL SISTEMA COMPLETO DE LA SOLDADORA DE CABLES ELÉCTRICOS “SOLDADORA DELTA” .....	93
4.7.1	Esquemático del diagrama de bloques completo de la soldadora de cables eléctricos “SOLDADORA DELTA” .....	93
4.7.2	Esquemático del diagrama del circuito completo de la soldadora de cables eléctricos “SOLDADORA DELTA”. ....	94

4.8	DETERMINACIÓN DE DIMENSIONES DEL DISEÑO. ....	94
4.8.1	Dimensiones del banco de supercapacitores y elección de la batería para el diseño propuesto en este proyecto. ....	95
4.8.2	Dimensiones de la estructura mecánica de nuestro diseño de soldadora de cables eléctricos. ....	96
4.9	PRESENTACIÓN DE LA SOLDADORA DE CABLES ELÉCTRICOS “SOLDADORA DELTA” .....	97
	CAPÍTULO 5 .....	99
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	99
5.1	CONCLUSIONES.....	99
5.2	RECOMENDACIONES .....	100
	Bibliografía .....	102
	ANEXOS .....	105
	ANEXOS A.....	105
	ANEXOS B.....	118

## ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
FIEC	Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación
MT	Media Tensión
AT	Alta Tensión
IEC	Comisión Electrotécnica Internacional
IACS	Estándar Internacional de Cobre Recocido
ASTM	Sociedad Americana para Pruebas y Materiales
NTC	Norma Técnica Colombiana
ESR	Resistencia en Serie Equivalente
EDLC	Condensador Electroquímico de Doble Capa
Seg	Segundos
SCAP	Supercapacitores
BJT	Transistor de Juntura Bipolar
OPAMP	Amplificador Operacional
SSR	Relé de Estado Sólido
PCB	Placa de Circuito Impreso
MPPT	Seguimiento del Punto de Máxima Potencia
IGBT	Transistor Bipolar de Puerta Aislada
PWM	Modulación por Ancho de Pulsos

## SIMBOLOGÍA

kV	Kilo voltios
g	Gramos
cm	Centímetros
mm	Milímetros
km	Kilómetros
$\Omega$ , ohm	Ohmios
MPa	Mega pascal
v	Voltios
V	Voltaje
$P_{\max}$	Potencia máxima
P	Potencia
w	Watts
Q	Calor
R	Resistencia
dt	Variación de tiempo
t	Tiempo
I	Corriente
m	Masa
Cd	Calor específico del material
Lf	Calor latente de fusión
T	Temperatura
$\Delta T$	Variación de temperatura
To	Temperatura inicial del material
°C	Grados Celsius
°F	Fahrenheit
J	Julios ó Joules
$\rho$	Densidad del material
V	Volumen
Ro	Resistividad del material

I	Longitud
A	Sección transversal
$R_c$	Resistencia de contacto
Hb	Dureza de Brinell a temperatura ambiente
F	Fuerza
$T_v$	Temperatura de ablandamiento
$I_{weld}$	Corriente de soldadura
$V_{weld}$	Voltaje de soldadura
$m\Omega$	Mili-ohmios
A	Amperios
mA	Miliamperios
Wh	Vatios – horas
mWh	Milivatios – horas
$R_{th}$	Resistencia térmica
C	Capacitancia
f	Faradios
$R_{IN}$	Resistencia en serie de la batería.
$R_{REG}$	Resistencia del regulador
$\eta$	Eficiencia
$R_{load}$	Resistencia de carga
$C_{SCAP}$	Capacitancia de los supercapacitores
$V_{SCAP}$	Voltaje de los supercapacitores
$I_{max}$	Corriente máxima
$dv/dt$	Derivada de voltaje respecto al tiempo
$h_{fe}$	Ganancia DC del BJT
$V_z$	Voltaje Zener
$I_z$	Corriente del Zener
$V_{CE}$	Voltaje colector-emisor
$V_{BE}$	Voltaje base-emisor
$I_b$	Corriente de base

Ic	Corriente de colector
Ie	Corriente de emisor
Vout	Voltaje de salida.
Vd	Tensión diferencial del OPAMP
V+	Voltaje en pin no inversor
V-	Voltaje en pin no inversor
Vset_ref	Voltaje referencial.
Vcc	Voltaje de alimentación DC
V <sub>G</sub>	Voltaje de compuerta
Hz	Hertz
kHz	Kilo-Hertz
f <sub>c</sub>	Frecuencia de corte
%D	Ciclo de trabajo
DC	Corriente directa
CC	Corriente continua
H	Ventana de histéresis
Ah	Amperios horas
C <sub>b</sub>	Capacidad de acumulación en Ah
E <sub>D</sub>	Energía demandada
P <sub>b</sub>	Profundidad de descarga máxima
D	Días de autonomía
N <sub>paneles</sub>	Número de paneles
c	Potencia pico del panel
kw	Kilowatts
ms	Milisegundos

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Red de distribución eléctrica con cables eléctricos de AT. ....	4
Figura 2.2 Elementos constitutivos de un cable eléctrico de MT, 7 hilos, Clase A. ....	7
Figura 2.4 El Efecto Piel en un conductor de MT.....	11
Figura 2.5 Diagrama básico de una Soldadora Por Puntos de Resistencia. (Blog RSF Maquinaria, 2015) .....	12
Figura 2.6 Principio básico de funcionamiento de un supercapacitor. ....	16
Figura 2.7 Clasificación de los supercapacitores. (Martín Hernández, 2014) .....	19
Figura 2.8 Estructura interna de un supercapacitor electroquímico de doble cara. (Méndez, Arrobo, & Morocho, 2020) .....	20
Figura 2.11 Configuración de un comparador de voltaje por histéresis. (Edisciplinas) .	25
Figura 2.12 Partes constitutivas de un panel solar. (Paneles solares KDS Energía, 2018) (Tecnología, n.d.) .....	26
Figura 2.13 Controlador MMPT en un sistema fotovoltaico. (Nomo Group, 2019) .....	28
En todos los sistemas fotovoltaicos es muy recomendable el empleo del controlador MMPT para garantizar un óptimo rendimiento de dichos sistemas.....	28
Figura 2.14 El ARDUINO UNO y sus periféricos. (Aprendiendo Arduino, 2016) .....	29
Figura 3.1 Diagrama básico de la soldadora con banco de supercapacitores. ....	30
Figura 3.2 Puntos principales de generación de calor entre los electrodos de la soldadora y el material conductor. (Nacimba Nacimba, 2011).....	32
Figura 3.3 Curva de resistencia de contacto vs fuerza. ....	36
Figura 3.4 Volumen del conductor a soldar. ....	37
Figura 3.6 Circuito equivalente de un Supercapacitor. ....	42
Figura 3.7 Diagrama esquemático del circuito de la soldadora. (Pentegov, Bondarenko, Bondarenko, & Safronov, 2015) .....	43
Figura 3.8 Circuito(a) Es el equivalente de carga y el circuito(b) es el de descarga. (Pentegov, Bondarenko, Bondarenko, & Safronov, 2015) .....	43
Figura 3.9 Banco de supercapacitores.....	46

Figura 3.10 Configuración del banco de Supercapacitores con los reguladores.....	48
Figura 3.11 Circuito de carga del banco de supercapacitores .....	48
Figura 3.12 Circuito de fuente de Corriente Constante.....	52
Figura 3.13 Curva de carga del supercapacitor. ....	55
Figura 3.14 Circuito de control de voltaje para el banco de supercapacitores. ....	57
Figura 3.15 Comparador histéresis. ....	58
Figura 3.16 Curva de histéresis.....	59
Figura 3.17 Curva de carga del banco de supercapacitores con el comparador de histéresis.....	61
Figura 3.18 Circuito de carga del banco de supercapacitores. ....	61
Figura 3.19 Variación de la resistencia de contacto durante el proceso de soldadura ..	62
Figura 3.20 Curva característica de salida del IGBT CM200HA-24H.....	63
Figura 3.21 Función transferencia $I_c$ vs $V_g$ del IGBT CM200HA-24H.....	64
Figura 3.22 Botonera PULL-UP.....	66
Figura 3.23 DIAGRAMA DE BLOQUE DE DRIVER PARA IGBT .....	66
Figura 3.24 Circuito del filtro para la señal PWM.....	67
Figura 3.25 Promedio de la señal PWM. ....	68
Figura 3.26 Circuito del regulador de corriente con IGBT.....	68
Figura 3.27 Pulso de corriente de soldadura controlado por IGBT .....	69
Figura 3.28 Interfaz de la "SOLDADORA DELTA" con un ARDUINO UNO.....	73
Figura 3.29 Vista superior de la PCB de la fuente de corriente. ....	78
Figura 3.30 Pista de cobre en la PCB de la fuente de corriente. ....	78
Figura 3.31 Montaje de elementos en la PCB del circuito controlador de voltaje por histéresis.....	79
Figura 3.32 Pista de cobre en la PCB del circuito controlador de voltaje por histéresis. ....	80
Figura 3.33(a) Montaje de elementos en la PCB del driver para el IGBT .....	80
Figura 3.33(b) Pistas de cobre en la PCB para el driver del IGBT .....	81

Figura 4.1 Simulación del circuito de descarga del banco de supercapacitores. ....	83
Figura 4.2 Curva de descarga del banco de supercapacitores en un intervalo de tiempo .....	84
Figura 4.3(a) Simulación de circuito de carga exponencial del banco de supercapacitores. ....	85
Figura 4.3(b) Curvas de carga exponencial del banco de supercapacitores. ....	85
Figura 4.4(a) Diagrama de simulación del circuito de carga lineal del banco de supercapacitores. ....	86
Figura 4.4(b) Curvas de la carga lineal del banco de supercapacitores. ....	86
Figura 4.5 Configuración de la fuente fotovoltaica (Off Grid). ....	88
Figura 4.6 Resultado de la simulación del controlador de voltaje con histéresis. ....	89
Figura 4.7 Circuito para la simulación de la corriente de soldadura con variación en la carga. ....	90
Figura 4.8 Valores de las corrientes según la variación en la resistencia de carga .....	91
Figura 4.9 Voltaje colector-emisor versus tiempo con variación en la resistencia de contacto. ....	91
Figura 4.10 Diagrama de bloques completo de la SOLDADORA DELTA. ....	93
Figura 4.11 Diagrama de circuito completo de la SOLDADORA DELTA. ....	94
Figura 4.12 Vista lateral del banco de supercapacitores. ....	95
Figura 4.13 Dimensiones de la base en donde cómo irán ubicados cada uno de los elementos con sus respectivas dimensiones. ....	96
Figura 4.14 Dimensiones de la carcasa. ....	97
Figura 4.15 Soldadora de Cables Eléctricos "SOLDADORA DELTA". ....	98

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Lista de calibres y clases de los Cables Eléctricos de MT. (Boletín Técnico-abril 2001, CABLES TECNOLOGÍA).....	6
Tabla 3.1 Constantes físicas del cobre.....	36
Tabla 3.2 Hoja de especificaciones del supercapacitor MAXWELL BCAP1200 (Maxwell, 2013).....	42
Tabla 3.3 Elementos empleados en el circuito de la fuente de corriente constante. ....	52
Tabla 3.4 Insolación promedio 10 años en kWh/m <sup>2</sup> al día. ....	70
Tabla 3.5 Datos eléctricos del panel solar. ....	72
Tabla 3.6 Características mecánicas y de temperatura del panel solar. ....	72

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente la conducción de energía a mediana y alta escala es cada vez más necesaria por el crecimiento exponencial de la demanda de productividad a nivel mundial en todos los sectores en donde se requiere suministro de energía distribuido mediante algún tipo de conductor según sea el caso. Es así, que, para la transmisión y distribución de energía eléctrica en niveles de media y alta tensión, es común el empleo de cables conductores para estos rangos de energía. Estos tipos de cables pueden sufrir algún tipo de ruptura ya sea por casos fortuitos o alguna incidencia externa. Debido al problema de posibles rupturas, es que, surge la necesidad de reparar estos conductores eléctricos, y no es tan sencilla dicha reparación ya que se trata de elementos esenciales compuestos por varios hilos conductores en donde se debe hacer empalmes estrictamente consistentes para su restablecimiento.

Para evitar realizar los empalmes en los conductores de cables de media y alta tensión resulta mejor, optar soldarlos hilo por hilo, es que, surge la idea del diseño de una soldadora para este tipo de cables. La soldadora que se propone en este documento, se particulariza la forma en cómo estará constituida y cómo será su forma de alimentación, ya que se prevé que este equipo sería utilizado en situaciones geográficas alejadas de las poblaciones en donde no existan acceso a una red eléctrica para suministrar la energía que necesita una máquina que opere con un valor energético estable para su correcto funcionamiento.

La propuesta de nuestra soldadora consiste en el uso de supercapacitores para la generación del arco preciso para la soldadura, con el respaldo de un banco de baterías para la conservación de energía cuando se lo requiera y, el empleo de un panel solar para su debida alimentación sin la necesidad de estar recargando cada vez que se la vaya a utilizar. Para esto, se realizarán los cálculos pertinentes para elegir correctamente cada uno de los supercondensadores que compondrán un arreglo en el cual se realizará conmutaciones para el control de niveles de descargas de corrientes y el consumo de voltajes de estos a través de un controlador, que, en virtud, se lo logrará con un

ARDUINO. También, así mismo, para el empleo del panel solar indicado para correcto suministro de energía del prototipo en cuestión.

### **1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

En la transmisión y distribución de energía eléctrica a niveles de media y alta tensión se requiere de conductores de calibres superior a 1/0 que son fabricados de varios hilos conductores empleados a largas distancias. Debido al peso y longitud, además de circunstancias externas como accidentes fortuitos a los que se exponen, estos cables suelen malograrse y esto implicaría un reemplazo completo del conductor generando costos elevados para la empresa que distribuya dichos niveles de energía.

### **1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA**

La manipulación y exposición de los conductores de alta y media tensión pueden suceder en escenarios conflictivos que ocasionan el daño estructural en cada uno de sus hilos, por ende, se requiere del cambio oportuno del conductor en el menor tiempo posible, sin la necesidad de adquirir nuevos conductores. Unas opciones inmediatas serían realizar empalmes o la técnica tradicional de soldadura exotérmica en la cual se suelda el conjunto de hilos con una fundición general del cable; provocando que estos tipos de uniones en el cable eléctrico se produzca el indeseable EFECTO PIEL que se manifiesta en estos tipos de cables. Para este inconveniente se plantea nuestra propuesta de diseñar una soldadora de cables eléctricos que nos permitirá restaurar el cable, soldando hilo por hilo y así, evitar dicho efecto.

### **1.3 OBJETIVOS DE NUESTRO PROYECTO**

Los objetivos del presente proyecto se enuncian a continuación:

#### **1.3.1 OBJETIVO GENERAL**

Diseñar una soldadora de cables eléctricos, optimizando la capacidad y dimensiones de los supercapacitores que la compondrán, con técnicas de control para variables de corriente de sobrecarga en la operación de la soldadora y el sistema fotovoltaico de alimentación, para reparar los conductores de alta y media tensión que se encuentren en zonas remotas a la población.

### **1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Diseñar el circuito de la soldadora para poder dimensionar las correspondientes partes constitutivas de la soldadora que se empleará en la reparación de cables eléctricos de MT.
- Diseñar el circuito del sistema fotovoltaico para la alimentación de todo el equipo.
- Elaboración de esquemático del sistema completo para sintetizar y comprender el diseño del proyecto elaborado.
- Elaboración de simulación, gráficas de voltaje y corriente de todos los circuitos y comparaciones de variables con los cálculos mediante ecuaciones y análisis de los respectivos circuitos para poder precisar los valores nominales de la máquina soldadora.
- Diseñar la estructura mecánica de la soldadora especificando dimensiones y materiales para facilitar una futura implementación de este proyecto.

### **1.4 CONTRIBUCIÓN DE NUESTRO PROYECTO**

El presente documento plantea el diseño de una máquina soldadora de conductores de cobre calibres entre 1/0 a 4/0, de dos clases de flexibilidad (AA y A), con todos los detalles técnicos como los dimensionamientos de su sistema fotovoltaico que le suministrará la energía para su funcionamiento, de sus bancos de supercapacitores y baterías, los niveles de corriente y voltaje para realizar la soldadura en cada uno de los hilos de cobre de los conductores antes mencionados.

Con este aporte detallado de nuestro diseño, podrá servir como guía técnica para futuros análisis de investigación acerca de este tipo de diseño planteado. Y, además, un manual instructivo para una posible futura implementación.

La implementación de una soldadora de conductores eléctricos alimentado por un sistema fotovoltaico conllevará a una mejora sustancial en la reparación de los conductores de sistemas de transmisión de media y alta tensión, puesto que, disminuirá el tiempo de cortes de energía, además de la reutilización de conductores y ahorro significativo de este recurso en mención.

# CAPÍTULO 2

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 CABLES ELÉCTRICOS DE ALTA Y MEDIA TENSIÓN

#### a) Cables eléctricos de Alta tensión:

Estos tipos de conductores son los que están fabricados para transportar la electricidad a grandes distancias, por ende, son los que soportan los más altos rangos de voltaje en cuanto a niveles de tensión nos referimos. Estos cables eléctricos son empleados para transportar la electricidad desde las centrales de generación hacia las subestaciones.

Para tener claro la identificación de estos cables de potencia, a continuación, mostramos la siguiente imagen en la **Figura 2.1**, donde se puede visualizar una red de distribución que sale, desde una subestación para suministrar energía el sector de una población.



**Figura 2.1** Red de distribución eléctrica con cables eléctricos de AT.

Según la **Comisión Electrotécnica Internacional (IEC)**; por sus siglas en inglés, los cables eléctricos de Alta Tensión son los que pueden soportar niveles de voltajes mayor

a los 100 kV. Por lo general, estos tipos de conductores eléctricos los disponen las naciones consideradas potencias mundiales.

Una vez comentado el dato de la denominación que considera la IEC, para los conductores eléctricos de Alta Tensión, y que dichos elementos, están empleados en naciones con economías fuertes, es que elegiremos y nos concentraremos en los cables de potencia de Media Tensión, porque son con los cuales se pueden manejar niveles de tensión que bordean hasta los 100 kV, ya que en nuestra región (Sudamérica), no contamos con niveles de tensión mayores, consideradas como Alta Tensión. Hoy en día, solamente las naciones consideradas potencias mundiales cuentan con rangos de energía de Alta Tensión.

## **b) Cables eléctricos de Media Tensión**

La denominación de los conductores eléctricos de media tensión es por la inclusión de un mayor rango de clasificación, debido al aumento de los niveles de tensión, ya que, en un inicio, la clasificación comprendía de baja y alta tensión porque solamente se disponía de niveles relativamente menores en cuanto a los elevados valores de voltaje que se distribuyen hoy en día.

Estos conductores de media tensión están definidos por la **Comisión Electrotécnica Internacional (IEC)**, para abordar tensiones que van de 1 kV hasta 100 kV, desde las subestaciones hasta los transformadores para la debida distribución de energía eléctrica en las ciudades. (ELAND CABLES, 2019)

Existen diversos tipos de cables de media tensión, clasificados según sus fabricantes en cuanto al material del que estén hechos, el revestimiento, el calibre, que depende del número de hilos que lo componen. En relación, a lo dicho, se derivan las clases de los conductores que indica la flexibilidad.

Dichas clases de flexibilidad de los cables concéntricos están denominadas con letras del alfabeto, en donde los CLASE AA son los cables desnudos, generalmente para líneas aéreas, siendo los menos flexibles, pasando por los CLASE A que comprenden a los cables recubiertos y algunos cables desnudos que requieren mayor flexibilidad que los de la CLASE AA, los CLASE B son los que tienen aislamiento de diferentes materiales

termoplásticos, tales como PVC, PE, XLPE, EPR, etc. Hasta llegar a los CLASE C y D que comprenden los cables flexibles concéntricos.

A continuación, mostramos la **Tabla 2.1** en donde se especifican los calibres, números de hilos conductores y clases de los cables concéntricos para Media Tensión.

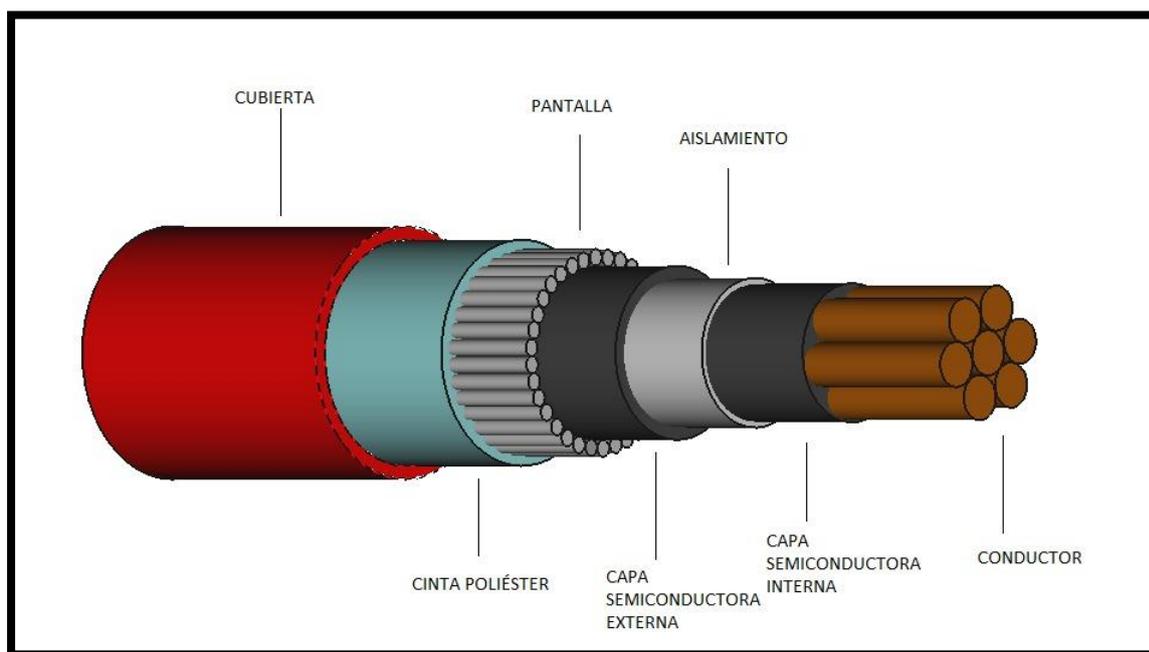
**Tabla 2.1 Lista de calibres y clases de los Cables Eléctricos de MT. (Boletín Técnico-abril 2001, CABLES TECNOLOGÍA).**

Calibre AWG ó KCMIL	Cables Concéntricos					Cables con miembros concéntricos				Cables Bunchados y con miembros Bunchados		
	AA	A	B	C	D	G		H		I	K	M
1000	37	61	61	91	127	427	61x7	703	37x19	19x7xN	37x7xN	61x7xN
900												
800												
750												
700												
650	37									19x7xN		
600												
550	19	37	37	61	91	259	37x7	427	61x7	7x7xN	37x7xN	37x7xN
500												
450												
400												
350												
300	12	19										
250												
4/0	7	7	19	37	61	133	19x7	259	37x7	19xN	7x7xN	19x7xN
3/0												
2/0	3									7xN	19xN	7x7xN
1/0												
1										7xN	19xN	19xN
2												
3										7xN	7xN	19xN
4												
5										1xN	1xN	19xN
6												
7					37	49	7x7				7xN	7xN
8												
9			7	19							1xN	7xN
10												
11											1xN	7xN
12												
14											1xN	1xN
16												
18											1xN	1xN
20												
22											1xN	1xN
24												
26												

El material más común que componen a un conductor eléctrico es el cobre, así que, los conductores que trataremos serán los cables concéntricos de **hilos de cobre**, calibre entre 1/0 a 4/0, de las CLASES AA y A.

### 2.1.1 ELEMENTOS DE LOS CABLES DE ALTA Y MEDIA TENSIÓN

Debemos diferenciar muy bien cuando vayamos a referirnos de los cables eléctricos. En la **Figura 2.2** se observan cada uno de los componentes de un cable eléctrico de Media Tensión (MT).



**Figura 2.2** Elementos constitutivos de un cable eléctrico de MT, 7 hilos, Clase A.

Todo cable eléctrico que es para propósitos grandes en cuanto a la transportación de energía nos referimos. Y es por tal motivo que debe ser fabricado con altos estándares de fabricación.

Los principales elementos constitutivos de los cables de MT son:

- **Conductores**

Son aquellos materiales que facilitan el paso de la corriente eléctrica por su poca resistencia que poseen ante dicho flujo de corriente, por tal razón es que son los ideales para la transportación de la energía eléctrica.

Son aquellos materiales que conducen la energía eléctrica a través de su integridad presentando poca resistencia al paso de la corriente, debido a esta característica son los ideales para la transmisión de la energía eléctrica en la mayoría de los escenarios posibles en donde se tenga que trabajar con electricidad.

El material comúnmente utilizado es el cobre, y en condiciones especiales se emplea el aluminio. (CENTELSA, 2008)

A continuación, se muestra una tabla con las principales características del cobre y del aluminio que se emplean en los cables para Media Tensión.

**Tabla 2.2 Características del Cobre y del Aluminio. (CENTELSA, 2008)**

		<b>COBRE SUAVE</b>	<b>ALUMINIO 1350</b>
<b>Densidad</b>	g/cm <sup>3</sup>	8,89	2,705
<b>Resistividad</b>	Ω - mm <sup>2</sup> /km	17,241	28,172
<b>Conductividad</b>	(%IACS)	100,0	61,2
<b>Tensión de Rotura</b>	MPa	220	155 - 200
<b>Elongación a Rotura</b>	%	25 - 30	1,4 - 2,3
<b>Norma ASTM (NTC)</b>		B3 (359)	B230 (360)
<b>Resistencia a la Corrosión</b>		Excelente	Buena

El cableado de un conductor estriba en la cantidad de los hilos que lo integran en una sección transversal de ducto, que va en función del calibre y los parámetros físicos, en especial, la flexibilidad.

- **Capa semiconductor Interna**

Es la que recubre el material conductor conocido como alma, va en forma reticulada y bien adherido al aislamiento. Esta capa tiene la función de distribuir óptimamente el campo eléctrico en la superficie del conductor. Es fabricada con compuestos poliméricos con alta concentración de negro de humo, que le da esa propiedad semiconductor que se requiere. (ACOMEER) (Top Cable, 2020)

- **Aislamiento**

Es el componente clave del cable eléctrico, porque es el que soportará el enorme campo eléctrico que se genera en el interior del cable conductor. Cabe recalcar que,

dependiendo del material y espesor del aislamiento empleado, se establece el nivel de tensión que puede soportar un cable eléctrico. En el caso de los cables de Media Tensión los materiales comúnmente utilizados son: (Top Cable, 2020)

- Polietileno reticulado (XLPE)
- Etileno-Propileno de alto módulo (HEPR)
- Etileno-Propileno (EPR)

- **Capa semiconductor externa**

Es la capa compuesta de polímeros con alta concentración de negro de humo para su adecuada propiedad semiconductor, que recubre por completo y adherida parcialmente al aislamiento. (Top Cable, 2020)

- **Pantalla**

Esta es la parte metálica constituida por fibras de cobre, que va en contacto con la capa semiconductor externa, recubriendo helicoidalmente a todo el cable.

- **Cinta poliéster**

Es la capa semiconductor que recubre el apantallado del cable eléctrico, que brinda la opción para la reconstrucción de la capa semiconductor de los cables apantallados al momento de realizarse un empalme, ya que tiene la propiedad de ser autofundente.

- **Cubierta**

Es el revestimiento externo que se expone al medio para proteger al cable de las circunstancias que pueden presentarse en el entorno.

## **2.1.2 EMPALMES EN CABLES ELEÉCTRICOS PARA MEDIA TENSIÓN**

Partiendo de que conocemos a la unión de dos o más cables en una instalación eléctrica como empalme eléctrico. Un empalme en los cables eléctricos de Media Tensión consiste en reconstruir por completo al cable de potencia sin dejar a ninguno de sus elementos que lo constituyen, mediante una especie de aplique que utiliza para unir al cable, que sea capaz de soportar los esfuerzos eléctricos cuando el cable fue fabricado. Para realizar dichos empalmes, se debe tener en cuenta, que el material del empalme sea compatible con los materiales constituyentes del cable que se vaya a reconstruir.

Para comprender de mejor manera qué tipo de empalmes se describen, en la **Figura 2.3**, se muestra una imagen, la cual deja en evidencia qué forma tienen estos tipos de empalmes para la restauración de los cables eléctricos de Media Tensión.

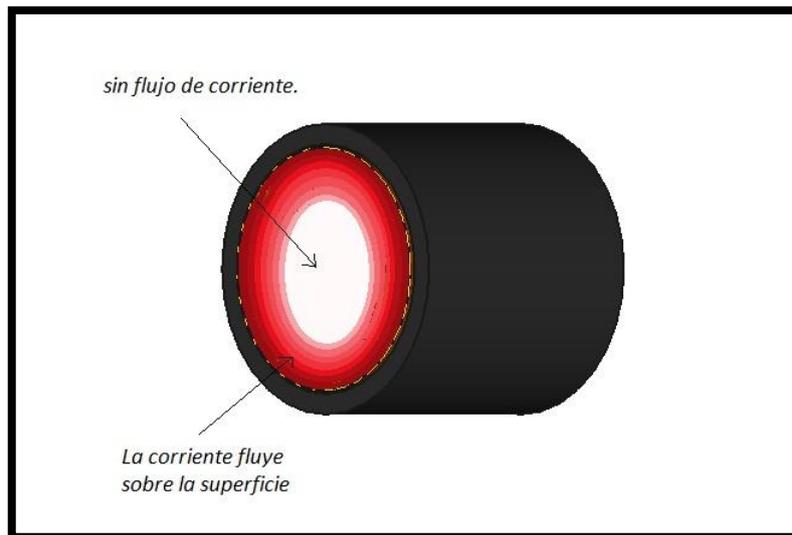


**Figura 2.3 Empalme que se suele utilizar para reconstruir a los cables de potencia (Mondragon Unibertsitatea, 2017)**

Aunque los empalmes son de gran ayuda para solucionar el problema de la ruptura de los cables de Media Tensión, no garantizan esa misma eficacia del cable cuando fue fabricado, ya que los cables de grueso calibre tienen la propiedad de experimentar el **EFFECTO PIEL**, el cual es la manifestación de la densidad de corriente en la superficie exterior del conductor y mucho más si es material macizo. (Solarpraxis, 2012)

Con un empalme, se recupera al cable, pero se pierde esa contundencia, porque contribuye a que se produzca con mayor ímpetu el llamado EFECTO PIEL, y esto no es conveniente para la distribución de energía eléctrica a grandes distancias.

Para entender mejor dicha manifestación en los conductores eléctricos, a continuación, mostramos la **Figura 2.4** que recrea este efecto pelicular.



**Figura 2.4 El Efecto Piel en un conductor de MT.**

La **Figura 2.4** ilustra el curioso efecto pelicular que se da únicamente en corriente eléctrica alterna, en donde indica que la mayor densidad se pronuncia en parte extrema del conductor (color rojo) y, en la parte central del conductor el flujo de corriente es mucho menos denso.

## **2.2 SOLDADORA DE CABLES ELÉCTRICOS**

Al hablar de soldadora de cables eléctricos, se nos viene a la mente los soldadores tipo cautín, que son comúnmente usados para soldar cables eléctricos, pero de calibre que soportan valores de voltajes considerados como “Muy Baja Tensión”, es decir, cables eléctricos que soportan hasta 240 V. Estos tipos de soldadores de conductores sirven para pequeños trabajos de soldadura en electricidad y electrónica, así que no es recomendable para la restauración de conductores que son usados para la distribución de electricidad a grandes distancias, porque estos tipos de conductores requieren una restauración contundentemente íntegra en sí.

Con lo aclarado en el párrafo anterior, entonces, se pone en conocimiento que el tipo de soldadora que se debe usar para la restauración de un cable eléctrico de MT, necesariamente, será un tipo de soldadora que alcance valores elevados de corriente entre sus electrodos, con la cual, logre la temperatura suficiente para fundir eficazmente los hilos conductores de dichos cables eléctricos de MT.

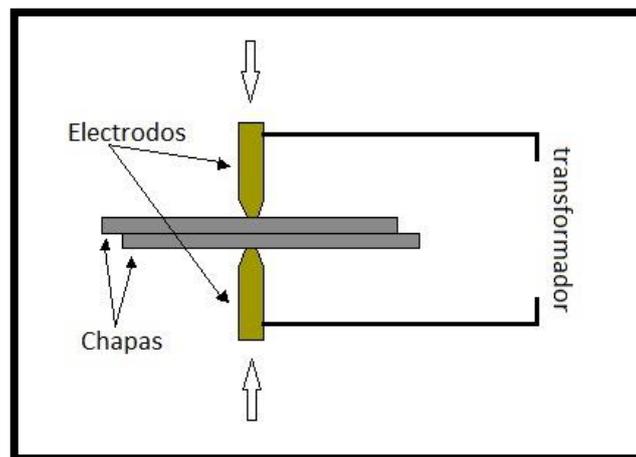
Una de las apropiadas y mejores opciones para realizar la unión de materiales conductores, es sin duda, la soldadura por puntos de resistencia.

### 2.2.1 SOLDADORA POR PUNTOS DE RESISTENCIA:

La soldadura por puntos estriba en el aprovechamiento de la resistencia de contacto de los dos materiales a soldar, corriente y tiempo empleado para lograr adherir dos piezas de un mismo material, convenientemente que tengan el mismo grosor.

#### 2.2.1.1 Funcionamiento de (sistema) la soldadora por puntos de resistencia

Esta configuración ejecuta la soldadura basándose en la aplicación de presión sobre los metales que poseen propiedades favorables para unirse al momento de ser sometidos a temperaturas cercanas a su casi fusión. Consecuentemente, lo que hace, es efectivamente, elevar a dichas temperaturas mediante un calor producido entre sus puntas, que es debido a un considerable valor de corriente en su resistencia interna. (Puntelara, 2016)



**Figura 2.5 Diagrama básico de una Soldadora Por Puntos de Resistencia. (Blog RSF Maquinaria, 2015)**

En la ilustración anterior (**Figura 2.5**), muestra el principio básico del funcionamiento de una Soldadora Por Puntos de Resistencia, que consiste en transferir calor a dos piezas de metal, ejerciendo una cierta presión a través de sus electrodos para lograr una correcta unificación.

### **2.2.1.2 PARÁMETROS DE UNA SOLDADURA POR PUNTOS DE RESISTENCIA**

A continuación, nos prestamos, a detallar los parámetros más influyentes en una soldadura por puntos de resistencias, que son:

- **Presión de apriete**

Este parámetro, aunque parezca irrelevante, realmente, se lo debe considerar esencial, ya que este tipo de soldadura depende cuanto se lo presiona al material en el instante que se está soldando. (Puntelara, 2016)

- **Intensidad de la corriente-tiempo de soldadura.**

Esta es la que proporciona el nivel de calor necesario para llevar al material que se va a soldar al estado propicio para su unificación correcta. La intensidad de corriente va estrechamente relacionada con tiempo de aplicación. Así que, para lograr una correcta soldadura, estas dos variables tienen que estar muy bien reguladas entre sí. (Puntelara, 2016)

- **Resistencia eléctrica de la unión.**

Este indicador influye mucho en la transferencia de calor al momento de la soldadura, que depende del material, específicamente metal, al cual se le está realizando el soldado. Como es conocido, todo material presenta una resistencia que se opone al paso de corriente, que es inversamente proporcional a su conductividad eléctrica. (Puntelara, 2016)

**Es importante manifestar que los parámetros a tomar muy en cuenta para realizar este tipo de soldadura son: la corriente, resistencia, presión, el calor y tiempo.**

### **2.2.1.3 VARIABLES FÍSICAS RELACIONADAS A UNA SOLDADURA POR PUNTOS DE RESISTENCIA**

Adicionalmente, también es importante analizar el fenómeno calor que es generado por este tipo de soldadura, en virtud, a lo dicho, nos tomaremos el tiempo para revisar algunos conceptos al respecto.

### **¿Qué es el calor?**

Es la transferencia de energía térmica debido a la variación ascendente de temperaturas que experimentan los cuerpos. (FISICALAB, 2019) (Serway)

**Temperatura**, no es lo mismo que decir calor. Son dos cosas distintas. Ya que, la temperatura es una variable que depende del movimiento de traslación de las moléculas de los materiales, y no una transferencia de energía como habíamos mencionado acerca del calor.

**Calor específico:** Es la cantidad de calor que se le imprime a un cuerpo para elevar un grado la temperatura, de un gramo del total de la masa.

**Calor latente:** Es la cantidad de calor que se necesita para provocar el cambio de estado de los materiales.

**Energía Calorífica:** Es la suma de las cantidades de calor que soporta un cuerpo al exponerse a cambios ascendentes de temperaturas.

### **¿Qué es el efecto Joule?**

Es el calor que se manifiesta debido a la transformación de la energía cinética ocasionada por el impacto de la corriente eléctrica contra las moléculas de un material conductor por el que circula aumentando la temperatura de este. (Muñoz) (EcuRed, n.d.)

#### **2.2.1.4 VENTAJAS DE UNA SOLDADURA POR PUNTOS DE RESISTENCIA**

Las ventajas más relevantes que dispone este sistema son:

- Una soldadura uniformemente homogénea, sin agrietamientos ni porosidad en la zona fundida de los materiales unidos entre sí.
- Precisión en el nivel de calor aplicado en sus electrodos para así evitar alteraciones en la estructura del material que se suelde.
- A diferencia de los soldadores tipo cautín que requieren de estaño y pasta fundente para soldar; así como de la soldadora exotérmica que requiere un poco de pólvora para la fusión, este tipo de soldadura NO se requiere material externo para soldar a los conductores.

## 2.3 SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO BASADOS EN SUPERCAPACITORES

La necesidad de almacenar energía surge al momento de disponer de sistemas que requieren niveles considerables de energía para realizar operaciones que consumen elevadas cantidades de potencias.

Hoy en día existen una amplia gama de dispositivos que cumplen la función de almacenar energía.

Los supercapacitores son una alternativa para paliar esta necesidad de almacenamiento de energía, en mejor manera que lo hacen los condensadores comunes, por su mayor capacidad de acaparamiento de energía eléctrica. (Guachamin, 2017)

## 2.4 SUPERCAPACITORES

Son dispositivos que tienen el mismo funcionamiento de un capacitor electrolítico a gran escala, con miles de veces mayor capacidad en almacenamiento de energía eléctrica, porque pueden lograr almacenar grandes densidades de energía a través de sus pares de placas conductoras separadas por un medio dieléctrico, que los componen internamente, capaces de cargarse y descargarse en brevísimos intervalos de tiempo.

La capacidad de almacenamiento de estos dispositivos es principalmente en función del área de las placas que lo componen internamente. Su capacidad, suele aumentarse con el incremento de la rugosidad e inclusive, con agregarle porosidad a dichas placas. De hecho, próximamente, aparecerán los supercapacitores con materiales gráfiticos en forma de nanotubos. (Gil Mera)

En consecuencia, la densidad de energía es debido al almacenamiento por el volumen del mismo dispositivo, la cual se mide volumétricamente en vatios-horas por litro (Wh/l). Es importante aclarar que estos elementos poseen una baja resistencia interna, con lo cual, es que pueden alcanzar grandes densidades de potencia, como se puede expresar en la siguiente expresión matemática:

$$P_{max} = \frac{1 V^2}{4 (ESR)}$$

Donde:

$P_{max}$ : Potencia máxima del supercapacitor

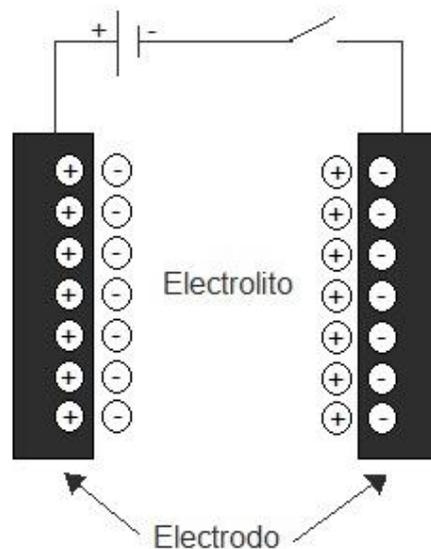
$V$ : Voltaje del supercapacitor

$ESR$ : Resistencia interna total del supercapacitor

### 2.4.1.1 FUNCIONAMIENTO BÁSICO DE LOS SUPERCAPACITORES

Estos dispositivos son muy parecidos a los condensadores convencionales, a diferencia de los condensadores comunes, que están formados por dos placas electrolíticas separadas entre por un material dieléctrico; los supercondensadores tienen sus electrodos recubiertos por un material poroso, que facilita el aumento del área de las placas y, por ende, la capacidad en el mismo. (Pérez Lobo & Lillo Bravo, 2016)

Los electrodos de un supercapacitor tienen impregnado en sus poros un líquido electrolítico de tipo acuoso u orgánico, protegidos por una membrana ion-permeable, que está como aislante protector de dichos electrodos del cortocircuito. El material electrolítico, es el que conecta a las placas a través del separador cuando hay la presencia de un campo eléctrico en el supercapacitor, produciendo la diferencia de potencial. Y es esta diferencia de potencial junto a las características propias de este tipo de configuraciones, es lo que consigue almacenar capacidades energéticas mucho mayores a los capacitores normales. En la **Figura 2.6**, se muestra el indicio del funcionamiento más simple de un supercapacitor.



**Figura 2.6** Principio básico de funcionamiento de un supercapacitor.

Así que, el funcionamiento es cuando empieza a haber una diferencia de potencial ocasionado por la conexión de un campo eléctrico entre sus dos electrodos. Esta diferencia de potencial hace que el medio dieléctrico se polarice, dando lugar al característico almacenamiento de energía que tienen los condensadores normales.

#### **2.4.1.1.1 PRINCIPIO DE ALMACENAMIENTO EN LOS SUPERCAPACITORES**

Partiendo de la premisa que los supercapacitores ostentan la gran característica del efecto de doble capa, hace aumentar la capacidad de almacenamiento en un orden mucho mayor que los capacitores normales.

El efecto de doble capa, se da gracias a la integración de **doble carga interfacial** y **pseudocapacidad** presentes en la interfase electrodo-electrolito del supercondensador.

A continuación, citamos las definiciones de estos dos tipos de almacenamientos descritos en el documento pag. 39, cap 3 del proyecto “**ESTUDIO DE LOS SUPERCONDENSADORES Y SU VIABILIDAD COMO SISTEMA DE ALMACENAMIENTO ENERGÉTICO EN INSTALCIONES FOTOVOLTAICAS**”, de Eva Clara Pérez Lobo, que reza así:

<<**Doble carga interfacial**, almacena la energía electrostática producida por la separación de carga en la capa de Helmholtz.

**Pseudocapacidad**, almacenamiento electrolítico de la energía obtenida mediante reacciones rédox farádicas (con transferencia de carga) entre el electrodo y electrolito>>

#### **2.4.1.1.2 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LOS SUPERCAPACITORES**

Entre las características más notables de estos dispositivos, se destacan la capacidad, la tensión máxima, la resistencia interna, la corriente máxima, la corriente nominal, la de autodescarga, la energía específica y la potencia específica.

- **Capacidad:** Es una cantidad de carga medida en faradios mucho más grande que los capacitores convencionales, ya que, es adquirida mediante los procesos de doble carga interfacial y pseudocapacidad que poseen los supercapacitores.
- **Tensión máxima:** Los niveles de voltaje en estos dispositivos, son muy bajos en comparación a voltajes máximos que podrían exponerse los capacitores comunes. No

obstante, pueden soportar cambios de tensión muchos mayores en relación, a las baterías, en otras palabras, debido al alto grado de tolerancia a cambios bruscos de voltajes, estos pueden brindar todo su potencial nominal sin sufrir degradación.

- **Resistencia interna:** Es el parámetro que presentan los supercapacitores durante la carga y descarga, dependiente del tiempo que dure el atravesamiento de las cargas del electrolito a la membrana del separador interno que tienen estos dispositivos.
- **Corriente máxima:** El valor pico al cual puede alcanzar un supercapacitor, es muy significativo.
- **Energía específica:** Es la cantidad de energía almacenada por masa del supercondensador que se mide en (Wh/kg) que, por lo general, comprende un rango de 1 a 30 Wh/kg.
- **Potencia específica:** Es mucho mayor comparada a la de las baterías.
- **Esperanza de vida:** Esta es una de las características que lo hace mejor útil comparado con los otros dispositivos de almacenamiento como son las baterías, ya que estos dispositivos, dependen en gran parte de la rapidez de evaporación del electrolito que están compuestos.

#### **2.4.1.1.3 TIPOS DE SUPERCAPACITORES**

Hay diferentes maneras de clasificar a los supercapacitores, sin embargo, muchas veces se los definen por el tipo de almacenamiento en cuanto a su composición del material dieléctrico para su constitución.

En la figura mostrada a continuación (**Figura 2.7**), se aprecia un resumen de cómo se los puede clasificar a estos elementos electrónicos.

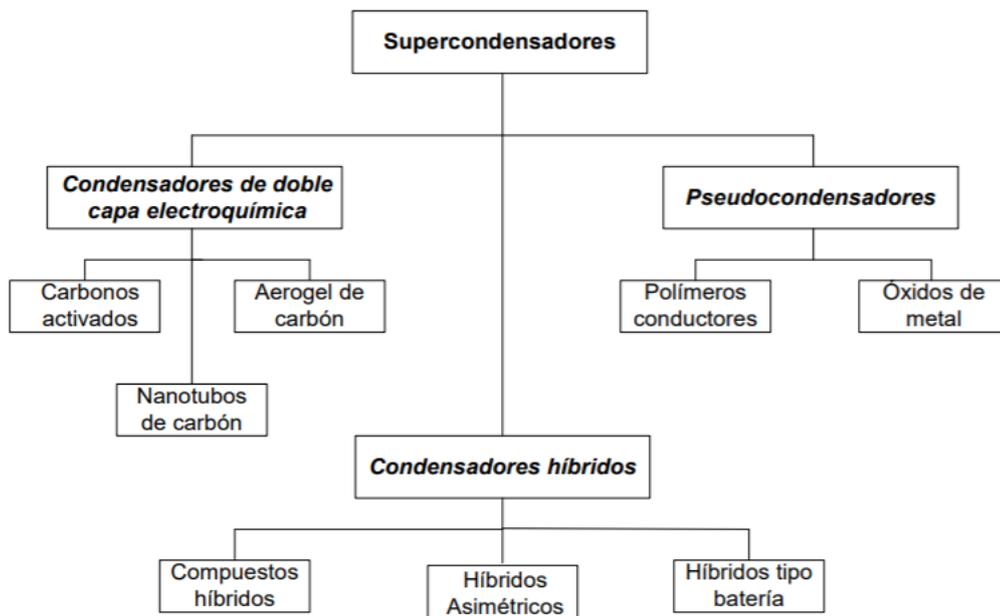
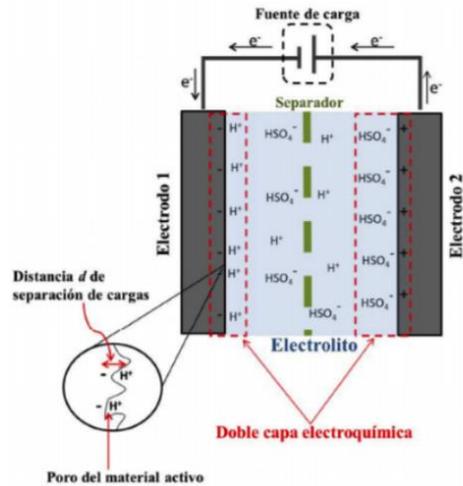


Figura 2.7 Clasificación de los supercapacitores. (Martín Hernández, 2014)

La clasificación mostrada en la figura anterior es referente a con qué material se fabrican los electrodos de los supercapacitores.

- **Condensadores Electroquímicos de Doble Capa Eléctrica (EDLC):** Son los más clásicos en cuanto a supercapacitores se puede mencionar, también conocidos como ultracapacitor, están constituido con materiales de carbono altamente poroso; dando lugar el efecto de la doble carga interfacial para almacenar energía. La **Figura 2.8** muestra la configuración de cómo es la constitución de un supercapacitor electroquímico de doble cara. (Méndez, Arrobo, & Morocho, 2020)



**Figura 2.8 Estructura interna de un supercapacitor electroquímico de doble cara.**  
(Méndez, Arrobo, & Morocho, 2020)

Este tipo de supercapacitor aprovecha la proporción del área de sus electrodos para recolectar la mayor cantidad de iones en su interfase electrodo-electrolito.

El material más utilizado para la fabricación de estos ejemplares es sin duda, el carbón activo. Pero existen otros materiales que también ofrecen propiedades viables para este tipo de configuración. Entre esos materiales son los aerogeles de carbono, los nanotubos de carbono, el grafeno y los carbones derivados de carburos.

- **Los Pseudocondensadores:** Estos son estructurados con polímeros conductores, como el dióxido de manganeso en su gran mayoría. En la descarga y recarga en estos tipos de supercondensadores la pseudocapacidad es la que mayormente se manifiesta al momento de manejar la energía. Es importante resaltar que dicha pseudocapacidad va de la mano con el efecto de la doble capa.

Debido a los materiales que se utilizan para la constitución de los electrodos en estos tipos de supercapacitores, se los subdividen en:

- **Supercapacitores basados en materiales polímeros** que poseen una alta pseudocapacitancia, buena conductividad eléctrica.
- **Supercapacitores basados en compuestos metal-óxidos** son los que presentan una alta conductividad, capaz de generar una pseudocapacitancia cuando está en el proceso de cargado.

- **Supercapacitores híbridos** Es la combinación de los procesos farádicos de los pseudocapacitores con los procesos no farádicos de los de doble capa eléctrica, para almacenar energía, y logrando una mejor optimización del manejo de dicha energía almacenada.

#### 2.4.1.1.4 APLICACIONES DE LOS SUPERCAPACITORES

Por las grandes ventajas que brindan estos dispositivos, ya sean por manejar altos valores de voltaje, grandes picos de corrientes, altos rangos de temperatura, la facilidad de carga y descarga en ciclos muy cortos, como las principales, es que se le puede dar a aplicaciones de gran interés en el campo de la electrónica de potencia, tales como:

**Suavización de energía**, por la gran capacidad que tienen para absorber energía rápidamente. (SOLOELECTRONICOS.com, 2017)

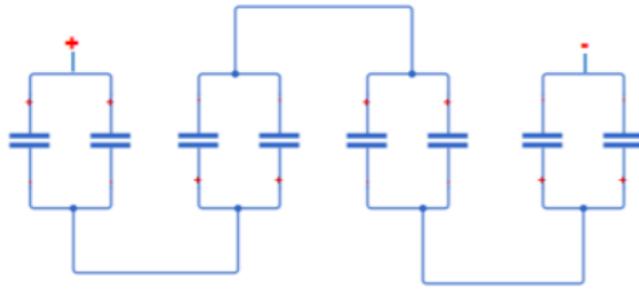
**Automóviles híbridos**, por la facilidad para cargarse y esto complementaría al sistema de la batería que tienen los vehículos. (SOLOELECTRONICOS.com, 2017)

**Apoyo energético**, para proyectos en donde se requiera altas y bajas descargas de energía, regulaciones precisas de energías suministradas y una gran capacidad de almacenamiento de energía. (SOLOELECTRONICOS.com, 2017) (Twenergy, 2019)

- **En sistemas de energía solares** en donde se necesita estabilizar la tensión generada por las fotoceldas.
- **Sistemas de transferencia de potencia**, para controlar los picos de voltajes, ya que con los supercapacitores se puede estabilizar la corriente con menores picos de tensión.

#### 2.4.2 BANCO DE SUPERCAPACITORES

Un arreglo conformado por supercapacitores conectados en serie y paralelo da forma a la configuración conocida como **banco de supercapacitores** para lograr elevar el incremento de voltaje y almacenaje de energía.



**Figura 2.9 Conexión serie-paralelo de supercapacitores. (Guachamin, 2017)**

Realizar conexiones de varios supercapacitores en serie, soluciona el inconveniente que la mayoría de los sistemas de potencia presentan con los niveles de voltajes pequeños que puede entregar un solo supercapacitor, ya que dichos sistemas requieren niveles de voltajes elevados.

En cambio, con la conexión en paralelo de varios supercapacitores, se logra obtener niveles de capacitancias, que sirve para poder entregar grandes picos de corrientes que se requieren en los sistemas de electrónica de potencia.

## **2.5 SISTEMA DE ALMACENAMIENTO MEDIANTE BATERÍAS**

Las baterías son uno de los sistemas de almacenamiento de energía más comunes y económicos que existen en la vida cotidiana.

Estos sistemas se basan en procedimientos electroquímicos que son capaces de entregar casi completamente toda la energía que se haya almacenado, y pueden hacerlo por repetidas veces hasta cumplir su ciclo de vida útil.

El principio de funcionamiento de las baterías se basa en el proceso reversible conocido como reducción-oxidación (proceso químico en donde uno de los componentes presentes en la reacción sufre la pérdida de electrones al oxidarse, y otro, gana al reducirse). Esto es por causa de la aplicación de una corriente externa. (Estévez Irizar, Varela Cuadrado, & Iturritxa Zubiri, 2008)

### **2.5.1 DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LAS BATERÍAS**

Una batería es un dispositivo que recolecta energía de manera electroquímica para suministrar potencia en corriente directa a elementos de control protección o señalización

que requiera un sistema electrónico. Se clasifican en dos grupos: baterías primarias y baterías secundarias. (Vergara)

**Baterías primarias:** Son las que realizan la conversión de energía química a eléctrica de una manera irreversible, es decir, una vez que este tipo de colector se haya descargado ya no podrá ser cargada. (Vergara)

**Baterías secundarias:** Estas son las que hacen la conversión de energía química a eléctrica de una manera reversible, ya que estas, al descargarse, si pueden volver a cargarse mediante la aplicación de una corriente continua externa. (Vergara)

## 2.5.2 TIPOS DE BATERÍAS

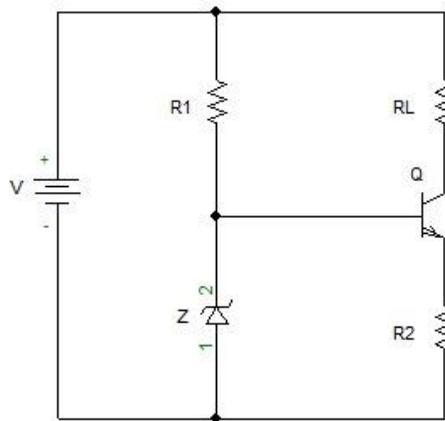
Los tipos de baterías más usados son: (Vergara)

- Batería de Ión-Litio
- Batería de Plomo-Ácido
- Batería de Níquel-Cadmio
- Batería de Polímero-Litio

## 2.6 FUENTE DE CORRIENTE CONSTANTE

Es un tipo de fuente que sin importar qué cargas se conecten dentro de sus límites, entregará un voltaje tal que la carga consuma una corriente constante. Es decir que, si se le conecta una resistencia de valor determinado a esta fuente, no importa qué valor tenga esa resistencia, ya que esta fuente ajusta el voltaje para que por dicha resistencia pase la corriente que se desea. Aunque la resistencia puede ser reemplazada por otras cargas. (Tutoriales de electrónica básica) (Institute NCB)

En la **Figura 2.10** ilustramos una configuración básica de cómo se logra tener una fuente de corriente constante.



**Figura 2.10 Diagrama básico de una fuente de corriente constante. (Institute NCB)**

Estos tipos fuentes, son las que mantienen el nivel de corriente a pesar de que exista variación de la tensión de alimentación o la resistencia de una carga conectada en un sistema electrónico.

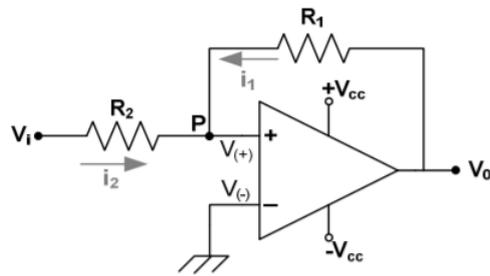
## 2.7 CONTROLADORES DE VOLTAJES POR HISTÉRESIS

Son circuitos electrónicos comparadores que por lo general están configurados con amplificadores operacionales (OPAMP'S), retroalimentados positivamente, los cuales operan con un rango de voltaje entre  $+V_{cc}$  y  $-V_{cc}$ .

En este tipo de configuración, el principal componente es el OPAMP, ya que, con dicho elemento realimentado positivamente, provoca una especie de inestabilidad para consecuentemente saturar su salida con cualquiera de sus dos valores de tensión de alimentación de dicho amplificador. (Edisciplinas)

Como en todo circuito electrónico, siempre existirán variaciones de tensión, ya sea por las caídas de voltaje propias de una red u otras variantes. Y en estos tipos de circuitos en donde se requiere hacer ajustes de nivel de tensión, no es la excepción cuando de variación de tensión nos referimos.

Para muestra, en la **Figura 2.11**, presentamos una configuración básica de comparador por histéresis.



**Figura 2.11 Configuración de un comparador de voltaje por histéresis. (Edisciplinas)**

En electrónica, es común utilizar un amplificador operacional para un circuito comparador.

## 2.8 EL TRANSISTOR IGBT.

Es un elemento semiconductor muy utilizado en los sistemas de potencia ya que soporta niveles de corrientes elevadas, teniendo gran uso como un transistor de potencia, para el presente proyecto se puede lograr una mayor calidad de soldadura de forma más eficaz, manejando grandes cantidades de corriente con una gran eficiencia energética.

La forma de disparar estos dispositivos dependerá del tipo de control que se realice y, dependiendo de este, se elegirá la arquitectura correspondiente.

Son dispositivos con capacitancias intrínsecas por lo que es necesario colocar resistencias para que así puedan descargarse.

Además, cabe destacar que estos tipos de dispositivos sobresalen por su peso reducido de la fuente de energía.

Si se emplean en modelos máquinas soldadoras muchos más sofisticadas, estos elementos brindan esa posibilidad de programar los ciclos de soldadura.

## 2.9 EL PWM

La modulación por ancho de pulso, conocido como PWM, es una técnica muy utilizada para regular el voltaje promedio para de esa manera poder variar el voltaje de un motor DC, así como poder cargar la batería de un cualquier sistema electrónica de potencia. Esta técnica consiste en modificar el ciclo de trabajo de una señal periódica, siendo generalmente senoidal o cuadrada. Por medio de esta técnica se puede transmitir información, se puede realizar controles de nivel de energía a una carga.

En los dispositivos más modernos como son los controladores de carga solares, se usan la técnica de PWM para garantizar de manera efectiva la carga y descarga de las baterías de un sistema fotovoltaico.

## 2.10 FUENTES DE ENERGÍA FOTOVOLTAICAS

Son sistemas que obtienen directamente la electricidad a partir de la radiación solar gracias al empleo de paneles fotovoltaicos, que cuentan con células o celdas de silicio tipo cristalino que transforman la luz y calor del sol en electricidad.

En estos tipos de configuraciones, se aprovecha el efecto fotovoltaico para la producir la energía eléctrica por medio de las celdas fotovoltaicas.

Estas fuentes de energía cuentan con tres elementos básicos para su óptimo funcionamiento:

**PANELES SOLARES:** Son agrupaciones de varias celdas fotovoltaicas apiladas entre capas de silicio, encargadas de la captación de la radiación solar para transformar los fotones en energía eléctrica. (Iberdrola, 2020)

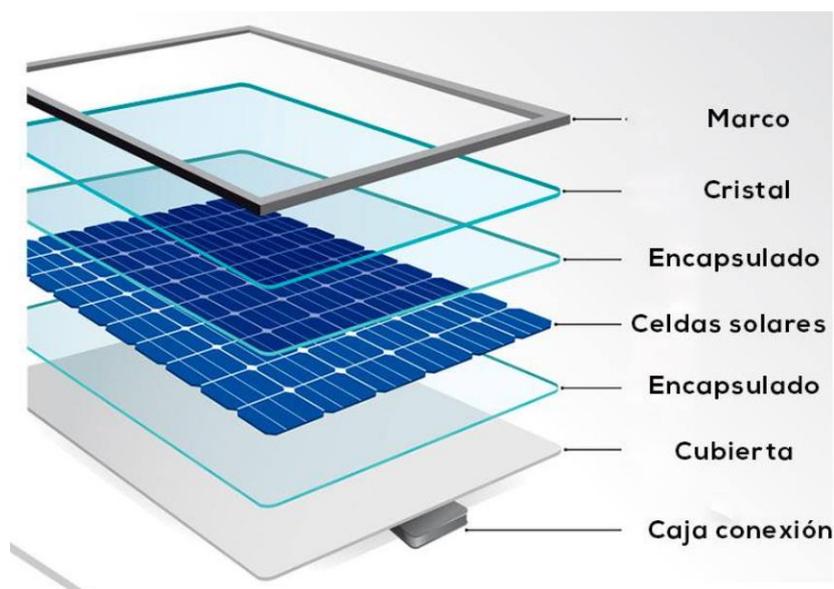


Figura 2.12 Partes constitutivas de un panel solar. (Paneles solares KDS Energía, 2018)  
(Tecnología, n.d.)

**Inversor:** Es el dispositivo encargado de convertir la corriente eléctrica continua, producida por los paneles en corriente alterna. (Iberdrola, 2020)

**Transformador:** Son los elementos empleados en este tipo de sistemas para elevar los niveles de corrientes producidos por el inversor de baja tensión. (Iberdrola, 2020)

### **2.10.1 TIPOS DE PLANTAS FOTOVOLTAICAS**

Son dos tipos de plantas fotovoltaicas, que son:

**Instalaciones conectadas a una red eléctrica:** Son las que consiste en la instalación de un campo fotovoltaico y un inversor dotado para poder transformar la energía suministrada por los paneles y, por ende, contribuir a la red eléctrica.

**Instalaciones Aisladas:** son las que se emplean exclusivamente en lugares en donde no hay acceso a una red eléctrica.

### **2.11 REGULADOR DE CARGA SOLAR (MPPT)**

Estos dispositivos son empleados para regular la carga en sistemas fotovoltaicos, que adicionalmente dispone de un convertidor de voltaje DC-DC y un seguidor del punto de máxima potencia. Con este elemento se consigue que los paneles solares rindan de una manera más provechosa. (TRITEC INTERVENTO, 2020)

He aquí, mostramos en la **Figura 2.13** un diagrama básico de un sistema fotovoltaico con un MPPT.

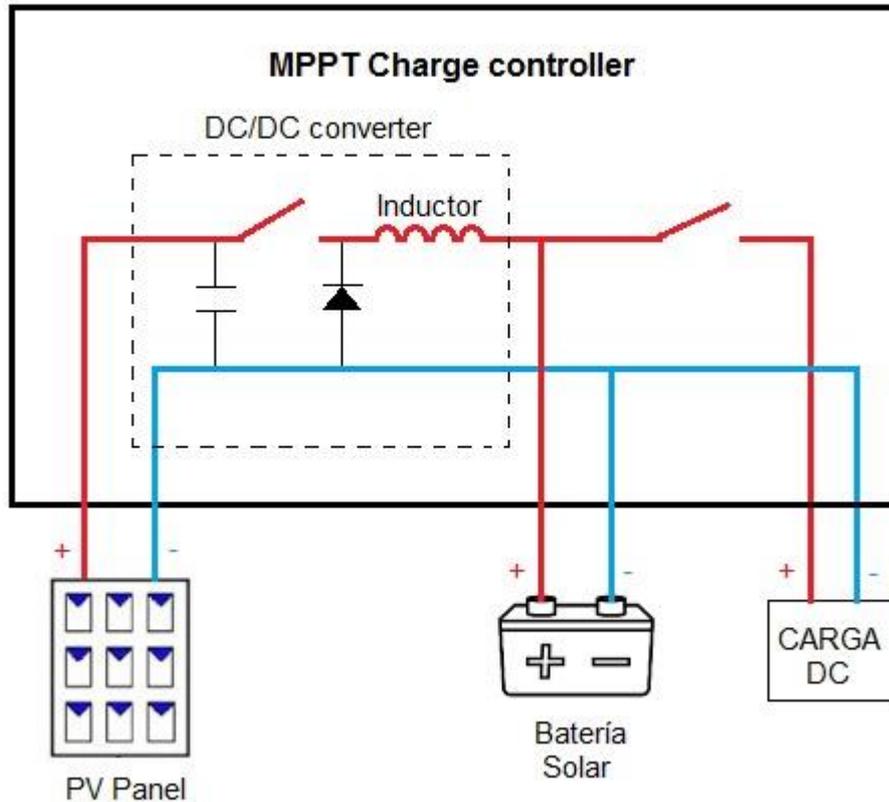


Figura 2.13 Controlador MMPT en un sistema fotovoltaico. (Nomo Group, 2019)

En todos los sistemas fotovoltaicos es muy recomendable el empleo del controlador MMPT para garantizar un óptimo rendimiento de dichos sistemas.

## 2.12 ARDUINO

Es una tarjeta electrónica con componentes necesarios para hacer funcionar a un microprocesador y comunicación con un ordenador conectándole periféricos a sus entradas y salidas. Dicha configuración la realiza mediante el uso de lenguaje de programación CC+. (MCI electronics, 2020)

Para tener una clara idea de cómo es una de estas tarjetas complementaria, mostramos la **Figura 2.14**, como sigue:

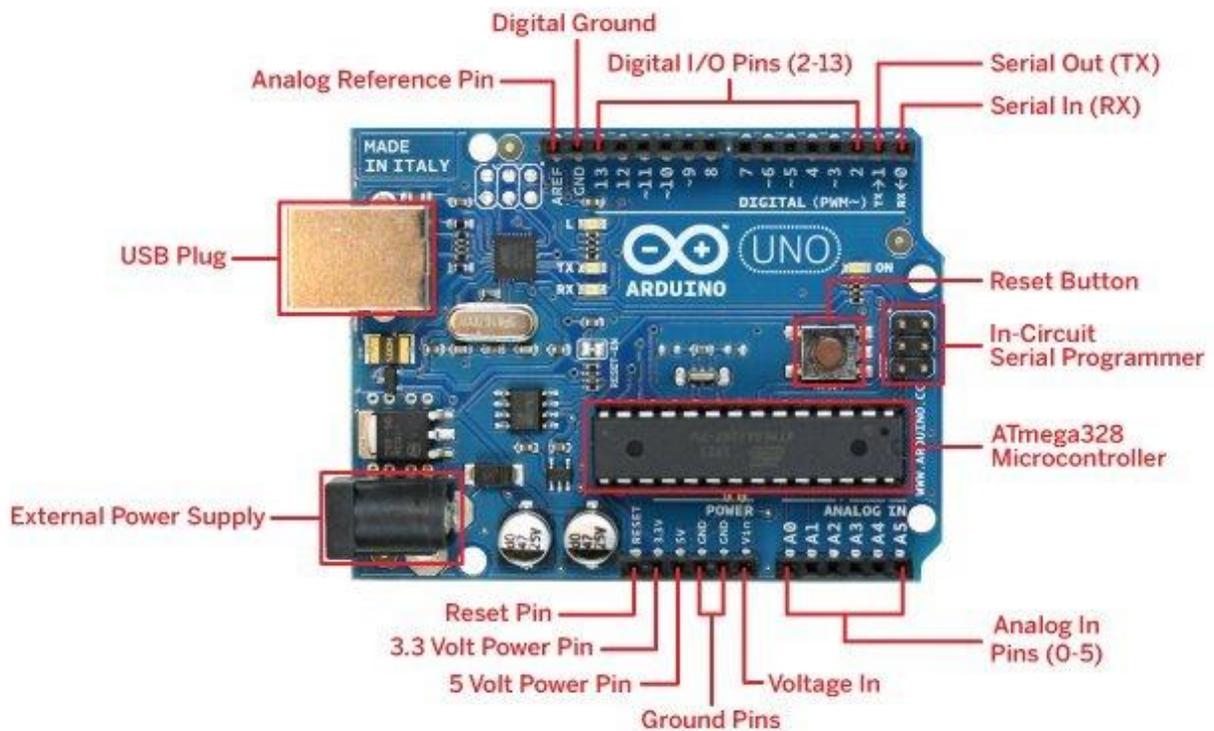


Figura 2.14 El ARDUINO UNO y sus periféricos. (Aprendiendo Arduino, 2016)

### 2.12.1 Funciones del ARDUINO

En resumidas cuentas, cuenta con tres factores:

**La Interfaz de Entrada.** Esta puede estar directamente unida a los periféricos, o conectarse a ellos a través de puertos. La Interfaz de entrada tiene como objetivo trasladar la información al microcontrolador. Esta interfase, se encarga de procesar los datos que se le ingrese a la placa. (BeJob, 2017)

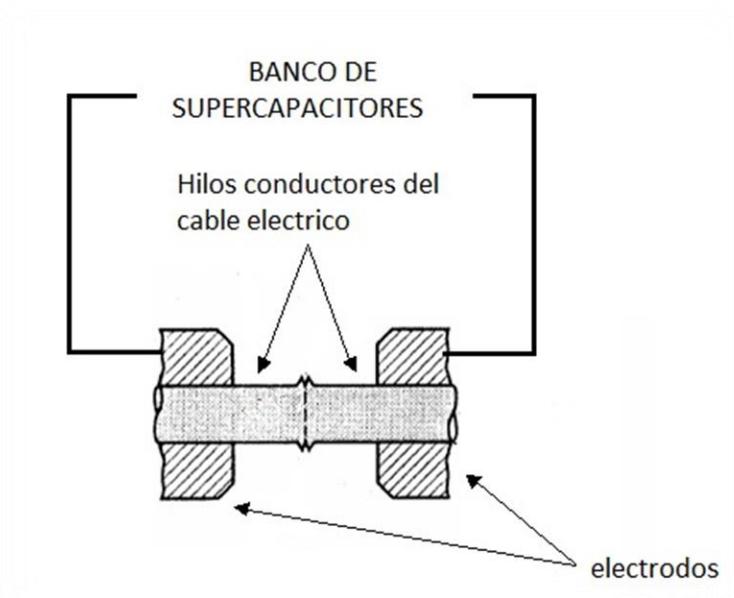
**La interfaz de Salida.** Es la que se encarga de hacer llegar la información procesada a los periféricos admitidos para hacer el uso final de dichos datos procesados. (BeJob, 2017)

# CAPÍTULO 3

## 3. METODOLOGÍA

Como nos hemos planteado diseñar una máquina soldadora distinta a las convencionales, con elementos revolucionarios; realizaremos el diseño de una Soldadora de Cables Eléctricos mediante el uso de SUPERCAPACITORES alimentado por una fuente fotovoltaica, basándonos en los parámetros que se requieren en una **Soldadora por Puntos de Resistencia**, con la diferencia de que su parte constitutiva, no emplearemos todos los elementos que comúnmente componen a este tipo de máquinas soldadoras, ya que, en vez de usar el habitual transformador para la conversión de la energía, lo haremos con un **arreglo de supercapacitores** para dicho cometido. Además, el sistema de alimentación será con un sistema fotovoltaico, complementado con una batería de almacenamiento energético, para de esta manera, no tener que recurrir a una fuente de alimentación externa.

A continuación, nos permitimos mostrar un bosquejo del diagrama de nuestra propuesta con la siguiente ilustración (**Figura 3.1**):



**Figura 3.1** Diagrama básico de la soldadora con banco de supercapacitores.

Como se puede apreciar en la **Figura 3.1**, hemos recreado un diagrama de la soldadora con el banco de supercondensadores, resaltando los terminales donde van los electrodos de la máquina que queremos diseñar, ya que es ahí en donde se hallan los puntos críticos al momento de ejecutar una soldadura.

Ahora bien, para elaborar nuestro propio diseño de una máquina que suelde cables eléctricos, constituida en la manera como lo acabamos de mencionar; empezamos por realizar todos los cálculos pertinentes desde los elementos a utilizar en la soldadora, tales como, la resistencia para soldadura, el banco de supercapacitores, el controlador de voltaje y el sistema fotovoltaico de alimentación con el que contará nuestra soldadora, para determinar sus debidos dimensionamientos de cada uno de estos.

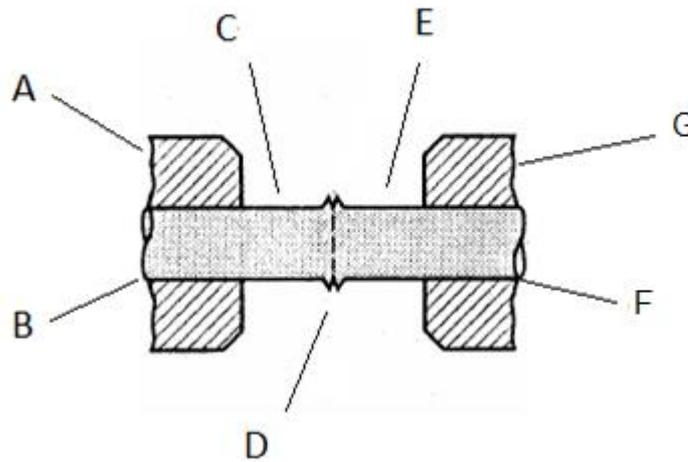
Cabe recalcar, que realizaremos todos los cálculos, para un prototipo de máquina soldadora que podrá ser utilizada para soldar cables eléctricos de Media Tensión, calibres entre 1/0 a 4/0, de las CLASES AA y A, también conocidos con la denominación CLASES 1 y 2, según la **Comisión Electrotécnica Internacional (IEC)**.

### **3.1 CÁLCULOS Y DIMENSIONAMIENTOS DE LOS ELEMENTOS A UTILIZAR EN LA SOLDADORA**

Empezamos con el análisis y cálculos de los principales parámetros que se requieren en una soldadora por puntos de resistencia, que en el capítulo anterior las detallamos. Es así, que los primeros parámetros a calcular serán la intensidad de corriente en función del tiempo para soldadura, la resistencia eléctrica de unión y la presión de apriete en los electrodos.

La corriente que circula a través de todo el circuito es la misma debido a que todas sus resistencias están en serie, no obstante, el calor en cada punto será proporcional a la resistencia de la, misma, según el **Efecto Joule**.

Efectivamente, hay que tener implícitamente en cuenta, al fenómeno físico conocido como calor, para poder realizar exhaustivamente el cálculo de la corriente que se necesitará nuestro diseño. En tanto, procedemos, con una ilustración en la **Figura 3.2**, donde detallamos los principales puntos en donde se va a estar presente el calor.



**Figura 3.2 Puntos principales de generación de calor entre los electrodos de la soldadora y el material conductor. (Nacimba Nacimba, 2011)**

Todos los puntos de disipación de calor en el área de soldado, se encuentra ilustradas en la figura de arriba, en total son 7 resistencias contando las piezas, los electrodos y las juntas.

En donde:

A: Resistencia del electrodo izquierdo.

B: Resistencia de la junta entre el electrodo izquierdo y la primera pieza.

C: Resistencia de la primera pieza (hilo de cobre).

D: Resistencia de la junta entre las dos piezas (hilos conductores) a soldar.

E: Resistencia de la segunda pieza (hilo de cobre).

F: Resistencia de la junta de la segunda pieza y el electrodo derecho.

G: Resistencia del electrodo derecho.

El calor producido en dicha área a soldar es generado por la resistencia de contacto entre los dos alambres de cobre debido al **Efecto Joule** que es proporcional a la resistencia de contacto, al cuadrado de la corriente y al tiempo de soldado, entonces, la ecuación

con la que nos vamos a valer para calcular la corriente de soldadura es la **Ecuación del Efecto Joule (3.1)**, expresada así:

$$Q = \int_0^t I^2 * R * dt \quad (3.1)$$

Q: Calor desarrollado [*Joule*]

I: Corriente que circula en la soldadura [*A*]

R: Resistencia de soldadura [*ohmios*]

dt: Tiempo de la forja del soldado [*s*]

Cabe recalcar que el calor es generado en todas las resistencias del circuito, pero es en el punto de contacto donde se generará más rápidamente el punto de fusión, por lo mencionado anterior del Efecto Joule.

Para saber la cantidad de calor necesaria para llevar al punto de fusión los materiales a soldar (en este caso los cables) requeriremos de la siguiente **Ecuación de Calorimetría**:

$$Q = mC_d\Delta T + mL_f \quad (3.2)$$

Donde  $mC_d\Delta T$  es el calor cuando se eleva una masa  $m$  a la temperatura final requerida que es la temperatura de fusión del cobre y  $mL_f$  es el calor necesario para que una masa  $m$  cambie de estado sólido a líquido.

$$\Delta T = T - T_o \quad (3.3)$$

Teniendo en cuenta que:

$m$ : Masa que se desea fundir [*g*]

$C_d$ : Calor específico del material [ $J \cdot g^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$ ]

$T$ : Temperatura final (fusión) [ $^\circ C$ ]

$T_o$ : Temperatura inicial que se encuentra el material [ $^\circ C$ ]

$L_f$ : Calor latente de fusión [ $J/g$ ]

Para el cálculo de la masa de la porción de cable a soldar se utilizará la **Ecuación de densidad** que involucra la masa y el volumen.

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (3.4)$$

Despejando la masa de la ecuación (3.4):

$$m = \rho * v \quad (3.5)$$

Donde:

$\rho$ : Densidad del material  $[\frac{g}{mm^2}]$

$m$ : Masa de sección que será fundida  $[g]$

$v$ : Volumen de la sección que será fundida  $[mm^3]$

Continuando el análisis de cada variable de la ecuación (3.1).

La resistencia  $R$  de la **ecuación (3.1)** es un equivalente en serie de todas las resistencias de los materiales involucrados por donde pasa la corriente y las juntas entre estas.

La resistencia eléctrica en la soldadura consta de 7 en total:

$$R = R_A + R_B + R_C + R_D + R_E + R_F + R_G \quad (3.6)$$

Para el cálculo en ohmios de las resistencias  $R_C$  y  $R_E$  de la sección del conductor a ser soldada, utilizaremos la ecuación de resistencia eléctrica de un conductor cilíndrico que está expresado por el producto de rho ( $\rho$ ) que es la resistividad del tipo de material, la longitud ( $L$ ) del conductor cilíndrico y el área transversal ( $A$ ):

$$R = R_o \frac{l}{A} \quad (3.7)$$

Donde:

$R_o$ : Resistividad del material  $[\Omega * m]$

$l$ : Longitud del cable  $[m]$

$A$ : Sección transversal del cable  $[m^2]$

La resistencia entre la junta de los dos hilos conductores a soldar es un factor muy importante ya que es donde el calor generado por la corriente se va a disipar más. Esta resistencia depende del material conductor, el estado de la superficie y la presión empleada entre ellas.

Para el cálculo de estas resistencias de contacto se eligió el siguiente modelado presentado por **Zwolsman (ecuación 3.8)**:

$$R_c = \frac{R_o}{2} \sqrt{\frac{\pi H_b (T_v - T)}{3 F (T_v - T_k)}} \left( \frac{T}{T_k} \right) \quad (3.8) \text{ (Song, 2003)}$$

Donde;

$R_c$ : La resistencia de contacto [ohmios]

$R_o$ : La resistividad global del material [ohmios- m]

$H_b$ : La dureza Brinell a temperatura ambiente [N/m<sup>2</sup>]

$F$ : La fuerza [N]

$T$ : Temperatura [K]

$T_v$ : Temperatura de ablandamiento [K]

$T_k$ : Temperatura ambiente [K]

Para apreciar mejor estos valores de resistencia se graficó mediante *SCILAB*, la curva de resistencia de contacto vs la fuerza:

Código para graficar la curva  **$R_c$  vs  $F$**

```
function Rc=f(F)
    rho=1.72e-8 //ohm-m
    Hb=343.232750e6 //N/m2
    T=293.15 //kelvin
    Tv=797.15 //kelvin
    Tk=293.15 //kelvin
    Rc=(rho/2)*sqrt((%pi*Hb*(Tv-T))/(3*F*(Tv-Tk)))*(T/Tk) // ohm
endfunction
```

F= 0.00001:0.0001:0.01

plot (F, f)

La gráfica que resulta del simulador se puede ver en la siguiente figura:

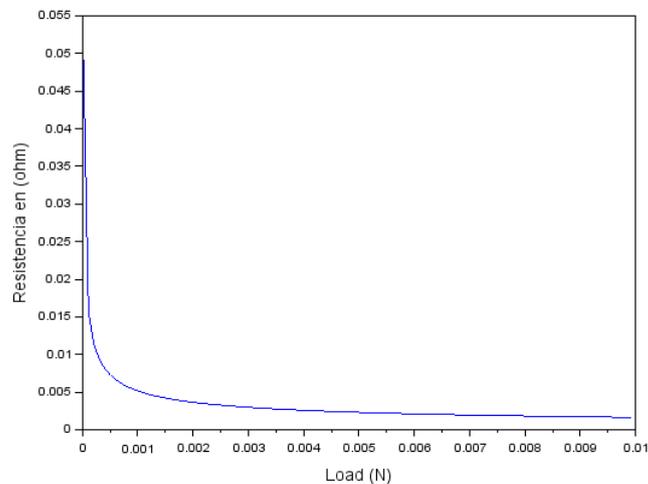


Figura 3.3 Curva de resistencia de contacto vs fuerza.

La **Figura 3.3** muestra el comportamiento de la resistencia del material al ser sometido a una fuerza de contacto que por cierto es muy mínima. Esto se debe a que la sección transversal de cada hilo del conductor es el orden de los milímetros, por ende, se requerirá una fuerza bastante mínima para lograr un soldado preciso.

### 3.1.1 Cálculo del calor requerido para soldar:

Ya que estamos considerando los parámetros para una máquina soldadora, es importante empezar con el cálculo de nivel del calor que generará entre sus electrodos para conectarlos al material que vaya a soldar.

Tabla 3.1 Constantes físicas del cobre.

	T <sub>fusión</sub> [°C]	Calor específico C <sub>d</sub> [J/g°C]	Calor latente de fusión L <sub>f</sub> [J/g]	densidad ρ [g/cm <sup>3</sup> ]	resistividad R <sub>o</sub> [Ωmm <sup>2</sup> /m]	dureza Brinell Hb [kgf/mm <sup>2</sup> ]
Cobre	1083	0.385	214	8.96	0.0171	35

Para el cálculo del calor requerido para soldar utilizaremos las **ecuaciones (3.2) y (3.3)**, y los datos de la **Tabla 3.1**

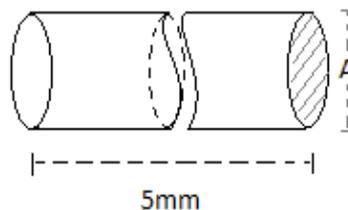
Para este tenemos los datos siguientes:

$$L = 0.5 \text{ [cm]} \quad C = 0.385 \left[ \frac{\text{J}}{\text{g}}^{\circ}\text{C} \right] \quad T_o = 30 \text{ [}^{\circ}\text{C]} \quad T = 1084 \text{ [}^{\circ}\text{C]}$$

Y tomaremos como ejemplo para el área el cable calibre 1/0. El área y # de hilos del cable es dado por el fabricante, son:  $A_{1/0} = 53.49 \text{ [(mm)}^2\text{]}$  y consta de 7 hilos.

$$\text{Área de cada hilo: } A_{\frac{c}{\text{hilo}}} = \frac{53.497 \text{ [(mm)}^2\text{]}}{7} \Rightarrow A_{\frac{c}{\text{hilo}}} = 7.64 \text{ [(mm)}^2\text{]}$$

En la figura a continuación (**Figura 3.4**), se ilustra la sección del hilo conductor que será soldado.



**Figura 3.4 Volumen del conductor a soldar.**

Dado el volumen de un cilindro que es  $V = A * L$ , reemplazamos estos valores en la **ecuación (3.5)** y obtenemos la masa de la cantidad de cable que se fundirá:

$$m = \left( \frac{8.96 \text{ g}}{\text{cm}^3} \right) (0.0764 \text{ cm}^2) (0.5 \text{ cm})$$

$$m = 0.3422 \text{ [g]}$$

Usamos las **ecuaciones (3.2) y (3.3)** para calcular el calor necesario para fundir los 0.3422g de cobre:

$$Q = (0.3422 \text{ [g]}) \left( 0.385 \left[ \frac{\text{J}}{\text{g}}^{\circ}\text{C} \right] \right) (1083 \text{ [}^{\circ}\text{C]} - 25 \text{ [}^{\circ}\text{C]}) + (0.3422 \text{ [g]}) \left( 214 \left[ \frac{\text{J}}{\text{g}} \right] \right)$$

$$Q = 212.6 \text{ [J]}$$

Ahora para el cálculo de corriente despejaremos la corriente de la **ecuación (3.1)** que integrada resulta:

$$Q = I^2 R t \quad (3.9)$$

Despejando la corriente de la **ecuación (3.9)**:

$$I = \sqrt{\frac{Q}{R \cdot t}} \quad (3.10)$$

Para encontrar la corriente de soldadura necesitaremos de los valores de resistencia y el tiempo.

Aplicaremos la **ecuación (3.7)** para encontrar los valores de resistencia de los hilos conductores a soldar:

$$R_C = 1.71 \times 10^{-8} [\Omega m] \frac{0.0025 [m]}{7.64 \times 10^{-6} [m^2]}$$

$$R_C = 5.6 [\mu\Omega]$$

$$R_C = R_E$$

Consultando la curva de las resistencias de contactos vs fuerza obtendremos las resistencias  $R_B$ ,  $R_D$  y  $R_G$ :

Para  $R_D$  que es la junta entre los dos hilos conductores a soldar elegiremos el valor con la fuerza más baja que es de 0.035 ohmios para así llegar más rápido en este punto a la temperatura de fusión, y para la resistencia de la junta de los electrodos y el hilo conductor se calculará con la **ecuación (3.8)**, ya que en la curva solo tenemos valores de resistencias para fuerzas empleadas muy bajas, y la fuerza con la que agarran los porta-electrodos al hilo conductor es mucho mayor, debido a que la fuerza empleada en estas áreas deben estar bien ajustadas con mayor presión para disminuir la resistencia y no generar mucho calor en estas zonas ya que también podrían ser fundidas.

Entonces obtendremos para  $R_D = 0.035 [\Omega]$

Y para  $R_B$  y  $R_G$ :

$$R_c = \frac{1.72e-8 [\text{ohmios-m}]}{2} \sqrt{\frac{\pi * 343.23e6 \frac{N}{m^2} * (797.15 \text{ k} - 293.15 \text{ k})}{3 * 10N (797.15 \text{ k} - 293.15 \text{ k})} \left( \frac{293.15 \text{ k}}{293.15 \text{ k}} \right)}$$

$$R_c = 51 [\mu\Omega]$$

Las resistencias de los porta-electrodos debido a su forma irregular no es posible hallar su resistencia exacta, pero al estar hechas de un material con una conductividad muy alta, por lo tanto, se las pueden excluir de la **ecuación (3.6)**.

Entonces tenemos que  $R_A = R_G = 0$  en **(3.6)**:

$$R = R_A + R_B + R_C + R_D + R_E + R_F + R_G$$

$$R = 51 [\mu\Omega] + 5.6 [\mu\Omega] + 0.035 [\Omega] + 5.6 [\mu\Omega] + 51 [\mu\Omega]$$

$$R = 0.03511 [\Omega]$$

En la práctica de soldadura por puntos, el tiempo de soldadura se mide en ciclos (1 ciclo equivale (1/60) s). El tiempo estimado para la soldadura por puntos según el libro de "Welding Engineering an Introduction By David H. Phillips", va de 1 a 12 ciclos.

El alambre de cobre es un material con alta conductividad, es por eso, que elegiremos como el peor de los casos que requiera 12 ciclos de tiempo.

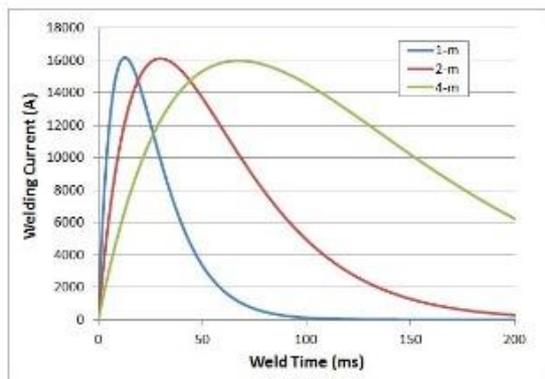
Tenemos que:

$$t = 12 * \frac{1}{60} [s]$$

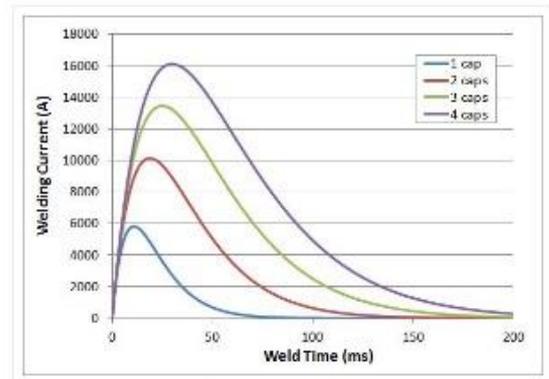
$$t = 0.2 [s]$$

Justificamos esta elección de cálculo, gracias a la comparación de las curvas de respuesta de la influencia de supercondensadores paralelos sobre una corriente instantánea del sistema con la curva de respuesta de la influencia del aumento del tamaño de lazo secundario en una soldadora tipo pistola, debido a la experimentación

empírica realizada por la consultoría de ingeniería independiente “EWI” que cuenta con laboratorios integrales y recursos de tecnología de fabricación avanzada, con lo cual, **han logrado determinar que el tiempo necesario para la consecución de una soldadura óptima es de 200 milisegundos**, tal cual, como se reflejan en las curvas resultantes, mostradas en la **Figura 3.5**.



Influencia del aumento del tamaño del bucle secundario en la respuesta actual de una pistola de soldadura de supercondensador candidata



Influencia del número de supercondensadores paralelos en la respuesta actual del sistema

**Figura 3.5** Curvas resultantes de la experimentación realizada por la consultoría de ingeniería independiente "EWI"

Una vez, justificado el intervalo de tiempo para la soldadura por puntos, proseguimos con el cálculo de la intensidad de corriente necesaria para dicha soldadura por puntos, aplicando la Ecuación de Efecto Joule. Entonces, reemplazando los datos de R y t en la **ecuación (3.10)**:

$$I = \sqrt{\frac{212 J}{0.03511 \Omega * 0.2 s}}$$

$$I = 173 [A]$$

### 3.1.2 Cálculo de voltaje de soldadura $V_{weld}$ :

Según la Ley de Ohm establece que  $V = I * R$ , de esta ecuación nos vamos a basar para encontrar el voltaje de soldadura.

V: Voltaje [V]

I: Corriente [A]

R: Resistencia [ $\Omega$ ] (ohmios)

Aclarando que, como nos estamos refiriendo específicamente a la soldadura (**Weld**) por su término en inglés, es que usamos los subíndices en la ecuación, para realizar el cálculo del voltaje de soldadura

$$V_{weld} = I_{weld} * R_D \quad (3.11)$$

Reemplazando los datos de voltaje y resistencia en la **ecuación (3.11)**

$$V_{weld} = 173 A * 0.03511 \Omega = 6 [V]$$

$$V_{weld} = 6 [V]$$

Concluimos que para nuestra soldadora basada en supercapacitores, requeriremos de una alimentación para la carga de los supercapacitores de 6 V, pero, se dejará un nivel de voltaje más alto para poder soldar cables eléctricos que requieran un voltaje mayor y también para compensar posibles pérdidas que se den a través del circuito de descarga.

### **3.2 DIMENSIONAMIENTO DEL BANCO DE SUPERCAPACITORES:**

Para la carga del banco de supercapacitores se determinó que requeriremos de un voltaje mayor a los 6 V. Para este caso elegimos el supercapacitor BCAP1200 de la marca maxwell por su baja resistencia ESR, su voltaje de 2.7 voltios, su alto valor de capacitancia de 1,200 faradios y sus dimensiones que son bastantes compacta.

Esta serie de los supercapacitores, MAXWELL son dispositivos de capacitancia ultra alta que utilizan una construcción de condensadores electroquímicos de doble capa (EDLC), combinado con materiales nuevos de alto rendimiento.

Las tablas mostradas a continuación son recogidas de las hojas de especificaciones del supercapacitor dadas por el fabricante:

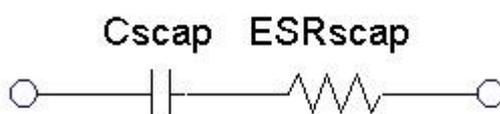
**Tabla 3.2 Hoja de especificaciones del supercapacitor MAXWELL BCAP1200 (Maxwell, 2013)**

**PRODUCT SPECIFICATIONS<sup>1</sup>**

<b>ELECTRICAL</b>	<b>BCAP0650</b>	<b>BCAP1200</b>	<b>BCAP1500</b>	<b>BCAP2000</b>	<b>BCAP3000<sup>1</sup></b>
Rated Voltage	2.70 V				
Minimum Capacitance, initial <sup>2</sup> , rated value	650 F	1,200 F	1,500 F	2,000 F	3,000 F
Maximum Capacitance, initial <sup>2</sup>	780 F	1,440 F	1,800 F	2,400 F	3,600 F
Maximum ESR <sub>DC</sub> , initial <sup>2</sup> , rated value	0.8 mΩ	0.58 mΩ	0.47 mΩ	0.35 mΩ	0.29 mΩ
<b>POWER &amp; ENERGY</b>					
Usable Specific Power, P <sub>d</sub> <sup>3</sup>	6.8 kW/kg	5.8 kW/kg	6.6 kW/kg	6.9 kW/kg	5.9 kW/kg
Impedance Match Specific Power, P <sub>max</sub> <sup>4</sup>	14 kW/kg	12 kW/kg	14 kW/kg	14 kW/kg	12 kW/kg
Specific Energy, E <sub>max</sub> <sup>5</sup>	4.1 Wh/kg	4.7 Wh/kg	5.4 Wh/kg	5.6 Wh/kg	6.0 Wh/kg
Stored Energy, E <sub>stored</sub> <sup>6,13</sup>	0.66 Wh	1.22 Wh	1.52 Wh	2.03 Wh	3.04 Wh
<b>SHOCK &amp; VIBRATION</b>					
Vibration Specification	ISO 16750-3, Table 14	ISO 16750-3, Tables 12 & 14			
Shock Specification	SAE J2464	SAE J2464	SAE J2464	SAE J2464	SAE J2464 IEC 60068-2-27, -29
<b>SAFETY</b>					
Short Circuit Current, typical (Current possible with short circuit from rated voltage. Do not use as an operating current.)	3,400 A	4,700 A	5,700 A	7,700 A	9,300 A
Certifications	UL810a, RoHS, REACH				
<b>ELECTRICAL</b>	<b>BCAP0650</b>	<b>BCAP1200</b>	<b>BCAP1500</b>	<b>BCAP2000</b>	<b>BCAP3000<sup>1</sup></b>
Leakage Current at 25°C, maximum <sup>8</sup>	1.5 mA	2.7 mA	3.0 mA	4.2 mA	5.2 mA
Absolute Maximum Voltage <sup>9</sup>	2.85 V				
Absolute Maximum Current	680 A	930 A	1150 A	1500 A	1900 A

Para aumentar el voltaje operativo en un banco de supercapacitores, como regla general se emplean arreglos en serie, y para aumentar la capacidad de energía del banco se agregan arreglos en paralelo.

En la **Figura 3.6** se muestra el circuito equivalente de un supercapacitor.



**Figura 3.6 Circuito equivalente de un Supercapacitor.**

Para ir teniendo más claro el panorama de nuestro diseño, nos permitimos mostrar en la **Figura 3.7** un diagrama esquemático del circuito de la soldadora.

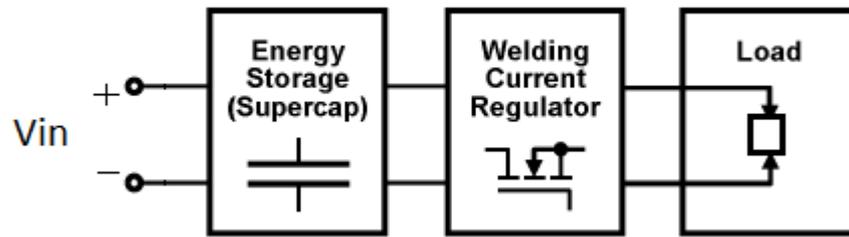


Figura 3.7 Diagrama esquemático del circuito de la soldadora. (Pentegov, Bondarenko, Bondarenko, & Safronov, 2015)

Ahora bien, por el momento, nos centraremos en la parte de los supercapacitores, mencionando los circuitos equivalentes de carga y descarga de un supercapacitor, tal como se muestran en la **Figura 3.8**, son correspondientes a la estructura de la **Figura 3.6**.

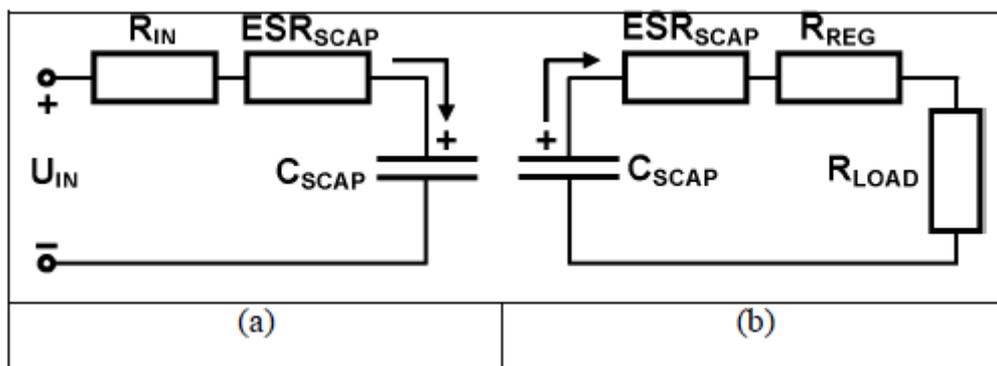


Figura 3.8 Circuito(a) Es el equivalente de carga y el circuito(b) es el de descarga. (Pentegov, Bondarenko, Bondarenko, & Safronov, 2015)

Donde  $R_{IN}$  es la resistencia en serie de la batería de la fuente fotovoltaica,  $ESR_{SCAP}$  es la resistencia equivalente en serie del supercapacitor,  $C_{SCAP}$  la capacitancia equivalente,  $R_{REG}$  es la resistencia del elemento regulador.

Con el fin de obtener el valor requerido de voltaje en los supercapacitores realizaremos un arreglo en serie de 4 supercapacitores para así poder obtener 10.8 voltios, puesto que los supercapacitores tienen un voltaje de trabajo de 2.7 V y con los 10.8 V cubrimos los 6 voltios que se requieren para soldar el cable calibre 1/0 y la caída de tensión en el elemento regulador.

Entonces, a primera instancia obtendremos un arreglo de cuatro supercapacitores en serie, para aumentar el voltaje a 10.8 V.

Para esta primera rama de supercapacitores en serie tenemos un equivalente de su capacitancia  $C_{SCAP1}$  y un equivalente de su resistencia  $ESR_{SCAP1}$ .

Para la suma de los capacitores en serie tenemos la ecuación que suma las inversas de sus capacitancias.

$$\frac{1}{C_{SCAP1}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_4} \quad (3.12)$$

$$ESR_{SCAP1} = ESR_1 + ESR_2 + ESR_3 + ESR_4 \quad (3.13)$$

De la **ecuación (3.12)** despejamos  $C_{SCAP1}$ , sabiendo que  $C_1 = C_2 = C_3 = C_4$ , dado que se usará para el arreglo en serie el mismo supercapacitor, llamaremos estas capacitancias como  $C$ . de la misma manera  $ESR_1 = ESR_2 = ESR_3 = ESR_4$ , llamaremos a las tres resistencias ESR:

$$C_{SCAP1} = \frac{C}{4} [F] \quad (3.14)$$

$$ESR_{SCAP1} = 4 * ESR [\Omega] \quad (3.15)$$

Reemplazando los valores de  $C$  y  $ESR$  que obtenemos en la ficha técnica del supercapacitor BCAP1200 en las **ecuaciones (3.14)** y **(3.15)**:

$$C_{SCAP1} = \frac{1,200 F}{4} = 300 [F]$$

$$ESR_{SCAP1} = 4 * 0.58 m\Omega = 2.32 [m\Omega]$$

La resistencia de la carga del circuito de soldadura está en el orden de los mili-ohmios, y la corriente de soldadura en el circuito de descarga puede alcanzar fácilmente cientos de amperios. Esta resistencia ESR al estar en serie con la resistencia de la carga de soldadura puede afectar o disminuir la eficiencia de nuestra soldadora debido a que la resistencia de este arreglo de cuatro supercapacitores en serie está también en el orden

de los mili-ohmios. Entonces con el fin de conocer cuál será la influencia de esta resistencia ESR del supercapacitor, se realizará los siguientes cálculos.

La eficiencia del banco de supercapacitores se calcula mediante la relación entre las resistencias ESR equivalente del banco y del circuito de descarga de la soldadora:

$$\eta = \frac{R_{load}}{R_{load} + ESR} \quad (3.16)$$

La eficiencia máxima en teoría sería igual a 1, pero físicamente es algo imposible debido a que no se puede disminuir a cero la resistencia *ESR*.

Entonces podemos considerar favorable una eficiencia igual o mayor a 0.9:

$$\eta \geq 0.9$$

De la **ecuación (3.16)** reemplazamos la inecuación y despejamos *ESR*:

$$\frac{R_{load}}{R_{load} + ESR} \geq 0.9$$

$$R_{load} \geq 0.9(R_{load} + ESR)$$

$$R_{load} \geq 0.9 * R_{load} + 0.9 * ESR$$

$$R_{load} - 0.9 * R_{load} \geq 0.9 * ESR$$

$$ESR \leq \frac{0.1 * R_{load}}{0.9} \quad (3.17)$$

Reemplazando valores en **(3.17)**:

$$ESR \leq \frac{0.1 * 35.11 \text{ m}\Omega}{0.9} = 3.9 \text{ [m}\Omega\text{]}$$

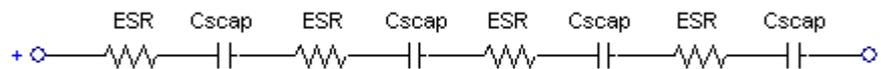
$$ESR \leq 3.9 \text{ [m}\Omega\text{]}$$

Con este valor de ***ESR* ≤ 3.9 [mΩ]** se disminuye considerablemente la incidencia de esta resistencia y el 90% del pico de potencia entregada por el banco de supercapacitores será entregado a la carga de la soldadura.

Haciendo la comparación del ESR equivalente del arreglo de cuatro capacitores en serie, **2.32 [mΩ] < 3.9 [mΩ]**, vemos que es menor a los 3.9 [mΩ], que es el máximo para obtener una eficiencia del 90%.

Entonces el arreglo final del banco de supercapacitores será un ramal de 4 supercapacitores en serie, contando así con un voltaje de operación de máximo 10.8 V y 300 F de capacitancia.

El arreglo total de banco de supercapacitores será la siguiente configuración, mostrada en la **Figura 3.9**.



**Figura 3.9 Banco de supercapacitores.**

El pico de potencia que alcanza un supercapacitor está dada por la ecuación a continuación, sacada de la ficha técnica del supercapacitor MAXWELL BCAP1200:

$$Peak\ Power\ (W) = \frac{V_{SCAP}^2}{4 * ESR} [W] \quad (3.18)$$

Calculamos el pico de potencia máximo que puede alcanzar este banco de supercapacitores con la **ecuación (3.18)**:

$$Peak\ Power\ (W) = \frac{(10.8 [V])^2}{4 * 2.32 [m\Omega]} = 12,568 [W]$$

Siendo también la potencia en un elemento pasivo:

$$P = I * V [W] \quad (3.19)$$

Despejando la corriente de la **ecuación (3.19)**:

$$I = \frac{P}{V} [A]$$

Siendo la corriente máxima que entregará el banco de supercapacitores en el circuito de descarga:

$$I_{max} = \frac{P_{peakpower}}{V_{scap}} [A] \quad (3.20)$$

Calculando la corriente máxima de la **ecuación (3.20)**:

$$I_{max} = \frac{12,568 W}{10.8 V} = 1,164 [A]$$

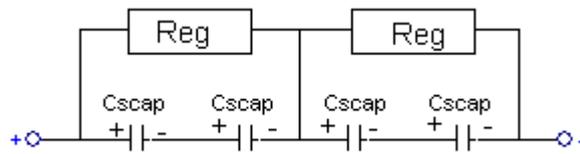
$$I_{max} = 1,164 [A]$$

### **3.2.1 Desbalance de voltaje en la carga del banco de supercapacitores conectados en serie.**

En el apartado anterior se determinó el arreglo del banco de supercapacitores que dio como resultado una conexión en serie. En el caso ideal en que los 4 supercapacitores conectados en serie son de la misma capacidad y con el mismo valor de ESR, se deduciría que el voltaje en estos tres supercapacitores en el periodo de carga se distribuirá por igual de una forma balanceada. Pero el caso real es que cada supercapacitor, aunque indique los mismos valores y parámetros, no son idénticos debido a que el proceso de construcción, aparecen valores de tolerancia que podrían variar tanto la resistencia del supercapacitor como la capacitancia, produciéndose entonces un desbalance en la distribución de la carga en cada supercapacitor provocando en muchos casos que algunos supercapacitores puedan sobrepasar su capacidad nominal y provocar su avería. Es por eso, que en estos casos se toman estos desbalances en consideración y se diseñan reguladores de voltaje pasivos o activos para equilibrar la carga en cada supercapacitor de dicho arreglo.

En el caso de los supercapacitores MAXWELL existen ya diseñados reguladores para equilibrar el desbalance en el voltaje de los supercapacitores conectados en serie.

Ahora, en la **Figura 3.10**, mostramos el banco de supercapacitores con sus respectivos reguladores:



**Figura 3.10 Configuración del banco de Supercapacitores con los reguladores.**

En un arreglo de supercapacitores en serie es importante el empleo de unos reguladores especiales para la correcta operación de cada uno de ellos en dicho arreglo.

### 3.3 DIMENSIONAMIENTO DEL BANCO DE BATERÍAS:

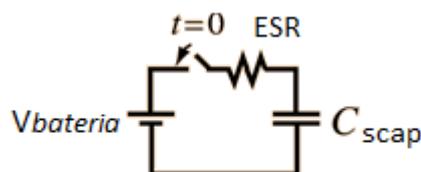
Como la carga del banco de supercapacitores será mediante una fuente fotovoltaica, requeriremos de una batería.

Como sabemos el banco de supercapacitores tiene una alta densidad de potencia, tanto para la descarga como la carga. Esto conlleva a que la carga del banco de supercapacitores no puede ser directa de la batería, porque requeriría de una corriente inicial de carga muy alta en el orden de los cientos de amperios como lo demuestra en el siguiente cálculo:

$$I_C = \frac{V_{bateria}}{ESR} e^{-\frac{t}{RC_{scap}}} \quad (3.21)$$

Siendo  $I_C$  la corriente del banco de supercapacitores,  $V_{bateria}$  la tensión suministrada por la batería, ESR la resistencia en serie del banco de supercapacitores,  $t$  el tiempo y  $RC$  la constante de tiempo.

Según el circuito de carga del banco sería como se muestra en la **Figura 3.11**:



**Figura 3.11 Circuito de carga del banco de supercapacitores**

Para calcular la corriente inicial de carga para el banco de supercapacitores, usaremos la **ecuación (3.21)** para un tiempo inicial **t = 0 [s]**

Tendremos así:

$$I_c = \frac{V_{bateria}}{ESR}$$

Reemplazando en la ecuación anterior tenemos que:

$$I_c = \frac{12 V}{2.32 m\Omega} [A]$$

$$I_c = 5,172 [A]$$

Los **5,172 A** de corrientes obtenidos en este cálculo, es una corriente muy elevada para poder ser suministrada por el banco de baterías, aunque sería por poco tiempo (alrededor de unos 5 a 10 segundos) esto reduciría los ciclos de vida de la batería, puesto que por cada carga del banco de supercapacitores este absorbería gran parte de la corriente de la batería solo en la carga inicial. Para aquel problema se podría resolver conectando varias baterías de 12 V en paralelo, para repartir la corriente de **5,172 A** inicial. Pero esta solución sería poco práctica para nuestro diseño, debido a que la máquina tendría dimensiones muy grandes, haciendo muy poco práctico para el traslado de un sitio a otro.

Para nuestro proyecto utilizaremos un banco de baterías que sea lo más compacta posible. La solución sería hacer una carga a corriente constante; con esto lograríamos que el banco de supercapacitores se cargue linealmente a corriente constante y controlaríamos la corriente inicial de carga.

Ante esto, recurrimos a la **Ecuación de corriente de un capacitor**, que es la siguiente:

$$i_c = C \frac{dv}{dt} \quad (3.22)$$

Siendo **i<sub>c</sub>** la corriente constante para este caso, C la capacitancia en faradios y **dv/dt** la variación de voltaje respecto a un intervalo de tiempo:

Dadas estas condiciones despejando  $dv$  de la **ecuación (3.22)** e integrando:

$$V_{scap} = \frac{1}{C_{scap}} \int ic * dt$$
$$V_{scap} = \frac{I_c}{C_{scap}} * t \quad (3.23)$$

Con esta **ecuación (3.22)** obtendremos una carga con una corriente controlada y a un tiempo considerable:

Sabiendo que la capacitancia del banco de supercapacitores es  $C_{scap} = 300 [F]$  y el voltaje operativo de los supercapacitores son  $V_{scap} = 10.8 [V]$

Despejando la corriente en la **ecuación (3.23)**:

$$I_c = \frac{V_{scap} * C_{scap}}{t} \quad (3.24)$$

Reemplazando los valores en **(3.24)**:

$$I_c = \frac{10.8 V * 300 F}{t} = \frac{3,240}{t} [A]$$

$$I_c = \frac{3,240}{t} [A] \quad (3.25)$$

Entonces, considerando un tiempo razonable entre cada descarga, de  $t = 8$  minutos, para cargar el banco de supercapacitores, ya que lo máximo de corriente nominal que maneja cada una de las dos baterías es de 10 Ah, y con este tiempo se logra cargar al banco de supercapacitores con una corriente menor a la mitad de la capacidad que puede entregar el banco de baterías, extendiendo los ciclos de carga para el banco de supercapacitores. Por lo tanto, tendríamos una corriente:

Reemplazando en **(3.25)**:

8 min  $\rightarrow$  480 seg.

$$I_c = \frac{3,240}{480 \text{ seg}} = 6.7 [A]$$

$$I_c = 6.7 [A]$$

Entonces tenemos que **con 6.7 A, constante**, cargaríamos el banco de supercapacitores en 8 minutos.

Revisando en los catálogos de baterías para fuentes fotovoltaicas encontramos baterías de distintas capacidades a 12 V siendo una de estas la más aproximada a nuestros cálculos una batería de 10 Ah, que será suficiente para el diseño del circuito para cargar a corriente constante.

Ahora, teniendo en cuenta que la batería elegida no solo va a suplir la energía para la carga del banco de supercapacitores, sino que además alimentará a todos los circuitos de la máquina de soldar, elegimos conectar 2 baterías en paralelo para tener mayor capacidad de corriente y abastecer a todos los circuitos, teniendo así un banco de baterías con unas capacidades nominales de 12 V y 20 Ah.

### **3.4 MÓDULO DE VOLTAJE DE SALIDA DUAL EN EL SISTEMA.**

En el diseño de nuestro proyecto se emplearon algunos circuitos que deben ser alimentados con un voltaje dual de  $\pm 12$  V, es por tal motivo que se añadió en el diseño un módulo de voltaje dual modelo DD39AJPA con las siguientes características:

Voltaje de entrada: DC +3,6 ~ +30 [V]

Salida: DC  $\pm 3$  ~  $\pm 30$  [V] ajustable

Corriente de salida máxima: 200 - 3000 [mA]

Temperatura de funcionamiento: -40 to +85 [°C]

Dimensiones: 60 x 34 x 15 [mm]

Este módulo de voltaje será alimentado por el banco de batería, con la salida regulada a  $\pm 12$  V para alimentar solo a los circuitos que requieran un voltaje de  $\pm 12$  V.

### 3.5 DISEÑO DEL CIRCUITO DE LA FUENTE DE CORRIENTE CONSTANTE PARA LA CARGA DEL SUPERCAPACITOR:

Para realizar esta parte, tomamos en cuenta los elementos para el diseño (Tabla 3.3).

Tabla 3.3 Elementos empleados en el circuito de la fuente de corriente constante.

ELEMENTO	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
Zener 1N5340B	1	$V_z=6V$ , $I_z=200mA$
Transistor 2N3055	1	$I_c=15A$ , $h_{fe}=15$ , $V_{ce(sat)}=0.7V$
Resistencia	1	$R=10\Omega$ , 10W
Resistencia	4	$R=3.3\Omega$ , 20W

Empezamos con un diagrama de conexión del circuito correspondiente, como se puede ver a continuación.

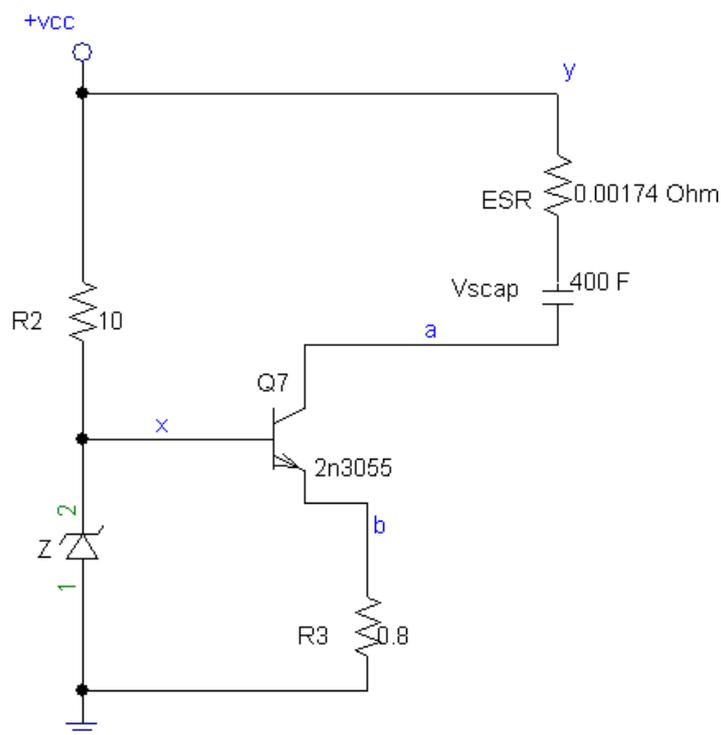


Figura 3.12 Circuito de fuente de Corriente Constante.

En el circuito mostrado en la **Figura 3.12** vemos que la corriente constante es posible porque el voltaje en la resistencia  $R_3$  es constante, el voltaje del Zener,  $V_z$  y la caída de tensión en la juntura base emisor son constante, siempre y cuando el BJT opere en región activa:

$$V_{R3} = V_Z - V_{BEQ3} \quad [V] \quad (3.26)$$

Reemplazando valores de las hojas de especificaciones en (3.26):

$$V_{R3} = 6 V - 0.7 V = 5.3 [V]$$

$$V_{R3} = 5.3 [V]$$

Y la corriente en R<sub>3</sub>:

$$I_{R3} = \frac{V_{R3}}{R_3} \quad [A] \quad (3.27)$$

La corriente obtenida en el apartado anterior para la carga del banco de supercapacitores es 6.7 A para cargarlo en un aproximado de 8 min:

Entonces despejando R<sub>3</sub> y reemplazando valores en (3.27):

$$R_3 = \frac{5.3 V}{6.7 A} = 0.8 [\Omega]$$

Para que  $I_E = 6.7 [A]$ ,  $R_3 = 0.8 [\Omega]$ . Sabemos también que en un BJT la  $I_C \cong I_E$  y la corriente en la carga es  $I_C$  siendo 6.7 A, la corriente requerida.

Ahora aplicando Ley de Ohm para encontrar la resistencia R<sub>2</sub>:

$$R_2 = \frac{V_{bateria} - V_Z}{I_Z + \frac{I_C}{h_{fe}}} \quad [\Omega] \quad (3.28)$$

Reemplazando valores en (3.28):

$$R_2 = \frac{12 V - 6 V}{200 mA + \frac{6.7 A}{15}} = 10 [\Omega]$$

Para R<sub>2</sub> se usará 1 resistencia de 10 Ω, 10 W y para R<sub>3</sub>, 4 resistencias en paralelo de 3.3 Ω, 20 W; dando así un total de 90 W. Permitiendo operar a estas resistencias sin excederse en el límite de potencia.

La potencia disipada por R<sub>2</sub> y R<sub>3</sub> será:

$$P_R = I_R^2 * R \text{ [W]} \quad (3.29)$$

Reemplazando valores en (3.29):

$$P_{R2} = \left(200 \text{ mA} + \frac{6.7 \text{ A}}{15}\right)^2 * 10 \Omega = 4 \text{ [W]}$$

$$P_{R3} = (6.7 \text{ A})^2 * 0.8 \Omega = 36 \text{ [W]}$$

En el diseño de este circuito necesitamos que opere en región activa.

Entonces  $V_{CEQ} > 0$

$$V_{scap} + V_{CEQ} + V_{R3} = 12 \text{ V}$$

$$V_{CEQ} = 12 \text{ V} - V_{R3} - V_{scap}$$

$$V_{CEQ} = 12 \text{ V} - I_{R3} * R_3 - V_{scap}$$

$$V_{CEQ} = 12 \text{ V} - 6.7 \text{ A} * 0.8 \Omega - V_{scap}$$

$$V_{CEQ} = 12 \text{ V} - 5.3 \text{ V} - V_{scap}$$

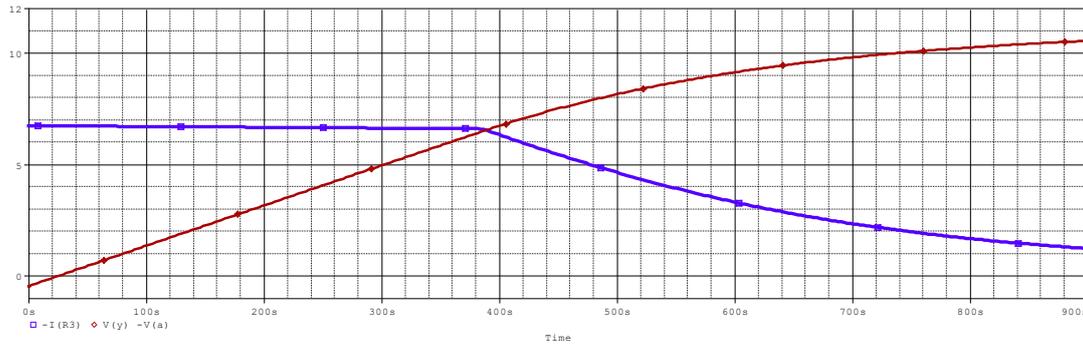
$$V_{CEQ} = 6.7 - V_{scap}$$

Puesto que  $V_{CEQ} > 0$  para garantizar la operación del BJT en la región activa:

$$6.7 \text{ V} - V_{scap} > 0 \text{ [V]}$$

$$V_{scap} < 6.7 \text{ [V]}$$

Entonces el circuito entregará una corriente constante hasta que  $V_{scap} = 6.7 \text{ [V]}$ , a partir de ese valor el BJT pasará de la región activa a la región de saturación y la carga del supercapacitor pasará de ser lineal a exponencial, como se muestra en las curvas de la **Figura 3.13**.



**Figura 3.13** Curva de carga del supercapacitor.

La curva color roja representa la carga del banco de supercapacitores y la azul la corriente a través de este.

### 3.5.1 CÁLCULO DE DISIPADOR PARA EL TRANSISTOR 2N3055.

Para el dimensionamiento de este disipador vamos a requerir de la siguiente ecuación para calcular la Resistencia del Disipador al exterior  $R_{da}$ .

$$R_{da} = \frac{T_J - T_a}{P_d} - R_{jc} - R_{cd} \quad (3.30)$$

Donde:

- $P_d$ : Es la potencia disipada por el dispositivo electrónico.
- $T_a$ : Temperatura ambiente.
- $T_j$ : Es la temperatura máxima de juntura.
- $R_{jc}$ : Es la Resistencia Térmica Juntura-Carcasa.
- $R_{cd}$ : Es la Resistencia Carcasa al Disipador.
- $R_{da}$ : Es la Resistencia del Disipador al exterior. Valor que se debe calcular para obtener el disipador necesario para el BJT empleado en nuestro diseño.

Los datos a continuación fueron obtenidos de la ficha técnica del BJT 2N3055.

$$T_J = 200 \text{ [}^\circ\text{C]}, R_{JC} = 1.52 \text{ [}^\circ\text{C/W]}$$

Y el valor de la  $R_{cd}$  fue extraída de la tabla de resistencias térmicas cascara-disipador encontrada en la sección de anexos B, la cual nos da un valor para el encapsulado TO-3 de  $0.25 \text{ (}^\circ\text{C/W)}$ .

Lo potencia del BJT será de  $P_d = V_{CE} * I_c$ , el valor máximo de  $V_{CE}$  será cuando el voltaje del supercapacitor será cero, de esta manera.

$$V_{CEQ} = 12 \text{ V} - 5.3 \text{ V} - V_{scap}$$

$$V_{CEQ} = 12 \text{ V} - 5.3 \text{ V}$$

$$V_{CEQ} = 6.7 \text{ [V]}$$

La potencia será  $P_d = 6.7 \text{ V} * 6.7 \text{ A} = 45 \text{ [W]}$ .

Reemplazando los datos en la **ecuación 3.30**:

$$R_{da} = \frac{200 \text{ }^\circ\text{C} - 25 \text{ }^\circ\text{C}}{45 \text{ W}} - 1.52 \text{ [}^\circ\text{C/W]} - 0.25 \text{ [}^\circ\text{C/W]}$$

$$R_{da} = 2.11 \text{ [}^\circ\text{C/W]}$$

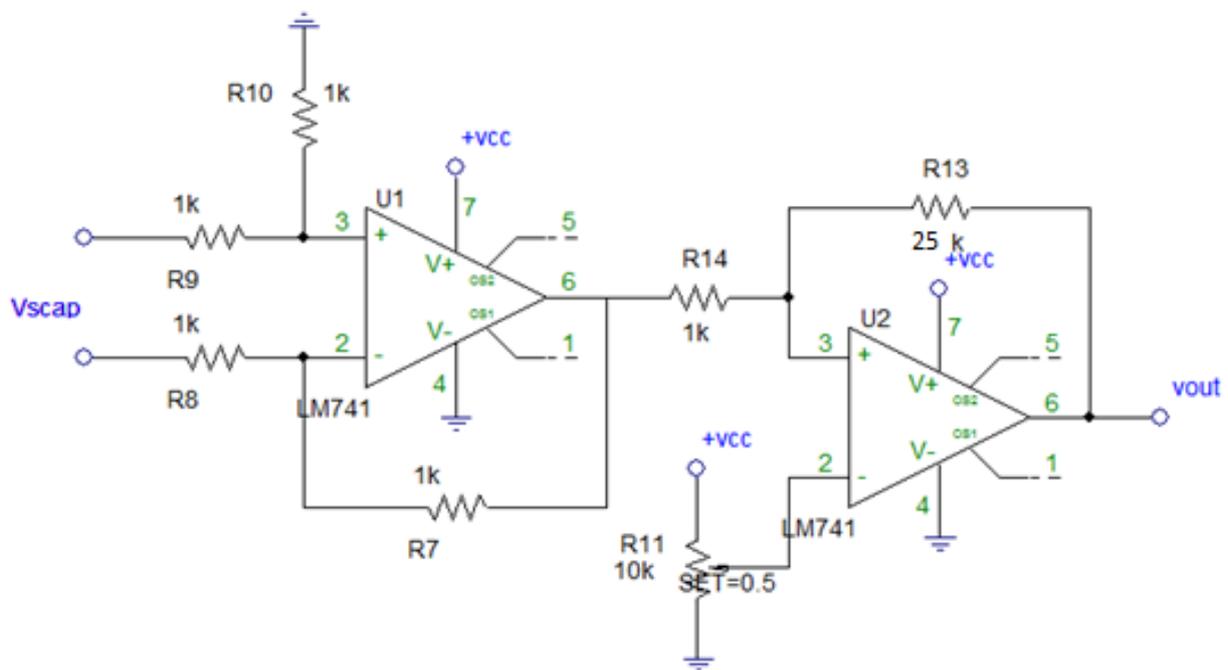
El disipador necesario para el 2N3055 será de  $2.11 \text{ [}^\circ\text{C/W]}$ .

### **3.6 DISEÑO DEL CONTROLADOR PARA EL LÍMITE DE VOLTAJE DEL SUPERCAPACITOR**

Teniendo en cuenta que el voltaje operativo del arreglo en serie del banco de supercapacitores es menor que el voltaje que entrega la batería, consideramos controlar la carga del banco de supercapacitores, para que no sobrepase su valor nominal de voltaje que es  $10.8 \text{ V}$  en el momento de cargar el banco de supercapacitores por medio de la batería.

Entonces mediante el siguiente diseño fijaremos el voltaje hasta donde el banco de supercapacitores será cargado.

A continuación, en la **Figura 3.14** se muestra el circuito de control del voltaje del banco de supercapacitores en el momento de la carga, que estará conformada por dos etapas; la primera es un amplificador diferencial con ganancia 1 que utilizaremos sólo para obtener el voltaje en los terminales del banco de supercapacitores. La segunda etapa será un comparador histéresis donde compararemos el valor fijado y el valor del voltaje del banco de supercapacitores obtenido en la primera etapa, para cuando el valor de voltaje del banco sea igual o mayor al valor fijado, obtener un alto en su salida que indica que ya llegó al valor de voltaje requerido y con esa señal de la salida del comparador, interrumpir la carga mediante un relé.



**Figura 3.14** Circuito de control de voltaje para el banco de supercapacitores.

La primera etapa representa un amplificador diferencial con ganancia 1, siendo la ecuación siguiente;

$$V_{out} = (V_2 - V_1) \frac{R_7}{R_8} \quad [V] \quad (3.31)$$

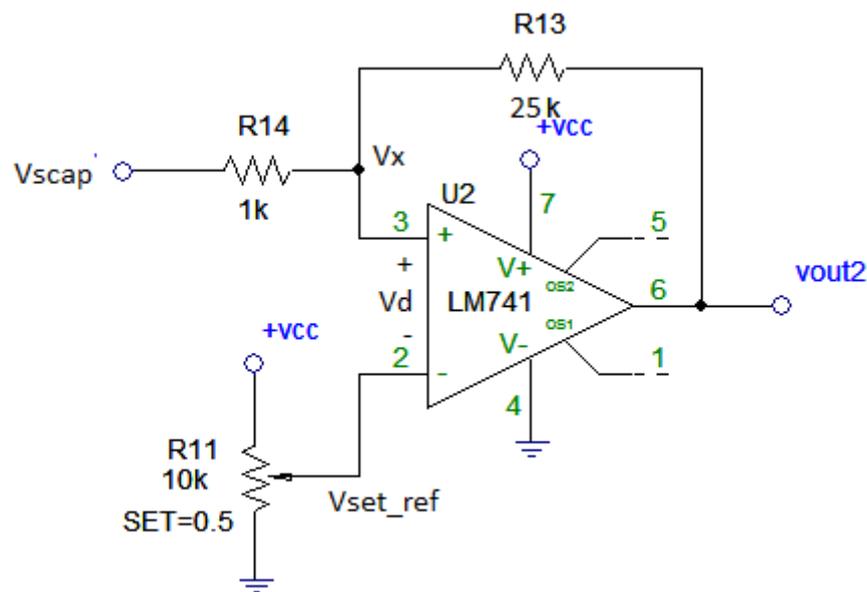
$$V_{scap} = V_2 - V_1 \quad [V]$$

Reemplazando valores de resistencias en la **ecuación (3.31)**:

$$V_{out} = V_{scap} * \frac{1 k\Omega}{1 k\Omega}$$

$$V_{out} = V_{scap} \quad [V]$$

En la **Figura 3.15** se muestra la segunda etapa que es el circuito comparador histéresis que compara el valor de voltaje actual del banco de supercapacitores con el **set\_point** o voltaje de referencia.



**Figura 3.15** Comparador histéresis.

Debido a que el circuito tiene realimentación positiva, el OPAMP siempre estará saturado, es decir;

$$V_d > 0 \rightarrow V_{out2} = +V_{CC}$$

$$V_d < 0 \rightarrow V_{out2} = -V_{CC}$$

Para el análisis del comparador se toma como estado inicial la salida de histéresis,  $V_{out2} = -V_{CC}$  y que el voltaje  $V_{scap}$  viene creciendo desde un valor muy bajo. En la siguiente ilustración (**Figura 3.16**) se muestra la relación entre el  $V_{out2}$  y  $V_{scap}$ .

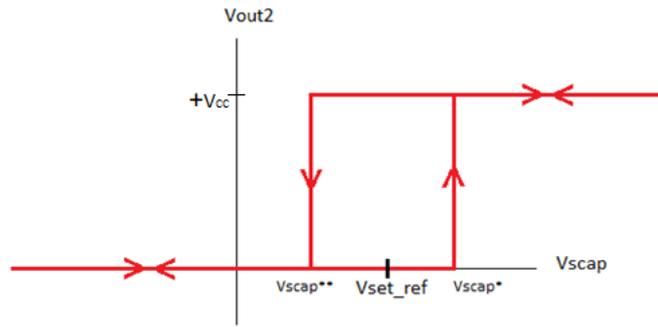


Figura 3.16 Curva de histéresis.

Para saber el valor de saturación de la salida  $V_{out2}$ , es preciso definir el voltaje  $V_d$ , que sería  $V_d = V^+ - V^-$ :

$$V^+ = V_{scap} \frac{R_{13}}{R_{14} + R_{13}} + V_{out2} \frac{R_{14}}{R_{13} + R_{14}} \quad [V]$$

$$V^- = V_{setref} \quad [V]$$

$$V_d = V_{scap} \frac{R_{13}}{R_{14} + R_{13}} + V_{out2} \frac{R_{14}}{R_{13} + R_{14}} - V_{setref}$$

$$V_d = \frac{V_{scap}R_{13} + V_{out2}R_{14}}{R_{13} + R_{14}} - V_{setref} \quad [V] \quad (3.32)$$

Entonces con la condición inicial de que el voltaje del banco de supercapacitores es bajo y viene creciendo desde su valor mínimo, tenemos que  $V_{out2} = -V_{cc} = 0 [V]$

Expresado en términos matemáticos:

$$V_d < 0 \rightarrow V_{out2} = -V_{cc}$$

$$\frac{V_{scap}R_{13} + V_{out2}R_{14}}{R_{13} + R_{14}} - V_{setref} < 0$$

Como  $V_{out2} = -V_{cc} = 0 [V]$ ,

$$\frac{V_{scap}^* R_{13}}{R_{13} + R_{14}} - V_{setref} < 0$$

$$V_{scap}^* < \frac{V_{set\_ref}(R_{13} + R_{14})}{R_{13}}$$

Ahora para el caso de que el valor de voltaje del banco de supercapacitores venga disminuyendo desde su valor máximo, la condición es la siguiente:

$$V_d > 0 \rightarrow V_{out2} = +V_{CC}$$

$$\frac{V_{scap}R_{13} + V_{out2}R_{14}}{R_{13} + R_{14}} - V_{set\_ref} > 0$$

$$\frac{V_{scap}^*R_{13} + (+V_{CC})R_{14}}{R_{13} + R_{14}} - V_{set\_ref} > 0$$

$$V_{scap}^{**} > \frac{V_{set\_ref}(R_{13} + R_{14}) - (+V_{CC})R_{14}}{R_{13}}$$

Siendo  $V_{scap}^*$  el valor máximo de la ventana de histéresis y  $V_{scap}^{**}$  el mínimo.

Definimos H como la diferencia entre estos dos valores máximos y mínimos:

$$H = V_{scap}^* - V_{scap}^{**}$$

$$H = \frac{V_{set\_ref}(R_{13}+R_{14})}{R_{13}} - \frac{V_{set\_ref}(R_{13}+R_{14})-(+V_{CC})R_{14}}{R_{13}}$$

$$H = \frac{+V_{CC}R_{14}}{R_{13}} \quad (3.33)$$

Vamos a considerar una ventana pequeña de  $H = 0.5$  [V] para poder controlar el voltaje del banco de supercapacitores alrededor del  $V_{set\_ref} \pm 0.5$  [V], una desviación considerablemente pequeña:

Seleccionaremos una resistencia  $R_{14} = 1$  [kΩ]

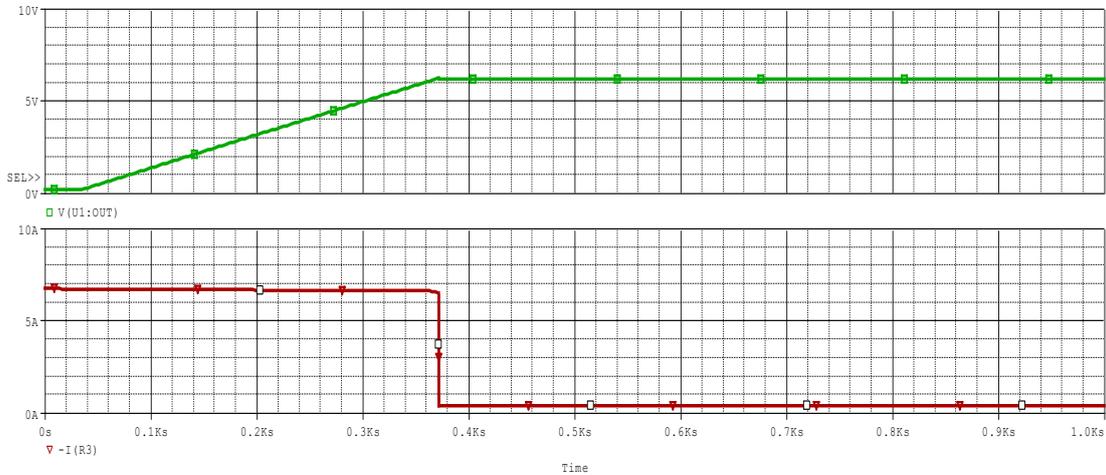
Reemplazando valores en la **ecuación (3.33)**:

$$0.5 \text{ V} = \frac{+12 \text{ V} * 1 \text{ k}\Omega}{R_{13}}$$

Entonces  $R_{13}$  será igual a  $R_{13} \cong 25$  [kΩ]

Este comparador histéresis cumple con la función de interrumpir la carga del banco de supercapacitores mediante un relé, cuando llegue al valor requerido.

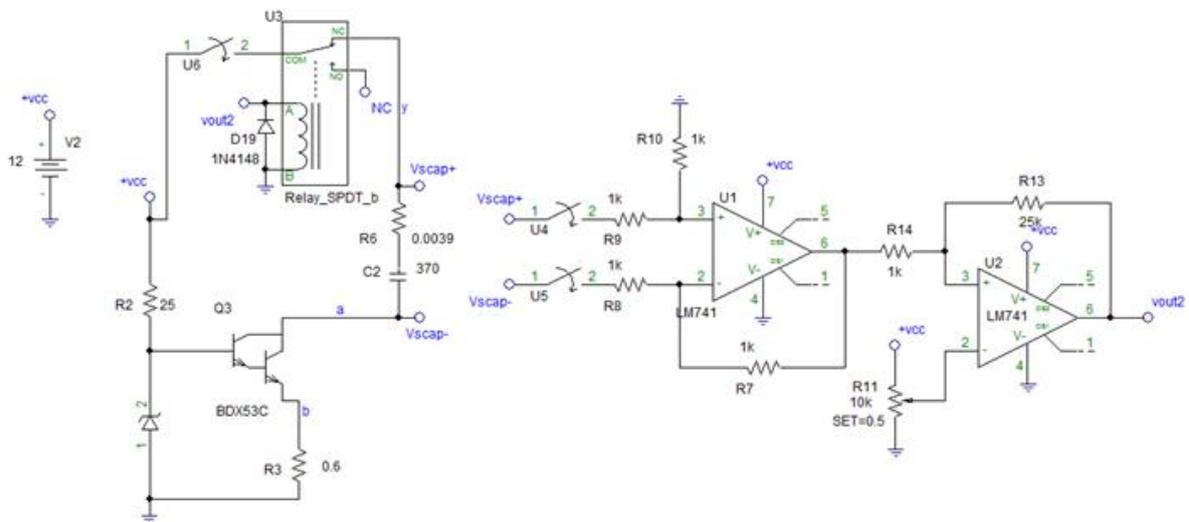
En la siguiente gráfica se muestra la curva donde se puede observar la carga del banco y la acción que tiene el controlador al momento de interrumpir la carga.



**Figura 3.17** Curva de carga del banco de supercapacitores con el comparador de histéresis.

La curva color verde representa la carga del banco de supercapacitores y la roja la corriente constante de carga del banco de supercapacitores.

Con todas estas partes obtenemos el circuito de carga del banco de supercapacitores. La siguiente ilustración (**Figura 3.18**), muestra el circuito completo de carga

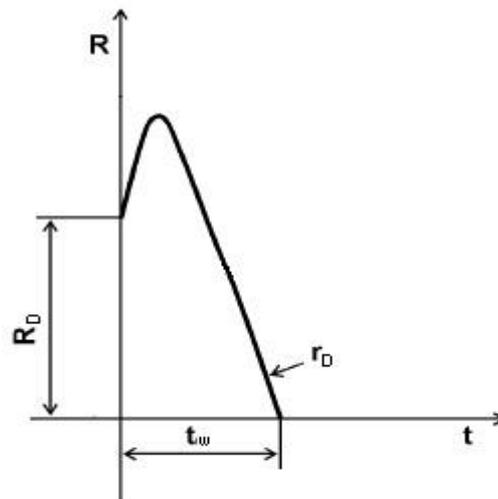


**Figura 3.18** Circuito de carga del banco de supercapacitores.

Los interruptores **U4**, **U5** y **U6** están normalmente cerrados en el ciclo de carga, estos se abrirán al momento que se realice la descarga que ejecuta la soldadura.

### 3.7 REGULADOR DE LA CORRIENTE DE SOLDADURA.

En el momento de realizar el proceso de soldadura, los cables a soldar tienen una resistencia de contacto inicial, pero a medida que los dos cables se van soldando, esta resistencia de contacto se irá reduciendo en este intervalo de 200 milisegundos que circulará la corriente, hasta tal punto de ser muy baja llegando aproximadamente a cero, tal como se muestra en la **Figura 3.19**. Esta reducción del valor de la resistencia de contacto durante la soldadura producirá un efecto avalancha en la corriente que incrementará a gran escala a medida que la resistencia de contacto vaya disminuyendo.

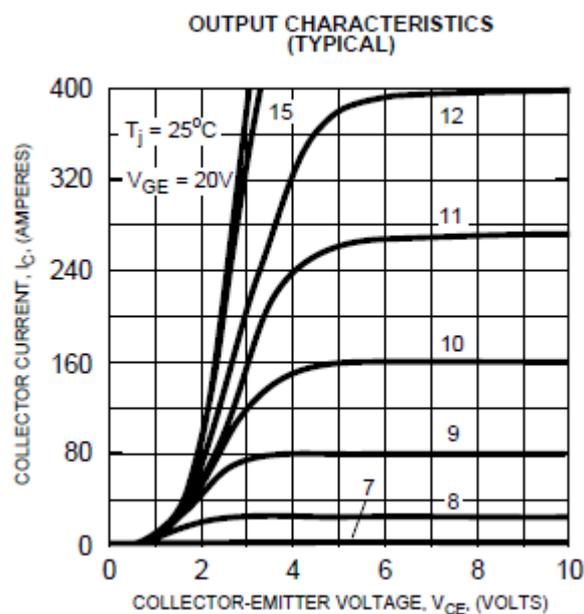


**Figura 3.19 Variación de la resistencia de contacto durante el proceso de soldadura**

Este incremento en la corriente de soldadura durante el proceso producirá chispas en la unión a ser soldada causando efectos negativos en el hilo conductor a soldar. Es por tal motivo que se debe de emplear un regulador de corriente en nuestro diseño para poder mantener el mismo nivel de corriente inicial y pueda permanecer constante durante el proceso.

Para esta regulación de la corriente elegimos un transistor IGBT por su alta capacidad de manejo de corriente en alta y media potencia, y la posibilidad de controlarlo mediante un voltaje de control en la compuerta del IGBT.

Entonces para nuestro diseño elegimos el IGBT CM200HA-24H que tiene como capacidades nominales una corriente de colector de 200 A y un voltaje de compuerta de  $\pm 15$  V y con la siguiente curva característica de la corriente de colector versus el voltaje de colector emisor con distintos valores de voltaje en la compuerta que muestra la **Figura 3.20**, que nos sirvió para ver donde es posible operar y mantener el valor de corriente de soldadura constante.



**Figura 3.20** Curva característica de salida del IGBT CM200HA-24H

Como podemos observar en la **Figura 3.20** el valor de voltaje  $V_{CE}$  mínimo necesario para poder conducir y mantener el nivel de corriente constante es de 4 V aproximadamente, pero teniendo un voltaje de alimentación para la carga de 10.8 V que lo suplirá el banco de supercapacitores, y el voltaje que se requiere para la carga es de 6 V. Así que, en teoría, tendremos para el regulador de corriente un voltaje de 4.8 V cubriendo los 4 V que se requieren para que opere en la zona donde la gráfica asegura que la corriente en la salida será constante.

Para poder fijar la corriente de descarga que vamos a controlar mediante el IGBT, se realizó un control a lazo abierto variando el valor de voltaje  $V_G$  dependiendo de la corriente que se requiera para soldar.

Para esto se aprovechó el interfaz del ARDUINO, para introducir la corriente deseada, el cual, mediante un algoritmo en el IDE de ARDUINO, entregue una señal PWM mediante

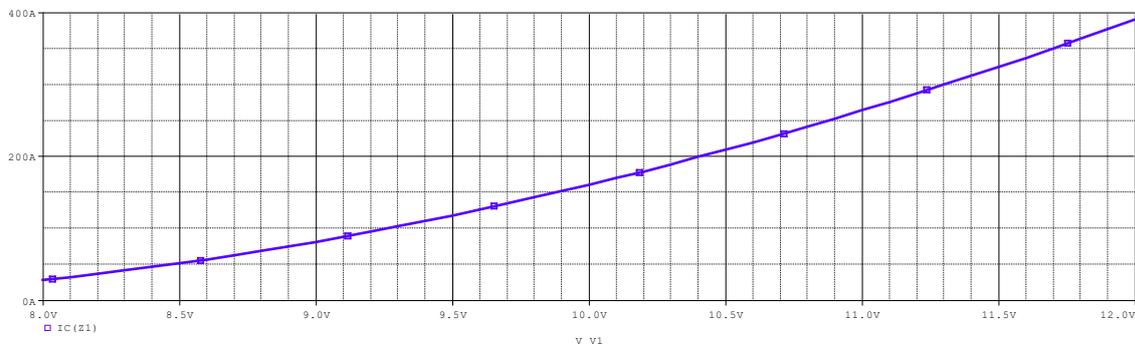
los pines analógicos los cuales pasarán por un driver donde los niveles de alto y bajo (+5V y 0V) serán amplificados a (+12V y 0V) y filtrados para obtener el promedio del voltaje que será entregado a la compuerta del IGBT.

### 3.7.1 ALGORITMO PARA GENERAR LA SEÑAL PWM.

Mediante los pines de Entrada/Salida analógicas del ARDUINO se pueden generar señales PWM con la función analogWrite (pin, duty\_cycle); asignándole el pin de salida y el ciclo de trabajo de 0 a 255, que corresponde de 0 a 100%.

Para esto, modelamos una función que se aproxime lo más cercano a como varía la corriente de salida  $I_C$  con respecto al voltaje  $V_G$  de la compuerta.

Obtuvimos los puntos de la curva de  $I_C$  vs  $V_G$  mediante una función transferencia simulada en el programa Pspice, tal como se muestra en la **Figura 3.21**.



**Figura 3.21** Función transferencia  $I_C$  vs  $V_G$  del IGBT CM200HA-24H

Con la simulación de esta curva aproximamos los valores de la corriente de colector respecto al voltaje de compuerta con la siguiente ecuación:

$$\begin{cases} I_C = 1.705 V_G - 41; & 8 \leq V_G \leq 9.75 \\ I_C = 1.6605 V_G; & 9.75 < V_G \leq 11 \end{cases} \quad (3.34)$$

Aplicando la inversa a (3.34) para obtener la función de  $V_G(I_C)$ ;

$$\begin{cases} V_G = 4.3154 * \log(I_C + 41); & 8 \leq V_G \leq 9.75 \\ V_G = 4.5405 * \log(I_C); & 9.75 < V_G \leq 11 \end{cases} \quad (3.35)$$

Para obtener el ciclo de trabajo del PWM utilizamos la siguiente ecuación:

$$\%D = 100 * \frac{V_G}{V_{CC}} \quad (3.36)$$

Convertimos el ciclo de trabajo en valores de entre 0 – 255, que es el rango que acepta la función analogWrite();

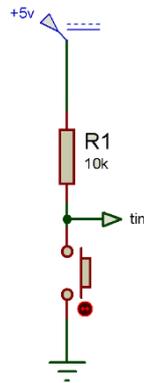
$$\%D' = \frac{D * 255}{100} \quad (3.37)$$

Obteniendo mediante el ingreso por teclado de la corriente  $I_C$  el ciclo de trabajo.

Entonces el código para generar la señal PWM sería el siguiente:

```
if(Iconv>=28 && Iconv<138){
  Vg= 4.3154*log10(Iconv + 41);
}else{
  Vg= 4.5405*log10(Iconv);
}
D= 8.3333*Vg;
Dconv= (D*255)/100;
Dconv2=Dconv;
analogWrite(9,Dconv2);
delay(tconv);
analogWrite(9,0);
```

De esta manera, mediante la resistencia de PULL-UP mostrada en la **Figura 3.22** que está conectada en el pin A0 del ARDUINO, la cual será configurada como una entrada digital para que cada que lea una señal en bajo '0V' cuando se oprima la botonera, se generará con la función analogWrite(); la señal PWM, donde esta función recibirá como parámetros el pin 9 configurada a 30 kHz donde se va a generar el PWM y el ciclo de trabajo que dependerá del valor de corriente de colector ingresado por teclado, así obtendremos el tren de pulso con una frecuencia de 30 kHz, un ciclo de trabajo determinado según la corriente que se requiera y un tiempo de duración del tren de pulso que se haya ingresado por teclado mediante el interfaz de ARDUINO.

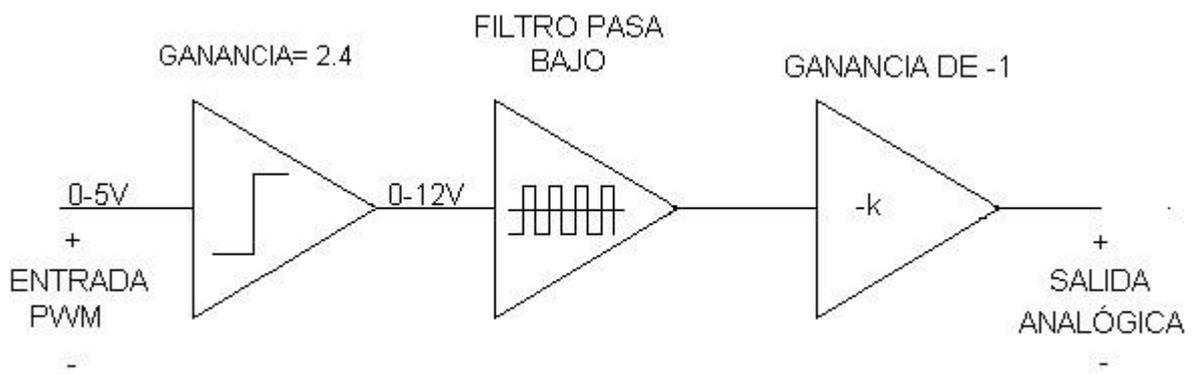


**Figura 3.22 Botonera PULL-UP**

En la figura mostrada anteriormente ilustra la configuración para la operación de la resistencia PULL-UP.

### 3.7.2 DRIVER PARA EL TRANSISTOR IGBT.

El driver para el IGBT como se muestra en la **Figura 3.23** consta de 3 etapas; la primera etapa es una ganancia que recibe en su entrada la señal PWM de 30 kHz con unos niveles de alto y bajo de 0 y 5 V respectivamente, y a su salida nos entrega niveles de alto y bajo de 0 y 12 V, a 30 kHz.



**Figura 3.23 DIAGRAMA DE BLOQUE DE DRIVER PARA IGBT**

La segunda etapa es un filtro pasa bajo para sacar el promedio de la señal PWM y obtener una señal analógica para la compuerta del IGBT.

Para sacar el promedio de la señal, se eligió como frecuencia de corte del filtro pasa bajo 80 Hz, para obtener un promedio de la señal con el menor rizado posible y una ganancia

de 2.4 de modo que tanto la primera como la segunda etapa en el diagrama de bloques de la **Figura 3.23** están diseñados en un mismo circuito.

Entonces de la **Ecuación de la frecuencia de corte**, obtendremos los valores del capacitor y la resistencia a utilizar.

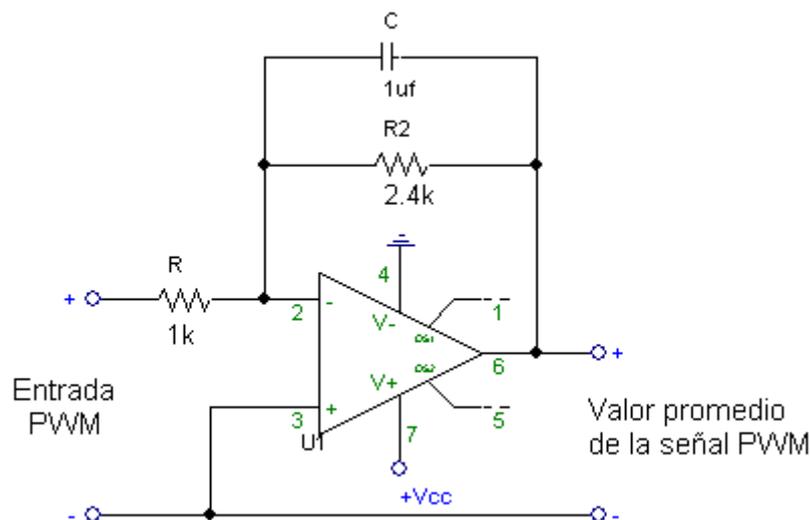
$$f_c = \frac{1}{2\pi R_2 C} \quad (3.38)$$

$$\text{Ganancia} = -\frac{R_2}{R} \quad (3.39)$$

Elegimos para  $R_2 = 2.4 [k\Omega]$  y  $R = 1 [k\Omega]$  para obtener la ganancia de 2.4. Despejando C de (3.38) y reemplazando valores nos queda una capacitancia de:

$$C = \frac{1}{2\pi(2.4 k\Omega)(80 Hz)} \cong 1 [\mu F]$$

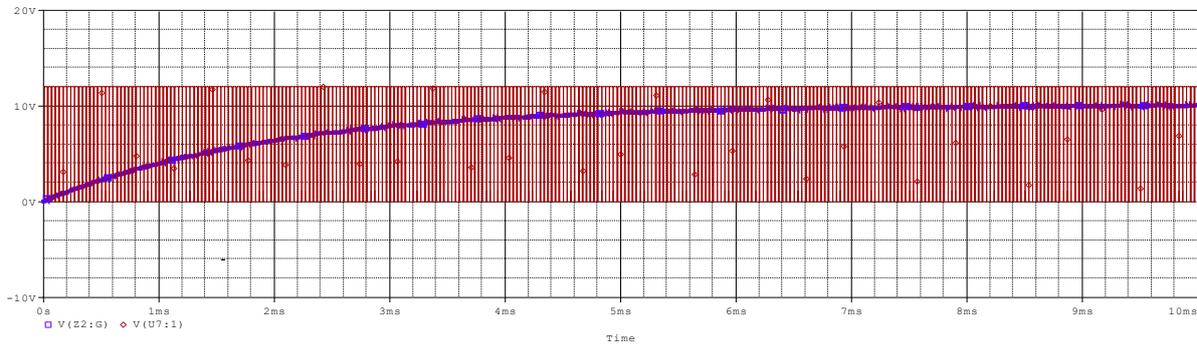
Quedando el circuito del filtro con la siguiente configuración y valores:



**Figura 3.24 Circuito del filtro para la señal PWM**

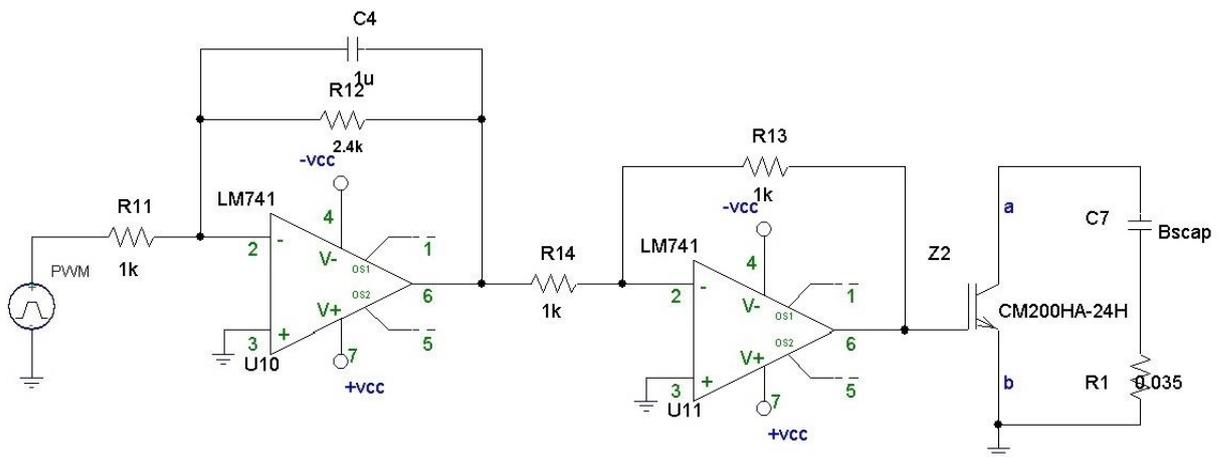
La última etapa del driver del IGBT es un circuito amplificador inversor con ganancia de  $k = -1$ , para compensar el signo negativo que se dio en la salida el filtro pasa bajo.

Con este diseño obtenemos la señal analógica para la compuerta del IGBT a partir del PWM, como se muestra a continuación en la **Figura 3.25** simulación realizada en PSPICE.



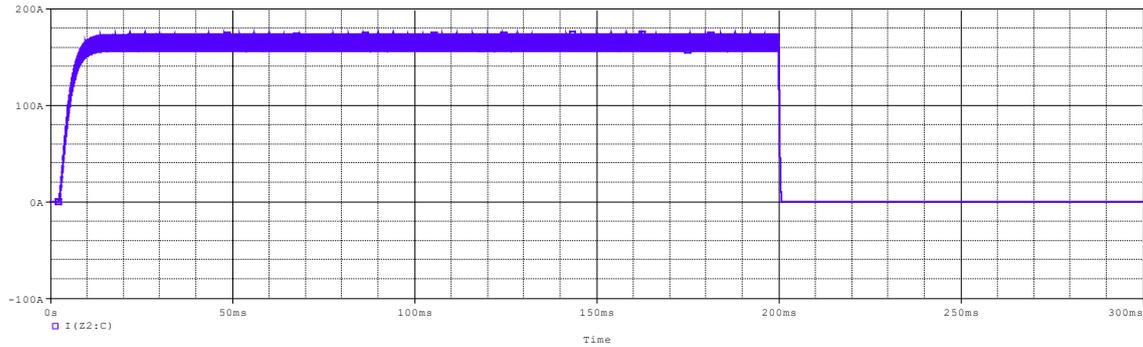
**Figura 3.25 Promedio de la señal PWM.**

A continuación, en la **Figura 3.26** se muestra el circuito completo del regulador de corriente con todas las etapas descritas anteriormente para la descarga del banco de supercapacitores en el proceso de soldado.



**Figura 3.26 Circuito del regulador de corriente con IGBT**

Vemos el resultado del regulador de corriente en la gráfica de la **Figura 3.27** simulada en el programa para circuitos electrónicos *PSPICE*. Donde muestra el pulso de corriente para la soldadura.



**Figura 3.27 Pulso de corriente de soldadura controlado por IGBT**

### 3.8 CÁLCULO PARA DIMENSIONAMIENTO DE PANELES SOLARES.

En el apartado del cálculo de banco de baterías, se dimensionó 2 baterías de 12 V, 10 Ah. Conectadas en paralelo para la carga del banco de supercapacitores a corriente constante y para la alimentación de los circuitos de la máquina de soldar, para así lograr cargar el banco de supercapacitores en un tiempo determinado de 8 a 10 minutos máximo, a una corriente no mayor de 10 A estando por debajo de la corriente nominal que nos puede suministrar el banco de baterías.

Entonces mediante la siguiente **ecuación (3.40)**, podremos calcular la energía demandada para poder cargar nuestro banco de supercapacitores y el resto del circuito:

$$C_b = \frac{1.1 * E_D [kWh] * D}{V * P_b} * 1000 \quad (3.40) \text{ (Alvarado)}$$

En donde:

**D:** Número de días con autonomía = 1 días.

**V:** Voltaje del banco Batería = 12 V<sub>DC</sub>

**P<sub>b</sub>:** Profundidad de descarga máxima = 75% = 0.75 para 500 ciclos de carga y descarga según las especificaciones técnicas de la batería.

**C<sub>b</sub>:** Capacidad de Acumulación en amperios hora=10 [Ah]

**E<sub>D</sub>:** Energía demandada en kWh.

Despejamos E<sub>D</sub> de la **ecuación (3.40)**:

$$E_{D[kWh]} = \frac{C_b * V * P_b}{1.1 * D * 1000} \quad (3.41)$$

Reemplazando valores en la **ecuación (3.41)**:

$$E_{D[kWh]} = \frac{20 \text{ Ah} * 12 \text{ V} * 0.75}{1.1 * 1 \text{ dia} * 1000}$$

$$E_{D[kWh]} = 0.163 \text{ [kWh]}$$

Ante esto, hay que tener en cuenta la radiación promedio solar, para proseguir con nuestros cálculos.

DATOS DE IRRADIACIÓN SOLAR DE LA NASA, EOSWEB LARC.

**Tabla 3.4 Insolación promedio 10 años en kWh/m<sup>2</sup> al día.**

<b>Sitio: Latitud/Longitud</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Prom</b>
Cotopaxi: -1/-79	3,73	3,98	4,05	3,88	3,74	3,47	3,71	3,97	3,98	3,77	3,88	3,79	3,83
Cuenca-Loja: -3/-79	3,76	3,99	3,98	3,87	3,84	3,53	3,79	4,17	4,29	4,08	4,26	4,05	3,97
Esmeraldas: 0/-80	4,05	4,42	4,71	4,51	4,17	3,79	3,75	3,9	3,96	3,88	3,93	3,97	4,09
Guayaquil: -3/-80	4,34	4,58	4,66	4,55	4,37	3,85	3,96	4,3	4,53	4,37	4,62	4,53	4,39
Ibarra-Tulcán: 0/-79	3,73	4,01	4,17	3,95	3,75	3,56	3,85	4,01	3,95	3,79	3,81	3,73	3,86
Islas Galápagos: -1/-91 (medido en sitio)	6,25	6,56	6,78	6,49	6,03	5,56	4,92	5,19	5,28	5,49	5,46	6,01	5,84
Manabí: -2/-81	5,05	5,22	5,51	5,45	5	4,01	3,84	4,15	4,42	4,26	4,54	4,91	4,70
Napo: -2/-77	4,45	4,36	4,33	4,04	4,11	3,74	4,01	4,55	4,82	4,59	4,47	4,67	4,35
Quevedo: -1/-80	4,15	4,44	4,63	4,5	4,21	3,68	3,68	3,92	4,01	3,86	4,01	4,09	4,10
Quito: -1/-79	3,73	3,98	4,05	3,88	3,74	3,47	3,71	3,97	3,98	3,77	3,88	3,79	3,83
Riobamba: -2/-79	3,74	3,97	3,96	3,83	3,76	3,43	3,63	3,98	4,05	3,82	3,99	3,87	3,84
Santa Elena: -3/-81	5,25	5,43	5,62	5,51	5,13	4,32	4,25	4,59	4,97	4,84	5,13	5,28	5,03

De la **Tabla 3.4** se selecciona el sitio 'Guayaquil' y el mínimo valor del año: 3.85 kWh/m<sup>2</sup> en el mes de junio.

Calculamos la potencia máxima mediante la ecuación:

$$P_{max} = \frac{E_D}{E_{Disponible}} * \frac{1 \text{ kW}}{m^2} * FS \quad (3.42) \text{ (Alvarado)}$$

En donde:

**FS:** Factor de Simultaneidad valor entre 0 y 1 para el este ejemplo consideramos 1, en la práctica es la probabilidad en el que todas las cargas estén conectadas al mismo tiempo o el valor que nos indica cuanta carga está conectada al mismo tiempo, pero en porcentaje.

**E<sub>Disponible</sub>:** Energía Disponible (ver tablas del sitio).

El valor de 1 kW/m<sup>2</sup> es una constante de prueba de los paneles.

De la **ecuación (3.42)** reemplazamos valores:

$$P_{max} = \frac{0.163 \text{ kWh}}{3.85 \text{ kWh}} * \frac{1 \text{ kW}}{m^2} * 1$$

$$P_{max} = 0.042 \text{ [kW]}$$

Cálculo de número de paneles:

$$N_{\text{paneles}} = 1.1 * \frac{P_{max}}{C} \quad (3.43)$$

**C:** Potencia pico del panel a utilizar.

Por cuestiones de dimensiones físicas, se seleccionará un panel de 55 Wp.

Reemplazando los valores en la **ecuación (3.43)**:

$$N_{\text{paneles}} = 1.1 * \frac{0.042 \text{ kW}}{0.055 \text{ kW}}$$

$$N_{\text{paneles}} = 0.84 \cong 1$$

Necesitaremos de solo 1 panel de 12 V y 55 W para nuestro diseño.

Ahora que ya tenemos el valor de potencia del panel que necesitaremos para nuestro diseño, buscamos en los catálogos de los fabricantes, uno que sea el indicado para nuestro requerimiento.

Las especificaciones técnicas del panel las podemos ver en las tablas **3.5** y **3.6**.

Buscamos un panel que sea acorde a la potencia que necesitamos y también, fijándonos en el costo de este. Dado el caso, optamos por el panel marca: UNISUN.

**Tabla 3.5 Datos eléctricos del panel solar.**

<b>DATOS ELECTRICOS</b>	
Potencia máxima (Pmax)	55 Wp
Voltaje a máxima potencia (Vmpp)	18.6 V
Corriente a máxima potencia (Impp)	2.96 A
Voltaje de circuito abierto (Voc)	3.13 V
Corriente de cortocircuito (Isc)	1.5 A
Eficiencia del panel	18.8 %
Tolerancia de potencia (positiva)	+3%
Tolerancia de potencia (negativa)	-3%

**Tabla 3.6 Características mecánicas y de temperatura del panel solar.**

<b>DATOS DE MATERIAL Y TÉRMICOS</b>	
Rango de temperatura de funcionamiento	-40~85 °C
Dimensión del panel (H/W/D)	550x550x35 mm
Dimensiones de células	125x62.5 mm
Peso	3.8 kg
Tipo de celdas	Back contact
Número de celdas	32
Longitud de cable (con conectores)	900 mm

Las tablas 3.5 y 3.6 contienen especificaciones del panel que hemos elegido para este proyecto.

### **3.9 DISEÑO DE INTERFAZ CON ARDUINO PARA LA MÁQUINA SOLDADORA**

El **ARDUINO UNO** también será utilizado para una interfaz con teclado y pantalla, y además para ingresar los parámetros de tiempo para la duración del pulso de corriente, la corriente de soldadura y el voltaje del banco de supercapacitores. Tal como se muestra en la **Figura 3.28**.

Este interfaz mostrara un menú con los siguientes parámetros: **1.tiempo**, **2.voltaje**, **3.corriente** y **4.soldar**. Mediante un teclado se podrá ingresar algunos parámetros y navegar por el menú. Al ingresar a la primera opción del menú, que es el tiempo que durará el pulso de corriente, el menú pedirá que ingrese el tiempo en milisegundos por el teclado, una vez ingresado el tiempo el programa regresará nuevamente al menú de opciones para poder elegir que otro parámetro ingresar. La opción dos del menú es el voltaje del banco de supercapacitores, este al ser seleccionado se podrá variar el voltaje mediante un potenciómetro a la misma vez que se muestra por la pantalla LCD, luego de fijar el voltaje se podrá salir al menú mediante la tecla ON/C. la opción tres no permitirá ingresar por teclado la corriente de soldadora, y para poder ingresar a la cuarta opción que es la opción de soldar y realizar el trabajo de soldar el cable, se podrá ingresar a esta opción mediante el teclado en el panel frontal pulsando la tecla con el número 4 y también se podrá salir al menú de opciones con la misma tecla ON/C.

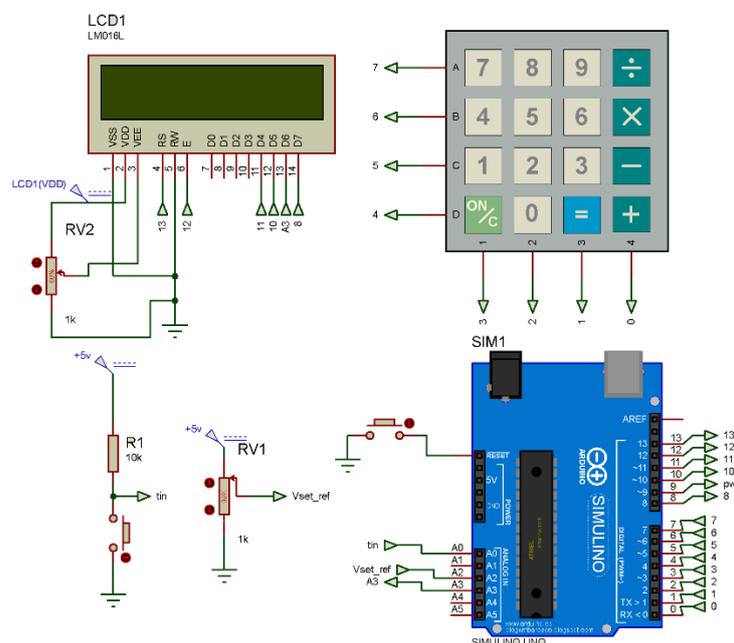


Figura 3.28 Interfaz de la "SOLDADORA DELTA" con un ARDUINO UNO.

El código mostrado a continuación es el código de la programación del interfaz hecho con el **ARDUINO UNO**.

```
#include <Key.h>
#include <Keypad.h>
#include <LiquidCrystal.h>
```

```

#include <math.h>

const byte FILAS=4;
const byte COLUMNAS=4;
char keys[FILAS][COLUMNAS]={
  {'7','8','9','A'},
  {'4','5','6','B'},
  {'1','2','3','C'},
  {'*','0','#','D'}
};
byte pinesFilas[FILAS]={7,6,5,4};
byte pinesColumnas[COLUMNAS]={3,2,1,0};
Keypad teclado=Keypad(makeKeymap(keys), pinesFilas, pinesColumnas, FILAS, COLUMNAS);
LiquidCrystal lcd(13,12,11,10,A3,8);
char TECLA, TECLA2;
int cont=0, cont1=0, cont2=0, cont3=0, contx=0;
float V;
char v_set=A2;
char tiempo[2];
int tconv;
char l[2];
float lconv;
char led = A1;
char boton=A0;
int value=0;
char TEC;
float Vg, D, Dconv;
int Dconv2;

void setup() {
  TCCR1B = TCCR1B & B11111000 | B00000010;
  lcd.begin(16, 2);
  pinMode(led,OUTPUT);
  pinMode(boton, INPUT_PULLUP);
  pinMode(v_set, INPUT);
  digitalWrite(led,LOW);
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("SOLDADORA DELTA");
  delay(2000);
  lcd.clear();
}

```

```

void loop() {
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("elija opcion");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("1:t 2:v 3:l 4:weld:");
  TEC=teclado.getKey();
  switch(TEC)
  {
  case '1':
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("input time(ms):");
    lcd.setCursor(0,1);
    while(cont<3){
      TECLA=teclado.getKey();
      if (TECLA){
        tiempo[cont]=TECLA;
        delay(200);
        lcd.print(TECLA);
        cont++;
      }
    }
    tconv = String(tiempo).toInt();
    delay(250);
    cont=0;

    break;

  case '2':
    lcd.clear();
    while(cont1==0){
      lcd.setCursor(0,0);
      lcd.print("voltaje:");
      V=analogRead(v_set)* 2.2;
      V=(5.0*V)/1024.0;
      lcd.print(String(V));
      if(teclado.getKey()=='*'){
        cont1=1;
      }
    }
  }
}

```

```

}
cont1=0;
break;

case '3':
while(contx==0){
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Input current[A]; ");
lcd.setCursor(0,1);

while(cont2<3){
TECLA2=teclado.getKey();
if(TECLA2){
I[cont2]=TECLA2;
delay(200);
lcd.print(TECLA2);
cont2++;
}
}
Iconv = String(I).toInt();
delay(250);
if(Iconv>=28 && Iconv<=260){
contx=1;
}else{
cont2=0;
}
}
cont2=0;
contx=0;
delay(250);

if(Iconv>=28 && Iconv<138){
Vg= 4.3154*log10(Iconv + 41);
}else{
Vg= 4.5405*log10(Iconv);
}
D= 8.3333*Vg;
Dconv= (D*255)/100;
Dconv2=Dconv;
delay(200);

```

```

break;

case '4':
lcd.clear();
lcd.print("soldar");
while(cont3==0){
value = digitalRead(boton);
if (value == LOW){
analogWrite(9,Dconv2);
delay(tconv);
analogWrite(9,0);
}
if(teclado.getKey()=='*'){
cont3=1;
}
}
cont3=0;
break;
}
}

```

### 3.10 DISEÑOS EN PCB DEL SISTEMA ELECTRÓNICO DE LA SOLDADORA.

Una vez hecho todos los cálculos pertinentes, precedemos al diseño de las PCB's.

El diseño de estas PCB's es posible gracias a todos los cálculos que realizaron previamente, para así dar con los valores correspondientes de los elementos y, en su efecto, realizar la simulación en *PROTEUS*, y así generar la pista de cobre en la PCB.

#### 3.10.1 Diseño PCB del circuito de fuente de corriente:

La **Figura 3.29** muestra la vista superior de la tarjeta PCB en donde van montados los elementos de la fuente de corriente.

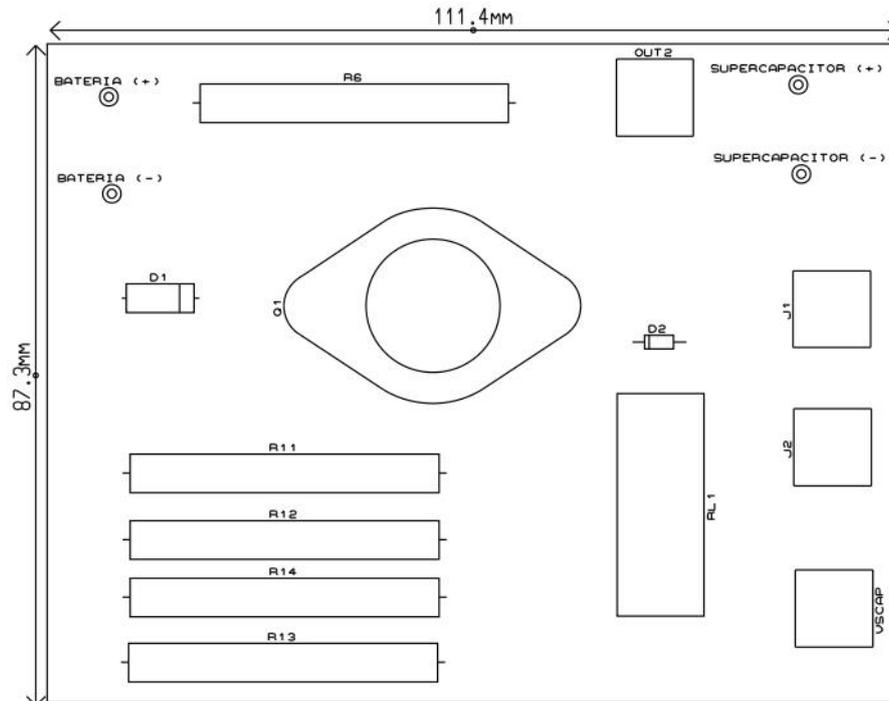


Figura 3.29 Vista superior de la PCB de la fuente de corriente.

Ahora, en la **Figura 3.30**, nos permitimos mostrar la pista de cobre de la PCB de la fuente de corriente.

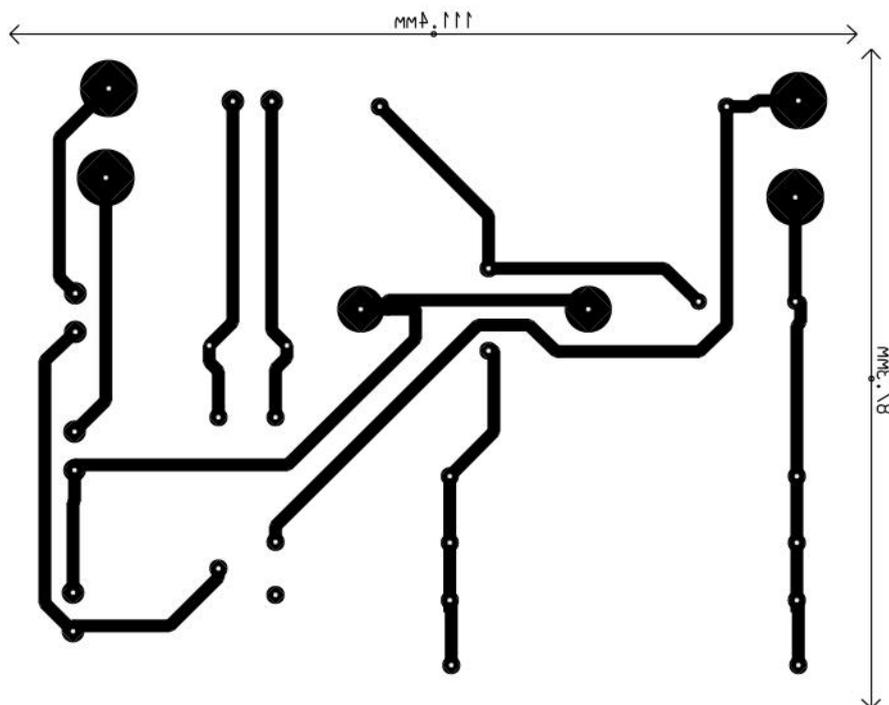
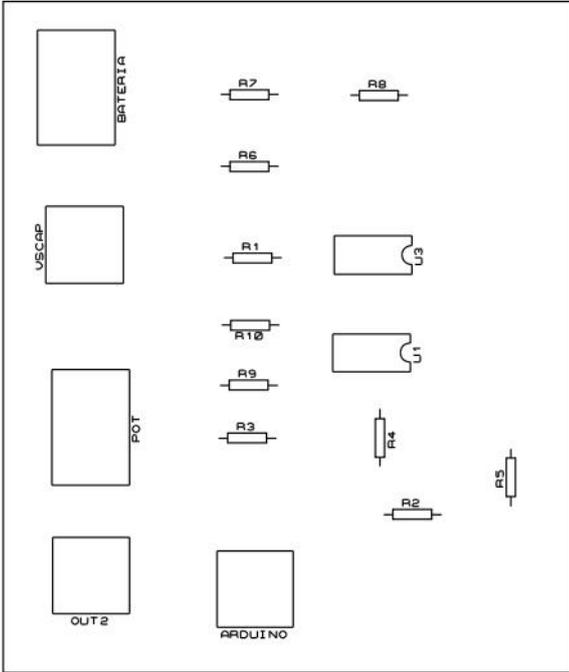


Figura 3.30 Pista de cobre en la PCB de la fuente de corriente.

Las **figuras 3.29 y 3.30** corresponden a la vista superior y pista de cobre del PCB, respectivamente, del **circuito de la fuente de corriente**.

**3.10.2 Diseño PCB del circuito controlador de voltaje por histéresis:**

Enseguida, en la **Figura 3.31**, mostramos la ubicación de los elementos en la PCB del circuito controlador de voltaje por histéresis.



**Figura 3.31 Montaje de elementos en la PCB del circuito controlador de voltaje por histéresis.**

Ahora, en la **Figura 3.32**, podemos apreciar la pista del PCB del circuito controlador de voltaje por histéresis:

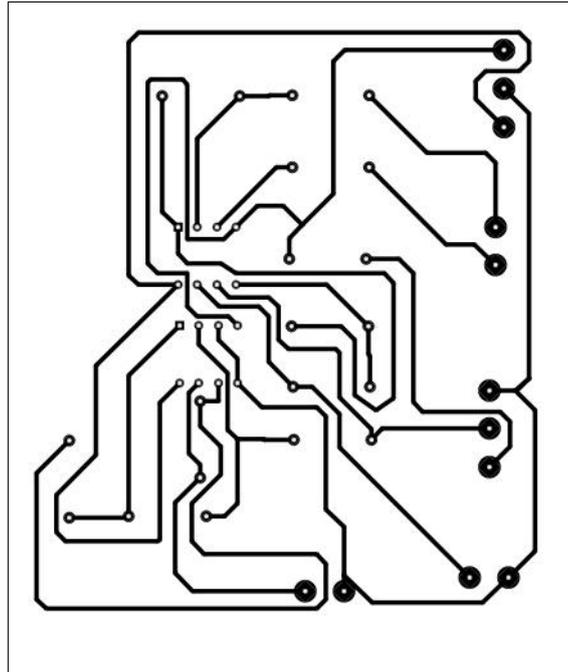


Figura 3.32 Pista de cobre en la PCB del circuito controlador de voltaje por histéresis.

Las **figuras 3.31** y **3.32** corresponden a la vista superior y pista de cobre del PCB, respectivamente, del **circuito controlador de voltaje por histéresis**.

### 3.10.3 Diseño PCB del driver para el IGBT

En la **Figura 3.33(a)** mostramos la ubicación de los elementos en la PCB del driver para el IGBT y en la **Figura 3.33(b)** podemos apreciar la pista del PCB.

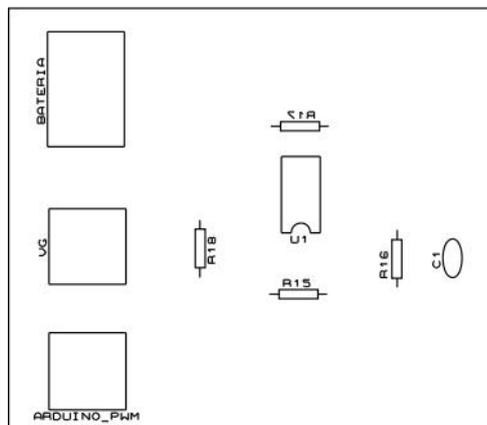
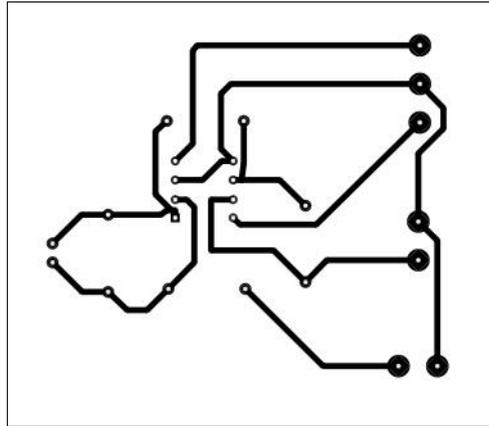


Figura 3.33(a) Montaje de elementos en la PCB del driver para el IGBT



**Figura 3.33(b) Pistas de cobre en la PCB para el driver del IGBT**

Cabe indicar que todas las gráficas de las **PCB's** mostradas en este documento, están ilustradas en el tamaño real, listas para ser impresas en el caso de que alguien quiera para una futura implementación.

# CAPÍTULO 4

## 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

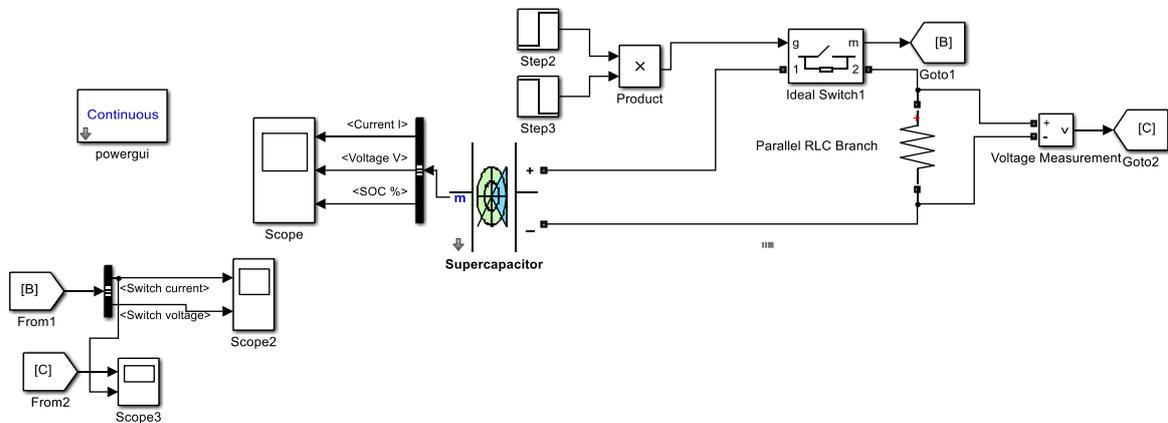
### 4.1 ANÁLISIS DEL DIMENSIONAMIENTO DEL BANCO DE SUPERCAPACITORES.

Se realizó un análisis para los cálculos de la cantidad de calor requerido para fundir la porción de un hilo de **cable** eléctrico de **calibre 1/0** a soldar, la resistencia de contacto entre las dos partes del cable y el tiempo estimado para la corriente de soldadura, y mediante la ecuación de la **Ley de Joule** se determinó que la corriente de soldadura  **$I_{weld} = 173$  [A]**. Con este resultado obtuvimos el valor de voltaje requerido para soldar de 6 V, entonces en primera instancia sabiendo que el valor de voltaje del supercapacitor a utilizar para nuestro diseño es de 2.7 V, se requerirá de dos supercapacitores conectados en serie para nuestro banco, pero haciendo un análisis más a fondo, tomando en consideración las caídas de tensiones en el circuito de descarga como la caída de tensión en el elemento regulador, se tendría que sumar más supercapacitores en serie para poder elevar el voltaje operativo y compensar las pérdidas por caída de tensión.

La resistencia en serie ESR del supercapacitor juega un papel importante, ya que influye mucho en la eficiencia para entregar el calor requerido para soldar, entonces fue de vital importancia tomar en cuenta en nuestros cálculos estas resistencias para el dimensionamiento de este banco. Entonces con este arreglo en serie obtuvimos el voltaje de operación que se requiere para nuestro banco, y un ESR equivalente que no sobrepasa al ESR máximo que debería tener, para de esta manera obtener una eficiencia aproximada al 90% en relación al equivalente del ESR y la resistencia de la carga, estableciendo un límite mínimo de eficiencia de descarga de almacenamiento de energía del 90%, ya que el cable de 7 hilos 1/0 es el calibre mínimo a soldar, pudiendo así aumentar en sus capacidades poder soldar números de cables superiores al 1/0 debido que aumentaría su eficiencia con calibres más altos, también debido al arreglo total obtenido según en los cálculos la **potencia máxima total** que entregará será de **12,568 W**, obteniendo a 100% de carga del banco de supercapacitores una **corriente**

aproximada de **1,164 A**, dejando un techo considerablemente alto **para poder soldar calibres superiores al 1/0**.

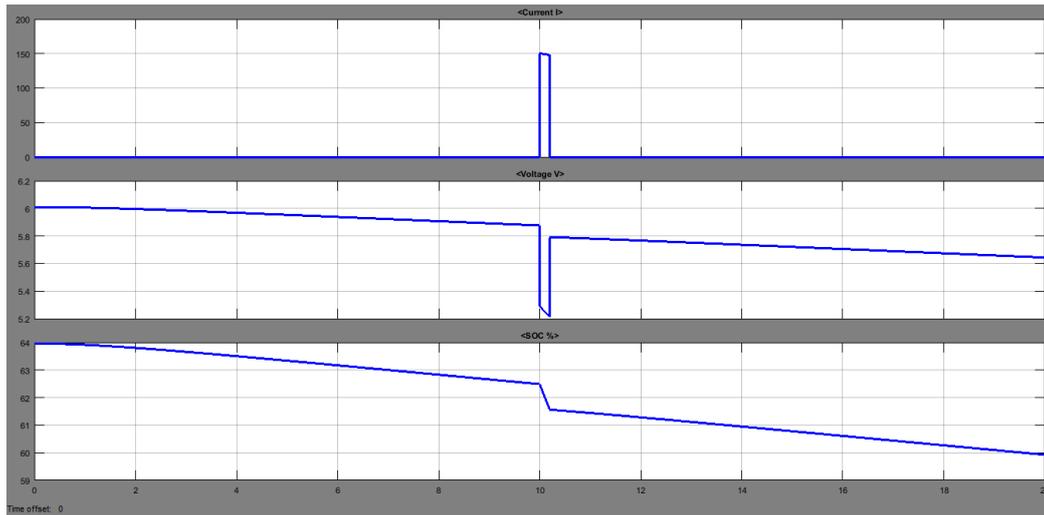
En las gráficas a continuación, se muestra las señales del circuito de descarga de las simulaciones realizadas en *matlab-simulink*.



**Figura 4.1 Simulación del circuito de descarga del banco de supercapacitores.**

En la **Figura 4.1** se muestra el circuito de descarga para la simulación en *matlab-simulink*, que corresponde al circuito en serie del banco de supercapacitores, el IGBT que está representado por un INTERRUPTOR IDEAL activado con un pulso de duración de 200 milisegundos que simularía la activación del IGBT y también la carga resistiva de la junta a soldar.

A continuación, se muestra las curvas obtenidas en la simulación del circuito de descarga de la **Figura 4.2**.



**Figura 4.2 Curva de descarga del banco de supercapacitores en un intervalo de tiempo**

En la **Figura 4.2** se puede ver el pulso de corriente que entrega el banco de supercapacitores a la carga que es aproximadamente de 150 A, siendo este valor un poco menor a los 173 A calculados en el capítulo anterior. Esto debido a que hay una caída de tensión en la resistencia del INTERRUPTOR cuando se encuentra en estado 'ON'.

Entonces podemos ver que los valores de la simulación se aproximan a los cálculos obtenidos.

Podemos observar que el valor de la corriente en el periodo de los 200 milisegundos se mantiene casi en el mismo valor de 150 A, gracias a que la descarga en porcentaje del banco de supercapacitores en ese intervalo de tiempo es del 1% debido a su  $\tau$  que es mucho mayor al intervalo de los 200 milisegundos, entonces podemos tener una descarga en el momento de la soldadura estable que no va a disminuir su valor en consideración a los niveles de corriente que se está trabajando, haciendo esto favorable para el momento de la soldadura de los cables.

## **4.2 ANÁLISIS DEL BANCO DE BATERÍAS Y CIRCUITO DE CARGA DEL BANCO DE SUPERCAPACITORES.**

Para la carga del banco de supercapacitores se seleccionó la batería en base a la comparación de una carga exponencial vs una carga lineal del banco de supercapacitores. Las simulaciones a continuación, muestra la carga exponencial del banco de supercapacitores y también la curva de la carga lineal del banco de

supercapacitores mediante un circuito de corriente constante a través de una configuración con un transistor BJT (Figura 4.3(a)).

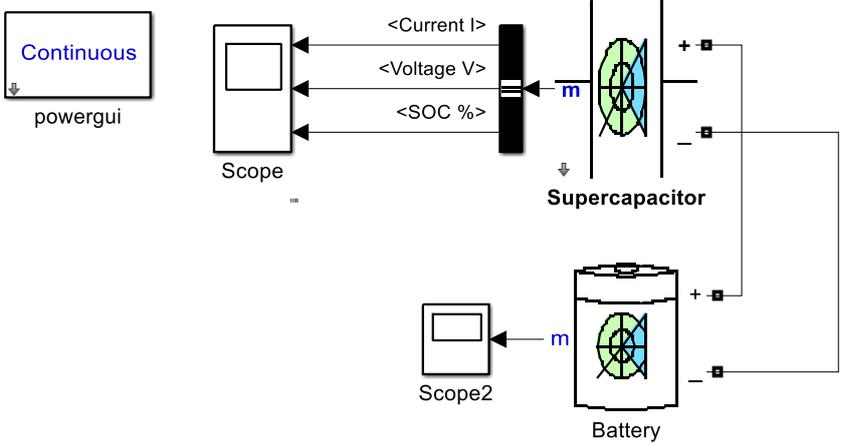


Figura 4.3(a) Simulación de circuito de carga exponencial del banco de supercapacitores.

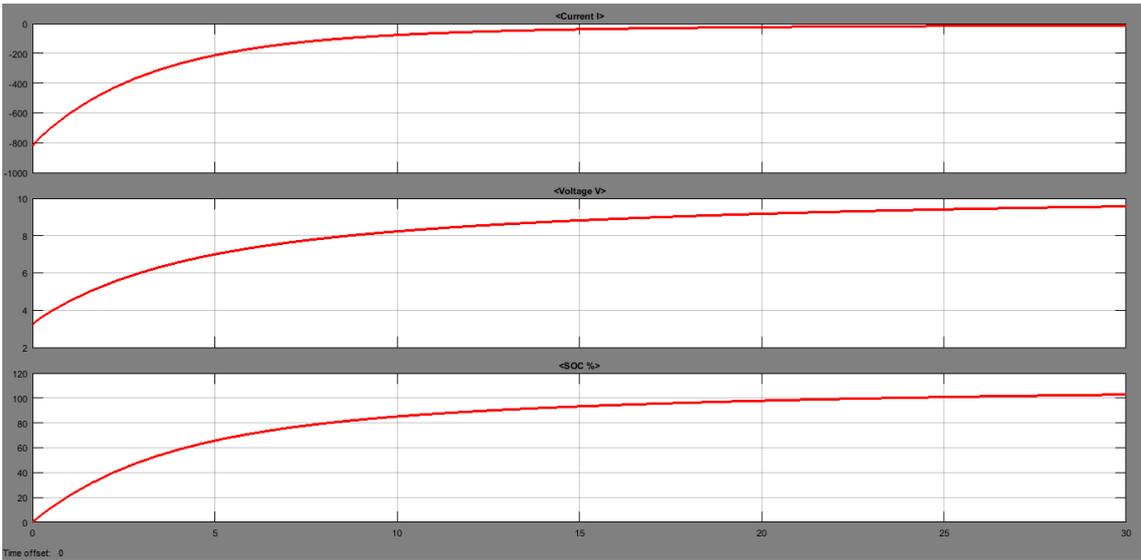


Figura 4.3(b) Curvas de carga exponencial del banco de supercapacitores.

En las curvas se muestra en la Figura 4.3(b) que para la carga inicial del banco de supercapacitores, este absorbe inicialmente una corriente muy alta durante varios segundos de 800 A, este valor es muy alto, se necesitaría una conexión de varias baterías en paralelo para que pueda descargar esa cantidad de corriente.

La batería elegida es de 12 V y 10 Ah, con una máxima corriente de descarga de 150 A en 1 segundo, estando el banco de baterías conformado por 2 en paralelo, entonces estas características dadas hace que la carga exponencial sea inviable para este caso, Es por eso, que se planteó realizar una carga lineal del banco de supercapacitores.

A continuación, se muestran las gráficas de carga lineal del banco de supercapacitores (figuras 4.4(a) y 4.4(b)).

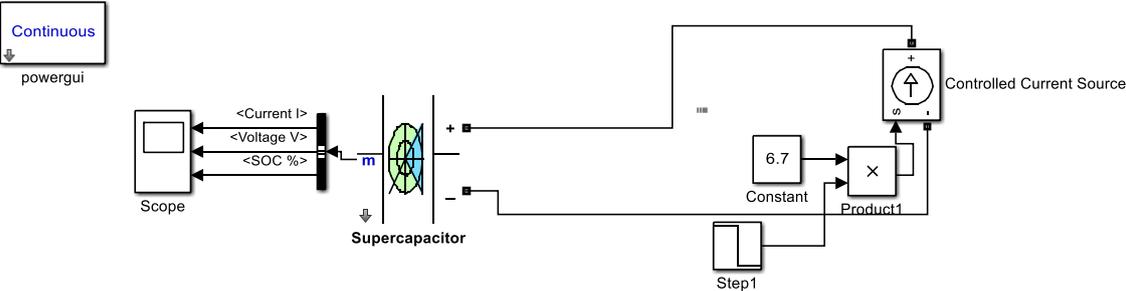


Figura 4.4(a) Diagrama de simulación del circuito de carga lineal del banco de supercapacitores.

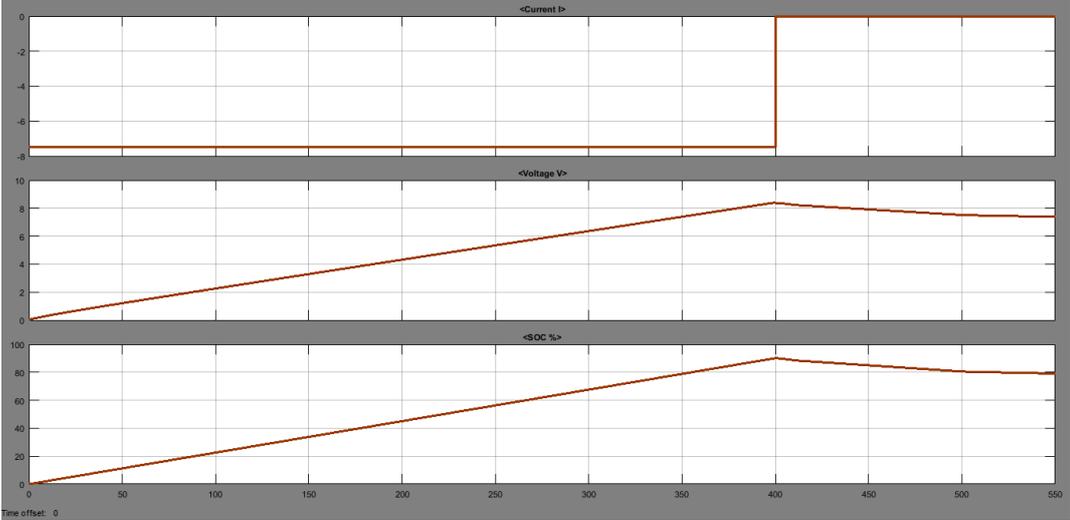


Figura 4.4(b) Curvas de la carga lineal del banco de supercapacitores.

Se puede ver en las curvas resultantes (**Figura 4.4(b)**) que, mediante una carga a corriente constante, podremos cargar el banco de supercapacitores con normalidad sin que la batería tenga una descarga de corriente elevada. Se observa que con una corriente constante de 6.7 A, la carga demorara alrededor de unos 7 a 8 minutos. El banco de baterías consta en total de 20 Ah, es decir que durante 1 hora será capaz de descargar hasta 20 A, es por eso, que se elige este tipo de carga ya que la corriente se encuentra dentro de las capacidades nominal de corriente que el banco de baterías puede entregar y el tiempo de carga del banco de supercapacitores no excede al tiempo de descarga de la batería.

### 4.3 ANÁLISIS DE LA FUENTE FOTOVOLTAICA.

Con base a los cálculos de dimensionamiento de los bancos de supercapacitores y baterías procedimos a realizar los cálculos del dimensionamiento del panel solar de nuestro diseño, para así poder dar el suministro de energía requerido para que la batería de la soldadora pueda cargar al 100%.

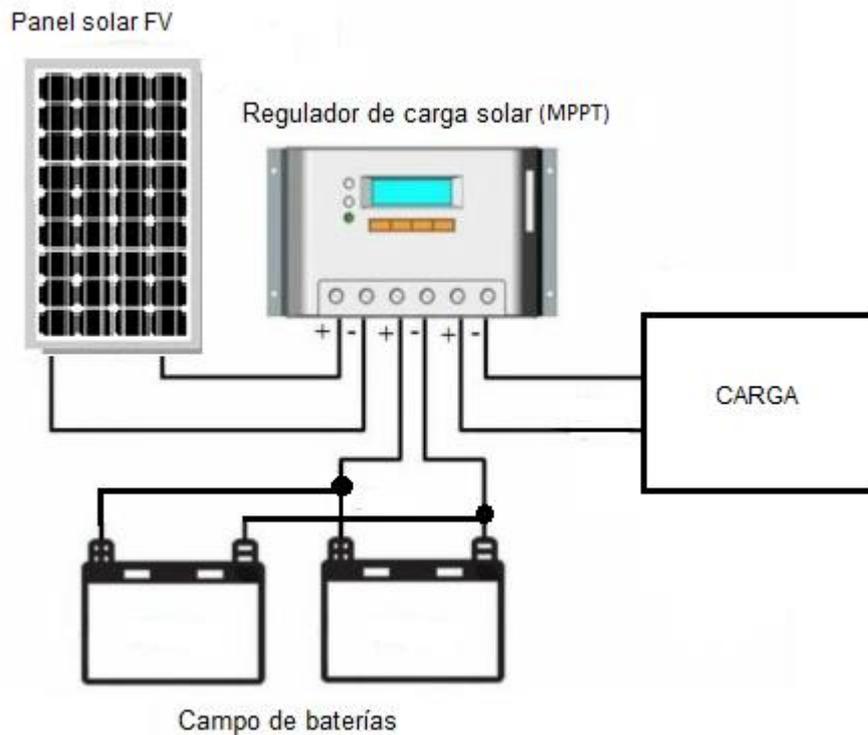
En los cálculos realizados en el capítulo anterior de metodología se calculó mediante la **ecuación 3.35**, la energía demandada para poder cargar el banco de supercapacitores y a partir de eso obtener el número de paneles.

El resultado de estos cálculos nos dio que con un panel de 55 Watts pico será suficiente para abastecer de energía a nuestro banco de baterías y poder darle como mínimo un día de autonomía.

Entonces nuestro panel fotovoltaico podrá cargar nuestro banco de baterías en un determinado tiempo como se muestra a continuación:

Si nuestro banco de baterías tiene unas capacidades nominales de 12 V y 20 Ah entonces su potencia nominal será de  $w = 12 V * 20 Ah = 240 [Wh]$ , esto dividido para capacidad de nuestro panel fotovoltaico de 55 W nos daría un tiempo de carga de  $t = (240 Wh / 55W) = 4.3$  horas, entonces sabemos que para hacer uso de nuestra soldadora tendríamos que dejarla cargando como mínimo 4.3 horas.

A continuación, mediante la ilustración en la **Figura 4.5**, se muestra la configuración de la fuente fotovoltaica.



**Figura 4.5 Configuración de la fuente fotovoltaica (Off Grid).**

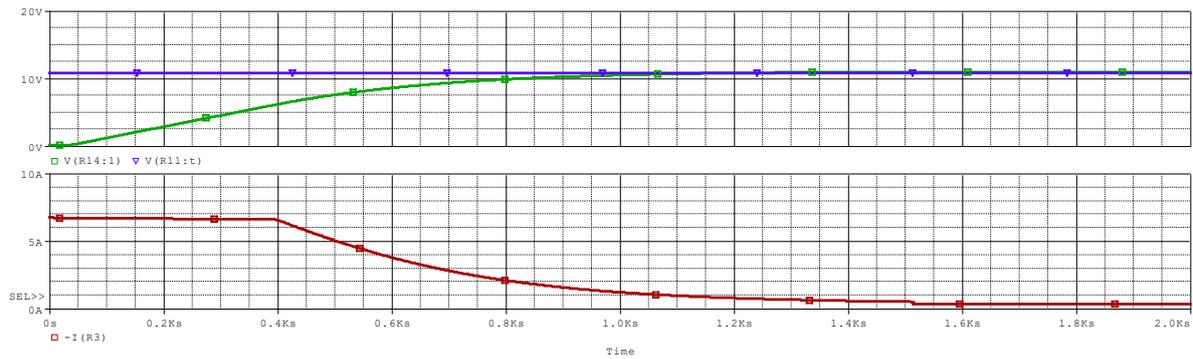
Adicional al panel y la batería, se agregó también como se muestra en la **Figura 4.5**, un controlador MPPT de 12 V y 20 A. para poder optimizar el rendimiento de los paneles y poder regular y controlar el voltaje para la carga de la batería.

#### **4.4 ANÁLISIS DE CONTROLADOR DE VOLTAJE CON HISTÉRESIS.**

Este controlador de voltaje se lo diseñó para el banco de supercapacitores, para controlar la carga de dicho banco. Con este controlador se logró en las simulaciones controlar el voltaje en la carga del banco de supercapacitores hasta el voltaje de operación de 10.8 V del banco, este control se realiza debido a que el voltaje en cada supercapacitor no debe exceder sus capacidades nominales ya que pueden averiarse o acortar su tiempo de vida, dado que el voltaje de la batería es mayor al voltaje nominal del banco de supercapacitores y además que resulta conveniente el diseño de un controlador de histéresis para este tipo de control, por lo fácil y práctico de diseñar.

En este diseño el voltaje del supercapacitor se compara con el voltaje de referencia que se fija en el circuito de histéresis y al superar este nivel el comparador histéresis se pone en alto deshabilitando el circuito de carga del banco de supercapacitores.

A continuación, se muestran las simulaciones del controlador.



**Figura 4.6 Resultado de la simulación del controlador de voltaje con histéresis.**

La curva de color verde (**Figura 4.6**) muestra el resultado de la carga del banco de supercapacitores hasta los 10.8 V y la curva roja muestra la corriente constante de carga. Vemos como la corriente deja de fluir o cae a cero cuando llega a los 10.8 V, gracias a que el comparador histéresis interrumpe la carga cuando llega a ese valor de referencia que tenía el comparador de histéresis.

Una vez dado con los dimensionamientos de cada uno de los componentes de nuestro diseño y, haber acertado con la rigurosidad matemática que se requiere para el prototipo en cuestión, podemos determinar la estructuración y dimensionamiento físico del prototipo con todas las partes que constituyen la soldadora.

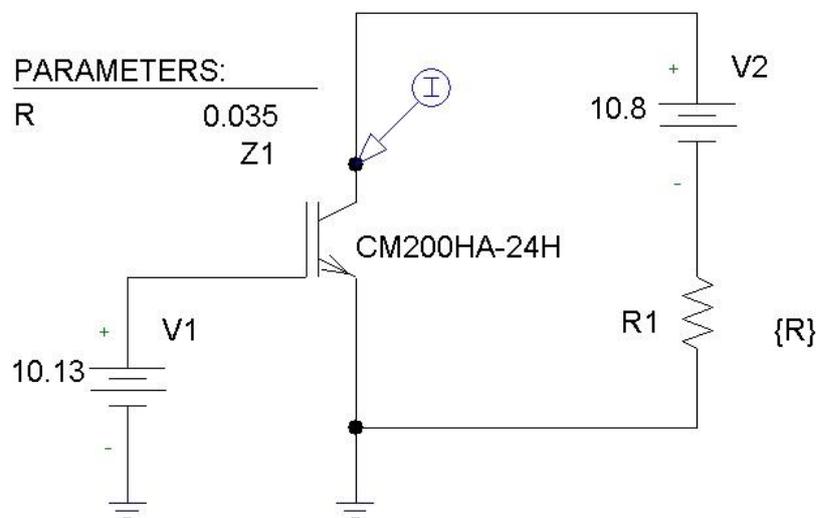
#### **4.5 ANÁLISIS DEL REGULADOR DE CORRIENTE.**

Se realizó un análisis de la corriente de soldadura durante el proceso de soldado y se había determinado el diseño de un regulador de corriente, ya que era esencial para controlar la corriente de soldadura y asegurar el mismo nivel de corriente para todo el proceso de soldado. En este caso la soldadura de un hilo conductor del cable calibre 1/0 que se va a requerir de 172 A durante el soldado del cable.

Como se explicó en el capítulo anterior en el diseño del regulador, vimos que la resistencia de contacto varia durante todo el proceso; comenzando con una resistencia de contacto inicial la cual irá disminuyendo conforme se esté soldando y se vaya fusionando los dos cables y por ende un incremento significativo en la corriente de soldadura.

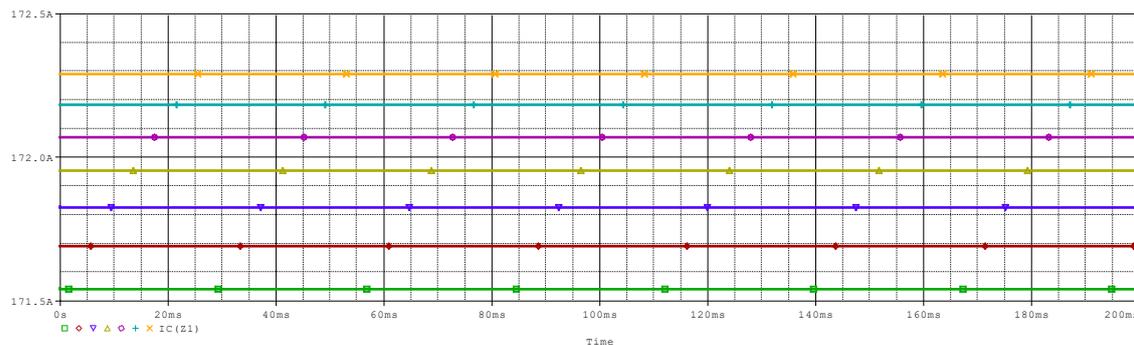
Entonces podemos ver en la siguiente simulación donde se estableció como parámetros un voltaje de compuerta de 10.13 V para así obtener una corriente en la salida de 172 A y una carga que representa la resistencia de contactos entre los hilos conductores del cable 1/0 con un valor de resistencia de 35 mΩ, el cual ira decreciendo su valor inicial de 35 mΩ hasta 5 mΩ. Para simular el proceso de soldado de ambos hilos conductores.

El circuito mostrado en la **Figura 4.7** está diseñado para la simulación de la corriente en la carga o corriente de soldadura, dicha carga variará su valor mediante la función PARAMETERS en la librería de *Pspice*, la cual va a simular como la resistencia de contacto disminuye su valor y ver el efecto de la corriente de soldadura con el regulador de corriente (IGBT).



**Figura 4.7 Circuito para la simulación de la corriente de soldadura con variación en la carga**

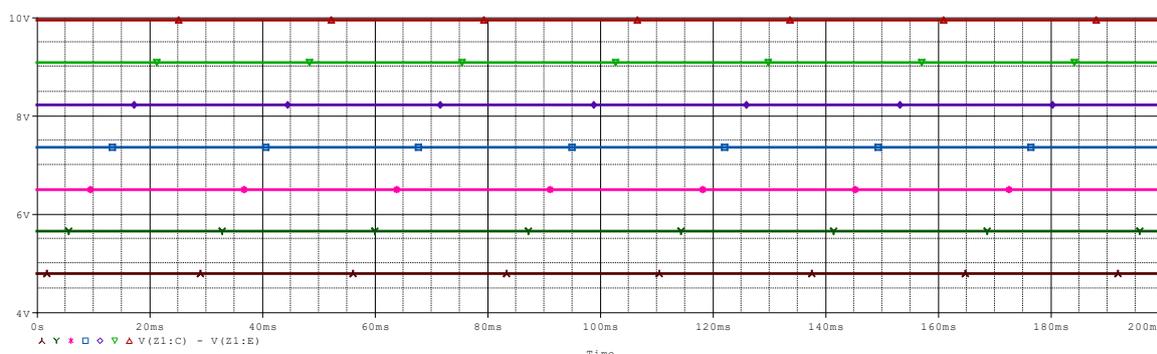
En esta simulación de la **Figura 4.8** podemos observar como la corriente de soldadura se mantiene dentro de un corto rango de 171.5 A - 172.5 A, manteniendo el nivel de corriente deseado a pesar de la disminución de la resistencia de contacto, evitando el incremento o desborde de la corriente de soldadura a valores muy altos.



**Figura 4.8 Valores de las corrientes según la variación en la resistencia de carga**

En la **Figura 4.9** se puede observar el voltaje entre el colector y emisor del IGBT, donde el voltaje  $V_{CE}$  con el valor inicial de la resistencia de contacto según la gráfica es de 4.8 V y conforme disminuye la dicha resistencia el voltaje entre colector y emisor incrementará hasta una diferencia de tensión muy cercana al del banco de supercapacitor de 10.8 V, debido a que la resistencia de contacto será aproximadamente a cero ohmios.

Como sabemos según la curva característica del IGBT MC200HA-24H mostrada en la **Figura 3.20**, el voltaje mínimo para que el IGBT opera en la zona donde la corriente se mantiene constante es cercano a los 4 V, sabiendo que el voltaje  $V_{CE}$  en las simulaciones durante el proceso de soldado es inicialmente mayor a los 4 V e incrementa según vaya disminuyendo la resistencia de contacto hasta ser muy próximo al voltaje que suministra el banco de supercapacitores de 10.8 V, podemos asegurar que trabaje en dicha zona logrando mantener la corriente al nivel deseado.



**Figura 4.9 Voltaje colector-emisor versus tiempo con variación en la resistencia de contacto.**

#### 4.6 ANÁLISIS DEL TIEMPO REQUERIDO PARA REALIZAR UNA REPARACIÓN DE UN CABLE CALIBRE 1/0 SOLDANDO HILO POR HILO.

En este apartado se analizará el tiempo que se tarda en realizar la reparación de un cable calibre 1/0 soldando hilo por hilo.

El tiempo de carga del banco de supercapacitores cuando está completamente descargado habíamos determinado que tarda un tiempo de 8 – 10 min aproximadamente, ahora para soldar un cable 1/0 hilo a hilo se realizarán 7 sueldas debido a que son 7 hilos que se deben de soldar. Entonces, cada vez que realicemos un punto de soldadura en cada hilo, el banco de supercapacitores se habrá descargado un pequeño porcentaje de su carga, esto implica volver a carga el banco para recuperar la energía descargada en dicho punto de soldadura anterior.

Entonces tenemos que el tiempo del pulso de la corriente de soldadura para el cable 1/0 es de  $t = 200$  ms, como son 7 hilos que se deben soldar, el tiempo establecido para soldar estos 7 hilos serán  $t' = 7 \times 200$  ms = 1.4 segundos. A esto hay que sumar el tiempo que tarda en volverse a cargar a su máxima carga luego de haber entregado un porcentaje de su energía para el anterior punto de soldadura, a este tiempo le llamaremos  $t_2$  y, como son 6 veces que hay que poner a cargar el banco de supercapacitores para realizar el nuevo punto de soldadura para el siguiente hilo, tenemos un tiempo  $t_2' = 6 \times t_2$ .

Podemos ver en las gráficas de la **Figura 4.2** de la simulación realizada en matlab-simulink que la caída de tensión del banco de supercapacitores luego de que entrega el pulso de corriente durante los 200 milisegundos es de 0.2 V.

Como ya sabemos la carga del banco de supercapacitores es lineal entonces para calcular el tiempo que requiere para recuperar esos 0.2 V, sería:  $t_2 = (0.2V \times 300F) / 6.7A = 9$  segundos, para tener un total de  $t_{total} = (6 \times 9 \text{ seg}) + 1.4 \text{ seg}$ .

Entonces tendríamos un tiempo total de 55.4 segundos, aproximadamente 1 min, entonces teniendo el banco de supercapacitores inicialmente cargado al 100% tardaríamos en el proceso de soldar todos los hilos alrededor de 1 minuto en teoría, pero sabemos también que por cada hilo que deba soldarse se debe preparar la superficie de contacto de ambos extremos de los cables donde se trata de sacar la mayoría de la

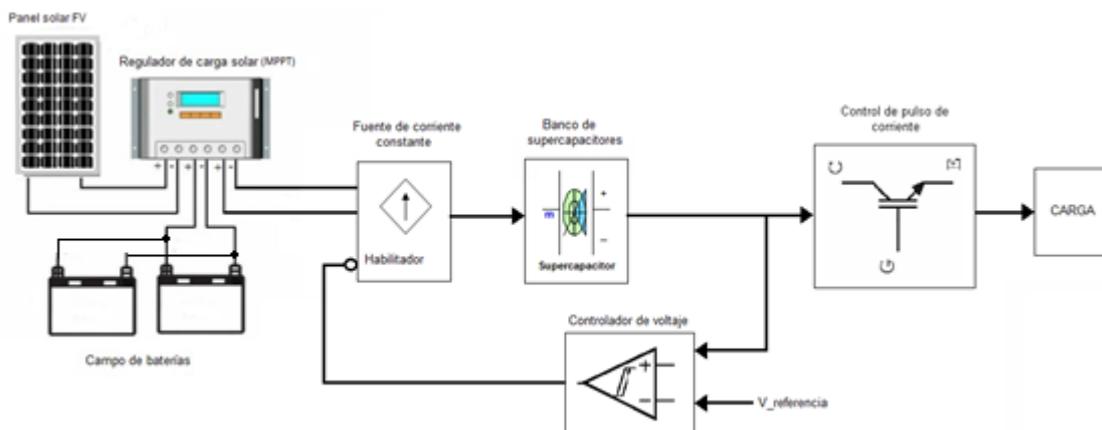
impurezas y dejar las dos superficies de tal manera que puedan hacer buen contacto, tiempo que tardaría alrededor de 1 a 2 minutos por cada hilo, entonces tendríamos un total de  $2 \text{ min} \times 7 = 14$  minutos adicional al minuto calculado anteriormente. Definitivamente, sería un total de 15 minutos de tiempo para poder trabajar un cable completo.

#### 4.7 DETERMINACIÓN DE LOS ESQUEMÁTICOS DEL SISTEMA COMPLETO DE LA SOLDADORA DE CABLES ELÉCTRICOS “SOLDADORA DELTA”

Ahora, procedemos a realizar los esquemáticos completos, tanto del diagrama de bloques como el diagrama completo del sistema electrónico de la soldadora.

##### 4.7.1 Esquemático del diagrama de bloques completo de la soldadora de cables eléctricos “SOLDADORA DELTA”

En consecuencia, ya podemos presentar un diagrama de bloques completo de nuestro diseño, tal como lo ilustraremos en la siguiente gráfica (**Figura 4.10**).



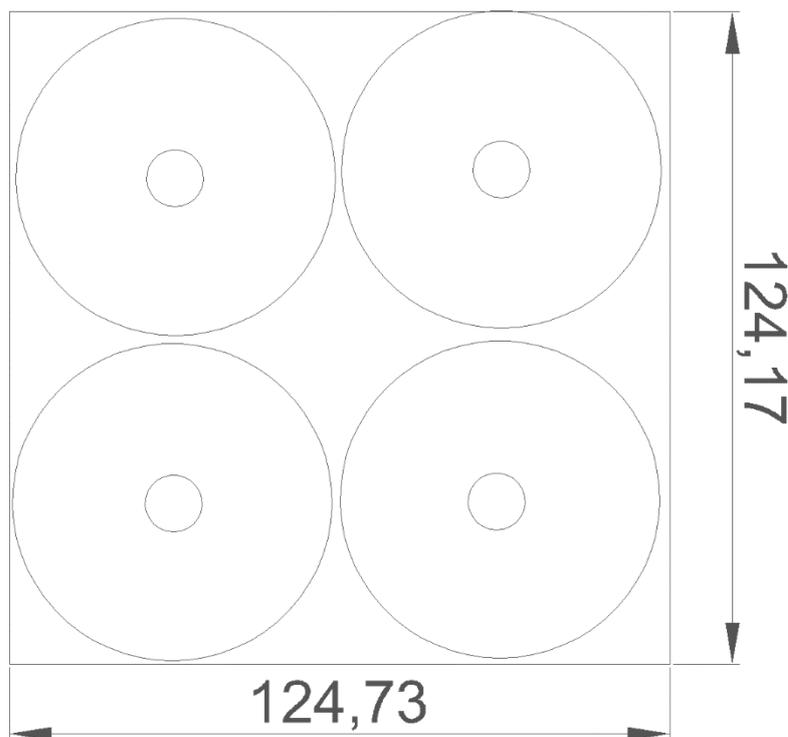
**Figura 4.10 Diagrama de bloques completo de la SOLDADORA DELTA.**

Como se puede apreciar en la figura anterior, así será el diagrama de bloques completo de nuestro diseño. En este diagrama de bloques completo, nos ayuda a visualizar y entender de una manera general de cómo está estructurada, y de cómo van interconectadas las funcionalidades de cada una de las etapas de nuestra máquina.



#### 4.8.1 Dimensiones del banco de supercapacitores y elección de la batería para el diseño propuesto en este proyecto.

El diseño del banco de supercapacitores está conformado por 4 supercapacitores **MAXWELL BCAP1200** ubicados como se muestra en la **Figura 4.12**, en los datos del fabricante nos dice que cada supercapacitor tiene un diámetro de 60.4 mm y 74 mm de largo, el banco de supercapacitores estará ubicado acostado de forma horizontal, entonces este ocuparía un espacio de (74x124.17) mm<sup>2</sup> en la base de la soldadora y tendría una altura de 124.73 mm.



**Figura 4.12 Vista lateral del banco de supercapacitores.**

La batería elegida fue la **Yuasa REC10-12**, la cual tiene las siguientes dimensiones extraídas del datasheet: Largo (mm) 151, Ancho (mm) 65 y Alto (mm) 112.

Puesto que son 2 baterías, estas ocuparán un área de 132x151 mm<sup>2</sup>

#### 4.8.2 Dimensiones de la estructura mecánica de nuestro diseño de soldadora de cables eléctricos.

En función a los cálculos de las dimensiones del banco de supercapacitores y la correspondiente elección de la batería, podemos determinar las dimensiones de la estructura física de nuestra soldadora. Por lo tanto, las dimensiones de la base en (mm) de la soldadora es: (349.38x341.64) mm<sup>2</sup>.

La altura de la soldadora dependerá del elemento con más altura que es el banco de supercondensadores con una altura de 124.73 mm, entonces la altura será de 180 mm para dejar espacio para el cableado de la fotovoltaica.

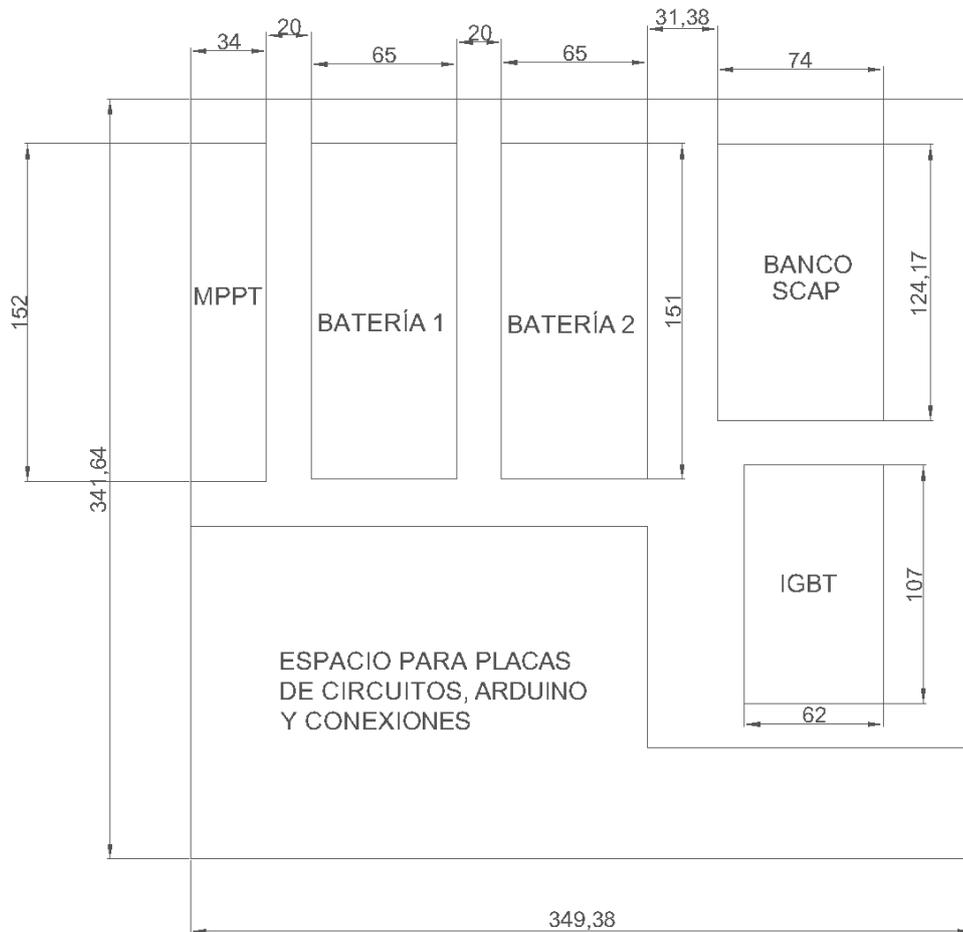


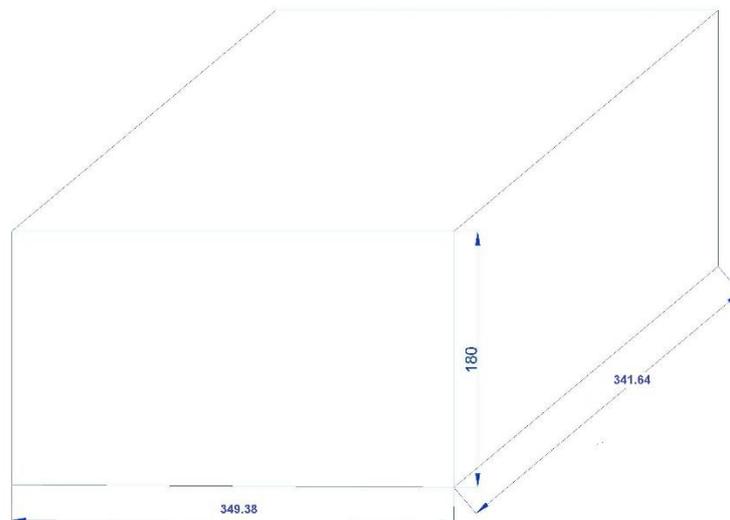
Figura 4.13 Dimensiones de la base en donde cómo irán ubicados cada uno de los elementos con sus respectivas dimensiones.

En la gráfica mostrada arriba (**Figura 4.13**), es una vista superior de la base en donde se ubicarán todas las partes constitutivas de la soldadora.

#### **4.9 PRESENTACIÓN DE LA SOLDADORA DE CABLES ELÉCTRICOS “SOLDADORA DELTA”**

Para terminar con la documentación de este proyecto, hemos decidido hacer la presentación de cómo sería el aspecto físico de nuestro diseño, dando los detalles más importantes, específicamente, sus dimensiones externas.

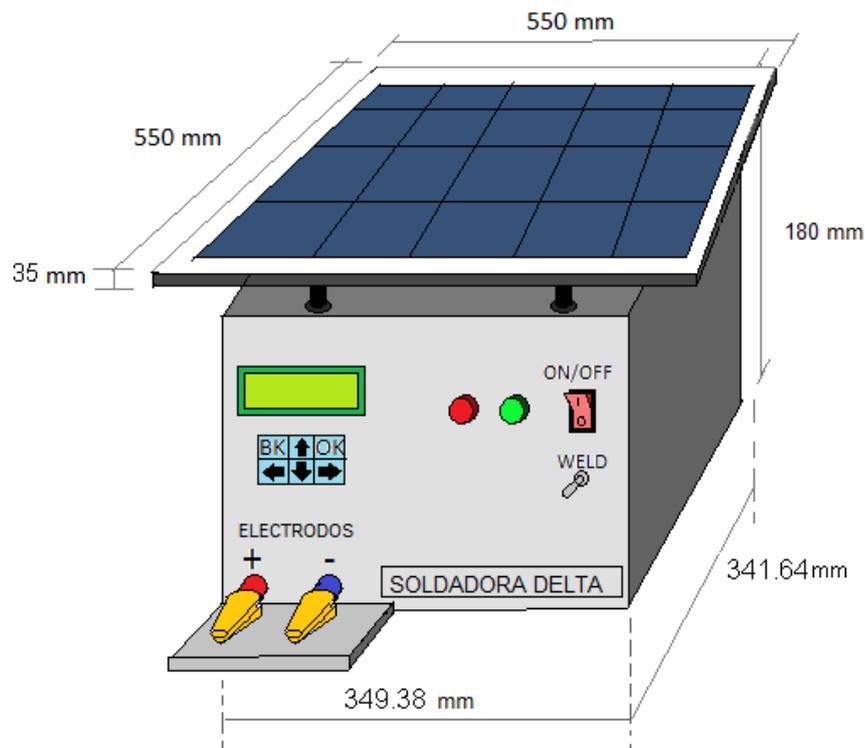
A continuación, se muestran las dimensiones en (mm) de la parte exterior (carcasa) de la soldadora.



**Figura 4.14 Dimensiones de la carcasa.**

La simplicidad del gráfico anterior (**Figura 4.14**) se debe a que solo estamos mostrando de cuánto serán las dimensiones reales de la cubierta o carcasa del diseño.

En definitiva, nuestro prototipo se apreciaría como se ilustra en la siguiente gráfica (**Figura 4.15**):



**Figura 4.15 Soldadora de Cables Eléctricos "SOLDADORA DELTA".**

Como se podrá notar, hemos bautizado a nuestro diseño como "SOLDADORA DELTA", debido a que esta máquina soldadora de cables eléctricos se distingue de las soldadoras tipo cautín, por contar con supercapacitores en su estructura. Pues, la diferencia es porque tiene el diseño ofrecido en este documento, en donde hacemos ver que la máquina que será constituida mediante supercapacitores alimentados por una fuente fotovoltaica, podrá realizar el soldado de cables eléctricos de MT. Este prototipo se erigirá como algo novedoso, ya que, será una máquina totalmente autónoma y, porque gracias a los supercapacitores, tendrá mejores niveles de potencia y mayor manejo de energía almacenada.

Es así, que, por su potencia y entrega de energía, la llamamos SOLDADORA DELTA

# CAPÍTULO 5

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 CONCLUSIONES

Este proyecto tuvo como objetivo principal de diseñar una soldadora de cables eléctricos mediante el uso de supercapacitores alimentados por un sistema fotovoltaico, y se ha cumplido dicho propósito, porque se logró dimensionar totalmente cada una de las partes constitutivas del prototipo con la rigurosidad matemática que se requiere en el campo de la ingeniería, ya que, con nuestro diseño se aplicaron algunos conceptos de ingeniería en electrónica.

Se logró determinar los correctos rangos de voltaje con un valor de hasta **10.8 V** (controlable), y corriente máxima de hasta **1,164 A**, que se requiere para posteriormente establecer un arreglo de conexión serie de los cuatro supercapacitores, resultando ser estos, los elementos claves del proyecto para que nuestro prototipo funcione apropiadamente al momento de ejecutar el punto de soldadura

Se alcanzó por medio del empleo de los supercapacitores, realizar la soldadura de cables eléctricos de calibre 1/0 de manera confiable y eficaz ya que, con estos dispositivos se alcanzaron los NIVELES DE CORRIENTES EN EL ORDEN DE LOS CIENTOS DE AMPERIOS; en este caso específico, **173 A**, necesarios en la descarga para poder ejecutar la reparación del conductor eléctrico, en comparación con las soldadoras tipo pistola, que no brindan dicha confiabilidad y eficacia para soldar cables eléctricos de MT que son de dichos calibres, debido a que estas soldadoras tipo caudín, no alcanzan niveles de corriente que pasen los **5 A**.

Con el diseño de esta máquina soldadora, se pudo comprobar que sí es factible poder alimentarse con un sistema fotovoltaico a circuitos que entreguen grandes cantidades de corrientes, ya que el banco de supercapacitores configurado en este proyecto alcanza un nivel de voltaje de **10.8 VDC** (controlable) que tranquilamente puede ser abastecido por un banco de 2 baterías de **12 V** y **10 Ah**, el cual fue alimentado con un panel solar de 55 Watts y así lograr una total autonomía para al menos un día completo.

Este diseño de máquina soldadora de cables eléctricos, al contar con el banco de supercapacitores y el sistema fotovoltaico para su energización, resulta ser una mejor opción que las máquinas soldadoras por puntos por resistencias que cuentan con un transformador para poder alcanzar los niveles de corrientes apropiados para la ejecución de la soldadura mediante una conexión a la red de corriente alterna, por el hecho de que la hace más compacta por su tamaño peso y portabilidad y, por ende, confiable para soldar exclusivamente los hilos conductores que conforman un cable de MT.

Se optimizó el voltaje de operación en torno a los **6 V** necesarios para soldar el cable calibre 1/0, gracias al arreglo de los cuatro supercapacitores en serie, lográndose así una buena eficiencia de descarga del almacenamiento de energía mayor al **90%** para la consecución de una soldadura contundente.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

Si se desea realizar la implementación de este diseño, se recomienda revisar exhaustivamente todas las ecuaciones junto con los parámetros asignados para los rangos de voltaje corriente y tiempo, a los cuales se tomaron en cuenta para el funcionamiento de todo el sistema al momento de operar, y así comprobar que dichos niveles hallados sean los que aquí en este diseño se establecieron.

Se recuerda que los cálculos realizados fueron para el caso de que se vaya a soldar los cables eléctricos de MT calibre 1/0, de cobre. Así que, si se desea soldar hilos de cobre u otro material como el aluminio, de diferente calibre, se deben realizar los cálculos teniendo en cuenta los parámetros para dichos materiales y calibre. Aclarando que este diseño podrá ejecutar soldadura a cables eléctricos de MT de calibres entre 1/0 a 4/0.

En cuanto al dimensionamiento del sistema de alimentación, es recomendable, que se le conecte un MPPT al panel solar que se haya elegido, ya que este dispositivo ayuda a la eficiencia del panel, y así se puede garantizar que la máquina operará bajo cualquier circunstancia climática.

De, acuerdo a las simulaciones realizadas en este proyecto con respecto a la carga del banco de supercapacitores, es recomendable, ejecutar la simulación con el circuito de carga lineal, ya que con esta opción se garantiza niveles de corriente manejables, por

ende, se evita algún tipo de daño a la batería que se utilice para el almacenamiento de energía.

# Bibliografía

ACOME. (s.f.). *El cable de energía de media tensión*.

Alvarado, J. (s.f.). *Diseño y cálculo de una instalación fotovoltaica aislada*. Obtenido de [http://oa.upm.es/52204/1/PFC\\_JORGE\\_ALVARADO\\_LADRON\\_DE\\_GUEVARA.pdf](http://oa.upm.es/52204/1/PFC_JORGE_ALVARADO_LADRON_DE_GUEVARA.pdf)

Aprediendo Arduino. (2016). *Aduino Uno a fondo. Mapa de pines*. Obtenido de <https://aprediendoarduino.wordpress.com/2016/06/27/arduino-uno-a-fondo-mapa-de-pines-2/>

BeJob. (14 de febrero de 2017). *¿Qué es la programación con arduino y para qué sirve?* Obtenido de <https://www.bejob.com/que-es-la-programacion-con-arduino-y-para-que-sirve/>

Blog RSF Maquinaria. (28 de Agosto de 2015). *Todo sobre la soldadura por puntos de resistencia*. Obtenido de <https://rsf-maquinaria.blogspot.com/2015/08/todo-sobre-la-soldadura-por-puntos-de.html>

CENTELSA. (2008). *Cables para media tensión*. Yumbo, Colombia.

EATON. (febrero de 2018). *XT Supercapacitors*. Obtenido de <https://www.eaton.com/content/dam/eaton/products/electronic-components/resources/data-sheet/eaton-xt-supercapacitors-cylindrical-cells-data-sheet.pdf>

EcuRed. (s.f.). *Efecto Joule*. Obtenido de [https://www.ecured.cu/Efecto\\_Joule](https://www.ecured.cu/Efecto_Joule)

Edisciplinas. (s.f.). *Comparador con amplificador operacional*. Obtenido de [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5003913/mod\\_resource/content/1/Comparador%20com%20Amplificador%20Operacional.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5003913/mod_resource/content/1/Comparador%20com%20Amplificador%20Operacional.pdf)

ELAND CABLES. (2019). *Cables de Media Tensión*. Obtenido de <https://www.elandcables.com/es/electrical-cable-and-accessories/cables-by-type/medium-voltage-cable>

Estévez Irizar, P., Varela Cuadrado, M., & Iturriza Zubiri, E. (2008). *Sistemas de almacenamiento de energía eléctrica embarcados en los trenes*. Monografías ElecRail.

FISICALAB. (2019). *Calor*. Obtenido de <https://www.fisicalab.com/apartado/calor>

Gil Mera, I. (s.f.). *Diseño de un sistema de almacenamiento de energía híbrido basado en baterías y supercondensadores para su integración en microredes eléctricas*.

Guachamin, J. J. (2017). *Simulación de un circuito de potencia para obtener un voltaje constante de un banco de supercapacitores*. Quito.

Iberdrola. (2020). *¿Cómo funcionan las plantas fotovoltaicas?* Obtenido de <https://www.iberdrola.com/medio-ambiente/que-es-energia-fotovoltaica>

Institute NCB. (s.f.). *Cómo funciona el SCR* (ART029S).

Institute NCB. (s.f.). *Fuente de corriente constante* (MSB002S). Obtenido de <http://www.incb.com.mx/index.php/31-fuentes-de-alimentacion/9-fuente-de-corriente-constante-msb002s#:~:text=Fuentes%20de%20corriente%20constante%20son,LED%20y%20otras%20aplicaciones%20similares.&text=La%20intensidad%20de%20la%20corriente,R2%20y%20el%20diodo>

Martín Hernández, R. R. (2014). *Análisis, modelado e identificación de los condensadores electroquímicos de doble capa*. Tesis doctoral, Universidad de las Palmas de Gran Canaria, Gran Canaria.

MCI electronics. (2020). *¿Qué es Arduino?* Obtenido de <https://arduino.cl/que-es-arduino/>

Méndez, E. F., Arrobo, E. V., & Morocho, A. F. (2020). Supercapacitores como aporte al desarrollo energético eléctrico análisis comparativo mediante herramientas computacionales de simulación aplicadas. *Revista Espacios*.

Muñoz, B. A. (s.f.). *Efecto joule*.

Nacimba Nacimba, D. A. (2011). *Automatización de una soldadora de punto estática*. Tesis de grado, Escuela Politécnica Nacional, Quito.

Nomo Group. (2019). *Solar charge controller: PWM vs MPPT*. Obtenido de <https://www.smart-solar-lights.com/info/solar-charge-controller-pwm-vs-mppt-23882467.html>

Paneles solares KDS Energía. (2018). *¿De qué está hecho un panel solar?* Obtenido de <https://www.facebook.com/PanelesSolaresKDS/photos/a.482327171836558/1859389847463610/>

Pentegov, V. S., Bondarenko, I., Bondarenko, O., & Safronov, P. (2015). Estimation of supercapacitor efficiency in use for resistance welding. *16th International Conference on Computational Problems of Electrical Engineering (CPEE), Lviv*, (págs. 142-145). doi:10.1109/CPEE.2015.7333360

Pérez Lobo, E. C., & Lillo Bravo, I. (2016). *Estudio de los supercondensadores y su viabilidad como sistema de almacenamiento energético en instalaciones fotovoltaicas*. Sevilla.

Puntelara. (2016). *Soldadura por puntos de resistencia multifunción*. Obtenido de <http://puntelara.blogspot.com/2013/04/soldadura-por-puntos-de-resistencia.html#:~:text=La%20soldadura%20por%20puntos%20de%20resistencia%20es%20una%20soldadura%20por,a%20trav%C3%A9s%20de%20los%20electrodos.&text=En%20ese%20momento%20C%20la%20presi%C3%B3n,c>

SENSORICX. (2018). *SCR: ¿Qué es y cómo funciona?* Obtenido de <https://sensoricx.com/electronica-de-potencia/la-guia-maxima-scr/>

Serway, R. A. (s.f.). *Física Tomo 2*. McGraw Hill.

Solarpraxis. (2012). *Energía solar fotovoltaica , térmica y eólica*. Obtenido de <http://solarpraxis.blogspot.com/2012/02/efecto-skin-en-conductores.html>

SOLOELECTRONICOS.com. (2017). *Aplicaciones de los supercondensadores*. Obtenido de <https://soloelectronicos.com/2017/01/21/aplicaciones-de-los-supercondensadores/>

Song, Q. (2003). *Testing and Modeling of Contact Problems in Resistance Welding*. Institut for Produktion og Ledelse. DTU.

Tecnología. (s.f.). *Paneles Solares*. Obtenido de <https://www.areatecnologia.com/electricidad/paneles-solares.html>

Tirado P., S. R. (2014). *Rectificador controlado de silicio (SCR)*. Obtenido de <https://www.monografias.com/trabajos78/rectificador-controlado-silicio-scr/rectificador-controlado-silicio-scr2.shtml#:~:text=Un%20SCR%20posee%20tres%20conexiones,corriente%20en%20un%20solo%20sentido>

Top Cable. (2020). *Cables y consejos eléctricos*. Obtenido de <https://www.topcable.com/blog-electric-cable/caracteristicas-constructivas-de-un-cable-de-media-tension/>

TRITEC INTERVENTO. (2020). *Diferencia entre controlador de carga PWM y MPPT*. Obtenido de <https://tritec-intervento.cl/diferencia-entre-controlador-de-carga-pwm-y-mppt/>

Tutoriales de electrónica básica. (s.f.). *Fuente de corriente constante FET*. Obtenido de <http://tutorialesdeelectronica basica.blogspot.com/2020/02/fuente-de-corriente-constante-fet.html>

Twenergy. (2019). *¿Qué son los supercondensadores y cuáles son sus aplicaciones?* Obtenido de <https://twenergy.com/eficiencia-energetica/almacenamiento-de-energia/supercondensadores-que-son-aplicaciones/>

Unibersitateea, M. (2017). *Empalme de dos cables aislados de media tensión de 18/30kV*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=fHjVYtovUI4&t=422s>

Vergara, M. (s.f.). *Tecnología de Baterías*. Universidad Técnica Federico Santa María.

# ANEXOS

## ANEXOS A

### GUÍA TÉCNICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN Y MANUAL DE USO DE LA SOLDADORA.

En el caso de que se desee implementar la SOLDADORA DELTA, se requerirá de la siguiente lista de materiales necesarios para la implementación de la soldadora:

elementos	cantidad
supercapacitor MAXWELL BCAP1200	3
KIT DE INTEGRACIÓN PASIVA, KIT DE INTEGRACIÓN BCAP0650-3000	1
IGBT CM200HA-24H	1
Módulo de voltaje dual DD39AJPA	
LM358	5
base de 8 pines	2
BJT BDX53C	1
diodo zener 1N5340B	1
diodo 1N4001	1
relé 9v, 10 A	1
Capacitor 24V, 1uF	1
resistencia de 2.4k, 1watts	1
resistencia de 1k, 1watts	10
resistencia de 10k, 1watts	4
resistencia de 25k, 1 watts	1
resistencia de 5.5k, 1 watts	1
resistencia de 3.3k, 1watts	1
resistencia de 100 ohm, 1 watts	4
resistencia de 3.3 ohm, 20watts	5
potenciómetro 10k	2
controlador 12v, 20 A ss-20L	1
batería yasua REC10-12	2
módulo solar de 12v, 55watts (UNISUN 55.12BC)	1
switch bipolar	1
corta corriente de 500 A	1
portaelectrodos de 500 A	2
pulsador eléctrico	1
pantalla LCD 16x2	1
teclado numérico	1
arduino uno	1

pinos para jumper de arduino macho y hembra	10-20 terminales/tipo
cable calibre 22 AWG	2-3 metros
cable calibre 16 AWG	1-2 metros
cable calibre 3/0	1-2 metros
terminales de cobre de un hueco para cable 3/0	6
tornillo con tuerca M10 7/16"	2
terminal de pin color rojo, azul y amarillo	10-20 c/color
terminal hembra color rojo, azul y amarillo	10-20 c/color
terminal de anillo color amarillo, azul y rojo	10-20 c/color
tornillo con tuerca de 1/4"	10
termoencogible para cables calibres 22" y 16"	1-2 metros
Jack power hembra de 5.5 mm, 2.1mm para arduino	1

## **PASO #1.**

### **Montaje de la placa PCB de la fuente de corriente constante.**

- 1.- Enviar a imprimir las pistas en PBC de la placa de la **Figura 3.30**
- 2.- Montar los componentes de la placa tomando como guía la **Figura 3.29** para la ubicación de cada componente y la **Figura 4.11** para los valores de los elementos.
- 3.- Comprobar continuidad de las pistas con los componentes colocados.
- 4.- Soldar los pines en la placa.

### **Montaje de la placa PCB del controlador de voltaje por histéresis.**

- 1.- Enviar a imprimir las pistas en PBC de la placa de la **Figura 3.32**
- 2.- Montar los componentes de la placa tomando como guía la **Figura 3.31** para la ubicación de cada componente y la **Figura 4.11** para los valores de los elementos.
- 3.- Comprobar continuidad de las pistas con los componentes colocados.
- 4.- Soldar los pines en la placa.

### **Montaje de la placa PCB del driver para el IGBT.**

- 1.- Enviar a imprimir las pistas en PBC de la placa de la **Figura 3.33(b)**.

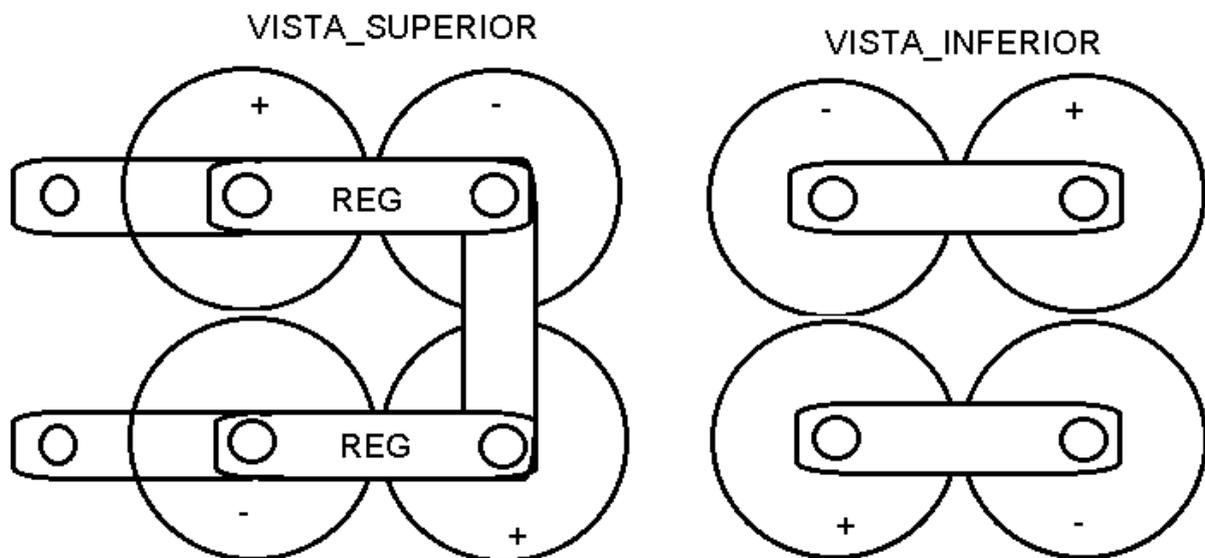
2.- Montar los componentes de la placa tomando como guía la **Figura 3.33(a)** para la ubicación de cada componente y la **Figura 4.11** para los valores de los elementos.

3.- Comprobar continuidad de las pistas con los componentes colocados.

4.- Soldar los pines en la placa.

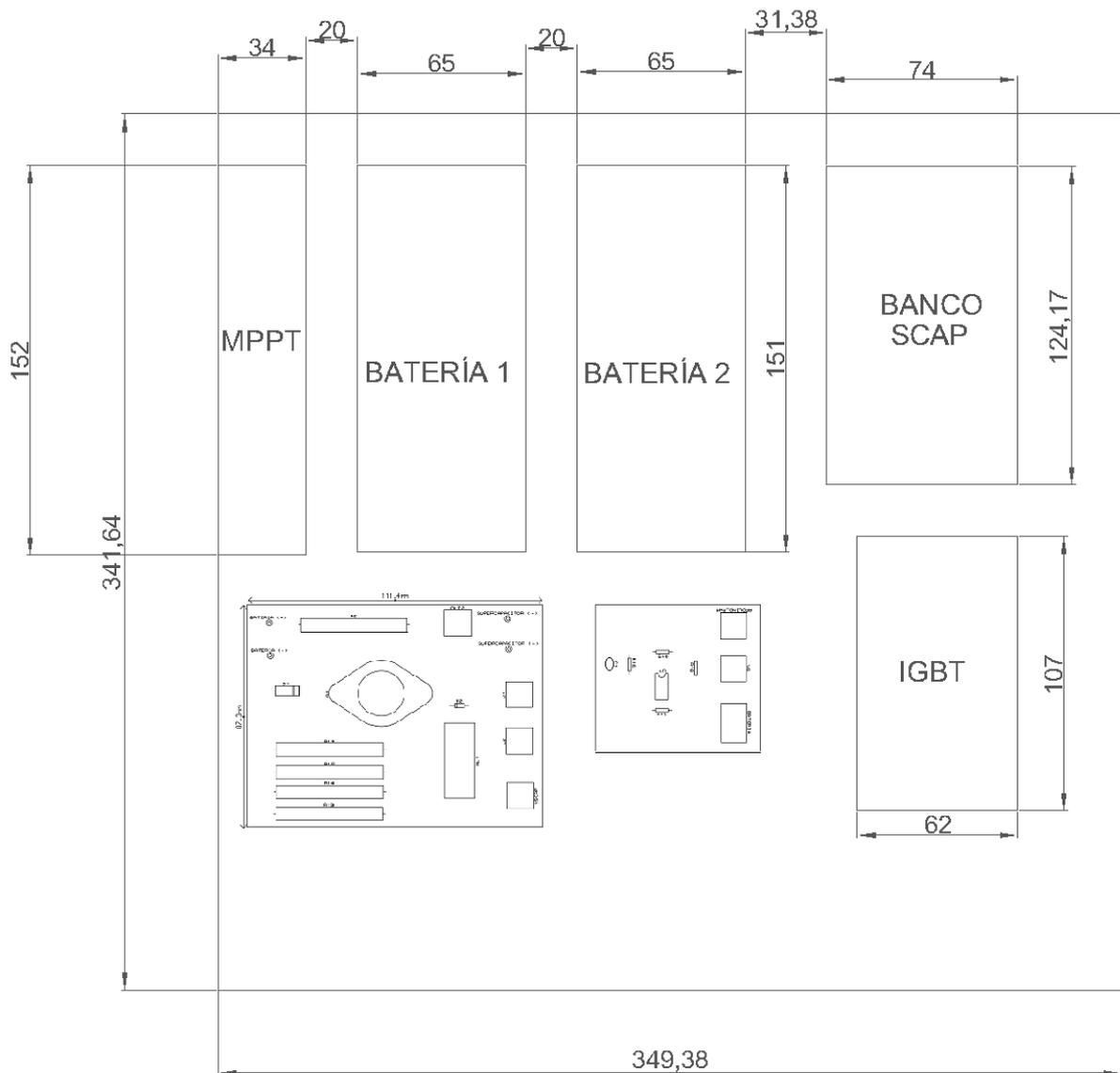
### Montaje del banco de supercapacitores

Con el KIT de integración y los módulos reguladores de voltaje de los supercapacitores maxwell montar la configuración en serie como se muestra en la siguiente gráfica.



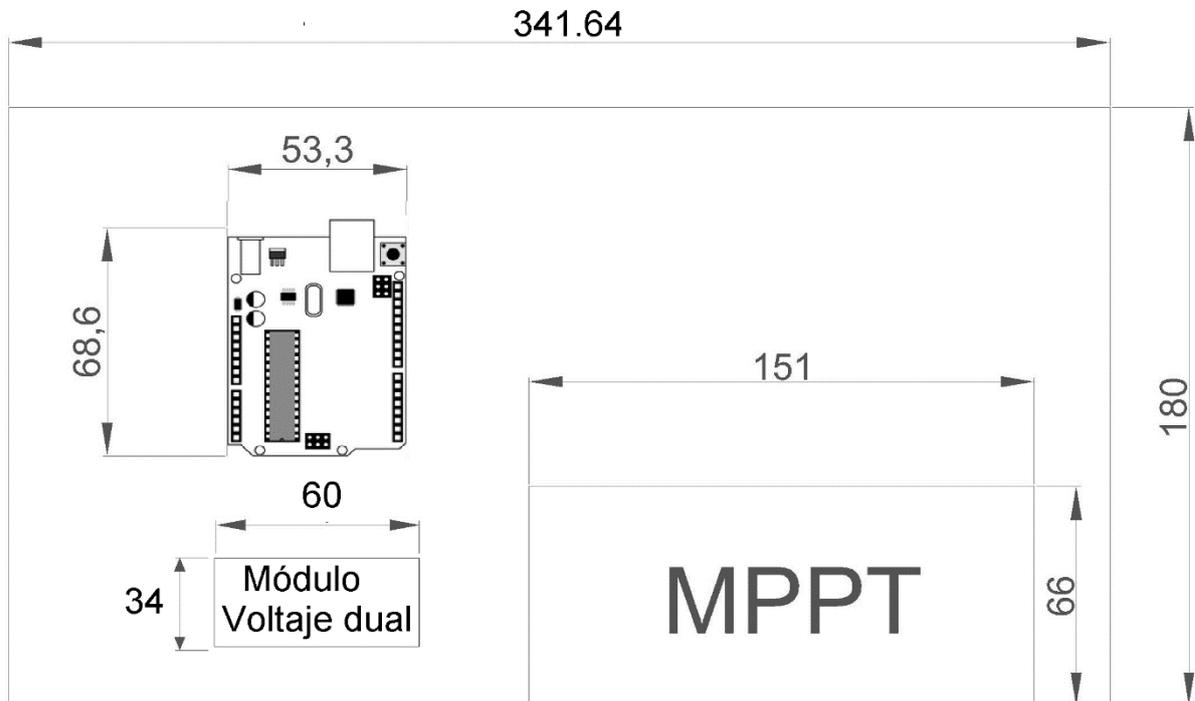
### PASO #2.

Colocar los siguientes elementos de la soldadora en la posición que indica a continuación:



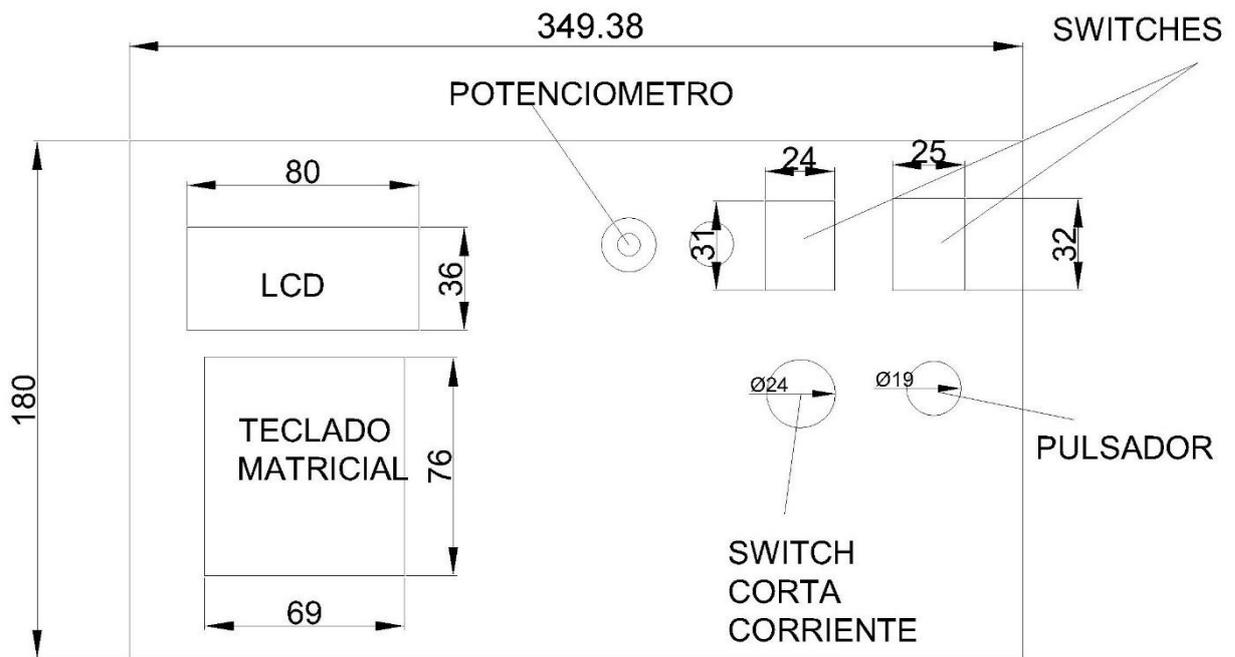
- 1.- Colocar las baterías con un kit de fijación.
- 2.- El controlador MPPT fijarlo mediante 4 tornillos en cada esquina del controlador pegado en la cara lateral de la carcasa como se muestra en la figura anterior.
- 3.- El IGBT fijarlo atornillándolo en la base de la carcasa.
- 4.- Fijar banco de supercapacitores mediante un kit de fijación en posición horizontal
- 5.- Fijar la placa de fuente de corriente y la placa del driver IGBT con los mismos tornillos sujetadores macho-hembra.

6.- Fijar el ARDUINO UNO y el módulo de voltaje dual en la cara lateral derecha al lado de MPPT con tonillos sujetadores macho-hembra. Como muestra en la siguiente figura.



7.- Fijar la placa de control de voltaje con histéresis mediante los tornillos de fijación macho-hembra, en la parte anterior de la cara frontal de la carcasa de la soldadora.

8.- Fijar todos los componentes del panel frontal (pantalla LCD, teclado, pulsador, interruptores y potenciómetro) como se muestra en la siguiente Figura.



En la figura anterior muestra la posición de cada componente y las medidas de los agujeros que deberían realizarse en la cara frontal para colocar los componentes con sus respectivos tornillos y tuercas. (Ver en anexos B la estructura de cada pieza para saber exactamente su colocación).

### PASO #3

A continuación, realizar todas las conexiones como se describe en la figura mostrada después de este párrafo.

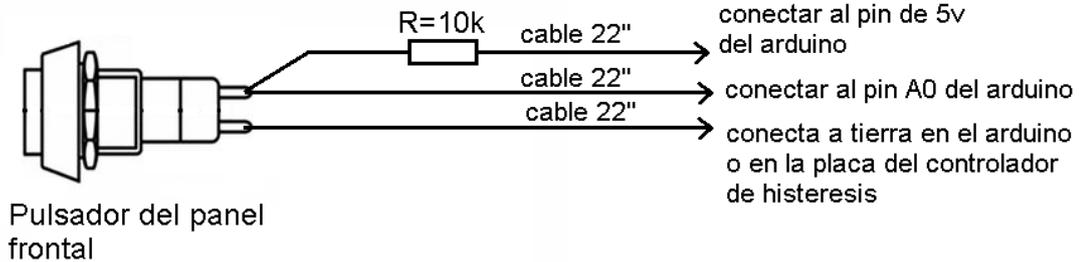
Para conectar los cables a los terminales de la batería usar terminales macho color azul que corresponde a cables calibres 16".

En los terminales de alimentación de la PCB de fuente de corriente utilizar terminales tipo anillo color azul, apretados con tornillos de ¼" al igual que los terminales de alimentación de la PCB del control de voltaje por histéresis. Los cables que conectan entre el banco de supercapacitores y la fuente de corriente, para el extremo del cable donde conecta el banco de supercapacitores a la placa de fuente de corriente usar los terminales redondos.

Para las conexiones hechas con cable calibre 22" utilizar los pines macho para jumpers de ARDUINO.



Realizar la conexión del pulsador al ARDUINO UNO como se muestra en la siguiente figura.

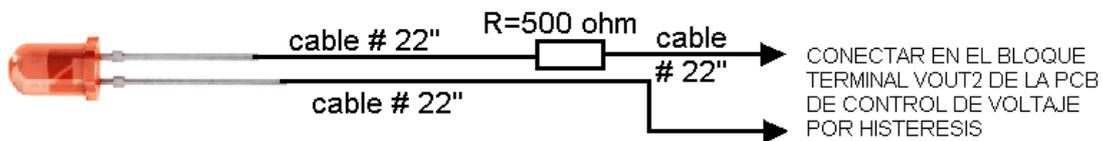


Para el extremo de los cables de los cables que van al ARDUINO UNO utilizar los terminales de pin para jumper.

Usar soldadura de estaño para conectar la resistencia de 10 kΩ y los terminales del pulsador.

Aislar la resistencia de 10 kΩ con cinta aislante o termo-encogible y los pines de los terminales del pulsador.

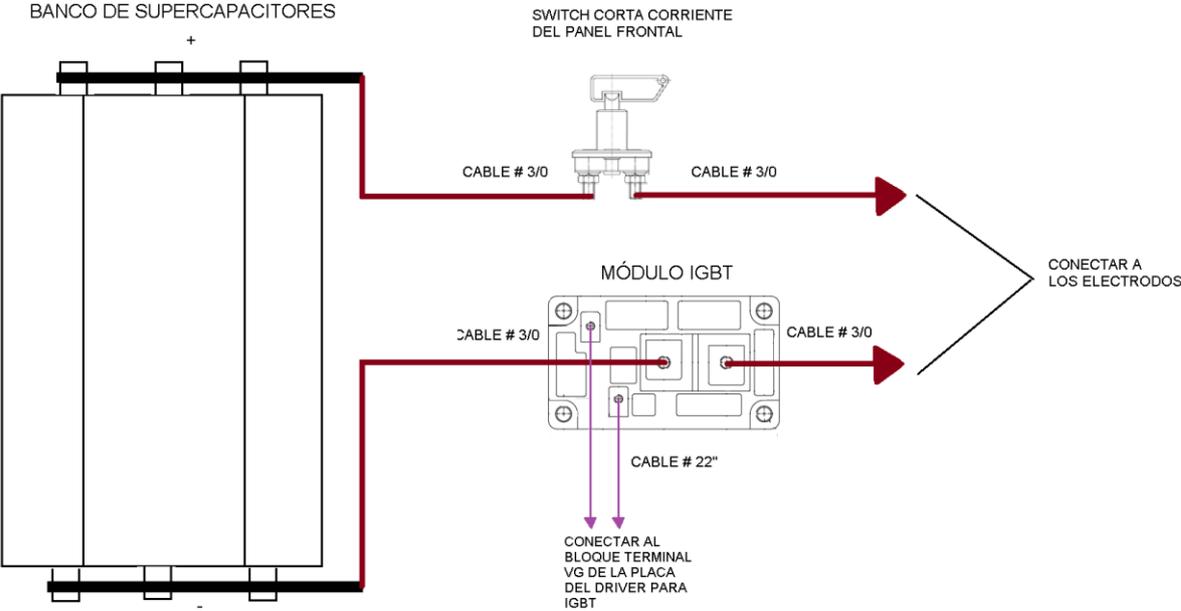
Realizar la siguiente conexión del led rojo del panel frontal.



De la misma manera que en la conexión anterior colocar los pines correspondientes y el aislamiento respectivo.

Realizar la conexión del teclado matricial y el display LCD con el ARDUINO como se muestra en la **Figura 3.20**, con cable 22" y sus respectivos pines.

Realizar las siguientes conexiones como se muestra en la figura de abajo.

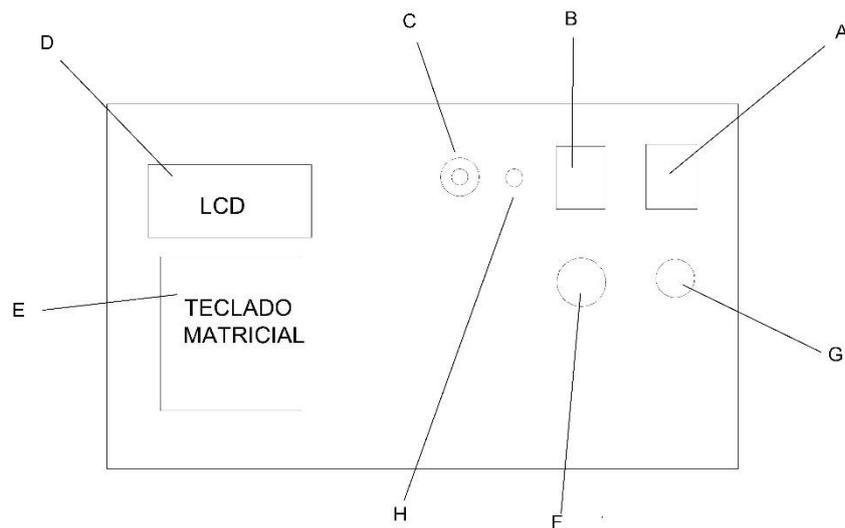


A los extremos de los cables que van conectados al banco de supercapacitor, colocar los terminales de cobre de hueco para cable 3/0 AWG para su respectiva conexión.

## MANUAL DE INSTRUCCIONES DE USO DE LA SOLDADORA DELTA.

Para el uso de la soldadora delta primero hay que poner a cargar la batería de la soldadora exponiéndolo a la irradiación solar durante 3 a 4 horas antes de llevar la soldadora al área de trabajo, para que pueda tener la batería cargada y usar la soldadora durante varias horas.

Panel de control de la soldadora delta.



A: Interruptor ON/OFF para encender y apagar la soldadora.

B: Interruptor para activar el circuito de carga y poner a cargar el banco de supercapacitores.

C: Potenciómetro para regular el valor de voltaje de banco de supercapacitores antes de poner a cargar el banco.

D: Pantalla LCD para ver el menú de opciones de la soldadora.

E: Teclado para navegar por el menú de opciones.

F: Interruptor para desconectar el circuito de descarga del banco de supercapacitores en el momento de la carga del banco.

G: Pulsador para generar el pulso de corriente al momento de soldar.

H: Led indicador de carga completa del banco de supercapacitores.

El menú de opciones consta de las siguientes opciones:

1. Tiempo: Para poder variar el tiempo del ancho del pulso de corriente (0-999 ms)
2. Voltaje: Para poder variar el voltaje hasta donde se cargará el banco de supercapacitores (0 - 8.1V)
3. Corriente: Fija la corriente de soldadura
4. Soldar: Para poder realizar la soldadura.

Pasos para soldar con la SOLDADORA DELTA.

- 1.- Verificar que todos los **INTERRUPTORES** estén en OFF, tanto el A, B como el F.
- 2.- Encender la soldadora con el **INTERRUPTOR A** (ON/OFF). En "ON".
- 3.- Acceder al menú de opciones en la opción 2 (presionado la tecla 2) para ver que el voltaje esté fijado en 10.8 V, de no ser este el voltaje ajustarlo mediante el potenciómetro C, y luego regresar al menú principal con la tecla ON/C del teclado.
- 4.- cargar el banco de supercapacitores poniendo en "ON" el **INTERRUPTOR B**.
- 5.- Esperar de 5 a 10 minutos hasta que se encienda el indicador led rojo del panel frontal que indicará que el banco está cargado.
- 6.- Mientras se carga el banco de supercapacitores preparar la superficie de contacto de los cables a soldar (limando las superficies de contacto para quitar rugosidad e impurezas).
- 7.- Luego ir al menú opciones en la opción 1 (con la tecla 1) para establecer el tiempo del ancho de pulso de corriente. Ingresar el tiempo en ms mediante el teclado matricial (Luego de ingresar el tiempo, regresara al menú de opciones automáticamente), luego ir al menú opción 3 para ingresar la corriente mediante el teclado matricial.
- 8.- Poner en "OFF" el **INTERRUPTOR B**.

9.- Colocar las dos partes de los cables a soldar en los electrodos procurando que las superficies de ambas partes hagan contacto.

10.- Poner en "ON" el **INTERRUPTOR F** para habilitar el circuito de descarga y poder soldar.

11.- En el menú de opciones entrar a la opción 4. Soldar, para habilitar el modo soldar).

12.- Pulsar durante 1 segundo, el pulsador G para que se genere la descarga y se realice la suelda del cable eléctrico.

Para apagar la soldadora dejar primero en "OFF" los **INTERRUPTORES B y F**, luego seleccionar "APAGAR".

# ANEXOS B

## Hoja de especificaciones de panel solar 12V, 55W.

Paneles solares rígidos UNISUN M & BC



	UNISUN 5012 M Ref 0088	UNISUN 5512 BC Ref 1238	UNISUN 5024 M Ref 1870	UNISUN 8012 M Ref 0055	UNISUN 10012 M Ref 0446	UNISUN 11012 BC Ref 1245	UNISUN 10024 M Ref 1443	UNISUN 15012 M Ref 0453	UNISUN 15012 BC Ref 1528	UNISUN 15024 M Ref 1867	UNISUN 20024 M Ref 1837	UNISUN 30012 M Ref 2013	
<b>Rendimiento eléctrico</b>													
Potencia max. (P <sub>mi</sub> )*	50 W	55 W	50 W	80 W	100 W	110 W	100 W	150 W	150 W	150 W	200 W	300 W	
Tolerancia de potencia*	0/+3 %	0/+3 %	0/+3 %	0/+3 %	0/+3 %	0/+3 %	0/+3 %	0/+3 %	0/+3 %	0/+3 %	0/+3 %	+/-3 %	
Tensión de uso	12 V	12 V	24 V	12 V	12 V	12 V	24 V	12 V	12 V	24 V	24 V	12 V	
Tecnología	mono	back contact	mono	mono	mono	back contact	mono	mono	back contact	mono	mono	mono	
Tensión a potencia max. (V <sub>mp</sub> )†	17,8 V	18,6 V	42,7 V	17,8 V	17,8 V	17,8 V	36,6 V	36,6 V	17,8 V	27 V	36,6 V	35,6 V	
Intensidad a potencia max. (I <sub>mp</sub> )†	2,81 A	2,96 A	1,4 A	4,49 A	5,62 A	5,91 A	2,81 A	8,43 A	5,67 A	4,2 A	5,62 A	9,82 A	
Tensión en vacío (V <sub>oc</sub> )†	23,3 V	21,8 V	40,7 V	22,3 V	23,3 V	21,9 V	47,7 V	21,3 V	32,4 V	40,7 V	42,7 V	33,5 V	
Intensidad en cortocircuito (I <sub>cc</sub> /I <sub>sc</sub> )†	3,03 A	3,13 A	1,8 A	4,85 A	6,07 A	6,39 A	3,04 A	9,10 A	6,12 A	4,8 A	6,07 A	11,1 A	
Eficiencia de las células	20,60%	23,80%	20,60%	20,60%	20,60%	23,80%	20,60%	20,60%	23,80%	20,60%	20,60%	20,60%	
Eficiencia de los módulos	14,20%	16,18%	14,20%	15,15%	15,15%	16,05%	15,15%	16,98%	16,67%	16,58%	15,8%	19,6%	
<b>Comportamiento en temperatura</b>													
Temperatura de funcionamiento	-40 +85°C	-40 +85°C	-40 +85°C	-40 +85°C	-40 +85°C	-40 +85°C	-40 +85°C	-40 +85°C	-40 +85°C	-40 +85°C	-40 +85°C	-40 +85°C	
NOCT / TUC**	45 ±2°C	45 ±2°C	45 ±2°C	45 ±2°C	45 ±2°C	45 ±2°C	45 ±2°C	45 ±2°C	45 ±2°C	45 ±2°C	45 ±2°C	45 ±2°C	
Coeficiente de temperatura	P <sub>mi</sub>	-0,43%/°C	-0,36%/°C	-0,47%/°C	-0,43%/°C	-0,47%/°C	-0,43%/°C	-0,47%/°C	-0,36%/°C	-0,43%/°C	-0,43%/°C	-0,43%/°C	
		V <sub>oc</sub>	-0,34%/°C	-0,29%/°C	-0,34%/°C	-0,34%/°C	-0,28%/°C	-0,34%/°C	-0,34%/°C	-0,28%/°C	-0,34%/°C	-0,34%/°C	
			I <sub>cc</sub>	0,05%/°C	0,05%/°C	0,05%/°C	0,05%/°C	0,05%/°C	0,05%/°C	0,05%/°C	0,05%/°C	0,05%/°C	0,05%/°C
<b>Características mecánicas</b>													
Marco de aluminio anodizado	si	si	si	si	si	si	si	si	si	si	si	si	
Diseño black-back sheet (fondo negro)	si	si	si	si	si	si	si	si	si	si	si	si	
Dimensiones de las células (mm)	125 × 62,5	125 × 62,5	125 × 31,25	156 × 78	125 × 125	125 × 125	125 × 62,5	156 × 156	125 × 125	156 × 78	125 × 62,5	156 × 143	
Número de células	36 (12x3)	32 (8x4)	22 (11x2)	36 (9x4)	36 (9x4)	32 (8x4)	22 (11x2)	36 (9x4)	48 (9x5)	22 (11x2)	22 (11x2)	60 (10x6)	
Dimensiones del módulo (mm)	640x550x35	556x550x35	649x550x35	960x550x35	1200x550x35	1050x550x35	1200x550x35	1140x675x35	1190x675x35	1500x675x35	1580x606x40	1500x990x40	
Entrova de fijación (mm)	L x H	120x500	120x500	120x500	120x500	127x500	127x500	117x500	600x626	600x626	600x626	800x768	500x950
		420x500	420x500	420x500	420x500	860x500	860x500	860x500	1100x626	1100x626	1100x626	1300x768	900x950
		L x H	L x H	L x H	L x H	L x H	L x H	L x H	L x H	L x H	L x H	L x H	L x H
Longitud de cable (con conectores)	900 mm	900 mm	900 mm	900 mm	900 mm	900 mm	900 mm	900 mm	900 mm	900 mm	900 mm	900 mm	
Peso del módulo	4,1 kg	3,8 kg	4,1 kg	6,1 kg	7,5 kg	7,5 kg	7,5 kg	9,8 kg	9,3 kg	9,8 kg	13,6 kg	15,5 kg	

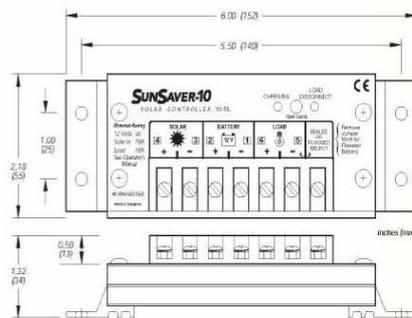
\* Según las condiciones de los tests: irradiación de 1000 W/m<sup>2</sup>, AM 1.5, temperatura de las células: 25°C.  
 \*\* Normal operating cell temperature / Temperatura de uso de las células: irradiación de 800 W/m<sup>2</sup>, con una temperatura ambiente de 25°C.

# Hoja de especificaciones de controlador MPPT 12v, 6 A y 10 A.

## SUNSAVER™ TECHNICAL SPECIFICATIONS

### SunSaver Model Selection Chart

MODEL NUMBER	SOLAR RATING (Amps)			LOAD RATING (Amps)			LVD	12V	24V
	0	10	20	0	10	20			
• SS-6	Blue	Yellow	Yellow	Blue	Blue	Yellow	Blue	Blue	Yellow
• SS-6L	Blue	Yellow	Yellow	Blue	Blue	Yellow	Blue	Blue	Yellow
• SS-10	Blue	Yellow	Yellow	Blue	Blue	Yellow	Blue	Blue	Yellow
• SS-10L	Blue	Yellow	Yellow	Blue	Blue	Yellow	Blue	Blue	Yellow
• SS-10-24V	Blue	Yellow	Yellow	Blue	Blue	Yellow	Blue	Blue	Yellow
• SS-10L-24V	Blue	Yellow	Yellow	Blue	Blue	Yellow	Blue	Blue	Yellow
• SS-20L	Blue	Yellow	Yellow	Blue	Blue	Yellow	Blue	Blue	Yellow
• SS-20L-24V	Blue	Yellow	Yellow	Blue	Blue	Yellow	Blue	Blue	Yellow

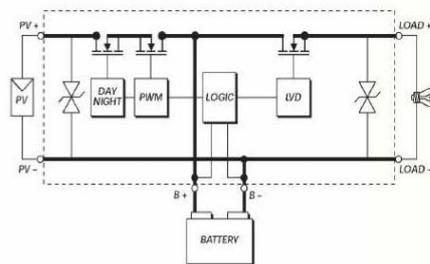


### Mechanical Specifications

- Wire size #10 AWG (5.2 mm<sup>2</sup>)
- Anodized aluminum case
- Marine rated terminals
- Epoxy encapsulated
- Weight is 8 oz (0.23 kg)

### Electrical Specifications

	12 Volt	24 Volt
Rated Solar Input	6.5/10/20 A	
Rated Load	6/10/20 A	
25% Current Overload	5 min.	5 min.
Regulation Voltage:		
Sealed Battery	14.1 V	28.2 V
Flooded Battery	14.4 V	28.8 V
Load Disconnect	11.5 V	23.0 V
LVD Reconnect	12.6 V	25.2 V
Temp. Comp. (mV/C)	-28	-56
Self-consumption	6 to 10 mA	
Operating Temp.	-40 to +85°C	



**WARRANTY:** Five year warranty period. Contact Morningstar or your authorized distributor for complete terms.

**AUTHORIZED MORNINGSTAR DISTRIBUTOR:**

Available From  
**COLORADO SOLAR**  
 38150 River Frontage Rd.  
 New Castle CO.  
 970-984-3750  
 solarpanelstore.com



1098 Washington Crossing Road  
 Washington Crossing, PA 18977 USA  
 Tel: 215-321-4457 Fax: 215-321-4458  
 E-mail: info@morningstarcorp.com  
 Website: www.morningstarcorp.com



# Hoja de especificaciones de batería de 12v, 10Ah

## Yuasa Ficha Técnica

### Yuasa REC10-12 Industrial VRLA Battery

#### Especificaciones

Voltaje nominal (V)	12
Evaluar a 20 hr la capacidad de 10,5V a 20°C (ah)	10
Evaluar a 10 hr la capacidad de 10,8V a 20°C (ah)	9.3

#### Dimensiones

Largo (mm)	151 (±1)
Ancho (mm)	65 (±1)
Alto (mm)	112 (±2)
Alto incluyendo terminales (mm)	115.5 (±2)
Peso (Kg)	3.2

#### Tipo de terminal

Faston	6.35
--------	------

#### Rango de temperatura de funcionamiento

Almacenamiento (en carga completa)	entre -15°C y +50°C
Carga	-0°C to +40°C
Descarga	-15°C to +40°C

#### Almacenamiento

Perdida de capacidad por mes a 20° C (% aprox.)	3
---	---

#### Material de la caja

Standar	ABS (UL94:HB)
Version disponible FR	UL94:V0

#### Voltaje de carga

Carga flotante a 20°C (V)/Block	13.65 (±1%)
Carga flotante a 20°C (V)/Cell	2.275 (±1%)
Voltaje de carga en flotación factor de corrección de la temperatura desde estándar a 20° C (mV)	-3
Voltaje a carga ciclica a 20°C (V)/Block	14.52 (±3%)
Voltaje a carga ciclica 20°C (V)/Cell	2.42 (±3%)
Carga de voltaje en ciclos factor de correccion de temperatura desde 20° (mV)	-4

#### Corriente de carga

Limite de carga de corriente en flotación (A)	2.5
Carga ciclica. Limite	2.5

#### Máxima corriente de carga

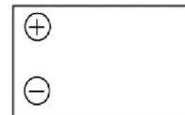
1 segundo (A)	150
1 minuto (A)	70

#### Información de los ciclos de vida

100% DOD (Descarga profunda) hasta el 80% capacity	300
75% DOD (Descarga profunda) hasta el 80% capacity	500
50% DOD (Descarga profunda) hasta el 80% capacity	600
25% DOD (Descarga profunda) hasta el 80% capacity	1400

#### Impedancia

Medida a 1 kHz (mΩ)	17.6
---------------------	------



#### Certificados de otras empresas

ISO9001 - Sistemas de gestión de Calidad  
UNDERWRITERS LABORATORIES Inc.



Cert. No.: FM 10626

## Seguridad

#### Instalación

Puede ser instalado y trabajar en cualquier orientación excepto de manera invertida de forma permanente.

#### Asas

Las baterías no deben olvidarse de las asas (si existen).

#### Válvulas ventiladas

Cada celda está equipada con una válvula de liberación de presión baja para permitir que los gases escapen y luego vuelven a sellar.

#### Liberación de gas

Baterías VRLA liberan gas hidrógeno que puede formar mezclas explosivas en el aire. No coloque dentro de un recipiente hermético.

#### Reciclaje

Baterías de YUASA VRLA deben reciclar al final de la vida, de acuerdo con las leyes y regulaciones locales y nacionales.

Fecha de emisión: 26/02/2018 - E&EO



Fabricante de baterías líder mundial

www.yuasaeurope.com



# Hoja de especificaciones de BJT 2N3055



## COMPLEMENTARY SILICON POWER TRANSISTORS

...designed for use in general-purpose amplifier and switching applications

### FEATURES:

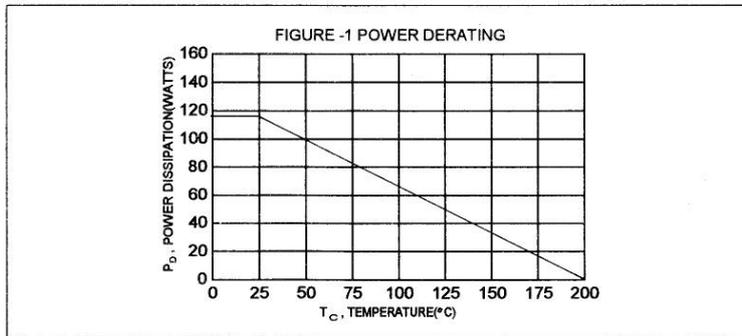
- \* Power Dissipation -  $P_D = 115W @ T_C = 25^\circ C$
- \* DC Current Gain  $hFE = 20 \sim 70 @ I_C = 4.0 A$
- \*  $V_{CE(sat)} = 1.1 V (Max.) @ I_C = 4.0 A, I_B = 400 mA$

### MAXIMUM RATINGS

Characteristic	Symbol	Rating	Unit
Collector-Emitter Voltage	$V_{CEO}$	60	V
Collector-Emitter Voltage	$V_{CER}$	70	V
Collector-Base Voltage	$V_{CBO}$	100	V
Emitter-Base Voltage	$V_{EBO}$	7.0	V
Collector Current-Continuous	$I_C$	15	A
Base Current	$I_B$	7.0	A
Total Power Dissipation @ $T_C = 25^\circ C$ Derate above $25^\circ C$	$P_D$	115 0.657	W W/ $^\circ C$
Operating and Storage Junction Temperature Range	$T_J, T_{STG}$	- 65 to +200	$^\circ C$

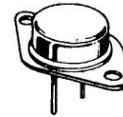
### THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance Junction to Case	$R_{\theta jc}$	1.52	$^\circ C/W$

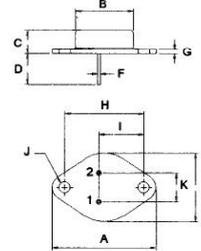


**NPN**      **PNP**  
**2N3055**   **MJ2955**

15 AMPERE  
COMPLEMENTARY SILICON  
POWER TRANSISTORS  
60 VOLTS  
115 WATTS



TO-3



PIN 1: BASE  
2: EMITTER  
COLLECTOR(CASE)

DIM	MILLIMETERS	
	MIN	MAX
A	38.75	39.96
B	19.28	22.23
C	7.96	9.28
D	11.18	12.19
E	25.20	26.67
F	0.92	1.09
G	1.38	1.62
H	29.90	30.40
I	16.64	17.30
J	3.88	4.36
K	10.67	11.18

2N3055 NPN / MJ2955 PNP

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (  $T_c = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted )

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit
----------------	--------	-----	-----	------

OFF CHARACTERISTICS

Collector - Emitter Sustaining Voltage (1) ( $I_C = 200\text{ mA}, I_B = 0$ )	$V_{CEO(SUS)}$	60		V
Collector-Emitter Sustaining Voltage (1) ( $I_C = 200\text{ mA}, R_{BE} = 100\text{ Ohms}$ )	$V_{CER(SUS)}$	70		V
Collector Cutoff Current ( $V_{CE} = 30\text{ V}, I_B = 0$ )	$I_{CEO}$		0.7	mA
Collector Cutoff Current ( $V_{CE} = 100\text{ V}, V_{BE(off)} = 1.5\text{ V}$ ) ( $V_{CE} = 100\text{ V}, V_{BE(off)} = 1.5\text{ V}, T_c = 150^\circ\text{C}$ )	$I_{CEX}$		1.0 5.0	mA
Emitter Cutoff Current ( $V_{EB} = 7.0\text{ V}, I_C = 0$ )	$I_{EBO}$		5.0	mA

ON CHARACTERISTICS (1)

DC Current Gain ( $I_C = 4.0\text{ A}, V_{CE} = 4.0\text{ V}$ ) ( $I_C = 10\text{ A}, V_{CE} = 4.0\text{ V}$ )	hFE	20 5.0	70	
Collector - Emitter Saturation Voltage ( $I_C = 4.0\text{ A}, I_B = 0.4\text{ A}$ ) ( $I_C = 10\text{ A}, I_B = 3.3\text{ A}$ )	$V_{CE(sat)}$		1.1 3.0	V
Base - Emitter On Voltage ( $I_C = 4.0\text{ A}, V_{CE} = 4.0\text{ V}$ )	$V_{BE(on)}$		1.5	V

DYNAMIC CHARACTERISTICS

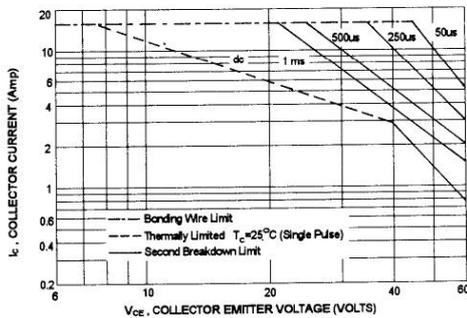
Current Gain - Bandwidth Product (2) ( $I_C = 500\text{ mA}, V_{CE} = 10\text{ V}, f = 1.0\text{ MHz}$ )	$f_T$	2.5		MHz
Small-Signal Current Gain ( $I_C = 1.0\text{ A}, V_{CE} = 4.0\text{ V}, f = 1\text{ KHz}$ )	$h_{fe}$	15	120	

(1) Pulse Test: Pulse width = 300  $\mu\text{s}$ , Duty Cycle  $\leq 2.0\%$

(2)  $f_T = |h_{fe}| \cdot f_{test}$

2N3055, MJ2955

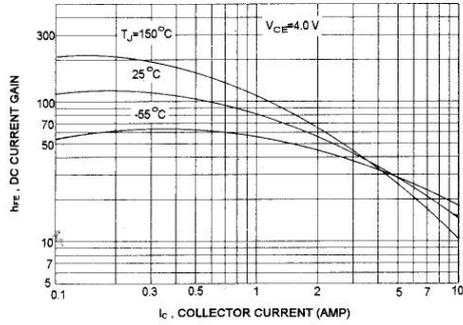
ACTIVE REGION SAFE OPERATING AREA(SOA)



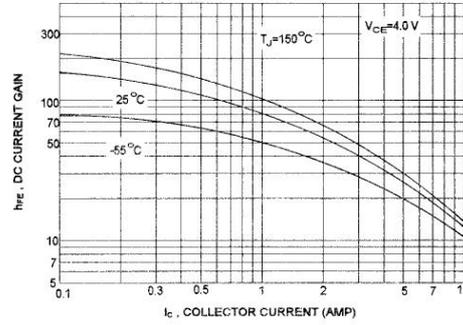
There are two limitation on the power handling ability of a transistor: average junction temperature and second breakdown safe operating area curves indicate  $I_C$ - $V_{CE}$  limits of the transistor that must be observed for reliable operation i.e., the transistor must not be subjected to greater dissipation than curves indicate.

The data of SOA curve is base on  $T_{J(PKG)}=200^\circ\text{C}$ ,  $T_c$  is variable depending on conditions. second breakdown pulse limits are valid for duty cycles to 10% provided  $T_{J(PKG)}\leq 200^\circ\text{C}$ . At high case temperatures, thermal limitation will reduce the power that can be handled to values less than the limitations imposed by second breakdown.

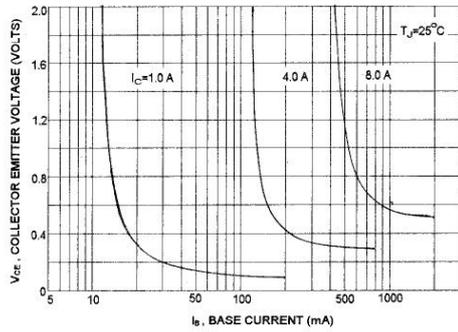
NPN 2N3055  
DC CURRENT GAIN



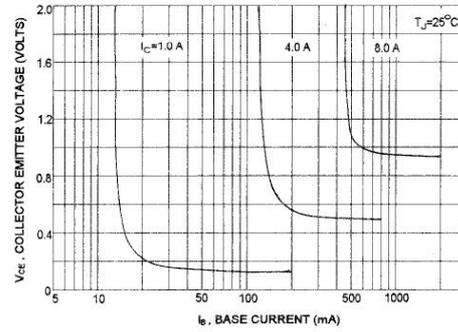
PNP MJ2955  
DC CURRENT GAIN



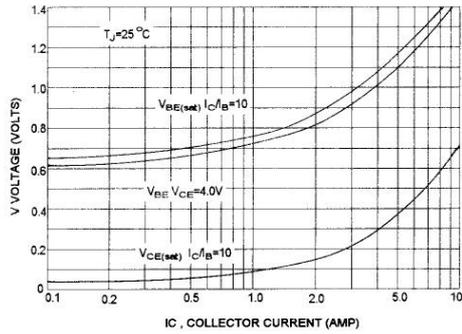
COLLECTOR SATURATION REGION



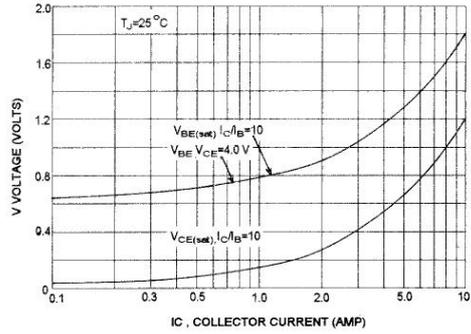
COLLECTOR SATURATION REGION



"ON" VOLTAGES



"ON" VOLTAGES



## Tabla de resistencias térmicas cascara-disipador

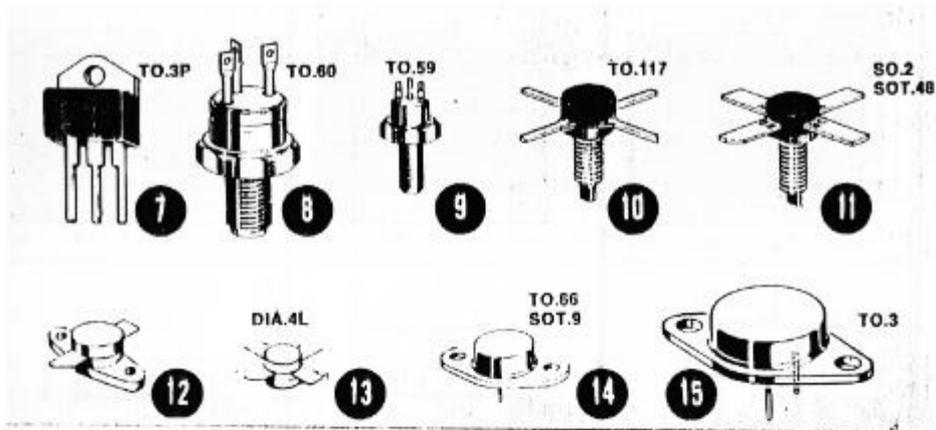


TABLA N° 2 — RESISTENCIA TÉRMICA CONTENEDOR — DISIPADOR

TIPO DE CONTENEDOR		CONTACTO DIRECTO SIN MICA	CONTACTO DIRECTO MAS PASTA DE SILICON	CONTACTO CON MICA	CONTACTO CON MICA MAS PASTA DE SILICON
N.1	TO.39 TO.5	1	0,7	—	—
N.2	TO.126	1,4	1	2	1,5
N.3	TO.220	0,8	0,5	1,4	1,2
N.4	TO.202	0,8	0,5	1,4	1,2
N.5	TO.152	0,8	0,5	1,4	1,2
N.6	TO.90	0,5	0,3	1,2	0,9
N.7	TO.3 plástico	0,4	0,2	1	0,7
N.8-9	TO.59	1,2	0,7	2,1	1,5
N.10	TO.117	2	1,7	—	—
N.11	SOT.48	1,8	1,5	—	—
N.12-13	DIA.4L	1,1	0,7	—	—
N.14	TO.66	1,1	0,65	1,8	1,4
N.15	TO.3	0,25	0,12	0,8	0,4

# Hoja de especificaciones de zener 1N5340B

## 1N5333B-1N5388B

Zener Diode

### ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T<sub>A</sub>=25°C)

Type (Note 1)	Zener voltage (Note 2)		Maximum Zener Impedance (Note 2)		Max Reverse Leakage Current		I <sub>R</sub> (Note 3) A	V <sub>Z</sub> (Note 4) V	I <sub>ZM</sub> (Note 5) mA
	V <sub>Z</sub> @I <sub>ZT</sub> V	I <sub>ZT</sub> mA	Z <sub>ZT</sub> @I <sub>ZT</sub> Ω	Z <sub>ZT</sub> @I <sub>ZK</sub> =1μA Ω	I <sub>R</sub>	V <sub>R</sub>			
					μA	V			
1N5333B	3.3	380	3.0	400	300	1.0	20	0.85	1440
1N5334B	3.6	350	2.5	500	150	1.0	18.7	0.80	1320
1N5335B	3.9	320	2.0	500	50	1.0	17.6	0.54	1220
1N5336B	4.3	290	2.0	500	10	1.0	16.4	0.49	1100
1N5337B	4.7	260	2.0	450	5.0	1.0	15.3	0.44	1010
1N5338B	5.1	240	1.5	400	1.0	1.0	14.4	0.39	930
1N5339B	5.6	220	1.0	400	1.0	2.0	13.4	0.25	865
1N5340B	6.0	200	1.0	300	1.0	3.0	12.7	0.19	790
1N5341B	6.2	200	1.0	200	1.0	3.0	12.4	0.10	765
1N5342B	6.8	175	1.0	200	10	5.2	11.5	0.15	700
1N5343B	7.5	175	1.5	200	10	5.7	10.7	0.15	630
1N5344B	8.2	150	1.5	200	10	6.2	10.0	0.20	580
1N5345B	8.7	150	2.0	200	10	6.6	9.5	0.20	545
1N5346B	9.1	150	2.0	150	7.5	6.9	9.2	0.22	520
1N5347B	10	125	2.0	125	5.0	7.6	8.6	0.22	475
1N5348B	11	125	2.5	125	5.0	8.4	8.0	0.25	430
1N5349B	12	100	2.5	125	2.0	9.1	7.5	0.25	395
1N5350B	13	100	2.5	100	1.0	9.9	7.0	0.25	365
1N5351B	14	100	2.5	75	1.0	10.6	6.7	0.25	340
1N5352B	15	75	2.5	75	1.0	11.5	6.3	0.25	315
1N5353B	16	75	2.5	75	1.0	12.2	6.0	0.30	295
1N5354B	17	70	2.5	75	0.5	12.9	5.8	0.35	280
1N5355B	18	65	2.5	75	0.5	13.7	5.5	0.40	264
1N5356B	19	65	3.0	75	0.5	14.4	5.3	0.40	250
1N5357B	20	65	3.0	75	0.5	15.2	5.1	0.40	237
1N5358B	22	50	3.5	75	0.5	16.7	4.7	0.45	216
1N5359B	24	50	3.5	100	0.5	18.2	4.4	0.55	198
1N5360B	25	50	4.0	110	0.5	19.0	4.3	0.55	190
1N5361B	27	50	5.0	120	0.5	20.6	4.1	0.60	176
1N5362B	28	50	6.0	130	0.5	21.2	3.9	0.60	170
1N5363B	30	40	8.0	140	0.5	22.8	3.7	0.60	158
1N5364B	33	40	10	150	0.5	25.1	3.5	0.60	144
1N5365B	36	30	11	160	0.5	27.4	3.5	0.65	132
1N5366B	39	30	14	170	0.5	29.7	3.1	0.65	122
1N5367B	43	30	20	190	0.5	32.7	2.8	0.70	110
1N5368B	47	25	25	210	0.5	35.8	2.7	0.80	100
1N5369B	51	25	27	230	0.5	38.8	2.5	0.90	93
1N5370B	56	20	35	280	0.5	42.6	2.3	1.00	86
1N5371B	60	20	40	350	0.5	45.5	2.2	1.20	79
1N5372B	62	20	42	400	0.5	47.1	2.1	1.35	76

# Hoja de especificaciones del supercapacitor MAXWELL.

## DATASHEET

## K2 ULTRACAPACITORS - 2.7V SERIES

### FEATURES AND BENEFITS\*

- DuraBlue™ Shock and Vibration Technology<sup>1</sup>
- Up to 1,000,000 duty cycles or 10 year DC life
- High power and energy
- 650F to 3,000F capacitance range
- Threaded terminals or laser-weldable posts

### TYPICAL APPLICATIONS

- High shock and vibration environments
- Automotive subsystems
- Wind turbine pitch control
- Hybrid vehicles
- Rail
- Heavy industrial equipment
- UPS & telecom systems



### PRODUCT SPECIFICATIONS<sup>1</sup>

ELECTRICAL	BCAP0650	BCAP1200	BCAP1500	BCAP2000	BCAP3000 <sup>1</sup>
Rated Voltage	2.70 V				
Minimum Capacitance, initial <sup>2</sup> , rated value	650 F	1,200 F	1,500 F	2,000 F	3,000 F
Maximum Capacitance, initial <sup>2</sup>	780 F	1,440 F	1,800 F	2,400 F	3,600 F
Maximum ESR <sub>DC</sub> , initial <sup>2</sup> , rated value	0.8 mΩ	0.58 mΩ	0.47 mΩ	0.35 mΩ	0.29 mΩ
POWER & ENERGY					
Usable Specific Power, P <sub>d</sub> <sup>3</sup>	6.8 kW/kg	5.8 kW/kg	6.6 kW/kg	6.9 kW/kg	5.9 kW/kg
Impedance Match Specific Power, P <sub>max</sub> <sup>4</sup>	14 kW/kg	12 kW/kg	14 kW/kg	14 kW/kg	12 kW/kg
Specific Energy, E <sub>max</sub> <sup>5</sup>	4.1 Wh/kg	4.7 Wh/kg	5.4 Wh/kg	5.6 Wh/kg	6.0 Wh/kg
Stored Energy, E <sub>stored</sub> <sup>6,13</sup>	0.66 Wh	1.22 Wh	1.52 Wh	2.03 Wh	3.04 Wh
SHOCK & VIBRATION					
Vibration Specification	ISO 16750-3, Table 14	ISO 16750-3, Tables 12 & 14			
Shock Specification	SAE J2464	SAE J2464	SAE J2464	SAE J2464	SAE J2464 IEC 60068-2-27, -29
SAFETY					
Short Circuit Current, typical (Current possible with short circuit from rated voltage. Do not use as an operating current.)	3,400 A	4,700 A	5,700 A	7,700 A	9,300 A
Certifications	UL810a, RoHS, REACH				
THERMAL					
Thermal Resistance (R <sub>ca</sub> , Case to Ambient), typical	6.5°C/W	5.3°C/W	4.5°C/W	3.8°C/W	3.2°C/W
Thermal Capacitance (C <sub>th</sub> ), typical	190 J/°C	300 J/°C	320 J/°C	410 J/°C	600 J/°C
Maximum Continuous Current (ΔT = 15°C) <sup>7</sup>	54 A <sub>RMS</sub>	70 A <sub>RMS</sub>	84 A <sub>RMS</sub>	110 A <sub>RMS</sub>	130 A <sub>RMS</sub>
Maximum Continuous Current (ΔT = 40°C) <sup>7</sup>	88 A <sub>RMS</sub>	110 A <sub>RMS</sub>	140 A <sub>RMS</sub>	170 A <sub>RMS</sub>	210 A <sub>RMS</sub>

\*Results may vary. Additional terms and conditions, including the limited warranty, apply at the time of purchase. See the warranty details for applicable operating and use requirements.

## TYPICAL CHARACTERISTICS

## TEMPERATURE

Operating temperature  
(Cell case temperature)

Minimum	-40°C	-40°C	-40°C	-40°C	-40°C
Maximum	65°C	65°C	65°C	65°C	65°C

## ELECTRICAL

	BCAP0650	BCAP1200	BCAP1500	BCAP2000	BCAP3000 <sup>1</sup>
Leakage Current at 25°C, maximum <sup>8</sup>	1.5 mA	2.7 mA	3.0 mA	4.2 mA	5.2 mA
Absolute Maximum Voltage <sup>9</sup>	2.85 V				
Absolute Maximum Current	680 A	930 A	1150 A	1500 A	1900 A

## LIFE

DC Life at High Temperature<sup>2</sup>

(held continuously at Rated Voltage and Maximum Operating Temperature)

DC Life at High Temperature <sup>2</sup> (held continuously at Rated Voltage and Maximum Operating Temperature)	1,500 hours				
Capacitance Change (% decrease from rated value)	20%	20%	20%	20%	20%
ESR Change (% increase from rated value)	100%	100%	100%	100%	100%

Projected DC Life at 25°C<sup>2</sup>

(held continuously at Rated Voltage)

Projected DC Life at 25°C <sup>2</sup> (held continuously at Rated Voltage)	10 years				
Capacitance Change (% decrease from rated value)	20%	20%	20%	20%	20%
ESR Change (% increase from rated value)	100%	100%	100%	100%	100%

Projected Cycle Life at 25°C<sup>2,10,11</sup>

Projected Cycle Life at 25°C <sup>2,10,11</sup>	1,000,000 cycles				
Capacitance Change (% decrease from rated value)	20%	20%	20%	20%	20%
ESR Change (% increase from rated value)	100%	100%	100%	100%	100%

Shelf Life

(Stored uncharged at ±10°C)

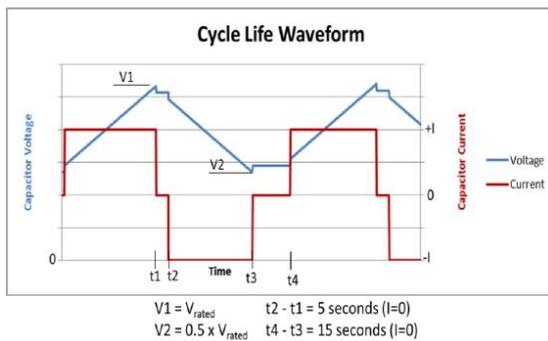
Shelf Life (Stored uncharged at ±10°C)	4 years				
---	---------	---------	---------	---------	---------

## PHYSICAL

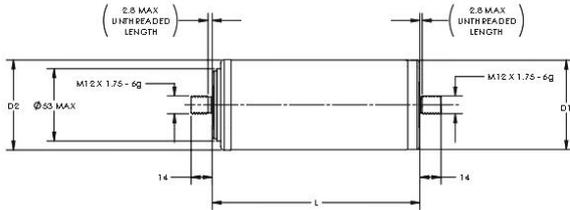
Mass, typical	160 g	260 g	280 g	360 g	510 g
Terminals	Threaded <sup>12</sup> or Weldable				

**NOTES**

1. Only BCAP3000 currently has DuraBlue™ technology.
2. Capacitance and ESR<sub>DC</sub> measured using 65 A for BCAP0650, 75 A for BCAP1200 and 100 A test current for all other cells. All tests made at 25°C per document number 1007239 available at maxwell.com.
3. Per IEC 62391-2,  $P_d = \frac{0.12V^2}{ESR_{DC} \times \text{mass}}$
4.  $P_{max} = \frac{V^2}{4 \times ESR_{DC} \times \text{mass}}$
5.  $E_{max} = \frac{\frac{1}{2} CV^2}{3,600 \times \text{mass}}$
6.  $E_{stored} = \frac{\frac{1}{2} CV^2}{3,600}$
7.  $\Delta T = I_{RMS}^2 \times ESR \times R_{ca}$
8. After 72 hours at rated voltage. Initial leakage current can be higher.
9. Absolute maximum voltage, non-repeated. Not to exceed 1 second.
10. Cycle using specified test current per waveform below.
11. Cycle life varies depending upon application-specific characteristics. Actual results will vary.
12. Maximum Torque is 14 Nm.
13. Per United Nations material classification UN3499, all Maxwell ultracapacitors have less than 10 Wh capacity to meet the requirements of Special Provisions 361. When packaged according to the regulation, both individual ultracapacitors and modules composed of those ultracapacitors shipped by Maxwell can be transported without being treated as dangerous goods (hazardous materials).



**BCAPXXXX P270 K04**



**MOUNTING RECOMMENDATIONS**

Do not reverse polarity. Please refer to document number 1016419, available at maxwell.com for welding recommendations.

**MARKINGS**

Products are marked with the following information: Rated capacitance, rated voltage, product number, name of manufacturer, positive terminal, warning marking, serial number.

**BCAPXXXX P270 K05**



Part Description	Dimensions (mm)			Package Quantity
	L (±0.3mm)	D1 (±0.2mm)	D2 (±0.7mm)	
BCAP0650 P270 K04/05	51.5	60.4	60.7	30
BCAP1200 P270 K04/05	74	60.4	60.7	30
BCAP1500 P270 K04/05	85	60.4	60.7	30
BCAP2000 P270 K04/05	102	60.4	60.7	15
BCAP3000 P270 K04/05	138	60.4	60.7	15

Product dimensions are for reference only unless otherwise identified. Product dimensions and specifications may change without notice. Please contact Maxwell Technologies directly for any technical specifications critical to application. All products featured on this datasheet are covered by the following U.S. patents and their respective counterparts: 6643119, 7295423, 7342770, 7352558, 7384433, 7440258, 7492571, 7508651, 7580243, 7791860, 7791861, 7859826, 7883553, 7935155, 8072734, 8098481, 8279580, and patents pending.



**Maxwell Technologies, Inc.**  
**Global Headquarters**  
 3888 Calle Fortunada  
 San Diego, CA 92123  
 USA  
 Tel: +1 (858) 503-3300  
 Fax: +1 (858) 503-3301



**Maxwell Technologies SA**  
 Route de Montena 65  
 CH-1728 Rossens  
 Switzerland  
 Tel: +41 (0)26 411 85 00  
 Fax: +41 (0)26 411 85 05



**Maxwell Technologies, GmbH**  
 Leopoldstrasse 244  
 80807 München  
 Germany  
 Tel: +49 (0)89 4161403 0  
 Fax: +49 (0)89 4161403 99



**Maxwell Technologies Shanghai Trading Co. Ltd.**  
 Unit A2BC, 12th Floor  
 Huarun Times Square  
 500 Zhongyuan Road, Pudong  
 Shanghai 200122, P.R. China  
 Tel: +86 21 3852 4000  
 Fax: +86 21 3852 4099



**Maxwell Technologies Korea Co., Ltd.**  
 Room 1524, D-Cube City Office Tower, 15F  
 #662 Gyeongin-Ro, Guro-Gu,  
 Seoul, Korea 152-706  
 Tel: +82 10 4518 9829

MAXWELL TECHNOLOGIES, MAXWELL, MAXWELL CERTIFIED INTEGRATOR, ENABLING ENERGY'S FUTURE, BOOSTCAP, C CELL, D CELL and their respective designs and/or logos are either trademarks or registered trademarks of Maxwell Technologies, Inc. and may not be copied, imitated or used, in whole or in part, without the prior written permission from Maxwell Technologies, Inc. All contents copyright © 2014 Maxwell Technologies, Inc. All rights reserved. No portion of these materials may be reproduced in any form, or by any means, without prior written permission from Maxwell Technologies, Inc.

KIT DE INTEGRACIÓN PASIVA, KIT DE INTEGRACIÓN BCAP0650-3000



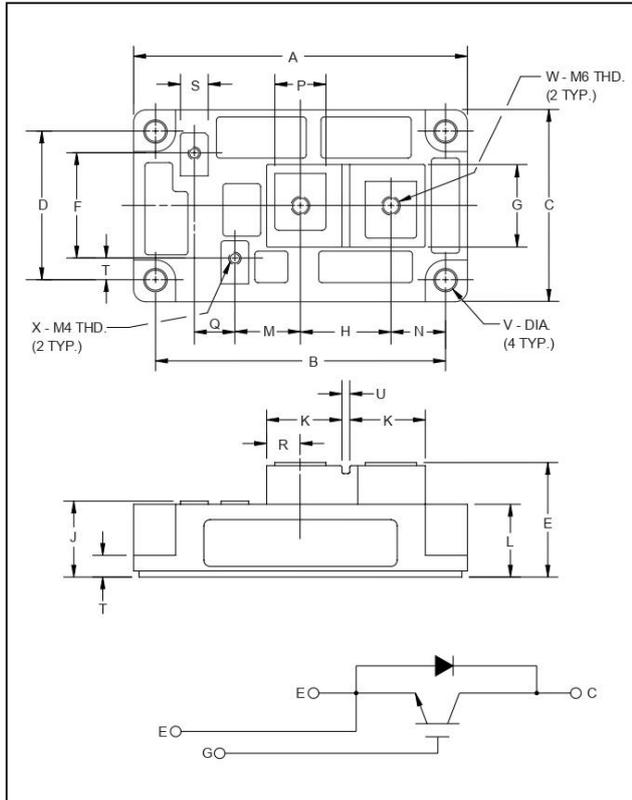
# Especificaciones de módulo IGBT.



Powerex, Inc., 200 Hillis Street, Youngwood, Pennsylvania 15697-1800 (724) 925-7272

**CM200HA-24H**

**Single IGBTMOD™  
H-Series Module  
200 Amperes/1200 Volts**



**Description:**  
Powerex IGBTMOD™ Modules are designed for use in switching applications. Each module consists of one IGBT Transistor in a single configuration with a reverse-connected super-fast recovery free-wheel diode. All components and interconnects are isolated from the heat sinking baseplate, offering simplified system assembly and thermal management.

**Features:**

- Low Drive Power
- Low  $V_{CE(sat)}$
- Discrete Super-Fast Recovery (135ns) Free-Wheel Diode
- High Frequency Operation (20-25kHz)
- Isolated Baseplate for Easy Heat Sinking

**Applications:**

- AC Motor Control
- Motion/Servo Control
- UPS
- Welding Power Supplies
- Laser Power Supplies

**Ordering Information:**

Example: Select the complete part module number you desire from the table below -i.e. CM200HA-24H is a 1200V ( $V_{CES}$ ), 200 Ampere Single IGBTMOD™ Power Module.

Type	Current Rating Amperes	$V_{CES}$ Volts (x 50)
CM	200	24

**Outline Drawing and Circuit Diagram**

Dimensions	Inches	Millimeters
A	4.21	107.0
B	3.661±0.01	93.0±0.25
C	2.44	62.0
D	1.89±0.01	48.0±0.25
E	1.42 Max.	36.0 Max.
F	1.34	34.0
G	1.18	30.0
H	1.14	29.0
J	0.98 Max.	25.0 Max.
K	0.94	24.0
L	0.93	23.5

Dimensions	Inches	Millimeters
M	0.83	21.0
N	0.69	17.5
P	0.63	16.0
Q	0.51	13.0
R	0.43	11.0
S	0.35	9.0
T	0.28	7.0
U	0.12	3.0
V	0.26 Dia.	Dia. 6.5
W	M6 Metric	M6
X	M4 Metric	M4



Powerex, Inc., 200 Hillis Street, Youngwood, Pennsylvania 15697-1800 (724) 925-7272

**CM200HA-24H**  
**Single IGBTMOD™ H-Series Module**  
 200 Amperes/1200 Volts

**Absolute Maximum Ratings,  $T_j = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise specified**

Ratings	Symbol	CM200HA-24H	Units
Junction Temperature	$T_j$	-40 to 150	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature	$T_{\text{stg}}$	-40 to 125	$^\circ\text{C}$
Collector-Emitter Voltage (G-E SHORT)	$V_{\text{CES}}$	1200	Volts
Gate-Emitter Voltage	$V_{\text{GES}}$	$\pm 20$	Volts
Collector Current	$I_C$	200	Amperes
Peak Collector Current	$I_{\text{CM}}$	400*	Amperes
Diode Forward Current	$I_F$	200	Amperes
Diode Forward Surge Current	$I_{\text{FM}}$	400*	Amperes
Power Dissipation	$P_d$	1500	Watts
Max. Mounting Torque M6 Terminal Screws	-	26	in-lb
Max. Mounting Torque M6 Mounting Screws	-	26	in-lb
Module Weight (Typical)	-	400	Grams
V Isolation	$V_{\text{RMS}}$	2500	Volts

\* Pulse width and repetition rate should be such that device junction temperature does not exceed the device rating.

**Static Electrical Characteristics,  $T_j = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise specified**

Characteristics	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Collector-Cutoff Current	$I_{\text{CES}}$	$V_{\text{CE}} = V_{\text{CES}}, V_{\text{GE}} = 0\text{V}$	-	-	1.0	mA
Gate Leakage Current	$I_{\text{GES}}$	$V_{\text{GE}} = V_{\text{GES}}, V_{\text{CE}} = 0\text{V}$	-	-	0.5	$\mu\text{A}$
Gate-Emitter Threshold Voltage	$V_{\text{GE(th)}}$	$I_C = 20\text{mA}, V_{\text{CE}} = 10\text{V}$	4.5	6.0	7.5	Volts
Collector-Emitter Saturation Voltage	$V_{\text{CE(sat)}}$	$I_C = 200\text{A}, V_{\text{GE}} = 15\text{V}$	-	2.5	3.4**	Volts
		$I_C = 200\text{A}, V_{\text{GE}} = 15\text{V}, T_j = 150^\circ\text{C}$	-	2.25	-	Volts
Total Gate Charge	$Q_G$	$V_{\text{CC}} = 600\text{V}, I_C = 200\text{A}, V_{\text{GS}} = 15\text{V}$	-	1000	-	nC
Diode Forward Voltage	$V_{\text{FM}}$	$I_E = 200\text{A}, V_{\text{GS}} = 0\text{V}$	-	-	3.4	Volts

\*\* Pulse width and repetition rate should be such that device junction temperature rise is negligible.

**Dynamic Electrical Characteristics,  $T_j = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise specified**

Characteristics	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Input Capacitance	$C_{\text{ies}}$		-	-	40	nF
Output Capacitance	$C_{\text{oes}}$	$V_{\text{GE}} = 0\text{V}, V_{\text{CE}} = 10\text{V}, f = 1\text{MHz}$	-	-	14	nF
Reverse Transfer Capacitance	$C_{\text{res}}$		-	-	8	nF
Resistive	Turn-on Delay Time	$t_{\text{d(on)}}$	-	-	250	ns
	Rise Time	$t_r$	-	-	400	ns
Switching	Turn-off Delay Time	$t_{\text{d(off)}}$	-	-	300	ns
	Fall Time	$t_f$	-	-	350	ns
Diode Reverse Recovery Time	$t_{\text{rr}}$	$I_E = 200\text{A}, di_E/dt = -400\text{A}/\mu\text{s}$	-	-	250	ns
Diode Reverse Recovery Charge	$Q_{\text{rr}}$	$I_E = 200\text{A}, di_E/dt = -400\text{A}/\mu\text{s}$	-	1.49	-	$\mu\text{C}$

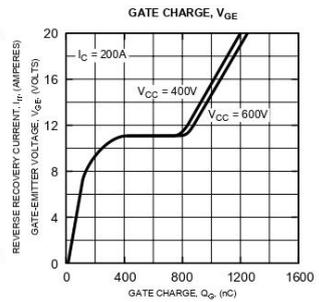
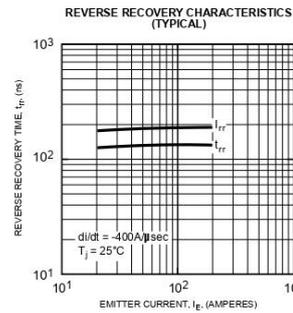
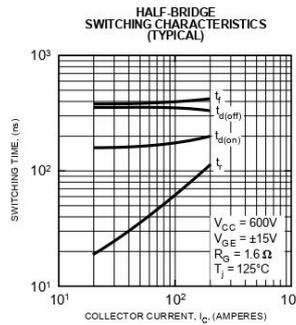
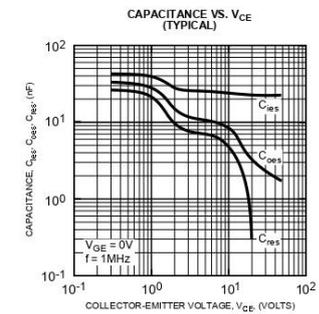
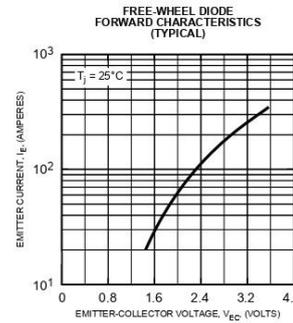
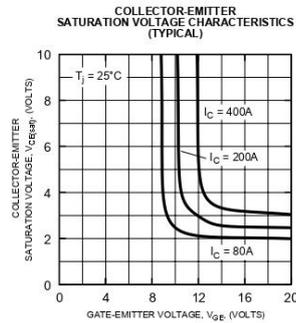
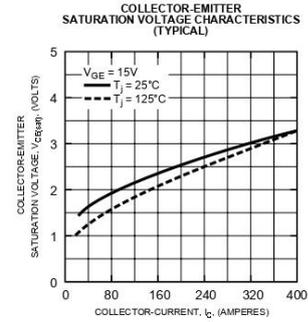
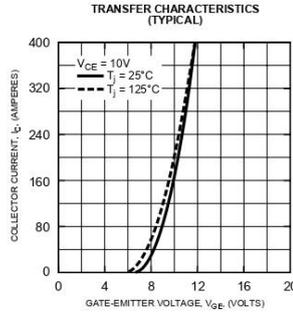
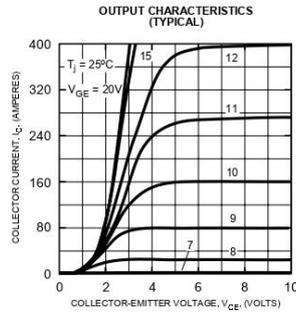
**Thermal and Mechanical Characteristics,  $T_j = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise specified**

Characteristics	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Thermal Resistance, Junction to Case	$R_{\text{th(j-c)}}$	Per IGBT	-	-	0.085	$^\circ\text{C}/\text{W}$
Thermal Resistance, Junction to Case	$R_{\text{th(j-c)}}$	Per FWDi	-	-	0.18	$^\circ\text{C}/\text{W}$
Contact Thermal Resistance	$R_{\text{th(c-f)}}$	Per Module, Thermal Grease Applied	-	-	0.040	$^\circ\text{C}/\text{W}$



Powerex, Inc., 200 Hillis Street, Youngwood, Pennsylvania 15697-1800 (724) 925-7272

**CM200HA-24H**  
**Single IGBTMOD™ H-Series Module**  
 200 Amperes/1200 Volts



# Datasheet amplificador operacional LM358



**LM158,A-LM258,A  
LM358,A**

## LOW POWER DUAL OPERATIONAL AMPLIFIERS

- INTERNALLY FREQUENCY COMPENSATED
- LARGE DC VOLTAGE GAIN: 100dB
- WIDE BANDWIDTH (unity gain): 1.1MHz (temperature compensated)
- VERY LOW SUPPLY CURRENT/OP (500µA) ESSENTIALLY INDEPENDENT OF SUPPLY VOLTAGE
- LOW INPUT BIAS CURRENT: 20nA (temperature compensated)
- LOW INPUT OFFSET VOLTAGE: 2mV
- LOW INPUT OFFSET CURRENT: 2nA
- INPUT COMMON-MODE VOLTAGE RANGE INCLUDES GROUND
- DIFFERENTIAL INPUT VOLTAGE RANGE EQUAL TO THE POWER SUPPLY VOLTAGE
- LARGE OUTPUT VOLTAGE SWING 0V TO ( $V_{CC} - 1.5V$ )

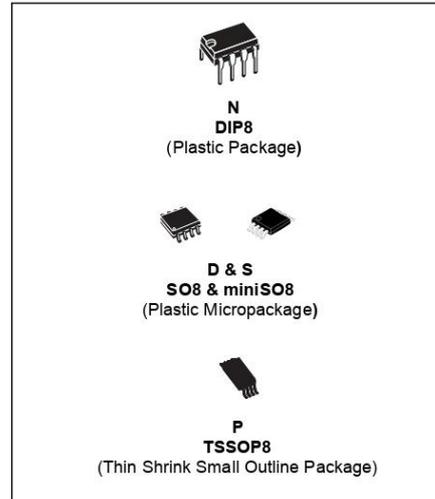
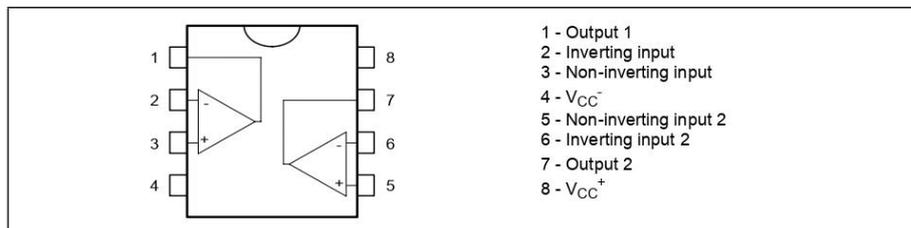
### DESCRIPTION

These circuits consist of two independent, high gain, internally frequency compensated which were designed specifically to operate from a single power supply over a wide range of voltages. The low power supply drain is independent of the magnitude of the power supply voltage.

Application areas include transducer amplifiers, dc gain blocks and all the conventional op-amp circuits which now can be more easily implemented in single power supply systems. For example, these circuits can be directly supplied with the standard +5V which is used in logic systems and will easily provide the required interface electronics without requiring any additional power supply.

In the linear mode the input common-mode voltage range includes ground and the output voltage can also swing to ground, even though operated from only a single power supply voltage.

### PIN CONNECTIONS (top view)



### ORDER CODE

Part Number	Temperature Range	Package			
		N	S	D	P
LM158,A	-55°C, +125°C	•		•	•
LM258,A	-40°C, +105°C	•		•	•
LM358,A	0°C, +70°C	•	•	•	•

**Example :** LM258N

**N** = Dual in Line Package (DIP)  
**D** = Small Outline Package (SO) - also available in Tape & Reel (DT)  
**S** = Small Outline Package (miniSO) only available in Tape & Reel (DT)  
**P** = Thin Shrink Small Outline Package (TSSOP) - only available in Tape & Reel (PT)

## Especificaciones de portaelectrodos

# SURTEK

## Porta Electrodo

### Electrode Holder



Antes de utilizar esta herramienta se debe leer y seguir las instrucciones de seguridad y operación para el funcionamiento correcto de la misma. / Before using this tool you must read and follow the safety and operating instructions for the proper operation of the same.



**Nota importante / Important note:**  
NO deje este producto expuesto a cualquier tipo de líquido.  
DO NOT leave this product exposed to any liquid.

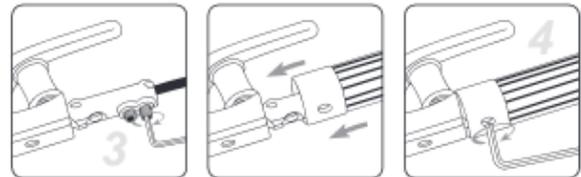
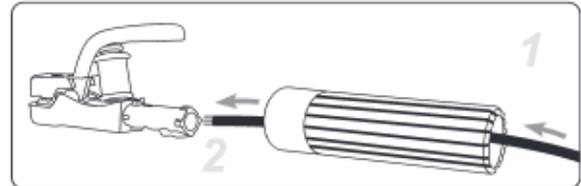
### PRECAUCIONES / CAUTION

- Siga las instrucciones para la instalación correcta del cable.  
- Follow directions correctly for proper installation of cable.
- Verifique que el cable está completamente sujetado para evitar el mal funcionamiento del porta electrodo.  
- Make sure the cable is fully secured to prevent malfunction of the electrode holder.
- Nunca toque directamente las partes conductoras del porta electrodo.  
- Never touch directly the conductive parts of electrode holder.

### Especificaciones Specifications

Código / Code	118003	118002
Capacidad / Capacity	300 A	500 A
Diámetro de electrodo máximo Maximum electrode diameter	6,4 mm	9 mm
Diámetro cable Cable diameter	25 mm <sup>2</sup>	25 mm <sup>2</sup>
Calibre / Gauge	3 AWG	3 AWG

### Instrucciones de conexión del cable: Cable connection instructive:



#### 1. Introduzca el cable donde se conectará el porta electrodo dentro del maneral.

Introduce cable where the electrode holder will be used into the handle.

#### 2. Corte aproximadamente 1" (2,5 cm) del recubrimiento aislante del cable, enrolle los cables de cobre y colóquelo dentro de la recta de fundición.

Cut about 1" (2,5 cm) of the insulated cable, wrap around the copper cables and place into the casting line.

#### 3. Sujete los cables de cobre a la recta de fundición atornillando los tornillos con la placa de sujeción.

Attach the copper cables to the casting line with the screws with the plate.

#### 4. Asegure el maneral con el tornillo hasta que tope con la parte interior del maneral.

Secure handle with the screw up to the interior part of the handle.

# ESPECIFICACIONES DE PINES DE ARDUINO UNO



## Arduino Uno SMD Rev3

The Arduino Uno SMD R3 is a microcontroller board based on the ATmega328 ([datasheet](#)). It has 14 digital input/output pins (of which 6 can be used as PWM outputs), 6 analog inputs, a 16 MHz crystal oscillator, a USB connection, a power jack, an ICSP header, and a reset button. It contains everything needed to support the microcontroller; simply connect it to a computer with a USB cable or power it with a AC-to-DC adapter or battery to get started.

The Uno differs from all preceding boards in that it does not use the FTDI USB-to-serial driver chip.

Additional features coming with the R3 version are:

- ATmega16U2 instead 8U2 as USB-to-Serial converter.
- 1.0 pinout: added SDA and SCL pins for TWI communication placed near to the AREF pin and two other new pins placed near to the RESET pin, the IOREF that allow the shields to adapt to the voltage provided from the board and the second one is a not connected pin, that is reserved for future purposes.
- stronger RESET circuit.

"Uno" means "One" in Italian and is named to mark the upcoming release of Arduino 1.0. The Uno and version 1.0 will be the reference versions of Arduino, moving forward. The Uno is the latest in a series of USB Arduino boards, and the reference model for the Arduino platform; for a comparison with previous versions, see the [index of Arduino boards](#).

### Technical Specifications

Microcontroller	ATmega328
Operating Voltage	5V
Supply Voltage (recommended)	7-12V
Maximum supply voltage (not recommended)	20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328) of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Clock Speed	16 MHz

If you want to give a closer look to this board we advice you to visit the official [Arduino UNO page](#) in the Hardware Section.

- Model: A000073
- Shipping Weight: 0.037Kg

## Módulo de voltaje dual (especificaciones).

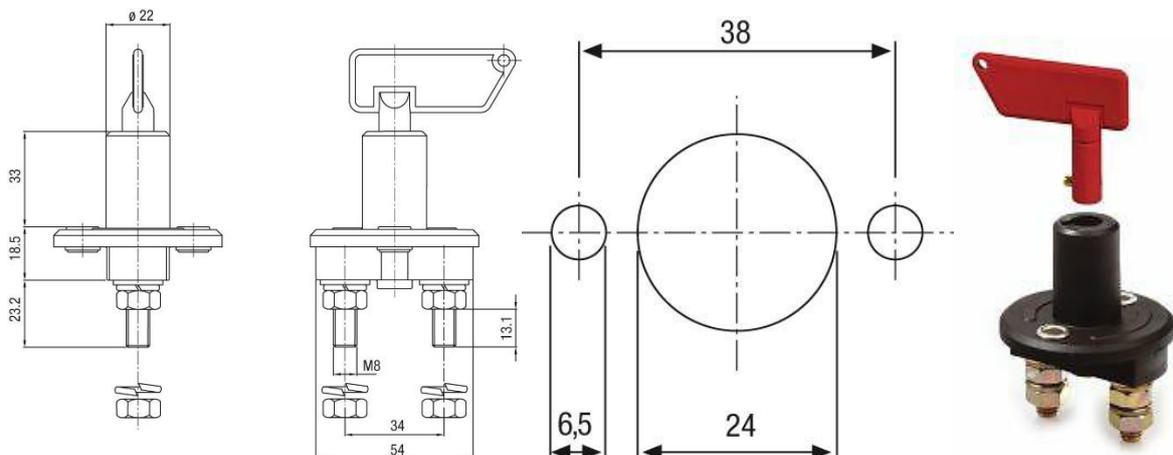
Input DC 3.6-30V,  
Adjustable Output :  $\pm 3.3V$



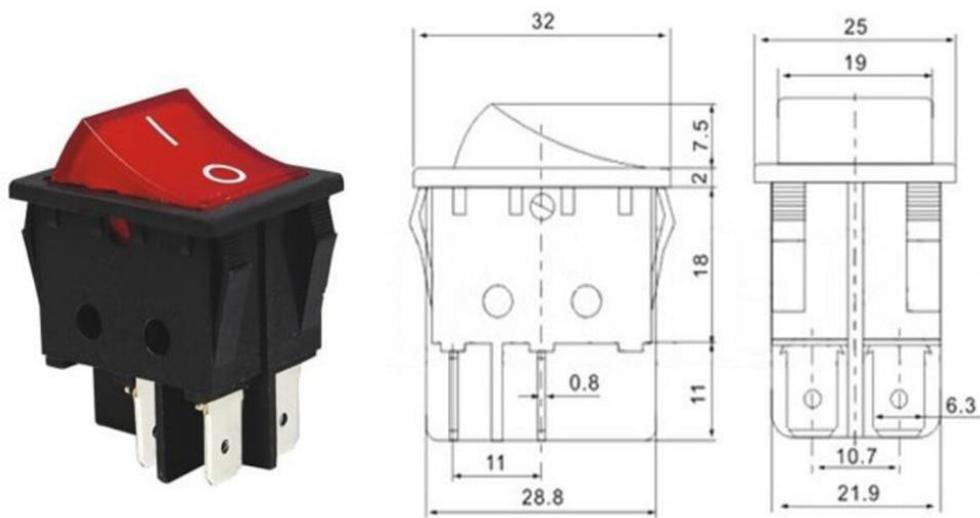
$\pm 5V$   
 $\pm 6V$   
 $\pm 9V$   
 $\pm 10V$   
 $\pm 12V$   
 $\pm 15V$   
 $\pm 18V$   
 $\pm 24V$

DD39AJPA		Voltaje de entrada: DC + 3,6 ~ + 30V Salida: DC $\pm 3 \sim \pm 30V$ ajustable Corriente de salida máxima: 200-3000MA
----------	---	---

## Interruptor cortacorriente para panel frontal.



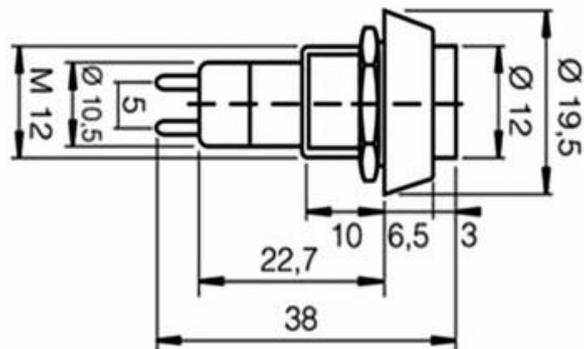
## Interruptor on/off para panel frontal.



**Interruptor bipolar para activar la carga de los supercapacitores.**



**Pulsador para panel frontal**



**Teclado matricial para panel frontal**

