



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN POSTE DE RECARGA
DE BATERÍAS PARA UN PROTOTIPO DE VEHÍCULO HÍBRIDO
EN LA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ”**

TRABAJO DE TITULACIÓN
TIPO: PROPUESTA TECNOLÓGICA

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTOR/ES: BRAYAN DAMIAN JIMÉNEZ HIDALGO

EDISON GERMÁN ROSERO LUCERO

DIRECTOR/A: Ing. CELIN PADILLA

Riobamba – Ecuador

2019

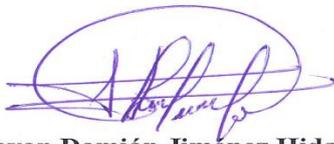
© 2019, Brayan Damián Jiménez Hidalgo, Edison Germán Rosero Lucero

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotros, Brayan Damián Jiménez Hidalgo y Edison Germán Rosero Lucero declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación: El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba. 19 de noviembre de 2019



Brayan Damián Jiménez Hidalgo

C.I: 050300638-9



Edison Germán Rosero Lucero

C.I: 040173406-6

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

El Tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: Propuesta tecnológica, “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN POSTE DE RECARGA DE BATERÍAS PARA UN PROTOTIPO DE VEHÍCULO HÍBRIDO EN LA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**”, realizado por los señores: **Brayan Damián Jiménez Hidalgo** y **Edison Germán Rosero Lucero**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

FIRMA

FECHA

Ing. José Francisco Pérez Fiallos

PRESIDENTE DE TRIBUNAL

2019-11-21

Ing. Celin Abad Padilla Padilla.

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

2019-11-21

Ing. Wilson Javier Villagrán Cáceres

MIEMBRO DE TRIBUNAL

2019-11-21

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a:

En primer lugar, a mis padres Luis Arturo Jiménez y Nancy Elizabeth Hidalgo Heredia quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han ayudado a llegar a cumplir hoy un sueño más, les doy gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre.

A mis hermanas Amanda y Ángeles por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias.

Al Ingeniero Jairo Jácome por haberme ayudado y apoyado en toda mi travesía en la Universidad, dándome consejos, fuerza y aliento como un segundo padre para mí en esta gran ciudad en donde alejado de mi familia he logrado alcanzar uno de mis sueños.

También quiero hacer mención a una persona especial en mi vida Tania Yadira Flores Taípe quien a pesar de una infinidad de situaciones nunca dejó de apoyarme hasta alcanzar esta anhelada meta.

Finalmente quiero dedicar esta tesis a todos mis amigos, por extender su mano en momentos difíciles y por el amor brindado cada día, de verdad mil gracias, siempre los llevo en mi corazón.

Jiménez Hidalgo Brayán Damián

Esta Tesis está dedicada a:

A mi Madre Yolanda Irene Lucero Endara quien es mi pilar importante que con su amor infinito y paciencia hizo que una meta más se haga realidad, gracias a ella aprendí que no existe adversidad alguna que con responsabilidad y valentía se puede lograr.

A mis Hermanos Aquiles Rosero y Ulises Rosero por su ejemplo y apoyo incondicional durante todo mi proceso de formación. A toda mi Familia que gracias a sus consejos y palabras de aliento hicieron de una u otra manera formar mi carácter.

También quiero dedicar esta tesis a una persona especial en mi vida a Génesis Thalía Rosero Velasco quien me brindo sin nada a cambio su constante amor, apoyo y fuerza de voluntad para ser de mí ante todo una buena persona y así tener este sueño cumplido.

Finalmente, a todos mis Amigos por apoyarme cuando más los necesito, por haber compartido momentos alegres y difíciles en esta etapa de formación profesional a ellos Gracias Totales.

Rosero Lucero Edison Germán

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi gratitud a Dios, quien con su bendición llena siempre mi vida dotándome de salud, energía y vitalidad, así como también a toda mi familia por estar siempre presentes.

Mi profundo agradecimiento a todas las autoridades y personal que conforman la Carrera De Ingeniería Automotriz, por confiar en mí, abrirme las puertas y permitirme realizarme como profesional.

De igual manera mis agradecimientos a mis profesores quienes con la enseñanza de sus valiosos conocimientos hicieron que pueda crecer día a día, gracias a cada uno de ustedes por su paciencia, dedicación, apoyo incondicional y amistad.

Finalmente quiero expresar mi agradecimiento los Ings. Celen Padilla y Javier Villagrán, principales colaboradores durante todo este proceso, quienes con su dirección, conocimiento y enseñanza permitieron el desarrollo de este trabajo.

Jiménez Hidalgo Brayán Damián

A Dios quien con su amor me ha bendecido con fortaleza y salud para cumplir este objetivo que un día se tornó un sueño y ahora es una realidad.

A la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO por darme la oportunidad de estudiar y de llenarme de orgullo portar el lema “Saber para Ser” el cual me acompañará en mi vida Profesional.

A mi Director de Tesis, Ing. Celin Padilla y mi Asesor Ing. Javier Villagrán por su dedicación y paciencia, quienes con sus conocimientos y experiencia supieron guiarme para poder terminar con éxito mi tesis.

Un agradecimiento especial a todos los Ingenieros que formaron parte de mis estudios profesionales, los cuales aportaron con sus conocimientos y apoyo incondicional para realizarme como Ingeniero, mil gracias también por su amistad.

Rosero Lucero Edison Germán

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	
1 MARCO REFERENCIAL.....	2
1.1 Antecedentes.....	2
1.2 Planteamiento del problema	3
1.3 Justificación del proyecto.....	4
1.4 Objetivos.....	5
1.4.1 <i>Objetivo General</i>	5
1.4.2 <i>Objetivos Específicos</i>	5
CAPÍTULO II	
2 MARCO TEÓRICO.....	6
2.1 Vehículos híbridos	6
2.2 Tipos de sistemas híbridos	6
2.2.1 <i>Híbridos en serie</i>	6
2.2.2 <i>Híbridos en Paralelo</i>	7
2.2.3 <i>Híbridos en Serie-Paralelo</i>	7
2.3 Comparativa entre sistemas híbridos	8
2.4 Características principales de un sistema híbrido	9
2.5 Configuración del sistema híbrido	9
2.5.1 <i>Circuito de alto voltaje</i>	10
2.5.2 <i>Motor</i>	11
2.5.3 <i>Generador</i>	11
2.5.4 <i>Unidad de control de potencia</i>	11
2.5.5 <i>Dispositivo de conmutación de semiconductores (IGBT)</i>	11
2.5.6 <i>Batería Híbrida</i>	12
2.5.7 <i>Sistema de frenado regenerativo</i>	12
2.5.8 <i>Sistema de Transmisión híbrida</i>	13
2.5.9 <i>Dispositivo de división de Potencia</i>	13
2.5.10 <i>Motor de combustión interna</i>	14
2.5.11 <i>Control de potencia del motor de combustión interna</i>	15

2.5.12	<i>Control de frenado regenerativo</i>	16
2.6	Baterías de Níquel Metal Hidruro (Ni-MH)	17
2.6.1	<i>Descripción</i>	17
2.6.2	<i>Construcción de la batería</i>	17
2.6.3	<i>Características de descarga</i>	18
2.6.3.1	<i>Resistencia Interna</i>	19
2.6.3.2	<i>Voltaje durante la descarga</i>	19
2.6.3.3	<i>Efecto de condiciones ambientales externas sobre el voltaje</i>	20
2.6.3.4	<i>Comportamiento de la capacidad de descarga</i>	21
2.6.3.5	<i>Medición del estado de carga (State of charge SOC)</i>	22
2.6.3.6	<i>Depresión por el efecto de memoria de la batería</i>	22
2.6.3.7	<i>Terminación de la descarga</i>	23
2.6.3.8	<i>Voltaje de corte a altas tasas de descarga</i>	23
2.6.3.9	<i>Ciclo de vida</i>	24
2.6.4	<i>Características de carga</i>	24
2.6.5	<i>Razones recomendadas de carga</i>	26
2.6.6	<i>Auto descarga</i>	26
2.6.7	<i>Profundidad de descarga</i>	26
2.6.8	<i>Recuperación de capacidad luego del almacenamiento</i>	27
2.7	Batería del sistema híbrido	28
2.7.1	<i>Sistema de administración de Batería (BMS)</i>	28
2.7.2	<i>Sistemas de administración de batería BMS para autos</i>	29
2.7.3	<i>Sistema de monitoreo y protección</i>	30
2.7.3.1	<i>Sistema de balanceo</i>	30
2.7.3.2	<i>Unidad de batería inteligente</i>	30
2.7.3.3	<i>Protección de las baterías híbridas</i>	31
2.7.3.4	<i>Protección de sobre corriente</i>	32
2.7.3.5	<i>Protección de sobrevoltaje y sub-voltaje</i>	32
2.7.3.6	<i>Protección de sobre temperatura y subtemperatura</i>	33
2.7.3.7	<i>Otras protecciones</i>	33
2.7.4	<i>Ejemplos de censado de baterías de tracción en sistemas híbridos</i>	33
2.7.5	<i>Métodos de balanceo de celdas para para baterías de tracción.</i>	35
2.7.6	<i>Parámetros importantes de la unidad inteligente de batería.</i>	35
2.7.6.1	<i>Modelo de la batería</i>	35
2.7.6.2	<i>Determinación del estado de carga</i>	37
2.7.6.3	<i>Determinación del estado de salud de la batería.</i>	40
2.7.6.4	<i>Historial el desempeño de la batería</i>	40

2.7.6.5	<i>Regulación de la carga</i>	41
2.7.6.6	<i>Control de la carga de baterías basadas en níquel</i>	42
2.7.6.7	<i>Método determinación de voltaje delta negativo (NVD)</i>	42
2.7.6.8	<i>Método de terminación del voltaje delta cero (ZDV)</i>	43
2.7.6.9	<i>Comunicación</i>	43
2.8	Métodos de carga de baterías	43
2.8.1	<i>Carga de tensión constante</i>	44
2.8.2	<i>Carga intensidad y tensión constante</i>	44
2.8.3	<i>Carga a intensidad constante</i>	45
2.8.4	<i>Carga con tensión creciente</i>	46
2.8.5	<i>Modos específicos de carga</i>	47
2.8.5.1	<i>Carga de ayuda</i>	47
2.8.5.2	<i>Carga de igualación</i>	47
2.8.5.3	<i>Carga de flotación y carga de compensación</i>	47
2.8.6	<i>Rendimientos de carga y tensión de gaseo</i>	47
2.8.7	<i>Carga de la batería basada en níquel</i>	48
2.8.8	<i>Carga de baterías reguladas por válvula</i>	49
2.8.9	<i>Indicadores del estado de carga</i>	49
2.9	Dispositivos semiconductores	50
2.9.1	<i>Diodo semiconductor</i>	51
2.9.1.1	<i>Voltaje de polarización</i>	52
2.9.1.2	<i>Voltaje de ruptura</i>	52
2.9.1.3	<i>Corriente de reversa</i>	52
2.9.1.4	<i>Tiempo de recuperación en directa</i>	52
2.9.1.5	<i>Tiempo de recuperación de reversa</i>	52
2.9.2	<i>Tipos de diodo</i>	53
2.9.2.1	<i>Diodo de pequeña señal</i>	53
2.9.2.2	<i>Diodos rectificadores de silicio</i>	54
2.9.2.3	<i>Diodos Zener</i>	54
2.9.2.4	<i>Foto diodos</i>	54
2.9.3	<i>MOSFET de potencia</i>	54
2.10	Convertidores estáticos de energía	57
2.10.1	<i>Rectificadores de diodo de una sola fase</i>	57
2.10.1.1	<i>Rectificadores monofásicos de media onda</i>	57
2.10.1.2	<i>Rectificadores de onda completa monofásicos</i>	59
2.10.2	<i>Convertidores estáticos DC-DC</i>	62
2.10.2.1	<i>Convertidores DC-DC con PWM (Chopper)</i>	63

2.10.2.2	<i>Convertidor reductor (Buck)</i>	66
2.11	Microncontroladores	68
2.11.1	<i>Arduino NANO</i>	69
2.11.2	<i>Circuito integrado LM2596</i>	70
2.11.3	<i>Circuito integrado SIM800L</i>	71
2.11.4	<i>Sensor de corriente ACS712</i>	72
CAPÍTULO III		
3	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN	73
3.1	Parámetros del diseño	73
3.1.1	<i>Etapas del diseño general</i>	73
3.2	Variables del diseño	74
3.2.1	<i>Variables del circuito de alimentación del sistema y bajo voltaje</i>	74
3.2.2	<i>Variables del circuito de potencia en alto voltaje</i>	74
3.2.3	<i>Variables del circuito de la etapa de comunicación</i>	74
3.3	Diseño del equipo	74
3.3.1	<i>Circuito de alimentación</i>	75
3.3.1.1	<i>Fuente para los dispositivos de control</i>	75
3.3.1.2	<i>Fuente para los dispositivos de potencia</i>	76
3.3.1.3	<i>Fuente para el ventilador</i>	77
3.3.2	<i>Circuito de potencia</i>	79
3.3.3	<i>Circuito de comunicación</i>	88
3.3.4	<i>Integración de las etapas en un diseño completo</i>	90
3.4	Construcción del equipo	97
3.5	Pruebas y funcionamiento	101
3.6	Análisis de resultados	103
CAPÍTULO IV		
4	ESTUDIO DE COSTOS	108
4.1	Costos directos	108
4.2	Costos indirectos	109
4.3	Costo total	110
4.4	Recuperación de la inversión	110
CONCLUSIONES		110
RECOMENDACIONES		116
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2: Lista de métodos de carga y métodos de terminación de carga para baterías de distintas químicas	41
Tabla 1-3: Comparación de tiempos de carga.....	106
Tabla 1-4: Costos directos	108
Tabla 2-4: Costos indirectos	109
Tabla 3-4: Costos totales.....	110

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2. Sistema híbrido en serie	6
Figura 2-2. Sistema híbrido en paralelo	7
Figura 3-2. Sistema híbrido Serie-Paralelo	8
Figura 4-2. Relación de operación entre motor de combustión y motor eléctrico	8
Figura 5-2. Partes principales del sistema Híbrido	10
Figura 6-2. Sistema eléctrico de alto voltaje vs. Sistema eléctrico previo	10
Figura 7-2. Unidad de control de potencia.....	11
Figura 8-2. Batería Híbrida	12
Figura 9-2. Sistema de frenado regenerativo	13
Figura 10-2. Dispositivo de división de potencia.....	14
Figura 11-2. Relación de compresión en un motor de ciclo Otto vs. ciclo Atkinson.....	14
Figura 12-2. Curva de desempeño de un motor de ciclo Atkinson	15
Figura 13-2. Rango de operación del motor de combustión interna	16
Figura 14-2. Comparación de frenado regenerativo, generación actual vs. anterior.....	16
Figura 15-2. Disposición de los elementos de una batería típica de NiMH.....	18
Figura 16-2. Válvula de seguridad en una batería de NiMH	18
Figura 17-2. Resistencia interna de una batería NiMH.....	19
Figura 18-2. Curva característica de descarga de una batería NiMH.....	20
Figura 19-2. Variación del punto medio de voltaje con la temperatura	20
Figura 20-2. Variación de la curva de voltaje con distintas razones de descarga	21
Figura 21-2. Variación de la capacidad de descarga con la temperatura	21
Figura 22-2. Efecto de la razón de la descarga en la capacidad.....	22
Figura 23-2. Curva de descarga incluyendo la reversión de polaridad	23
Figura 24-2. Características de carga batería NiMH.....	25
Figura 25-2. Efecto de la temperatura de carga en la capacidad de descarga	26
Figura 26-2. Influencia de la profundidad de descarga en los ciclos de vida	27
Figura 27-2. Sistema de monitoreo y protección para baterías de tracción	29
Figura 28-2. Interruptor de la batería del sistema híbrido.....	33
Figura 29-2. Configuración interna de la batería del Toyota Prius	34
Figura 30-2. Rango típico de operación de baterías usadas en HEV y PHEV/EV	35
Figura 31-2. Características de descarga de una batería Ni-Mh	36
Figura 32-2. Características de descarga de la batería de Ni-Mh a distintas temperaturas	36
Figura 33-2. Comparativa de curvas de descarga para distintas baterías.....	38
Figura 34-2. Muestreo basado en la medición de carga eléctrica	39

Figura 35-2. Métodos de terminación de carga para baterías basadas en Níquel	43
Figura 36-2. Esquema de carga a tensión constante	44
Figura 37-2. Esquema de carga a intensidad y tensión constante	45
Figura 38-2. Esquema de carga a intensidad constante.....	46
Figura 39-2. Esquema de carga a tensión creciente	46
Figura 40-2. Rendimiento de carga de una batería de Plomo estacionaria	48
Figura 41-2. Determinación de la capacidad de un acumulador fotovoltaico.....	50
Figura 42-2. Curva característica de un diodo semiconductor.....	51
Figura 43-2. Representación aproximada de las características estáticas de un diodo semiconductor.....	53
Figura 44-2. Representación temporal de la recuperación de un diodo	53
Figura 45-2. Símbolo y terminales del MOSFET de potencia.....	55
Figura 46-2. Regiones de operación del MOSFET de potencia.....	56
Figura 47-2. Rectificador monofásico de media onda con carga resistiva.....	57
Figura 48-2. Ondas de voltaje y corriente del rectificador de media onda con carga resistiva..	58
Figura 49-2. Rectificador de puente de onda completa.....	59
Figura 50-2. Formas de voltaje y corriente para el rectificador de onda completa.....	59
Figura 51-2. Ondas de voltaje y corriente del rectificador de onda completa con un capacitor conectado a la salida.....	62
Figura 52-2. Conversor DC-DC con una carga resistiva	63
Figura 53-2. Voltaje de salida de un conversor DC-DC con carga resistiva	64
Figura 54-2. Conversor DC-DC con una carga RLE	65
Figura 55-2. Formas de onda del conversor DC-DC con carga RLE	65
Figura 56-2. Topología del conversor Buck	66
Figura 57-2. Formas de onda en un conversor tipo Buck (reductor)	67
Figura 58-2. Vista simplificada de un microcontrolador AVR.....	69
Figura 59-2. Modelo 2D del Arduino NANO.....	70
Figura 60-2. Regulador 2596	71
Figura 61-2. Módulo SIM800L.....	72
Figura 62-2. Sensor de efecto Hall.....	72
Figura 1-3. Etapas generales del diseño.....	73
Figura 2-3. Diseño de las fuentes de alimentación	79
Figura 3-3. Rectificador de onda completa.....	81
Figura 4-3. Capacitor de filtro y relé de protección en los terminales de carga.....	83
Figura 5-3. Relé de estado sólido.....	83
Figura 6-3. Etapa de MOSFET de potencia.....	84
Figura 7-3. Divisor de voltaje simplificado	85

Figura 8-3. Divisor de voltaje para medir el voltaje de la batería híbrida.....	88
Figura 9-3. Circuito de comunicación inalámbrica.....	89
Figura 10-3. Algoritmo de notificación de estado de carga	89
Figura 11-3. Circuito de botón de RESET del cargador	90
Figura 12-3. Circuito de control del buzzer	91
Figura 13-3. Circuitos de botoneras para control de carga	91
Figura 14-3. Circuito de control de las luminarias LED de notificación	92
Figura 15-3. Conectores externos de cable y porta fusibles.....	92
Figura 16-3. Diagrama esquemático del Arduino	93
Figura 17-3. Diseño esquemático de todo el proyecto.....	94
Figura 18-3. Vista superior del posicionamiento de los elementos.....	94
Figura 19-3. Vista inferior de las pistas del circuito cargador de baterías	95
Figura 20-3. Vista 3D superior del circuito diseñado	95
Figura 21-3. Vista 3D inferior del circuito diseñado	96
Figura 22-3. Impresión y foto transferencia del circuito impreso.....	97
Figura 23-3. Circuito con las pistas cubiertas de material termo transferible.....	98
Figura 24-3. Vista inferior de la placa con pistas de cobre y perforaciones realizadas	98
Figura 25-3. Posicionamiento físico de los componentes	99
Figura 26-3. Vista inferior de la placa con los elementos soldados.....	99
Figura 27-3. Placa del cargador de baterías híbrido finalizada	100
Figura 28-3. Conectores SAE J1772.....	100
Figura 29-3. Circuito del cargador de baterías híbrido dentro del armario eléctrico	101
Figura 30-3. Conectores externos del cargador de baterías	101
Figura 31-3. Prueba de carga de batería de 28 celdas	102
Figura 32-3. Temperatura del disipador luego de media hora de funcionamiento.....	102
Figura 33-3. Banco de pruebas para carga y descarga	103
Figura 34-3. Evolución de la carga de voltaje de la batería	104
Figura 35-3. Evolución de la corriente entregada al paquete de baterías híbrida	105
Figura 36-3. Evolución de temperatura durante el proceso de carga	106
Figura 37-3. Cargador de baterías conectado en un auto de pruebas	107

ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexo A.** Especificaciones técnicas del gabinete de servicio
- Anexo B.** Especificaciones técnicas de los conectores SAE J1772
- Anexo C.** Código fuente del poste cargador de baterías

RESUMEN

El presente trabajo muestra el procedimiento de estudio y desarrollo para el diseño e implementación de un poste de recarga de baterías para un prototipo de vehículo híbrido en la Escuela de Ingeniería Automotriz, para ello se realizó el análisis y estudio de la mejor tecnología disponible para la realización del proyecto, en sus diferentes etapas. Se definieron los parámetros más importantes a considerar en el diseño del cargador, la realización del proyecto se fundamentó en una metodología experimental y heurística (método ingenieril), se determinó primero la utilización de elementos electrónicos de potencia tipo MOSFET, sensores para la adquisición de datos y el uso de microcontroladores, todos se combinaron en un prototipo de cargador de baterías de Níquel Metal Hidruro (Ni-MH). El prototipo cuenta con 3 etapas controladas por una plataforma de hardware y software de libre programación, se monitoreó además los parámetros más importantes del proceso de carga de la batería de NiMH para terminar la operación en caso de exceder cualquier situación de riesgo por medio de mensajes de texto GSM. Se obtuvo un prototipo que elevó la cantidad de carga de la batería de 28 celdas hasta el voltaje deseado con una corriente que disminuyó progresivamente conforme aumentó el estado de carga de la batería, esto con la finalidad de mantener la temperatura dentro de los rangos seguros previamente estudiados, y en un tiempo de 2,29 horas. Se recomienda la adición de filtros de señal y sensores de temperatura para incrementar la razón de carga.

Palabras clave:

<BATERÍA HÍBRIDA> <CARGADOR ELÉCTRICO> <NÍQUEL METAL HIDRURO>
<CARGA DE VOLTAJE CONSTANTE> <SAE J1772> <MONITOREO INALÁMBRICO
GSM>



ABSTRACT

This paper describes the study and development procedure for the design and implementation of a battery recharge post for a hybrid vehicle prototype in the School of Automotive Engineering, for this the analysis and study of the best technology was carried out available for the realization of the project, in its different stages. The parameters were defined most important to consider in the design of the loader, the realization of the project is based In an experimental and heuristic methodology (engineering method), the use of electronic power elements MOSFET type, sensors for the acquisition of data and the use of microcontrollers, all are combined in a prototype battery charger of Nickel Metal Hydride (Ni-MH). The prototype has 3 stages controlled by a free programming hardware and software platform, it was monitored in addition to the parameters most important of the NiMH battery charging process to finish the operation in case of any risk situation through GSM text messages. A prototype that raised the amount of battery charge from 28 cells to the desired voltage with a current that progressively decreased according to the state of charge of the battery, this with the intention of keeping the temperature within the previously safe ranges studied, and in a time of 2.29 hours. The addition of signal filters and sensors is recommended of temperature to increase the load ratio.

Key words:

<HYBRID BATTERY> <ELECTRIC CHARGER> <METAL NICKEL HYDRIDE>
<CONSTANT VOLTAGE LOAD> <SAE J1772> <MONITORING GSM WIRELESS>

72> <MONITORING G



INTRODUCCIÓN

El avance de la tecnología automotriz se ha extendido actualmente hacia el campo de los vehículos híbridos y eléctricos, la constante búsqueda de obtención de un mejor rendimiento del uso de combustibles fósiles ha hecho que los fabricantes automotrices vuelquen sus esfuerzos a la fabricación y perfeccionamiento de sistemas motrices híbridos, aquellos que combinan el uso de un motor convencional de combustión interna, con uno o varios motores eléctricos para dar movimiento al automóvil.

Este tipo de vehículos ofrecen mejores prestaciones en comparación a vehículos convencionales desde el punto de vista de rendimiento de combustible, sin embargo, las baterías que se utilizan para el sistema eléctrico-motriz requieren el desarrollo de cargadores especiales, diseñados para el propósito, además, por ser sistemas de alto voltaje, se debe considerar de especial manera la seguridad para los operadores, con el afán de evitar accidentes.

El desarrollo de este proyecto centra sus esfuerzos en el desarrollo e implementación de un cargador de paquetes de baterías de NiMh de 28 celdas para autos híbridos, debido a que esta es la configuración del auto híbrido más vendido en el parque nacional automotriz del Ecuador.

Con el objetivo de determinar las características de operación del cargador, así como la selección y dimensionamiento correcto de componentes, se ha realizado pruebas en baterías de NiMh, para entender las características principales de carga y descarga de las mismas, así como los parámetros que tomar en cuenta.

CAPÍTULO I

1 MARCO REFERENCIAL

1.1 Antecedentes

La necesidad de optimizar y reducir el consumo de combustibles fósiles para la transportación, así como el desarrollo de vehículos cada vez más limpios, ha impulsado el desarrollo de soluciones menos contaminantes. Dentro de este contexto el desarrollo de los vehículos híbridos ha venido desempeñando un papel fundamental en la transición del modelo de transporte basado en combustibles fósiles (no renovables), a la transportación fundamentada en energías eléctrica proveniente de fuentes renovables.

Un auto híbrido se puede definir como un medio de transporte que combina la energía proporcionada por el motor de combustión interna y el motor eléctrico alimentado por baterías para mover el auto. La fuente principal de energía motriz surge desde la parte del motor de combustión interna, y el motor eléctrico le asiste a este, utilizando energía almacenada en las baterías diseñadas para el efecto, estas se cargan desde la energía que entrega el motor de combustión, así como del frenado regenerativo que sucede cada vez que el usuario pisa el freno.

Como resultado de este trabajo combinado, un auto híbrido suele presentar un mejor consumo de combustible (más eficiente), así como una potencia combinada superior a la de un auto de igual desplazamiento, dependiendo de la generación y tipo de auto, existe la posibilidad de circular únicamente con el motor eléctrico, utilizando la energía de las baterías eléctricas.

Con la misma lógica de optimización de combustible, el motor de combustión interna de estos autos se diseña con para funcionar con la máxima eficiencia posible, reemplazando el usual sistema de ciclo Otto, por el sistema de ciclo Atkinson.

Para almacenar la energía Eléctrica, se utiliza una batería constituida por múltiples celdas de NiMH, esta batería es un elemento fundamental en el sistema, pues de su estado depende la eficiencia del vehículo híbrido, así como su desempeño en el desplazamiento. Estas baterías con el pasar del tiempo comienzan a perder la capacidad de almacenamiento de energía y requieren de ser refaccionadas o reemplazadas dependiendo del grado de deterioro, reemplazar este tipo de baterías puede resultar bastante costoso, existen además factores externos que pueden acelerar la

degradación de la batería, factores como cantidad de ciclos de carga y descarga, así como el régimen de uso y condiciones de almacenamiento (temperatura y humedad externa).

No existen muchos trabajos desarrollados en el país sobre cargadores para este tipo de batería debido a que se utilizan voltajes altos que pueden llegar a ser muy peligrosos, así como varias consideraciones y parámetros que se deben de tomar en cuenta desarrollar este tipo de cargadores.

Ávila en su trabajo diseño y construcción de un cargador automatizado de baterías de vehículos híbridos Muestra el proceso de construcción de un cargador automatizado para realizar la puesta a punto de baterías a bajo costo con tecnología moderna seleccionando los elementos eléctricos y electrónicos así como la construcción de los circuitos para cargar baterías diagnosticar su estado y realizar la carga de las mismas todo esto controlado mediante un microcontrolador y un circuito de potencia con una limitación de dos amperios (Ávila 2014).

Contreras en su trabajo “Análisis del funcionamiento del Charger Research en el proceso de carga de baterías de vehículos híbridos” señala un aumento considerable en la venta de vehículos híbridos de los últimos años en el país debido a nuevas exigencias normativas de protección medioambiental y la necesidad de realizar el mantenimiento y reparación de baterías de alta tensión de los vehículos híbridos. (Contreras 2018).

Iza et al en su trabajo “Estudio de la incidencia de la carga en la ecualización de los packs de baterías de alta tensión de vehículos híbridos para estimar la durabilidad, rendimiento y pos-uso” Muestra la incidencia de la carga en la actualización de los paquetes de baterías de alta tensión de vehículos híbridos para estimar durabilidad Rendimiento y uso indicando que una alternativa al cambio es el de acondicionamiento y ecualización desarrollando la metodología y presentando los resultados obtenidos utilizando un modelo matemático de la batería y planteando alternativas para baterías que no se encuentran en condiciones óptimas de funcionamiento (Iza y Pozo 2017).

Aguilar en su trabajo “Estudio del Funcionamiento del conjunto de baterías del Ford escape híbrido” da a conocer los resultados del análisis de una batería utilizando un banco de pruebas su composición y funcionamiento indicando mantenimientos debidos a los baterías, así como los cuidados que se deben tener y cómo aprovechar con mayor eficiencia la carga de estas. (Aguilar 2018).

1.2 Planteamiento del problema

Desde sus inicios, los vehículos han constituido una parte fundamental en las personas ya que los usamos para nuestra movilización o para realizar un gran trabajo en menor tiempo, pero cabe

recalcar que con el paso de los años han evolucionado aumentando con ellos las emisiones contaminantes que estos producen al ambiente. (Aparicio, y otros, 2001)

Hoy en día debemos tener claro que la mayoría de vehículos usan combustibles fósiles, los mismos que provocan un gran impacto ambiental, ya que están emanando gases nocivos para la salud, destruyendo la atmosfera y a su vez están disminuyendo las de reservas de petróleo a nivel mundial. (Payri, y otros, 2011)

De allí nace la idea de crear vehículos eléctricos con una gran tentativa a ser los pioneros debido a que su principio de funcionamiento es usar la electricidad como una energía limpia que no genera efectos nocivos a la salud. (Peña Ordoñez, 2011)

En nuestro país existen pocas unidades de estos vehículos, pero al ver su aceptación a nuestro mercado, nos hemos visto en la necesidad de construir postes de recarga eléctrica para estos autos. (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2018)

Por tales motivos y contribuyendo a la conservación ambiental, implementaremos una electrolinera en la Escuela Superior Politécnica De Chimborazo, específicamente en la Escuela de Ingeniería Automotriz que servirá para recargar las baterías de un prototipo de vehículo híbrido, con una gran autonomía y el desarrollo de nuevos proyectos enfocados a las energías alternativas.

1.3 Justificación del proyecto

Actualmente en el Ecuador no cabe duda de que los vehículos de combustión interna son parte esencial en el desarrollo autosustentable de las ciudades del país. El inconveniente se presenta que la gran parte del transporte depende de la energía fósil generando un alto índice de contaminación al ambiente por sus emisiones de CO₂ que produce. (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2018)

Con el tema del cambio de la matriz productiva incentivada por el Gobierno Ecuatoriano en la revolución energética para el cuidado de la atmosfera, el uso de energías limpias se ha vuelto primordial, ya que se debe establecer alternativas tecnológicas para controlar y contrarrestar este alto impacto de contaminación nacional y mundial. (El Ecuador y el proceso de cambio de la matriz productiva: consideraciones para el desarrollo y equilibrio de la balanza comercial, 2015)

Este motivo impulsa a iniciar al desarrollo de una solución de automóviles que no utilicen un combustible fósil como es la generación de vehículos eléctricos una iniciativa factible para impulsar el crecimiento tecnológico, económico y ambiental. (Sociedad de Técnicos de Automoción, 2011)

Debido a la falta de un poste cargador de baterías eléctricas para un prototipo de vehículo híbrido, se ha visto en la necesidad de diseñar e implementar en la Escuela de Ingeniería Automotriz de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo este requerimiento que permita a sus estudiantes tener y aplicar el conocimiento obtenido en el desarrollo de nuevos vehículos prototipo.

El presente proyecto es de gran importancia para la Escuela de Ingeniería Automotriz, ya que motivará al estudiante a la investigación y el desarrollo tecnológico automotriz, amigable con el ecosistema y el confort de los usuarios. (Las infraestructuras de recarga y el despegue del vehículo eléctrico, 2015)

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

- i. Diseñar e implementar un poste de recarga de baterías para un prototipo de vehículo Híbrido en la Escuela de Ingeniería Automotriz

1.4.2 Objetivos Específicos

- i. Investigar las características que poseen diferentes postes de recarga, mediante la revisión de artículos científicos y trabajos similares, para poder tener un mejor criterio del diseño del poste de recarga.
- ii. Diseñar el esquema eléctrico y simulación del poste de recarga, con la ayuda del software especializado para obtener un resultado físico y dinámico de dicha estación.
- iii. Construir e implementar un poste cargador, mediante las especificaciones de requeridas por las baterías del vehículo híbrido para abastecerlas con la carga suficiente a dicho elemento.
- iv. Realizar las pruebas correspondientes de recarga de energía con el equipo implementado para garantizar el estado de carga en las baterías.

CAPÍTULO II

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Vehículos híbridos

Un vehículo híbrido es la fusión entre un motor de combustión interna y un motor eléctrico obteniendo diferentes funciones a través de diferentes combinaciones de potencia. Los sistemas híbridos automotrices combinan dos fuentes motrices de potencia para tomar las ventajas y los beneficios entregados por estas fuentes de potencia mientras compensan entre sí sus desventajas resultando en un desempeño de manejo muy eficiente a pesar de que los sistemas híbridos utilizan un motor eléctrico ellos no requieren una fuente externa de carga como lo requieren los vehículos totalmente eléctricos.

2.2 Tipos de sistemas híbridos

Durante el desarrollo de la tecnología, se pueden citar tres tipos de sistemas híbridos.

2.2.1 Híbridos en serie

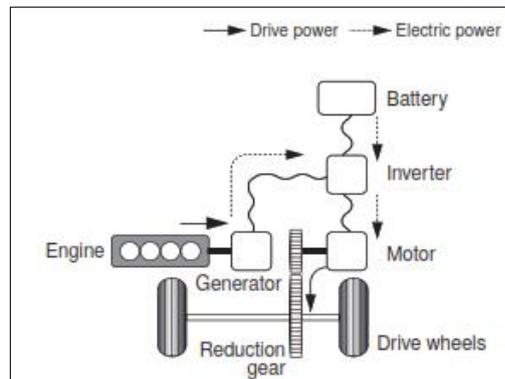


Figura 1-2. Sistema híbrido en serie

Fuente: (Toyota 2008)

En estos sistemas, el motor interno de combustión mueve un generador; y, un motor eléctrico utiliza la electricidad generada para desplazar las ruedas, este sistema se denomina en serie debido a que la potencia fluye hacia las ruedas en serie desde el motor de combustión, este tipo de sistemas pueden utilizar un motor mecánico relativamente pequeño activado en la región de

óptima eficiencia de manera sostenida entregando electricidad al motor eléctrico y cargando de manera eficiente las baterías.

2.2.2 *Híbridos en Paralelo*

Un sistema híbrido en paralelo tanto el motor de combustión como el motor eléctrico mueven las ruedas la potencia de estas dos fuentes puede ser utilizada de acuerdo a las condiciones que se quiera este se llama un sistema híbrido en paralelo debido a que la potencia fluye a las ruedas en paralelo en este sistema la batería es cargada al conmutar el motor eléctrico para que actúe como un generador y la electricidad de la batería es utilizada para mover las ruedas a pesar de que tiene una estructura simple el sistema híbrido en paralelo no puede mover las ruedas directamente con el motor eléctrico y simultáneamente cargar la batería debido a que tiene un solo motor.(Toyota 2003)

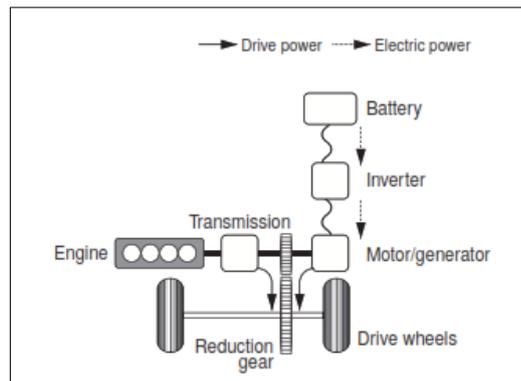


Figura 2-2. Sistema híbrido en paralelo

Fuente: (Toyota 2008)

2.2.3 *Híbridos en Serie-Paralelo*

Es un sistema que combina los anteriores para maximizar los beneficios de ambos sistemas, tiene dos motores en su diseño, y dependiendo de las condiciones de manejo puede llegar a utilizar únicamente el motor eléctrico o la potencia simultánea de ambos, todo esto con la finalidad de lograr el nivel más alto de eficiencia respecto al consumo de combustible. De hecho, cuando es necesario, el sistema tiene la capacidad de mover las ruedas y simultáneamente generar electricidad mediante un generador, este sistema es el utilizado actualmente por la gran mayoría de fabricantes de autos híbridos debido a las ventajas que presenta.(Toyota 2003)

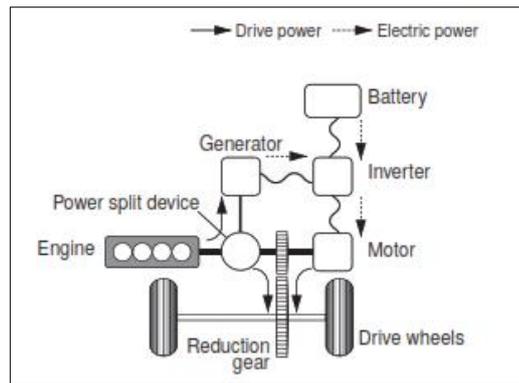


Figura 3-2. Sistema híbrido Serie-Paralelo

Fuente: (Toyota 2008)

2.3 Comparativa entre sistemas híbridos

Debido a la naturaleza del diseño de los diferentes tipos de sistemas híbridos, el uso del motor de combustión y el motor eléctrico varía significativamente entre los tres como se explica e ilustra la Figura 4-.

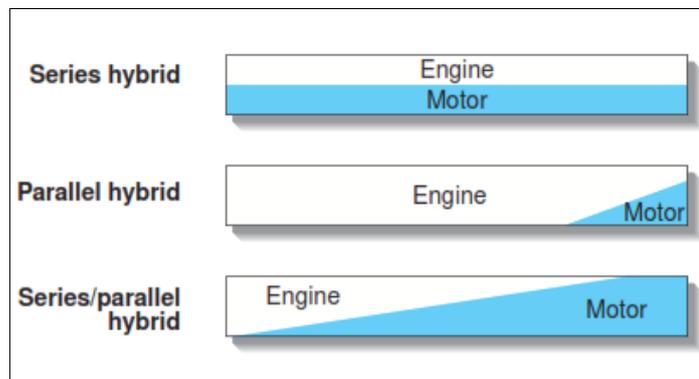


Figura 4-2. Relación de operación entre motor de combustión y motor eléctrico

Fuente: (Toyota 2008)

Debido a que en un sistema en serie se utiliza el motor de combustión para generar continuamente electricidad para el motor eléctrico y así mover las ruedas, ambos motores realizan prácticamente el mismo trabajo.

En el sistema en paralelo, el motor de combustión es la fuente principal de potencial del auto, con el motor eléctrico utilizado solamente para proveer asistencia durante la aceleración, por lo tanto, el segundo es usado escasamente.

En el sistema serie-paralelo un dispositivo de división de potencia divide la potencia entregada en primera instancia por el motor de combustión, de tal manera que la relación de potencia entregada a las ruedas y al generador puede ser variada de manera dinámica y continua, además, como el sistema permite también la movilidad únicamente con el motor eléctrico, este es más utilizado que en un sistema en paralelo

2.4 Características principales de un sistema híbrido

Un sistema híbrido, para ser reconocido como tal, debe poseer las siguientes cuatro características:

- i. *Reducción de la pérdida de energía.* – El sistema automáticamente se detiene al encontrarse en espera, de esta manera reduce el consumo de energía que de otra manera sería desperdiciada;
- ii. *Recuperación de energía y reutilización.* – La energía que normalmente sería desperdiciada como calor durante la desaceleración y frenado, es recuperada como energía eléctrica, la cual luego puede ser reutilizada para movilizar el sistema;
- iii. *Asistencia de motor.* – El motor eléctrico asiste al motor de combustión interna durante la aceleración del auto;
- iv. *Control de operación de alta eficiencia.* – El sistema maximiza la eficiencia total del vehículo al utilizar el motor eléctrico únicamente para desplazamiento bajo ciertas condiciones en las cuales el motor de combustión es poco eficiente; y, generando electricidad en las condiciones en las cuales el motor de combustión opera en su zona de máxima eficiencia, esta última condición solo puede ser alcanzada por el sistema serie-paralelo.

2.5 Configuración del sistema híbrido

Como se manifestó anteriormente, el sistema híbrido consta de dos fuentes motrices, la primera un motor de combustión interna que utiliza un ciclo Atkinson (con un ciclo de relación de alta expansión), así como un motor AC de imán permanente síncrono con 1,5 veces la potencia del motor de combustión interna, un generador, una batería de alta tensión de Níquel Metal-Hidruro (Ni-MH) y una unidad de control de poder, esta unidad contiene un circuito de alta tensión para elevar el voltaje del sistema que utiliza tanto el motor como el generador a 500 Voltios (V), además de un inversor AC-DC para convertir entre la corriente AC utilizada en el motor y generador, en un voltaje DC que utiliza la batería híbrida. Otro elemento fundamental incluye un dispositivo de división de potencia, el cual transmite la fuerza mecánica motriz desde el motor de

combustión el motor y el generador al combinar y entregar la potencia requerida o entregada por cada uno de ellos, la unidad de control de potencia manipula precisamente estos componentes a altas velocidades para permitirlos trabajar de manera cooperada y con alta eficiencia como se puede ver a continuación: (Toyota 2003)

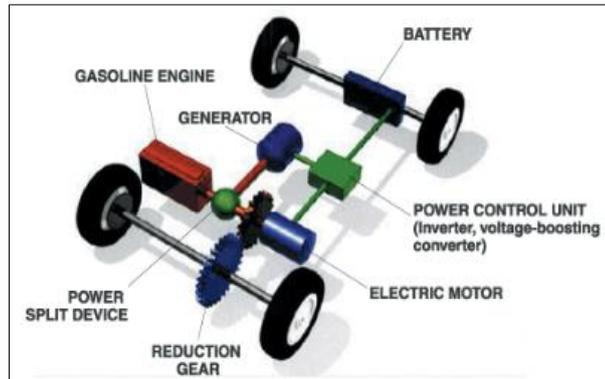


Figura 5-2. Partes principales del sistema Híbrido

Fuente: (Toyota 2008)

2.5.1 Circuito de alto voltaje

El voltaje que maneja el motor y generador se encuentra en el rango de los 500 V, este voltaje se maneja en ese rango para disminuir la cantidad de corriente que debe ser entregada, y de esa manera reducir el tamaño de los conductores a ser utilizados, así como las pérdidas, todo esto para incrementar la eficiencia total del sistema, la comparativa entre el sistema actual híbrido y su generación anterior se puede ver en la figura a continuación:

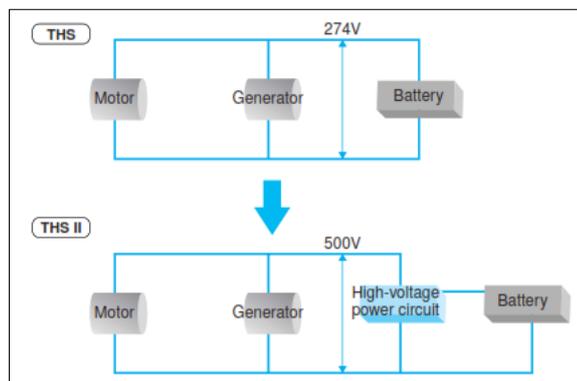


Figura 6-2. Sistema eléctrico de alto voltaje vs. Sistema eléctrico previo

Fuente: (Toyota 2008)

2.5.2 *Motor*

El motor eléctrico es de tipo AC – síncrono, que se trata de un motor de tipo Brushless (sin escobillas) DC que funciona activado por corriente alterna, está construido con imágenes de Neodimio (de tipo permanente) y un rotor hecho de láminas de acero, al ordenar los imanes permanentes en una forma de V, el torque generado se mejora y se aumenta la potencia de salida del motor en una relación de 1,5 respecto a un motor con imanes colocados de manera paralela.

2.5.3 *Generador*

Al igual que el motor, el generador funciona también en corriente alterna, para poder entregar suficiente potencia al motor eléctrico, el generador es rotado a altas velocidades, incrementando su salida, con un máximo de revoluciones de 10.000 RPM. (Toyota 2003)

2.5.4 *Unidad de control de potencia*

La unidad de control de potencia contiene un inversor que convierte la corriente en DC desde la batería híbrida en AC para mover el motor, y contiene también un conversor DC/DC para alimentar a la batería auxiliar de 12 V. Como se manifestó anteriormente, el voltaje para manipular el motor se puede elevar hasta 500 V de AC, esta unidad se puede ver a continuación:



Figura 7-2. Unidad de control de potencia

Fuente: (Toyota 2008)

2.5.5 *Dispositivo de conmutación de semiconductores (IGBT)*

El dispositivo de conmutación de semiconductores utiliza Transistores Aislados de Compuerta Bipolar (IGBT) para elevar el voltaje DC desde la batería a voltaje AC para uso del motor, debido a que la cantidad de corriente que se utilizará es grande, la minimización de calor generado es

muy importante, este tipo de semiconductores están diseñados para trabajar con altas corrientes y voltajes, mientras generan poco calor y entregan una alta eficiencia. (Toyota 2003).

2.5.6 Bateria Híbrida

La batería híbrida que almacena la energía para mover el auto utiliza un arreglo de celdas en serie, el material del cual está construida es Níquel Metal Hidruro (Ni-MH), debido a las características de prolongados ciclos de carga y descarga, así como el casi nulo efecto de memoria que desarrolla con el paso del tiempo de uso. La batería con los elementos de circuitería adicionales se puede apreciar a continuación:



Figura 8-2. Bateria Híbrida

Fuente: (Toyota 2008)

2.5.7 Sistema de frenado regenerativo

El sistema de frenado regenerativo ópera de tal manera que el motor funciona como un generador convirtiendo la energía cinética en energía eléctrica, esta es usada para cargar la batería híbrida, el sistema es particularmente efectivo en recuperar la energía durante la conducción en ciudad debido a los patrones de repetidas aceleraciones y desaceleraciones. Cuando el pedal del freno es utilizado el sistema controla de manera coordinada el freno regenerativo y el freno hidráulico prefiriendo siempre el frenado regenerativo recuperando así energía inclusive a bajas velocidades, al reducir las pérdidas por fricción en el sistema motriz tales como la transmisión y discos de frenado, la energía que antes era pérdida ahora es recuperada contribuyendo a la eficiencia total del sistema, la organización del sistema se puede apreciar en la figura a continuación:

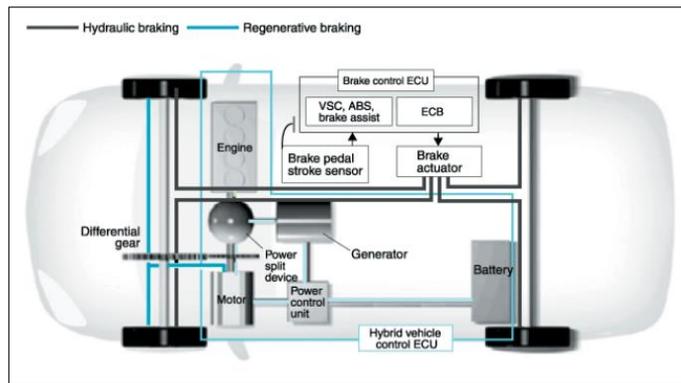


Figura 9-2. Sistema de frenado regenerativo

Fuente: (Toyota 2008)

2.5.8 Sistema de Transmisión híbrida

El Sistema de transmisión híbrida consiste: El dispositivo de división de potencia, El generador, motor eléctrico y los piñones de reducción, la potencia del motor de combustión se divide en dos por el dispositivo de división de potencia, uno de los ejes de salida está conectada en el motor y las ruedas, mientras que el otro está conectado al generador, de esta manera, la fuerza motriz del motor de combustión puede ser transmitida entre dos rutas, la ruta mecánica y la ruta eléctrica (Toyota 2003).

Una transmisión continuamente variable controlada eléctricamente (e-CVT) también se incluye en el sistema de transmisión híbrida, la cual puede cambiar la velocidad mientras de manera continua varía las RPM del motor de combustión y las RPM del generador y motor eléctrico (en relación con velocidad del auto), los elementos principales se describen a continuación:

2.5.9 Dispositivo de división de Potencia

El dispositivo de división de potencia utiliza un engranaje de tipo planetario, el eje central (sol) del engranaje planetario está directamente conectado al motor de combustión y transmite la potencia para el aro externo e interno mediante engranes de piñón. El eje rotacional del engranaje del aro está directamente acoplada al motor eléctrico y transmite la fuerza motriz hacia las ruedas, mientras que el eje central (sol), está directamente acoplada al generador, como se puede ver en la figura a continuación:

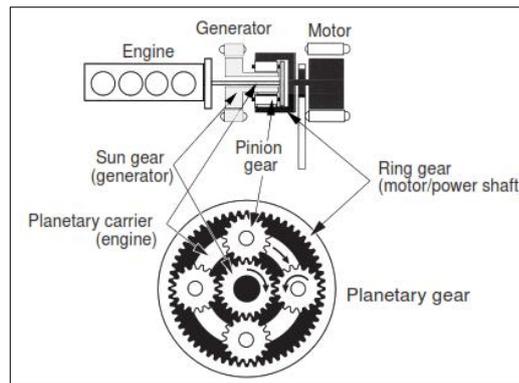


Figura 10-2. Dispositivo de división de potencia

Fuente: (Toyota 2008)

2.5.10 Motor de combustión interna

Con el objetivo de mejorar la eficiencia del sistema total, un motor de combustión interna de ciclo Atkinson es utilizado, se trata de un ciclo de relación de alta expansión y uno de los más eficientes motores térmicos existentes, debido a que la relación de expansión ((volumen de expansión de carrera + volumen de la cámara de combustión)/(volumen de la cámara de combustión)) es incrementada al reducir el volumen de la cámara de combustión, y la cámara es evacuada únicamente después de que la fuerza de la explosión ha decaído lo suficiente, por lo que este motor puede extraer toda la energía de la explosión como se puede ver en la figura 2-11 a continuación:

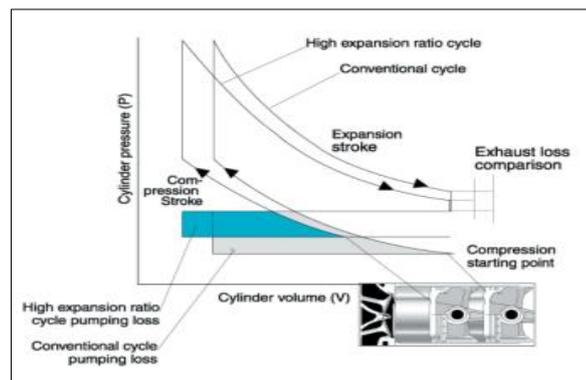


Figura 11-2. Relación de compresión en un motor de ciclo Otto vs. ciclo Atkinson

Fuente: (Toyota 2008)

En motores convencionales, debido a que el volumen de carrera y el volumen de carrera de expansión son casi idénticos, la relación de compresión y la relación de expansión es

prácticamente la misma. Consecuentemente, al intentar incrementar la relación de expansión también se incrementa la relación de compresión, resultado en un inevitable cascabeleo y por ende colocando un límite en el aumento de la relación de expansión. Para solucionar este problema, el tiempo de cerrado de la válvula de admisión es demorado, de esta manera, en la etapa inicial de la carrera de compresión (cuando el pistón comienza a ascender), parte del aire que ha entrado en el cilindro es retornado al colector de admisión, de esta manera demorando el inicio de la compresión. Así, la relación de expansión es incrementada sin necesidad de incrementar la relación de compresión. Debido a esta razón, este motor requiere de un sistema de variación de tiempo de válvulas, así como el uso de materiales liviano para reducir fricciones internas. El motor puede operar hasta un régimen de 5000 RPM, con la finalidad de aumentar la fuerza durante la aceleración y mejorando el consumo de combustible, la curva de desempeño del motor se ilustra a continuación:

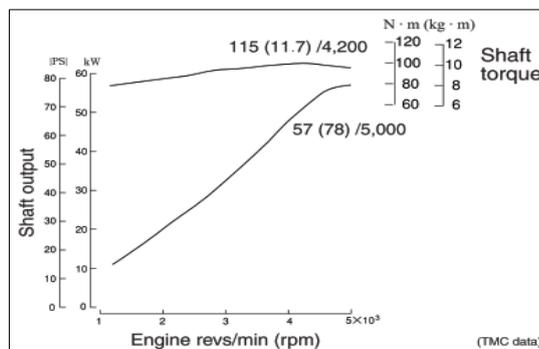


Figura 12-2. Curva de desempeño de un motor de ciclo Atkinson

Fuente: (Toyota 2008)

2.5.11 Control de potencia del motor de combustión interna

El control de potencia del motor de combustión interna minimiza el consumo de energía de todo el vehículo, basándose en el estado de operación del vehículo, la presión del acelerador y los estados de las señales entregadas por la computadora del automóvil, el control de administración de energía determina si debe detener el motor de combustión y mover el vehículo con el motor eléctrico o arrancar el motor y comenzar a utilizar con la potencia mecánica (Toyota 2003).

Al arrancar en auto, el vehículo comienza a operar utilizando el motor eléctrico, a menos que la temperatura sea muy baja o la carga de la batería sea muy baja, para mover el auto con la potencia mecánica, el motor de combustión es primero arrancado por el generador; y, al mismo tiempo, el sistema calcula la cantidad de energía requerida por todo el vehículo para desplazarse, luego calcula la condición que producirá la más alta eficiencia para entregar la energía calculada y envía

una señal de las RPM al motor de combustión. El generador entonces controla las revoluciones del motor de combustión hasta las RPM deseadas, la potencia del motor de combustión se controla tomando en consideración la potencia directa para mover el auto y la potencia necesaria para el motor eléctrico a partir de la generación de energía eléctrica que se debe realizar, la potencia para el equipamiento auxiliar, y la cantidad de carga para la batería. Este rango de operación del motor se puede ilustrar en la figura a continuación:

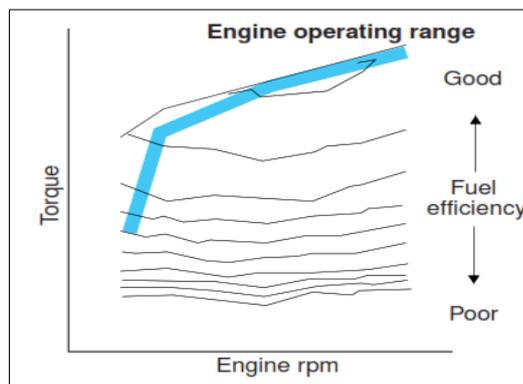


Figura 13-2. Rango de operación del motor de combustión interna

Fuente: (Toyota 2008)

2.5.12 Control de frenado regenerativo

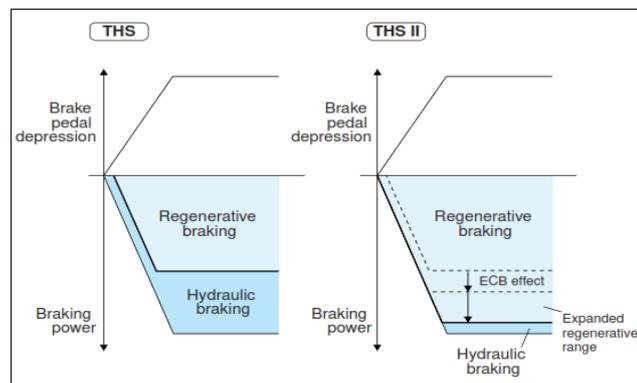


Figura 14-2. Comparación de frenado regenerativo, generación actual vs. anterior

Fuente: (Toyota 2008)

El sistema de frenado controlado electrónicamente tiene la función de coordinar los frenos hidráulicos y el frenado regenerativo; dando preferencia al último. También utiliza una salida alta de voltaje desde la batería para incrementar la cantidad de energía que puede ser recuperada, así como el rango de recuperación de energía, todo esto aumentando la eficiencia de todo el sistema,

las curvas de funcionamiento del sistema actual frente a la generación anterior pueden ser apreciadas.

2.6 Baterías de Níquel Metal Hidruro (Ni-MH)

La batería principal en la que se almacena la energía para desplazar el auto, como se ha indicado, se trata de una batería compuesta de celdas de Níquel Metal Hidruro (Ni-MH) cuyo principio de funcionamiento y características de operación serán descritas a continuación.

2.6.1 Descripción

Las primeras baterías recargables de Níquel – Cadmio (Ni-Cd) tenían una capacidad de aproximadamente un 25% de baterías de tipo alcalino no recargable, sin embargo las baterías actuales de Ni-MH proveen 3 veces la capacidad de las baterías de Ni-Cd en aplicaciones de baja corriente y pueden sobrepasar las características de baterías alcalinas en aplicaciones de alto consumo de corriente.

Una de las ventajas de las baterías NiMH que derivaron en su uso para aplicaciones automotrices es el ciclo de vida de estas baterías (capacidad de uso luego de carga y descarga). Entre sus características principales podemos citar las siguientes:

- Capacidad de cumplir cientos de ciclos de carga y descarga completa;
- Alto índice de densidad energética;
- No contiene Cadmio, que se reconoce como tóxico;
- Eficientes en condiciones de alta descarga;
- Capacidad significativamente más alta que las baterías de Ni-Cd
- Puede operar correctamente en un rango relativamente grande de temperatura (0°C a 50°C).

2.6.2 Construcción de la batería

Las celdas de NiMH pueden estar dispuestas en forma cilíndrica, los componentes básicos consisten en los electrodos positivo y negativo separado por un aislante, los electrodos se colocan en forma de capas concéntricas y luego insertados dentro de un contenedor metálico que es sellado luego de inyectar el electrolito, como se ilustra en la figura a continuación:

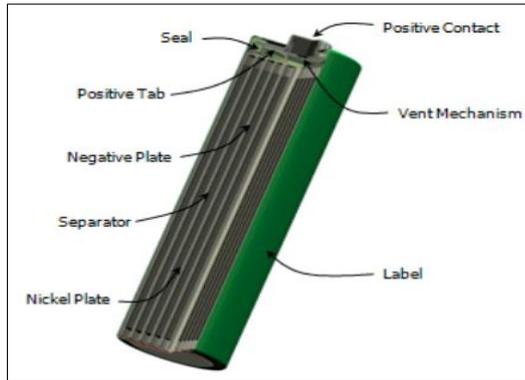


Figura 15-2. Disposición de los elementos de una batería típica de NiMH

Fuente: (Energizer 2018)

Además, existe una válvula de seguridad resellable construida en la parte superior, debido a que por el diseño y principio de funcionamiento de la batería de NiMH.

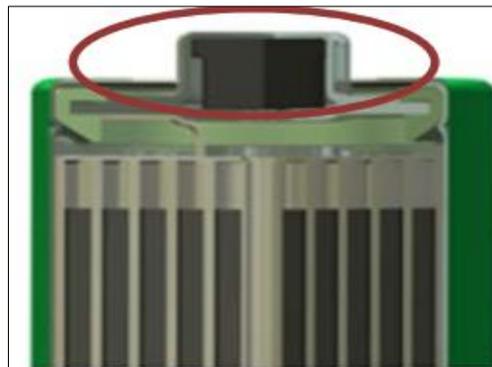


Figura 16-2. Válvula de seguridad en una batería de NiMH

Fuente: (Energizer 2018)

existe un ciclo de recombinación de oxígeno que se produce al sobrecargar la batería bajo condiciones normales de operación, sin embargo, si la producción de oxígeno supera la capacidad de recombinación por ser producido a una tasa muy elevada, la válvula de seguridad se activa permitiendo la salida de los gases y previniendo la ruptura de la estructura de la batería, esta válvula se vuelve a sellar una vez que la presión interna se alivia, un ejemplo de la válvula de seguridad se puede ilustrar en la Figura 16-:

2.6.3 Características de descarga

Uno de los principales parámetros que se requieren conocer en la batería es la capacidad de carga que puede almacenar a menudo abreviada como C, este factor varía de manera inversamente proporcional con la razón de descarga, en el caso de baterías de NiMH la capacidad nominal esta

generalmente determinada a una razón de descarga que vacía completamente la batería en cinco horas (Energizer 2010).

2.6.3.1 Resistencia Interna

Las baterías de NiMH tienen relativamente una resistencia interna baja, debido a la construcción en forma de capas, contactos mejorados y una gran área de contacto de los electrodos, esta baja resistencia interna permite que este tipo de baterías tengan un alto desempeño, la resistencia interna de una batería de NiMH nueva generalmente se encuentra en el orden menor a los 50 mili Ohmios, esta resistencia interna durante la descarga permanece relativamente constante hasta cerca del final del ciclo de descarga, donde aumenta de manera exponencial, como se puede apreciar en la figura ilustrada a continuación:

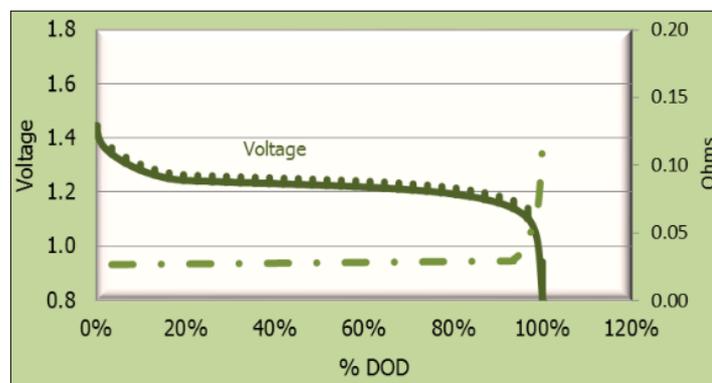


Figura 17-2. Resistencia interna de una batería NiMH

Fuente: (Energizer 2018)

2.6.3.2 Voltaje durante la descarga

El voltaje de descarga de la batería NiMH, puede ser afectado por factores como la temperatura externa y la razón de descarga. Sin embargo, bajo la mayor parte de condiciones, la curva de voltaje de la batería mantiene plana una buena parte del rango de voltaje, un perfil característico de la descarga de una batería a una razón de 0,2 C se muestra en la Figura 18-:

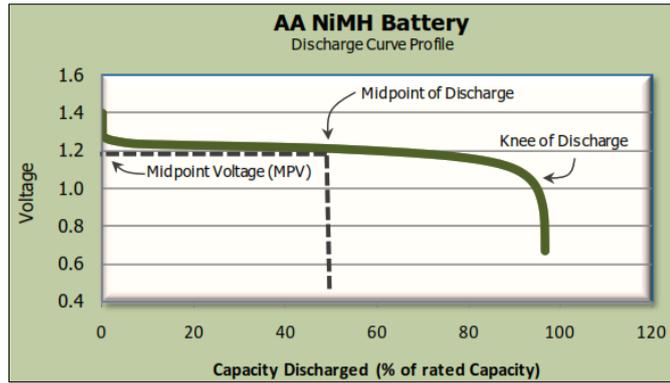


Figura 18-2. Curva característica de descarga de una batería NiMH

Fuente: (Energizer 2018)

Se debe notar la caída inicial casi instantánea de 1,4 V a la parte plana de 1,2 V, el punto de carga medio (0,5 C) y la “rodilla” de descarga antes de una caída abrupta de voltaje al acercarse a la descarga completa (100% de carga entregada) (Energizer 2010).

2.6.3.3 Efecto de condiciones ambientales externas sobre el voltaje

Los principales factores externos que influyen en la localización y forma de la curva de descarga son la temperatura de descarga y la razón de descarga, como se indica en la Figura 19-, pequeñas variaciones de temperatura externa ($\pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$) no afectan apreciablemente la curva de voltaje de la batería. Sin embargo, con cambios mayores de temperatura especialmente a temperaturas bajas, se reducirá el punto medio del voltaje mientras se mantiene la forma general de la curva de descarga de voltaje (Energizer 2010).

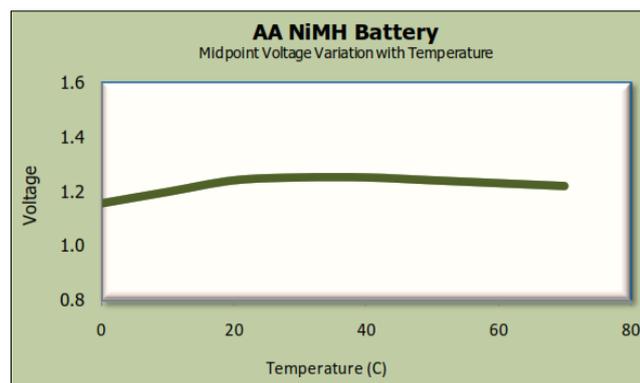


Figura 19-2. Variación del punto medio de voltaje con la temperatura

Fuente: (Energizer 2018)

El efecto de la razón de descarga en la curva de voltaje de descarga se puede apreciar en la figura a continuación mostrada:

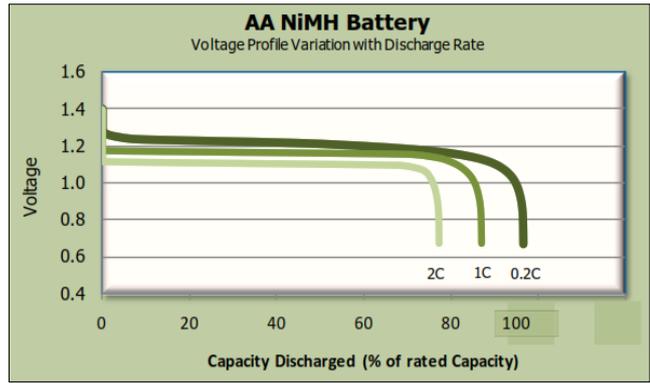


Figura 20-2. Variación de la curva de voltaje con distintas razones de descarga

Fuente: (Energizer 2018)

No se puede apreciar un efecto significativo en la forma de la curva de descarga para razones de menos de 1C, sin embargo, para razones sobre 1C, tanto los transitorios del inicio y fin de la curva consumen una mayor porción de la duración de la descarga (Energizer 2010).

2.6.3.4 Comportamiento de la capacidad de descarga

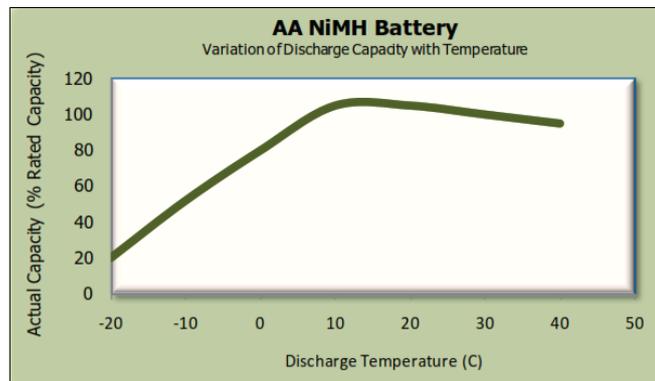


Figura 21-2. Variación de la capacidad de descarga con la temperatura

Fuente: (Energizer 2018)

Así como con la curva de voltaje, la capacidad disponible durante la descarga es dramáticamente afectada por la temperatura de la batería durante la descarga, así como la razón de la descarga. La capacidad es también altamente influenciada por el historial de la batería, es decir, los ciclos de carga-descarga en la historia de la batería. Una batería puede solo descargar la capacidad que ha sido retornada en el último ciclo de carga menos lo que se hubiera perdido en la auto descarga, similar al caso de los efectos de la temperatura sobre la curva del voltaje, a una baja temperatura la reducción de la capacidad puede ser significativa como se puede apreciar.

La razón de descarga puede también influenciar en la capacidad total disponible de la batería, no existe un efecto significativo para razones de descarga inferiores a 1C, para razones mayores a 1C y por debajo de la corriente máxima de descarga (4C) existe una reducción en la entrega de voltaje, esta reducción de voltaje puede también resultar en una reducción de capacidad dependiendo de la elección del voltaje de terminación de descarga, este fenómeno se encuentra ilustrado en la figura a continuación:

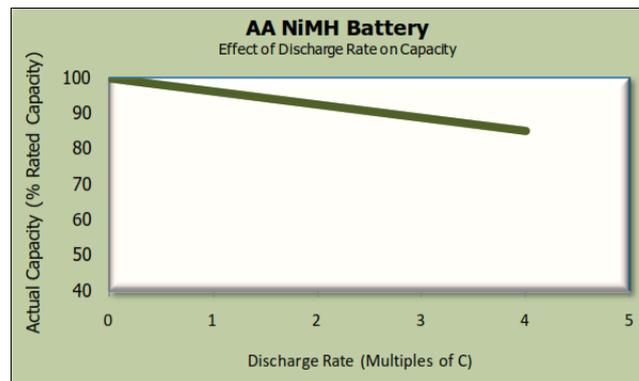


Figura 22-2. Efecto de la razón de la descarga en la capacidad

Fuente: (Energizer 2018)

2.6.3.5 Medición del estado de carga (*State of charge SOC*)

Considerando los parámetros citados anteriormente, es importante poder estimar el estado de carga de la batería para conocer cuando realizar la carga. Con esta finalidad, existe una gran cantidad de esquemas para medir el estado de carga de la batería, el monitoreo de voltaje de la batería puede probar no ser efectivo bajo condiciones de variaciones de extremas de temperatura o razón de descarga. Por lo que se ha sugerido que la coulometría (que consiste en medir la cantidad de corriente que fluye durante la carga y descarga de la batería con una compensación de la auto descarga) entrega resultados razonablemente acertados para estimar el estado de carga de la batería (Energizer 2010).

2.6.3.6 Depresión por el efecto de memoria de la batería

En las baterías de Níquel Cadmio, existe el efecto “memoria” que se manifiesta en aquellas baterías sometidas a ciclos de carga-descarga parciales (sin alcanzar las zonas altas y bajas de voltaje de descarga regular), lo que desarrolla una depresión en la curva de voltaje de descarga de aproximadamente 150 mV, este efecto se asocia primordialmente a la estructura del electrodo de cadmio, por lo que este efecto es prácticamente imperceptible en las baterías NiMH (Energizer 2010).

2.6.3.7 Terminación de la descarga

Para prevenir un daño irreversible en la estructura de la batería se debe tener cuidado en evitar que suceda la inversión de polaridad por exceso de descarga, por esta razón, se debe remover la carga de la batería antes de llegar a un voltaje umbral que rodea los 0,8 V por celda. Una curva típica de descarga de una batería se puede apreciar en la Figura 23-, se puede ver dos zonas horizontales en la curva. La primera zona horizontal, se debe a la descarga en primer lugar del electrodo positivo, y la segunda zona horizontal se debe a la capacidad de descarga residual del electrodo negativo. Al llegar al final de la segunda zona horizontal, ambos electrodos se encuentran invertidos por lo que se genera gas hidrógeno que puede destruir la estructura de la batería de manera irreversible. Por esta razón, es fundamental desconectar la carga antes de encontrar la segunda zona horizontal (Energizer 2010).

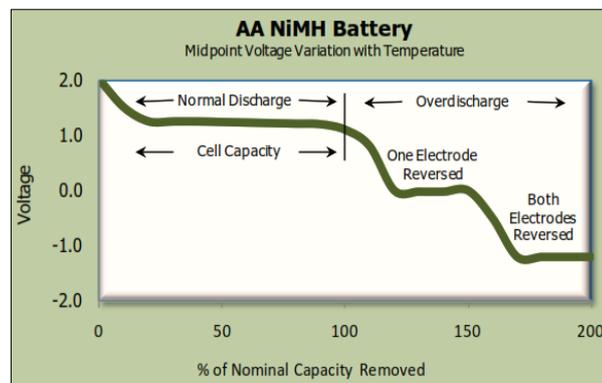


Figura 23-2. Curva de descarga incluyendo la reversión de polaridad

Fuente: (Energizer 2018)

Dos factores pueden complicar la selección del voltaje adecuado para retirar la carga: razones altas de descarga y aplicaciones de múltiples celdas asociadas.

2.6.3.8 Voltaje de corte a altas tasas de descarga

Normalmente, el voltaje de corte está basado en la caída de voltaje de la batería por debajo de 0,9 V (75% del punto medio nominal de 1,2 V), por lo que, para situaciones de descarga menores o iguales a 1 C, este es un valor que prueba un punto acertado para retirar la carga (Energizer 2010).

Sin embargo, en situaciones de alta corriente de descarga (1C a 4C), el cambio en la curva de voltaje de descarga que hace que se pronuncie la “rodilla” implica que un valor arbitrario de 0,9 V para desconectar la carga, puede ser muy prematuro, dejando una cantidad importante de carga

desaprovechada, por esta razón una mejor alternativa para escoger el voltaje de corte es calcular el 75% del punto medio de voltaje a dicha razón de descarga, señalando que este valor se usa para prevenir daños en la batería por exceso de descarga como se manifestó anteriormente.

2.6.3.9 *Ciclo de vida*

Como se ha manifestado hasta este punto, existen muchos factores que pueden afectar el ciclo (carga – descarga) de vida de la batería NiMH, algunos de estos factores incluyen, capacidad de la batería, temperatura, profundidad de la descarga, materiales utilizados para la construcción, corriente de carga y descarga, exposición a la sobre carga y sobre descarga, condiciones de almacenamiento y la edad. Algunos de estos factores pueden causar la generación de gases dentro de la batería, lo que activa la válvula de seguridad implementada y una subsecuente deterioración permanente de la batería. Teóricamente, bajo condiciones ideales controladas, se pueden obtener hasta 1000 ciclos completos de carga y descarga en una batería de NiMH, sin embargo, los factores antes mencionados en casos de uso real tendrán un efecto negativo en el número total de ciclos de carga y descarga (Energizer 2010).

2.6.4 *Características de carga*

En general, una batería NiMH es más sensible a las condiciones de carga que una batería de NiCd, una tasa de carga muy baja puede causar un pobre funcionamiento de la batería, mientras que una tasa muy alta de carga (sobrecarga) puede reducir el ciclo de vida útil de la batería.

Las baterías de NiMH operan en un proceso de recombinación exotérmico, de carga de hidrógeno y recombinación de oxígeno, por lo que se debe tomar las precauciones para evitar que se ventilen los gases, y en el caso de que suceda, estos gases deben ser manejados adecuadamente (Energizer 2010).

A continuación, se muestra el comportamiento habitual de una batería NiMH cargada a una razón de 1C:

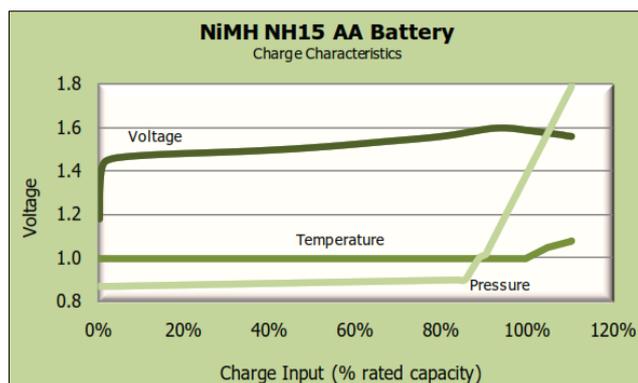


Figura 24-2. Características de carga batería NiMH

Fuente: (Energizer 2018)

Lo ilustrado en la Figura 24- demuestra porqué es importante el control de carga suministrado a la batería durante el ciclo de carga, se ve que el voltaje al iniciar la carga sube bruscamente y luego esa tendencia disminuye gradualmente mientras se llega a al 100% de la carga. Al alcanzar este punto, el voltaje llega a un pico y comienza a descender. Debido a que el proceso de carga es exotérmico, se comienza a liberar calor, lo que produce un incremento relativamente ligero de temperatura, al sobrepasar el 100% de carga (sobrecarga) la mayor parte de la corriente eléctrica ingresada comienza a transformarse en calor, incrementando la temperatura de manera abrupta, además, la presión interna de la batería – que había incrementado en algo durante el proceso de carga- se incrementa violentamente, debido a las grandes cantidades de gas que se producen en el proceso de carga y que no pueden ser recombinados por la batería. Evidentemente esta situación activa la válvula de seguridad para ventilar los gases, si la fuente de carga no es retirada, se produce un daño irreversible a la estructura de la misma celda (Energizer 2010).

A continuación, se muestra la curva de aceptación de carga, se aprecia que este factor decrece al incrementarse la temperatura comenzando por debajo de los 20°C; y continuando hasta los límites superiores de la operación normal de la batería.

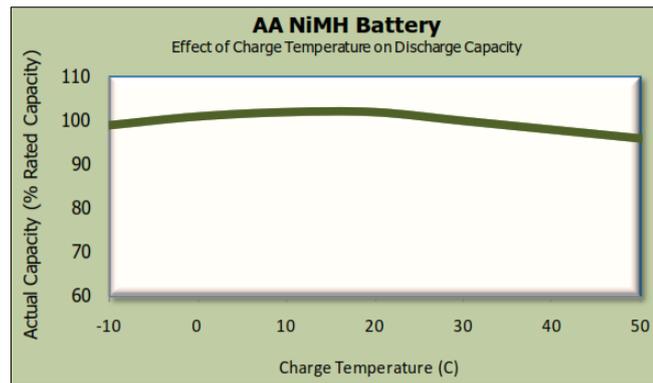


Figura 25-2. Efecto de la temperatura de carga en la capacidad de descarga

Fuente: (Energizer 2018)

2.6.5 Razones recomendadas de carga

La razón de carga preferida para las baterías de NiMH se encuentra en el rango de carga moderada (de 2 a 3 horas), razones de carga muy altas (menos de 1 hora) pueden impactar el ciclo de vida de la batería y no son recomendadas. Para aplicar una carga de mantenimiento, se debe inyectar corriente a una razón de menos de 0,025 C (C/40), esto con la finalidad de reducir los efectos negativos de la sobrecarga (Energizer 2010).

2.6.6 Auto descarga

Es normal en todo tipo de batería que se produzca auto descarga, sean usadas o no, esta pérdida de capacidad típicamente se produce por reacciones parásitas lentas que ocurren dentro de la batería, como tal, la razón de pérdida (razón de auto descarga), es una función de la química interna de la batería y la temperatura externa experimentada por la batería.

Las baterías de NiMH se auto descargan con el tiempo, inclusive al no ser utilizadas, es típico para este tipo de baterías retener entre el 50% al 80% de su capacidad luego de 12 meses de almacenamiento sin uso en condiciones ambientales normales. Condiciones de altas temperaturas auto descargarán las baterías a una tasa superior (Energizer 2010).

2.6.7 Profundidad de descarga

Se denomina profundidad de descarga al porcentaje de capacidad de la batería que se descarga en cada ciclo. Este valor influye decisivamente sobre los ciclos de vida que puede soportar. En la

Figura 26- pueden verse los ciclos de vida en función de la profundidad de descarga para dos tipos de baterías comunes las basadas en plomo y las basadas de níquel.

La batería basada en níquel es superior en este aspecto respecto a las baterías de plomo. En ambos tipos se produce una rápida pérdida de la resistencia a los ciclos cuando la descarga es profunda, debido a las grandes tensiones generadas y al ser mayor la cantidad de material transformado en cada ciclo. Además, se puede apreciar que la batería basada en níquel tiene inicialmente un mayor número de ciclos de vida (Fullea G. 1998).

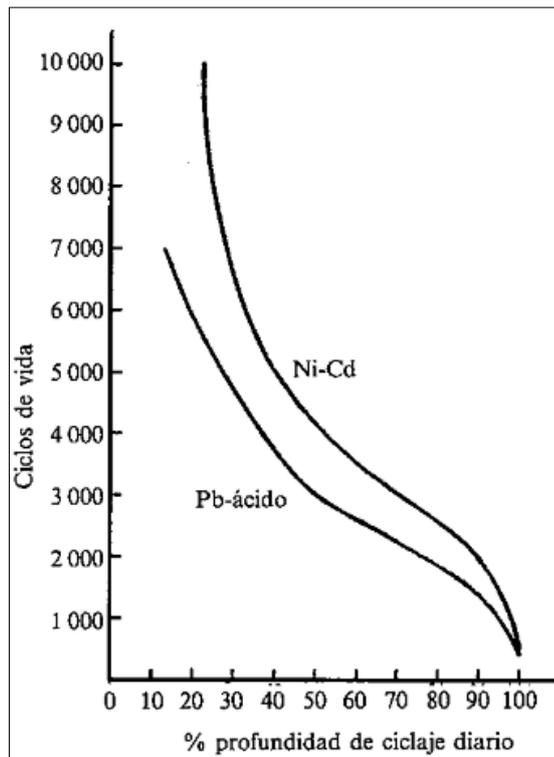


Figura 26-2. Influencia de la profundidad de descarga en los ciclos de vida

Fuente: (Energizer 2018)

2.6.8 Recuperación de capacidad luego del almacenamiento

En condiciones normales, baterías sin ser utilizadas mucho tiempo, proveerán de la capacidad completa de almacenamiento luego de un ciclo de carga descarga con procedimientos estándar, mientras que baterías que han sido almacenadas en condiciones de altas temperaturas requerirán probablemente más de un ciclo de carga descarga para retomar su capacidad inicial de carga (Fullea G. 1998).

2.7 Batería del sistema híbrido

El sistema de batería utilizado en los modernos vehículos híbridos es complejo y elaborado, está compuesto de varias celdas conectadas en serie proveyendo de esta manera los altos niveles de potencia requeridos por el sistema de propulsión del auto. En sistemas convencionales automotrices, la batería de 12 V es utilizada para alimentar componentes eléctricos de baja potencia tales como el arrancador, las luces, los limpiaparabrisas, etc. En los autos híbridos el sistema difiere de tal manera que, la batería no solamente provee potencia para los componentes de bajo poder sino también alimenta el sistema principal de tracción, por lo que es necesario un sistema complejo de control de la batería para que el sistema de propulsión pueda funcionar.

Las celdas se pueden entender como una unidad básica de construcción de la batería híbrida, estas se encuentran conectadas en serie y se manufacturan de la misma manera, pudiendo existir algunas diferencias en volumen, resistencia interna y razón de auto descarga. Cuando se combinan para incrementar la capacidad total de la batería híbrida, el balanceo de carga es una situación que debe ser considerada. También, debido a la gran cantidad de energía que se almacena dentro de la batería, la seguridad del conductor y los pasajeros se convierte en un tema muy serio. Finalmente, las condiciones de operación y el perfil de carga de la batería varían significativamente debido a la naturaleza propia de los sistemas híbridos de arrancar y apagar el motor, la combinación de estas condiciones, crean la necesidad de un sistema de administración de batería (BMS “Battery Management System” en inglés) complejo para el vehículo (Wilamowski, B. M., & Irwin 2011).

2.7.1 Sistema de administración de Batería (BMS)

Generalmente, un sistema de administración de la batería (BMS) varía de acuerdo con las aplicaciones en que se van a utilizar, pudiendo ser desde muy básicos hasta altamente complejos. Un ejemplo de este tipo de sistemas de administración simples es el utilizado en las baterías de los celulares, el sistema simplemente monitorea parámetros clave operacionales durante los procesos de carga y descarga tales como voltajes, corrientes, y la temperatura interna de la batería. El circuito de monitoreo entrega una señal de comando al circuito de protección para desconectar la batería de la carga o el cargador en el caso de que alguno de los parámetros monitoreados exceda los límites establecidos.

El BMS de los vehículos híbridos es más complejo en su modo de operar, debido a que el perfil de carga varía rápidamente conforme a las condiciones de la carretera y el comportamiento del chofer. Por lo tanto, el vehículo requiere de un sistema de administración de potencia que actúe rápidamente y que además sea capaz de relacionarse con otros sistemas de control tales como el

sistema de administración de potencia del motor. Además, tomando en cuenta que el ambiente de operación del sistema de batería híbrido es más agreste que otro sistema debido a que se encuentra en un espacio usualmente cerrado, la protección de la batería es también una variable que debe ser tratada. Bajo estas circunstancias la situación no solamente es proteger a la batería sino también a los pasajeros en el auto (Wilamowski, B. M., & Irwin 2011).

2.7.2 Sistemas de administración de batería BMS para autos

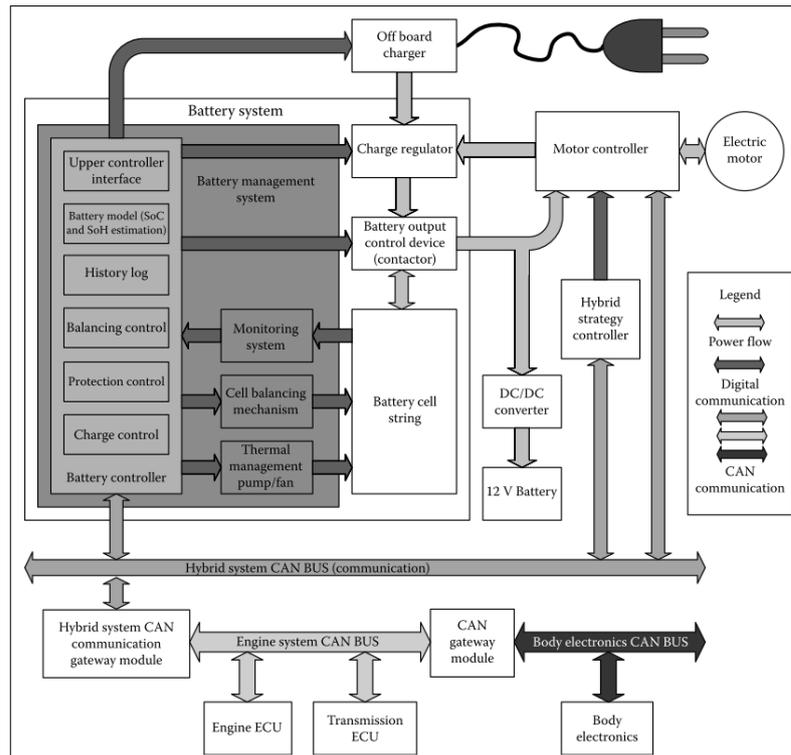


Figura 27-2. Sistema de monitoreo y protección para baterías de tracción

Fuente: (Wilamowski, B. M., & Irwin, J. D., 2011)

Un sistema BMS es más crítico comparado a otras aplicaciones, como se manifestó anteriormente, la batería tiene que coordinar operación con el controlador del sistema híbrido y el controlador del sistema de potencia para ejecutar sus tareas mientras, de manera continua provee potencia o absorbe energía rápidamente en caso de que el vehículo acelere o frene, la figura ilustrada a continuación muestra el mapa de un sistema de administración de batería típico automotriz, y su relación con otros sistemas electrónicos y eléctricos dentro del auto:

De acuerdo con la estructura del sistema BMS puede ser tratado en tres partes principales:

- El sistema de monitoreo de protección

- El sistema de balanceo
- La unidad de batería inteligente

2.7.3 Sistema de monitoreo y protección

Este sistema tiene la función de monitorear el voltaje de cada una de las celdas o de los módulos que constituyen la batería, protege los voltajes de celda para que no sean excedidos fuera de los límites de operación segura, monitorea la corriente y la temperatura del sistema de la batería, protege el sistema de sobre corriente y sobre temperatura, además, provee mecanismos para proteger la batería de condiciones no controladas o no consideradas por el diseño (Wilamowski, B. M., & Irwin 2011).

2.7.3.1 Sistema de balanceo

Este sistema provee el mecanismo de balanceo para equalizar la diferencia de voltajes existentes entre las celdas de la batería híbrida.

2.7.3.2 Unidad de batería inteligente

Este sistema mantiene el estado de carga de la batería para permitir que la energía generada pueda ser absorbida sin que el paquete de baterías se sobrecargue. También, desactiva el frenado regenerativo cuando la batería está completamente cargada. Lleva un registro de los ciclos de carga y descarga de la batería para poder estimar el estado de carga (SoC) de la misma y proveer información sobre su estado al controlador principal, lleva también un registro del desempeño de la batería para poder estimar el estado de salud de la batería (SoH) para reportarlo al controlador principal, provee información sobre el estado de la batería al controlador principal para que pueda ser mostrado en el vehículo, provee códigos de error de la batería al controlador principal durante el diagnóstico inicial o continuo que se ejecuta periódicamente, puede predecir el rango del autonomía del vehículo para el modo de conducción totalmente eléctrico de acuerdo al estado de carga (SoC), ajusta el modo de operación la batería de acuerdo al comando entregado desde el cargador, y ajusta el modo de operación de la batería de acuerdo al estado de control del sistema del auto.

Se puede decir entonces que la unidad inteligente de la batería es el cerebro del BMS para determinar las condiciones de operación de esta y dar los comandos para la protección en los casos a ser requeridos, así como el balanceo y los sistemas de comunicación. En el diseño de una batería para un sistema automotriz, la unidad inteligente de la batería usualmente incluye las

siguientes partes o funciones: modelo de la batería, determinación y control del estado de carga, determinación del estado de salud, historial, y comunicación (Wilamowski, B. M., & Irwin 2011).

2.7.3.3 *Protección de las baterías híbridas*

Una batería de tracción en un auto híbrido almacena una gran cantidad de energía dentro de la misma. Proteger a la batería para que ésta puede extenderse más allá de sus límites de operación previstos, no solamente es necesario para prevenir fallas prematuras, también, es requerido para proteger la seguridad del conductor y los pasajeros.

Hablando en materia económica, los componentes de la batería constituyen un valor alto a ser considerado en los autos híbridos como eléctricos. Consecuentemente con esta situación, no solamente es poco seguro el hecho de que ocurran fallas tempranas en las baterías sino también puede significar costos de reparación excesivos para el dueño del vehículo. Estos riesgos, junto con la operación a altos voltajes, altas potencias, en condiciones extremas por parte de la batería, hacen necesario que la protección de la batería sea controlada de alguna manera con algún sistema para que se pueda extender esta de sus límites de operación.

La protección de las baterías puede ser clasificada en dos categorías, la primera activa y la otra pasiva. Usualmente, la protección activa se realiza a través del BMS. Este coordina con el controlador de potencia del vehículo, de tal manera que el comando de potencia del controlador no exceda la capacidad actual de la batería, esto protege la batería de sobre corrientes, además el BMS coordina directamente con el sistema de administración térmica de tal manera que la batería no opere en condiciones de sobre temperatura. El BMS también coordina con el controlador del sistema de frenado regenerativo y el cargador, para proteger la misma de sobre voltajes.

La protección pasiva comprende la capacidad del sistema de aislamiento de la batería de otros sistemas del vehículo cuando la batería está a punto de exceder sus límites. En este caso, el reinicio del controlador de la batería es necesario para que el sistema pueda operar nuevamente. La protección pasiva de la batería se basa en el monitoreo constante de los parámetros de esta. El sistema de monitoreo mide los voltajes de las celdas o módulos, la corriente de la batería y la temperatura de las celdas, así, el exceso de cualquiera de estos valores activará las protecciones de la batería (Wilamowski, B. M., & Irwin 2011).

2.7.3.4 *Protección de sobre corriente*

La protección de sobre corriente es muy importante tanto para la vida de la batería como para la seguridad del mismo vehículo. Una falla en la protección de la batería de una situación de sobre corriente en el mejor de los casos destruiría únicamente los dispositivos de electrónica de potencia en el controlador del electrónico. En el peor de los casos, puede colocar el auto en una condición muy peligrosa. El sistema de monitoreo se encarga de monitorear la corriente mediante un transductor de corriente, y el BMS está en la capacidad de desconectar la batería del vehículo en el dispositivo de salida de esta, usualmente un contactor (relé), en el caso de que la corriente instantánea y continua exceda un valor establecido.

Además de la protección por parte del controlador inteligente, se utiliza una protección a través de fusibles para proteger la batería de condiciones extremas. Comparada con la protección inteligente, la protección por fusible es más confiable y práctica debido a que la protección por fusible no requiere ningún circuito de censado, o ninguna operación fuera de algún rango establecido para que pueda ser activado.

Usualmente, los fusibles se encuentran en serie en el medio de la cadena de celdas que constituyen la batería. Esta configuración es mejor que tener un solo fusible en serie con la salida de toda la batería debido a que en caso de suceder una condición extrema de funcionamiento, el fusible abre todo el arreglo de la batería en dos partes de menor voltaje, haciendo en general todo el sistema más seguro (Wilamowski, B. M., & Irwin 2011).

2.7.3.5 *Protección de sobrevoltaje y sub-voltaje*

La protección de sobre voltaje y sub-voltaje se ejecuta por parte del controlador inteligente, el cual controla la salida del contactor de la batería. Una batería de tracción de un vehículo está compuesta por cientos de pequeñas celdas, conectadas en serie, medir el voltaje de cada una de las celdas para monitorear el rango seguro de voltaje de operación sería demasiado costoso y complejo. Debido a esta situación, la manera más común de operar las celdas es ensamblándolas en módulos y midiendo el voltaje de cada uno de los varios módulos que constituyen la batería, en el caso particular de la batería objeto del estudio de este trabajo, los módulos individuales están compuestos de seis celdas de voltaje 1,2 V. por cada una, constituyendo un voltaje nominal de 7.2 V por módulo, el sistema de protección y administración de la batería, mide el voltaje de cada uno de los módulos, es decir, un voltaje nominal de 14.4 V, el sistema de protección se encarga de monitorear que el voltaje de estos módulos se mantenga dentro de los rangos de operación normal. Si un voltaje inusual es detectado y este pudiera comprometer la integridad de la batería,

el sistema de protección apaga el contactor (relé) de salida, de tal manera que la batería híbrida en su totalidad es protegida de un daño mayor.

2.7.3.6 *Protección de sobre temperatura y subtemperatura*

Dentro del sistema de la batería, múltiples termistores otros sensores de temperatura son montados en el cuerpo de la batería para medir la temperatura de las celdas. Si la temperatura de cualquier punto considerado excede los límites establecidos de temperatura, el sistema de protección desconectará cualquier carga aplicada a la batería mediante la desactivación del dispositivo de salida (relé) (Wilamowski, B. M., & Irwin 2011).

2.7.3.7 *Otras protecciones*

Un interruptor manual usualmente se encuentra en serie a la altura de la mitad del arreglo de módulos de la batería. Este interruptor de servicio contiene un fusible, y se colocan en una locación de fácil acceso dentro del vehículo, de tal manera que, se pueda retirar y reemplazar el fusible en el caso de ser necesario, o abrir el interruptor de servicio para la batería se desactive en dos elementos de menor voltaje, como se puede ver a continuación:



Figura 28-2. Interruptor de la batería del sistema híbrido

Fuente: (<https://picclick.com>, 2019)

2.7.4 *Ejemplos de censado de baterías de tracción en sistemas híbridos*

La figura ilustrada continuación muestra la estructura interna de una batería del Toyota Prius híbrido que corresponde al caso de estudio:

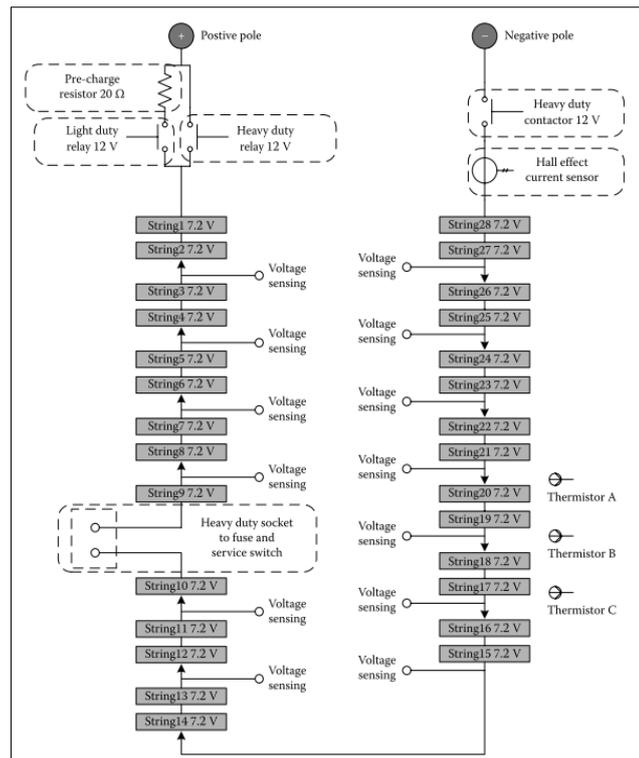


Figura 29-2. Configuración interna de la batería del Toyota Prius

Fuente: (Wilamowski, B. M., & Irwin, J. D., 2011)

La batería del auto se organiza en 28 módulos de 7.2 Voltios cada uno, cada módulo contiene 6 celdas prismáticas de 1,2 Voltios en serie, y los módulos están conectados a su vez en serie para entregar un sistema de batería con un voltaje nominal de 201.6 Voltios, y una capacidad de 6.5 Ah, el sistema de control y protección monitorea los voltajes de los todos los módulos, es decir, cada dos celdas de 7.2 Voltios.

Tres termistores se encuentran distribuidos de manera igual a lo largo de todos los módulos para monitorear las temperaturas de las celdas.

Un dispositivo de apertura del circuito, el cual puede trabajar como un interruptor y como fusible al mismo tiempo se encuentra conectado en la mitad de la batería, si este dispositivo es abierto, la batería se divide en dos baterías cuyo voltaje equivale la mitad del total.

Un transductor de corriente está montado cerca del polo negativo de la batería antes del contacto (relé).

Dos relé son utilizados a la salida de la batería, uno de salida principal (heavy duty) activado con 12 Voltios, y un relé de bajo trabajo (light duty) utilizado para precargar el capacitor con un resistor de pre-carga de 20 ohmios dentro del control del motor.

Se puede ver en la Figura 29- que las baterías no tienen un sistema de balanceo implementado. Esto puede ser explicado debido a que, en un auto híbrido, y el estado de carga (SoC) de la batería siempre se mantiene en un valor cercano al 60%, en la práctica el valor oscila entre el 40% y 80%. En otras palabras, la batería nunca estará completamente cargada ni completamente descargada, por lo que el balanceo de las cargas no es un problema o una situación que se deba considerar de sobre manera. Se debe tomar en cuenta también que las baterías de Ni Mh pueden ser balanceadas utilizando métodos pasivos (Wilamowski, B. M., & Irwin 2011).

2.7.5 Métodos de balanceo de celdas para para baterías de tracción.

Como se mencionó previamente el estado de carga de la batería del auto híbrido siempre se mantienen un valor cercano al 60% y la figura mostrada a continuación, muestra la comparación y justificación del porqué no se requiere de un sistema de balanceo, a diferencia de un híbrido enchufable (PHEV) o un carro totalmente eléctrico (EV):

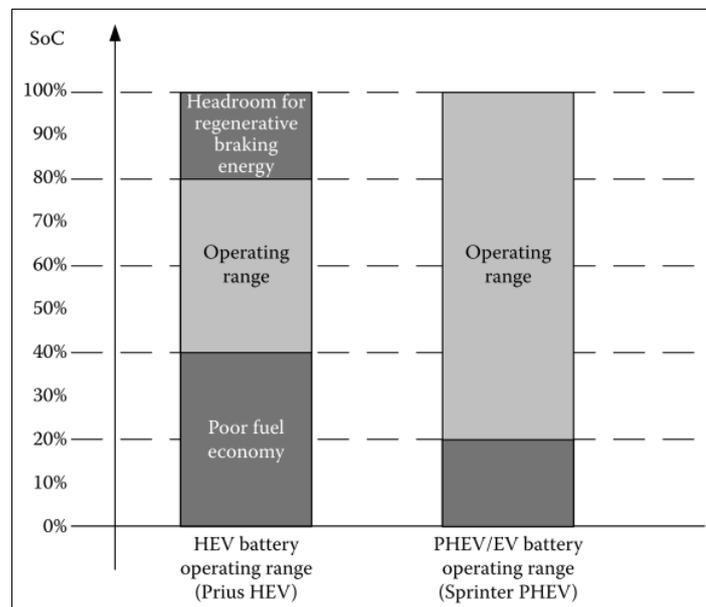


Figura 30-2. Rango típico de operación de baterías usadas en HEV y PHEV/EV

Fuente: (Wilamowski, B. M., & Irwin, J. D., 2011)

2.7.6 Parámetros importantes de la unidad inteligente de batería.

Como se indicó previamente, existen parámetros importantes para que la unidad inteligente de la batería ejecute su función, los cuales son descritos a continuación:

2.7.6.1 Modelo de la batería.

El modelo de la batería se encuentra embebido dentro del controlador de la batería y es utilizado para describir las características de esta en todas las posibles condiciones de trabajo tales como temperatura, voltaje, razón de descarga, y estado de salud (SoH). Como se puede apreciar en la Figura 31-:

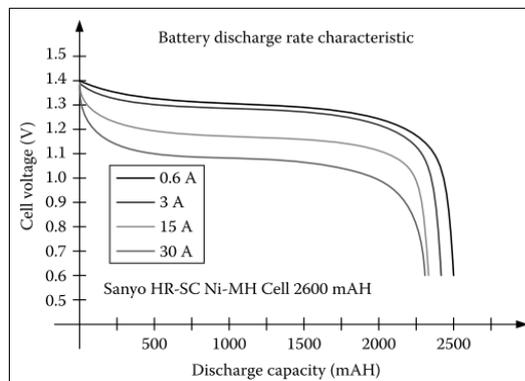


Figura 31-2. Características de descarga de una batería Ni-Mh

Fuente: (Wilamowski, B. M., & Irwin, J. D., 2011)

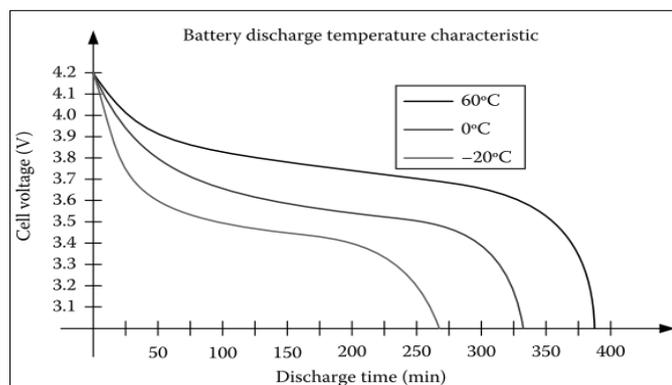


Figura 32-2. Características de descarga de la batería de Ni-Mh a distintas temperaturas

Fuente: (Wilamowski, B. M., & Irwin, J. D., 2011)

La Figura 32- continuación ilustra como el tiempo de descarga de la batería es influenciado por la temperatura ambiente:

La Figura 31- y la Figura 32- muestran a grosso modo las características de la batería. En un modelo más práctico, al conocerse las características propias y comportamiento de la batería, el modelo puede cubrir ciertas particularidades de esta. Dicho modelo puede ser utilizado para predecir la sección de la batería a condiciones externas e internas, o corregir estimaciones dependiendo de la necesidad (Wilamowski, B. M., & Irwin 2011).

Uno de los mayores beneficios de embeber el modelo de la batería dentro del controlador es ayudar en la estimación del estado de carga del sistema de batería. Cuando se utiliza un método de determinación del estado de carga SoC basado en medición de voltaje, la curva característica de la batería es una función de la razón de descarga, que depende del estado de salud SoH de la batería, el voltaje, la temperatura, e inclusive la humedad del ambiente externo.

Con la ayuda de un modelo de batería, se puede obtener una estimación más precisa del estado de carga debido que el modelo puede ser utilizado para calibrar los errores de acuerdo con las condiciones de operación de la batería.

Cuando se utiliza un método de determinación del estado de carga contabilizando la cantidad de carga que fluye, el modelo de la batería describe la eficiencia de la carga la razón de auto descarga y las influencias de otras fuentes de error, por lo tanto, el método de determinación del estado de carga puede utilizar la información entregada por el modelo de la batería para calibrar igualmente los resultados (Wilamowski, B. M., & Irwin 2011).

Junto con el historial de carga de la batería, el modelo de la batería puede ser utilizado para estimar el estado de salud de la batería también.

2.7.6.2 *Determinación del estado de carga*

El término estado de carga es utilizado para describir la cantidad de energía que resta en la batería, usualmente expresada como un porcentaje. Cuando una nueva batería está completamente cargada el estado de carga se considera al 100% de su capacidad nominal. Por otro lado, cuando está completamente vacía, el estado de carga se considera al 0%. Para el caso específico de autos completamente eléctricos (EV), el estado de carga es similar al indicador de combustible en un vehículo de gasolina, el cual es utilizado para indicar al conductor la autonomía que queda antes de que se requiera ser recargado. La información del estado de carga también es muy importante para otros bloques funcionales del vehículo, tales como, la estrategia de control híbrido y el control de carga. Existen varios métodos para determinar el estado de carga de una batería híbrida. Entre estos se pueden nombrar.

Medida directa.

El estado de carga de una batería puede ser directamente medida en condiciones de laboratorio al medir la corriente de descarga nominal de la batería. Este método es bastante preciso, pero carece de practicidad, debido a que la batería debe descargarse completamente antes de que el estado de carga se pueda determinar. De esta manera, este método de medición directa solamente utilizado

por los fabricantes para hacer las pruebas correspondientes en el proceso de desarrollo de las baterías (Wilamowski, B. M., & Irwin 2011).

Determinación del estado de carga basado en medición de voltaje.

La determinación del estado de carga basado en voltaje es un método más práctico. Se basa en el principio de que el voltaje de la batería disminuye mientras esta se va descargando. A pesar de que el estado de la carga de la batería no reduce de manera lineal el voltaje de la misma, algunos puntos importantes de la curva pueden ser seleccionados para realizar una aproximación mediante rectas lineales y de esta manera estimar de manera aproximada el estado de carga SoC de la batería. Este método es utilizado en bastantes indicadores de batería de bajo costo. Uno de los problemas con este método es que, para algunas químicas de baterías, la curva de voltaje frente al estado de carga SoC es muy plana de tal manera que no puede ser aproximada fácilmente. La figura continuación ilustra las características típicas de descarga de una batería de Ni-Mh, Li-Ion, plomo ácido.

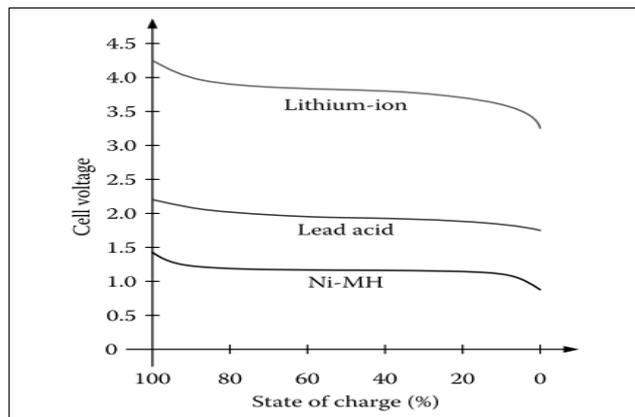


Figura 33-2. Comparativa de curvas de descarga para distintas baterías

Fuente: (Wilamowski, B. M., & Irwin, J. D., 2011)

De esta Figura 33- se puede apreciar en la curva de descarga de la baterías Ni-Mh es considerablemente más horizontal que las otras dos. Por esta razón, el uso del voltaje únicamente para determinar el estado de la carga puede presentar más problemas en el caso de las baterías de Ni-Mh que el otro tipo de baterías.

Las características de descarga de unas baterías dependen bastante de la temperatura de la batería, la razón de descarga, y el estado de salud. Por lo tanto, solamente si la batería se encuentra bien mantenida, de tal manera que: la curva característica no varía demasiado respecto a la curva calibrada, la carga de drena corriente de manera relativamente constante y, si la temperatura de operación de la batería es relativamente constante, este método de estimación del estado de carga

puede ser útil. De otra manera, el modelo de la batería se necesita como una parte más para estimar el estado de carga (Wilamowski, B. M., & Irwin 2011).

Métodos de determinación del estado de carga por medición de carga

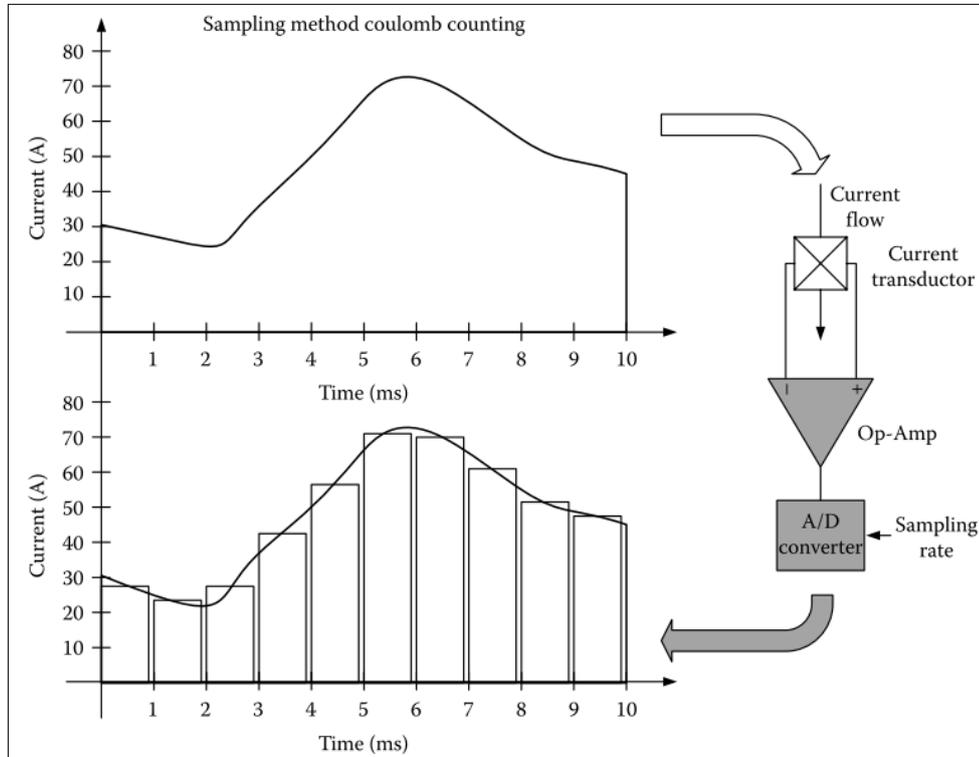


Figura 34-2. Muestreo basado en la medición de carga eléctrica

Fuente: (Wilamowski, B. M., & Irwin, J. D., 2011)

Este método, mide la corriente que ingresa y que sale de la batería (por ende, la cantidad de carga eléctrica) para determinar la capacidad remanente en la misma. La implementación de este método se basa en la realización de integral discreta de la corriente en el tiempo. Generalmente se utiliza el conversor analógico-digital de los microcontroladores para medir la cantidad de carga, mediante un método de muestreo. La medición de la corriente puede ser realizada utilizando sensores de efecto Hall o resistores tipo shunt. Los sensores de efecto Hall tienen un uso más común en los paquetes de baterías automotrices debido que no presentan pérdidas de potencia comparados a los resistores tipo Shunt. La figura continuación ilustra la implementación del método de muestreo para el conteo de carga explicada.

El conteo de carga puede ser preciso en varios ciclos de carga y descarga. Conforme los ciclos de carga y descarga aumentan, los errores se pueden acumular debido a que este método no puede incluir la cantidad de energía correspondiente a la auto descarga.

Otro efecto que debe ser tomada en consideración, es la eficiencia de la recarga. Cuando se utiliza el método de conteo de carga para medir la energía de la carga que ingresa, puede ocurrir un error debido a la eficiencia de la carga que depende de condiciones de la batería aparte su propia carga. Varios métodos pueden ser utilizados para eliminar el efecto del auto descarga y otras fuentes de errores, dos de los métodos más comunes utilizados son el modelo de la batería y el método del reinicio de la batería. El modelo de la batería ha sido discutido previamente, mientras que el método del reinicio de la calibración es bastante útil para las baterías de los autos eléctricos (EV) debido a que estas batería se carga hasta el 100% (Wilamowski, B. M., & Irwin 2011).

2.7.6.3 *Determinación del estado de salud de la batería.*

El estado de salud de la batería es un término utilizado para describir la capacidad de entregar energía por parte de una batería a la carga, también se puede describir cómo un indicador de estado, en caso de que la necesite ser reemplazada y cuánto tiempo aproximado le queda antes de que suceda el reemplazo.

Cuando la variable de interés es la capacidad de entregar energía, se asume que una batería nueva puede entregar el 100% de su capacidad nominal y por tanto se encuentra en un buen estado de salud. En la industria de las baterías se define que una batería que entrega solamente el 70% de su capacidad nominal es una batería en un pobre estado de salud y debe ser reemplazada. Actualmente, los fabricantes de baterías indican que el ciclo de vida de una batería está basado sobre el 70% del valor de su capacidad. Esto significa que ciclo de vida de la batería en buena salud tiene más del 70% de su capacidad nominal.

La medición del estado de salud de la batería puede ser realizado comparando la capacidad de corriente de esta con la capacidad conocida de una nueva batería. Esto requiere que el sistema de determinación del estado de salud acceda al historial de información de la capacidad o algún valor predeterminado de capacidad.

Otro método para determinar el estado de la salud es la medición de cambios en la resistencia interna, cambios en la razón de auto descarga, considerando que estos parámetros cambian con la degradación del estado de salud de la batería (Wilamowski, B. M., & Irwin 2011).

2.7.6.4 *Historial el desempeño de la batería*

El historial de desempeño de la batería es una más de las funciones del sistema de administración de la batería BMS en el sistema híbrido, un chip de memoria dedicado o un área de memoria reservada es utilizado para hacer el registro de un historial.

La información del historial puede ser fácilmente obtenida mediante las herramientas externas del diagnóstico. Dicho historial guarda la siguiente información:

- Ciclos de carga y descarga
- Capacidad de descarga de cada ciclo
- Máximos y mínimos voltajes
- Máximas y mínimas temperaturas
- Corriente máxima de descarga de la batería

Al evaluar este historial, se puede determinar si la batería alguna vez ha sido llevada fuera de sus límites lo cual puede ser útil en casos de reclamos de garantías (Wilamowski, B. M., & Irwin 2011).

2.7.6.5 Regulación de la carga

En vista de que la unidad inteligente del sistema de administración de batería no solamente tiene un registro de toda la información (voltaje, corriente, temperatura, historial) acerca de la batería, esta también tiene control sobre la misma, por lo que esta unidad es la encargada de realizar la regulación de carga.

La unidad inteligente de batería realiza la medición de parámetros y su control por lo que determina el fin de la carga, de esta manera se puede considerar este proceso como si se tratara de un cargador simplificado externo, el cual necesita solamente responder al comando y necesidades de la batería durante el proceso de carga.

En las aplicaciones automotrices, es deseable que la batería se cargue más rápido. Para realizar una carga rápida controlada, es importante determinar el punto de terminación del proceso. Un proceso de carga “fuera de control” es muy peligroso, por lo tanto, determinar este punto de terminación de la carga es una función muy importante en la regulación de la carga, a continuación, se lista las maneras y métodos de terminación para baterías de distintas químicas (Wilamowski, B. M., & Irwin 2011).

Tabla 1-2: Lista de métodos de carga y métodos de terminación de carga para baterías de distintas químicas

	Ni-Cd	Ni-MH	Plomo-ácido	Li-Ion
Carga lenta	CC + Trickle/tiempo	CC + Tiempo	CC-CV + Trickle / Tiempo	CC + Límite de voltaje
Carga rápida 1	CC + NVD	CC + ZDV	CC-CV + Imin	CC – CV + Imin

Carga rápida 2	CC + dT/dt	CC + dT/dt		
Terminación de respaldo 1	Corte por temperatura	Corte por temperatura	Tiempo	Corte por temperatura
Terminación de respaldo 2	Tiempo	Tiempo		Tiempo
Nota: CC, Corriente constante; CC-CV, Corriente constante – Voltaje constante; NVD, Delta Negativo de Voltaje; ZVD, Delta Cero de Voltaje				

Fuente: (Wilamowski, B. M., & Irwin, J. D., 2011)

Realizado por: AUTORES

2.7.6.6 *Control de la carga de baterías basadas en níquel.*

Cualquier batería, incluida aquellas las baterías basadas en níquel, puede ser cargada utilizando corriente constante (CC) con un método adecuado de terminación de carga. Los métodos de terminación para las baterías basadas en níquel son generalmente el delta de voltaje negativo (NVD) y el delta de voltaje de cero, los cuales se encuentran basados en las características propias de carga de las baterías (Wilamowski, B. M., & Irwin 2011).

2.7.6.7 *Método determinación de voltaje delta negativo (NVD)*

Es un método de terminación del voltaje delta negativo es aplicable para las baterías de níquel cadmio debido a que estas presentan un voltaje delta negativo cuando se encuentran completamente cargada. En otras palabras, cuando la batería no está completamente cargada, el delta (la variación en el tiempo) del voltaje de batería incrementa con el transcurso del tiempo de carga. Sin embargo, cuando la batería está completamente cargada el voltaje comienza a decaer mientras se continúa cargando.

El método de terminación del voltaje delta negativo detecta este cambio de voltaje respecto a cambio del tiempo de la batería, y si este valor alcanza un valor negativo respecto al anterior, el proceso de carga finaliza, la figura a continuación ilustra la idea de este método de terminación de carga (Wilamowski, B. M., & Irwin 2011).

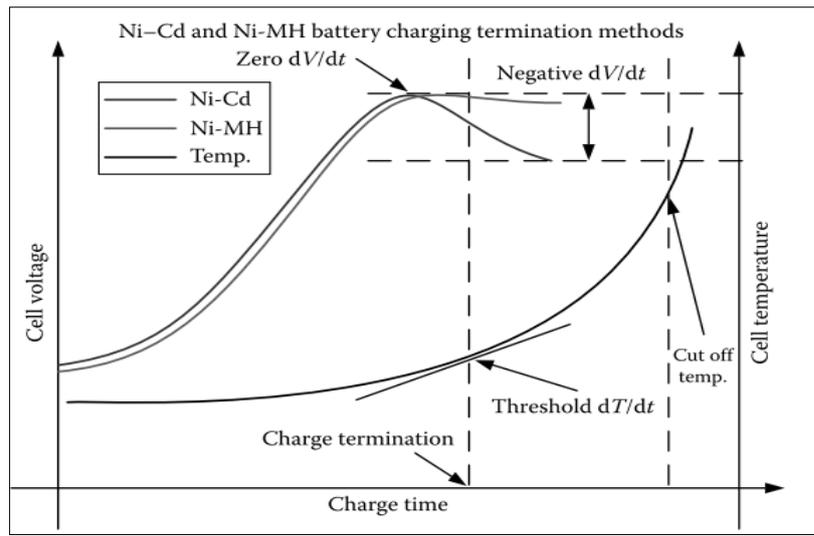


Figura 35-2. Métodos de terminación de carga para baterías basadas en Níquel

Fuente: (Wilamowski, B. M., & Irwin, J. D., 2011)

2.7.6.8 Método de terminación del voltaje delta cero (ZDV)

A diferencia de las baterías de Ni-Cd, las baterías de Ni-Mh no presentan un delta de voltaje negativo que pueda ser considerable cuando está completamente cargadas. Usualmente, la variación del delta es muy pequeña o se puede considerar como cero. Por lo tanto, el método de terminación del voltaje delta cero detecta el punto en el que la variación es igual o menor que cero en un período de tiempo dado, entonces el proceso de carga puede finalizar. Esto es ilustrado en la Figura 35-.

2.7.6.9 Comunicación

La comunicación estándar utilizada en aplicaciones automotrices es la red de área de controlador (CAN) bus. Fue desarrollado originalmente en 1983 por Bosh en Alemania con el propósito de resolver el problema de comunicación entre múltiples microcontroladores presentes dentro de los vehículos. Un sistema de administración de batería híbrida requiere comunicarse con otros controladores dentro del sistema híbrido del vehículo por medio del bus-CAN. Usualmente, el bus CAN del sistema híbrido comparte información con el controlador del tren de potencia, módulos de información y controles de seguridad a través de las compuertas de comunicación CAN (Wilamowski, B. M., & Irwin 2011).

2.8 Métodos de carga de baterías

Los métodos de carga de baterías pueden clasificarse en función de la variación en el tiempo de la tensión y la intensidad. La duración de la carga es un factor para tener en cuenta a la hora de elegir el sistema óptimo de carga para cada aplicación. Entre los métodos más utilizados de carga encontramos los descritos a continuación.

2.8.1 *Carga de tensión constante*

Como su nombre indica la carga se realiza un valor fijo de tensión. La intensidad inicial es la máxima que puede suministrar el equipo de carga, con el transcurso del tiempo se alcanza la atención de control y la intensidad comienza a disminuir como se puede apreciar en la Figura 36-:

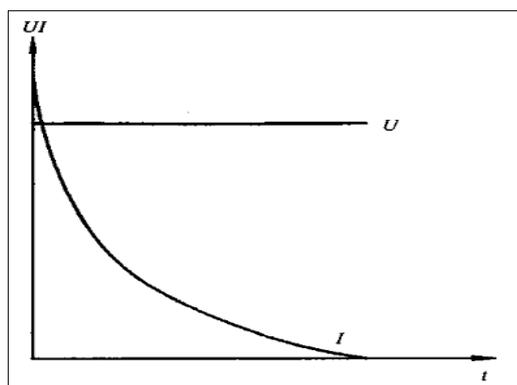


Figura 36-2. Esquema de carga a tensión constante.

Fuente: (Fullea G., J. 1998)

En la Figura 36- (U) es el voltaje aplicado a la batería e (I) es la corriente de carga que ingresa en la batería, es peligroso utilizar este sistema con un valor muy alto de tensión sin implementar un control de la temperatura de la batería.

Un aumento muy grande de temperatura produce una disminución de la resistencia interna de la batería y un aumento de la intensidad que ingresa en la misma, la cual por efecto Joule, produce un mayor calentamiento de la batería. De esta forma puedes llegar inclusive a producirse una explosión de batería, este fenómeno se denomina embalamiento o “Thermal Runaway” (Fullea G. 1998).

2.8.2 *Carga intensidad y tensión constante*

Este sistema supone un avance sobre el sistema anterior de carga expuesto. La batería se carga a intensidad constante hasta que se alcanza el valor de tensión de gasificación, a partir de este momento se mantiene el valor de la tensión constante y la intensidad empieza a decrecer. La

intensidad de carga puede ser alta ya que, al controlar la tensión, se evitan los daños producidos por un excesivo gaseo. Esto permite acortar la duración de la carga, el esquema expuesto se puede apreciar en la Figura 37-:

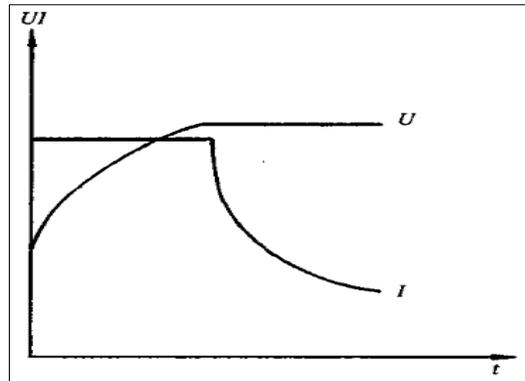


Figura 37-2. Esquema de carga a intensidad y tensión constante

Fuente: (Fullea G., J. 1998)

Tanto este sistema de carga como el sistema anterior de tensión constante tienen el inconveniente de que necesitan un largo período de tiempo en el caso de querer alcanzar la carga completa de la batería, además, no permiten eliminar la estratificación del electrolito debido que la corriente al final de la carga es muy baja. Algunos cargadores añaden al final un corto periodo de carga a intensidad constante para evitar este inconveniente (Fullea G. 1998).

2.8.3 Carga a intensidad constante

Este sistema de carga tiene la ventaja de permitir el cálculo directo de la capacidad restituida a la batería. En base a ello, este sistema es útil cuando se conoce la capacidad que la batería ha suministrado. El criterio de carga debe tener en cuenta el coeficiente de carga correspondiente al tipo de batería, que se define como la relación entre la capacidad para cargar plenamente la batería y la capacidad que sido extraída de la misma. El coeficiente de carga para una batería basada en níquel es de 1.2 a 1.4. Este sistema también debe contemplar la desconexión automática por transcurso del tiempo. Algunos cargadores presentan inclusive la posibilidad de cargar a dos regímenes diferentes empleando una intensidad más elevada en la primera etapa. La Figura 38- muestra el esquema de carga a intensidad constante (Fullea G. 1998).

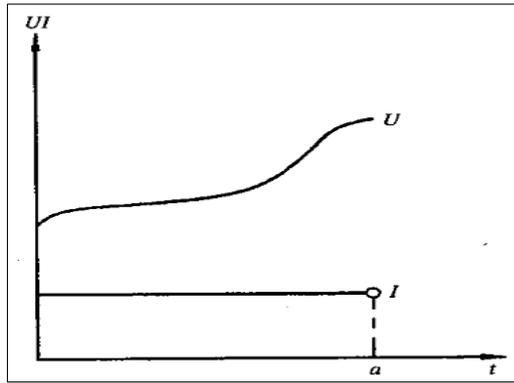


Figura 38-2. Esquema de carga a intensidad constante.

Fuente: (Fullea G., J. 1998)

2.8.4 Carga con tensión creciente

Este sistema de carga se basa en disminuir la intensidad conforme aumenta el valor de la tensión de la batería, para esto se definen dos valores de tensión de referencia, la tensión de gasificación y la tensión final. La carga se realiza a un valor alto de intensidad que puede estar entre un 40 hasta el 100% de la capacidad nominal de la batería y esta es la intensidad máxima que puede suministrar el cargador.

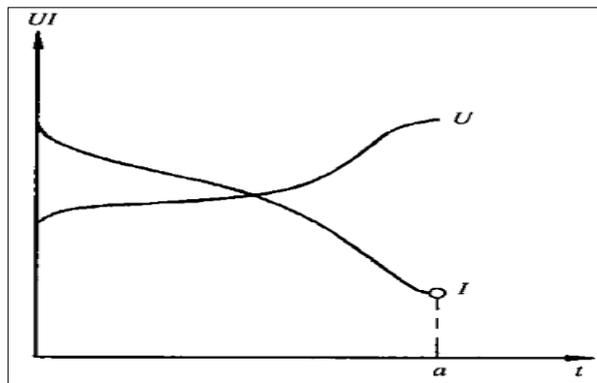


Figura 39-2. Esquema de carga a tensión creciente

Fuente: (Fullea G., J. 1998)

Cuando se alcanza la tensión de gasificación la intensidad se reduce al 50%. Este sistema es aplicado en la carga de baterías de tracción y permite realizar cargas en tiempos relativamente cortos. Al igual que los sistemas de intensidad constante, existen cargadores que contemplan secuencias distintas de carga con el fin de reducir la duración de esta. La Figura 39- muestra el esquema de carga tensión creciente (Fullea G. 1998).

2.8.5 Modos específicos de carga

Existen modos de carga adaptados a circunstancias especiales y serán descritos a continuación.

2.8.5.1 Carga de ayuda

Esta carga se realiza en las baterías de tracción y la idea es aumentar la autonomía de los vehículos que las utiliza aportando aproximadamente un 20% de la capacidad de la batería en la hora en la que no se están utilizando los equipos

2.8.5.2 Carga de igualación

Este tipo de carga se realiza en baterías como un gran número de elementos y que por su utilización presenta heterogeneidad entre los mismos. La carga se realiza a una tensión lo suficientemente elevada para que el gas elimine la estratificación del electrolito que puede suceder dentro de la batería

2.8.5.3 Carga de flotación y carga de compensación

Estas cargas se utilizan en baterías que deben estar plenamente cargadas en el momento en que se requiere sus servicios. En el caso las baterías utilizadas en equipos de alimentación de emergencia como los UPS. La carga tiene la finalidad de compensar las pérdidas producidas por la auto descarga. La carga de flotación se realiza a una tensión constante con valores ligeramente superiores a la tensión de equilibrio, esto para evitar un excesivo gaseo y sobrecarga. La carga de compensación tiene la misma finalidad y se realiza a intensidad constante, las intensidades dependen del tipo de baterías y de la temperatura de servicio (Fullea G. 1998).

2.8.6 Rendimientos de carga y tensión de gaseo

Anteriormente, se ha manifestado que, para realizar una carga completa a intensidad constante de una batería, se debe tener en cuenta el coeficiente de carga que considera la pérdida de energía durante la operación misma de la carga. El rendimiento de carga es una función del estado de carga de la batería. Los valores del coeficiente de carga y el rendimiento de carga que se encuentran diferenciados corresponde normalmente al rendimiento global obtenido cuando se parte de una batería totalmente descargada hasta obtener su plena carga. En la Figura 40-, se puede ver la evolución del rendimiento en función del estado de carga que tiene el acumulador cuando se inicia la carga.

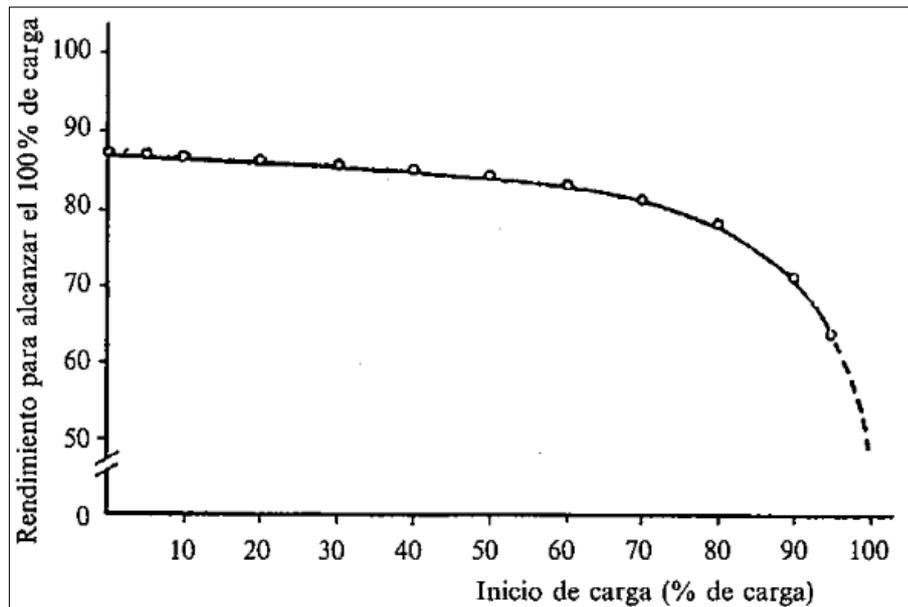


Figura 40-2. Rendimiento de carga de una batería de Plomo estacionaria

Fuente: (Fullea G., J. 1998)

Cuando la batería está descargada, los rendimientos son elevados, pero cuando se llega a estados de carga entre el 80 al 100% el rendimiento disminuye notablemente, en estos momentos es cuando se alcanza la tensión de gaseo del sistema. Parte de la corriente de carga se pierde en la electrólisis propia del proceso de carga, otra parte de la corriente se pierde en la corrosión de los colectores del electrodo positivo y finalmente otra fracción se pierde en forma de calor por efecto Joule. Los valores de la tensión de gaseo para las baterías más utilizadas son 2.4 V por celda para las baterías de plomo y 1.65 V por celda para las baterías basadas en níquel (Fullea G. 1998).

2.8.7 Carga de la batería basada en níquel

Las baterías basadas en níquel son más resistentes a la sobrecarga que las baterías basadas en plomo, pero deben ser protegidas contra las altas temperaturas como se ha manifestado a lo largo de todo el documento. Las temperaturas máximas recomendadas son 35 °C para las baterías con un tipo de placa de celdillas. Además, los valores que se deben considerar durante el proceso de carga de una batería basada en níquel son los siguientes:

- Tensión de gaseo: 1.65 V por celda
- Tensión de igualación: 1.75 V por celda
- Coeficiente de carga: 1.3
- Tensión de flotación: 1.38 V por celda
- Corrección voltaje de carga con la temperatura: -4 mV/°C

La medida de la densidad del electrolito no permite, a diferencia de la batería de plomo, el conocimiento del estado de carga y por tanto la detección efectiva al final de carga. En los sistemas de carga a intensidad constante, se utiliza la subida de tensión como una señal para terminar el final de carga. En los sistemas de carga de tensión constante, la aproximación de final de la carga se detecta por una fuerte disminución de la corriente que admite la batería. Si la tensión de carga es alta, se corre el peligro de fallo de la batería debido al efecto del embalamiento térmico. La carga de las baterías basadas en níquel se realiza normalmente a intensidad constante con terminación automática al alcanzar una tensión de 1.5 V por celda. La intensidad de carga está usualmente limitada por el aparato de carga pudiendo utilizarse valores comprendidos entre el 10% hasta el 40% de la capacidad total en amperios (Fullea G. 1998).

2.8.8 Carga de baterías reguladas por válvula

La carga de las baterías reguladas por válvula o selladas es más crítica que aquella de los sistemas denominados ventilados. El motivo se debe al principio en que se basan los sistemas sellados de combinación de gases. La reacción del oxígeno en el electrodo negativo genera calor. Para corrientes de carga altas, la generación de calor es mayor que la disipación de este, produciéndose el fallo de la celda. Los sistemas de carga deben tener un control para la determinación del final de carga, especialmente aquellos sistemas de carga de tensión constante, para el caso de las baterías basadas en níquel las condiciones más usuales de carga indican un máximo de 14 horas de carga para considerar el 100% de energía de la batería (Fullea G. 1998).

2.8.9 Indicadores del estado de carga

Existen algunas aplicaciones donde el conocimiento del estado de carga de la batería es especialmente necesario. Tal es el caso de las baterías utilizadas en equipos de seguridad o de emergencia donde es importante disponer de un sistema que indique cuando la batería alcanza una capacidad de límite preestablecido, los métodos para determinar el estado de carga son:

- Contadores de amperio hora;
- Descarga completa;
- Medida de parámetros: intensidad, tensión, resistencia interna

La determinación del estado de carga por medio de contadores de amperio hora es problemática debido a que, para hacer un balance efectivo ideal entre la carga y la descarga, se debe tener en cuenta el rendimiento de carga a más de la cantidad de energía que se le entrega, y este rendimiento es dependiente del estado de carga. El empleo de los microprocesadores y el uso de

algunos medios sofisticados pueden corregir los amperios hora de carga con la medida en cada momento de la tensión de la batería.

La descarga completa la batería el método utilizado en laboratorios eléctricos, pero no es válido como un indicador instantáneo del estado de carga

Existen sistemas que permiten determinar de una forma continua la densidad electrólito, que en el caso de una batería de plomo sería un indicador del estado de carga. Métodos como el de difracción de la luz permitirían una señal continua ajustable con el estado de carga. Sin embargo, el sistema sería únicamente válido si se garantiza la ausencia de estratificación del electrólito.

Otro método consiste en someter a la batería a una descarga durante pocos segundos, lo suficientemente alta como para que la caída de tensión sea proporcional al estado de carga. En la Figura 41- se presentan los valores de la tensión entre los bornes, obtenida a los 30 segundos de iniciado una descarga de 0.5 Amperios en función del estado de carga para una batería de plomo de tipo estacionario (Fullea G. 1998).

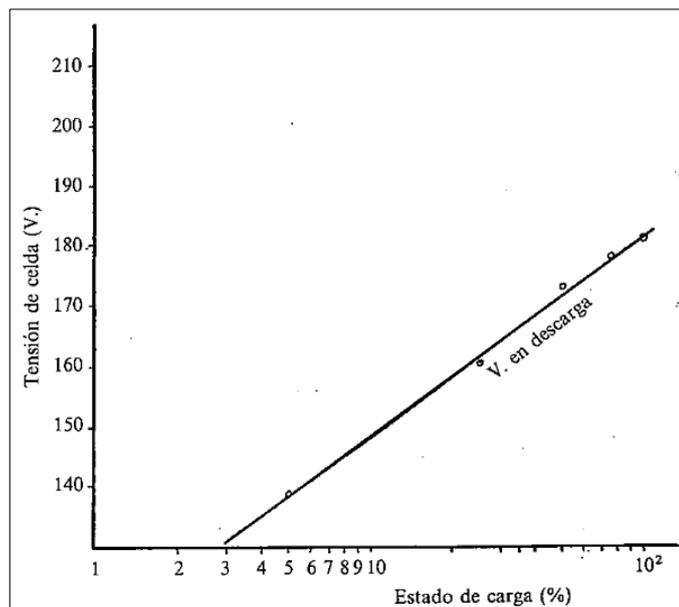


Figura 41-2. Determinación de la capacidad de un acumulador fotovoltaico

Fuente: (Fullea G., J. 1998)

2.9 Dispositivos semiconductores

La electrónica de potencia comprende el estudio de circuitos electrónicos desarrollados para controlar el flujo de energía eléctrica. Estos circuitos manipulan el flujo de potencia a niveles más altos que los dispositivos comunes electrónicos encontrados en los hogares.

Uno de los ejemplos más familiares de los circuitos que se ajustan a esta definición son los rectificadores, inversores y conversores DC-DC para fuentes de alimentación. Cualquier circuito diseñado para el control de potencia debe disponer de dispositivos electrónicos de potencia y un esquema de control para manipular la energía que circulará a través de este. Se debe hacer énfasis en los dispositivos semiconductores que se utilizarán para solventar los requerimientos del dispositivo cargador de baterías en estudio.

2.9.1 Diodo semiconductor

El diodo es el dispositivo de conmutación más simple utilizado en la electrónica de potencia. Es un dispositivo de dos terminales en un terminal conocido como el ánodo (A) y otro terminal conocido como el cátodo (K). El principio de funcionamiento se resume en: la corriente fluye desde el ánodo hacia el cátodo en el sentido del dispositivo, y se considera que el diodo se encuentra en estado encendido (Irwin 2001).

Mientras que, el diodo se encontrará en estado apagado si se intenta hacer circular la corriente eléctrica en sentido contrario al que indica la flecha del diodo. Se debe notar que existe una pequeña caída de voltaje a través del dispositivo cuando se activa.

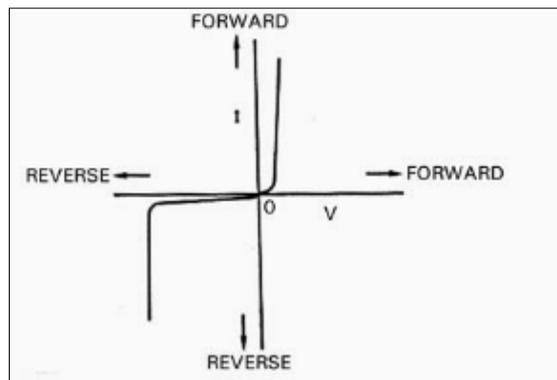


Figura 42-2. Curva característica de un diodo semiconductor

Fuente: (Irwin, J. D., 2001)

En las aplicaciones de electrónica de potencia debido a los altos voltajes y corrientes que se manejan, para efectos prácticos se considera que no existe caída de voltaje cuando el diodo está encendido, y de igual manera que no existe corriente de reversa cuando el diodo se encuentra apagado, es decir se considerará al diodo como un dispositivo de conmutación estático ideal, que muestra ser ohmios de resistencia cuando se encuentra polarizado directamente y una resistencia

infinita cuando se encuentra polarizado de manera inversa. La Figura 42- muestra la curva característica de funcionamiento del diodo.

2.9.1.1 Voltaje de polarización

Es la caída de voltaje que se desarrolla entre las terminales del diodo a un determinado flujo de corriente cuando se encuentra polarizado directamente.

2.9.1.2 Voltaje de ruptura

Es la caída de voltaje desarrollada a través del diodo a una determinada corriente más allá del voltaje que puede bloquear en reversa, esto también se denomina el voltaje de avalancha.

2.9.1.3 Corriente de reversa

Es la corriente a un determinado voltaje en reversar por debajo del voltaje de avalancha y que atraviesa el diodo en sentido cátodo - ánodo.

2.9.1.4 Tiempo de recuperación en directa

Es el tiempo requerido para que el voltaje del diodo alcance un valor particular luego de que comienza a circular corriente a través de este.

2.9.1.5 Tiempo de recuperación de reversa

Es el intervalo de tiempo entre la aplicación de un voltaje en reversa y alcanzar una corriente de reversa a un valor particular. Este parámetro debe ser considerado para aplicaciones de rápida conmutación (Irwin 2001).

La Figura 43- muestra la representación simplificada de las características estáticas de un diodo de potencia

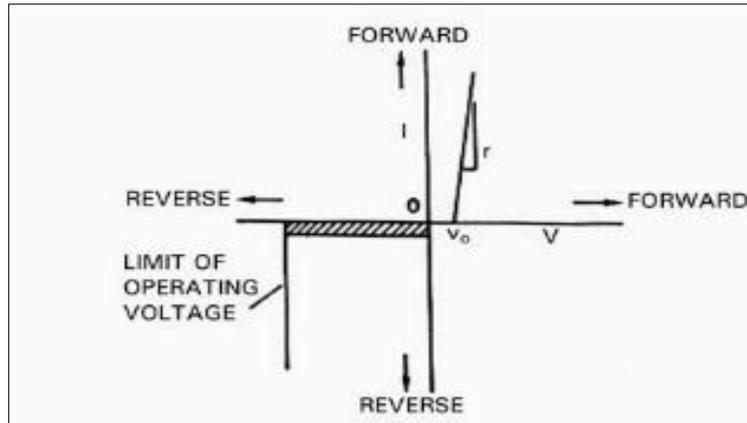


Figura 43-2. Representación aproximada de las características estáticas de un diodo semiconductor

Fuente: (Irwin, J. D., 2001)

Mientras que la Figura 44- muestra una curva de recuperación de un diodo polarizado en directa al que se le aplica instantáneamente una polarización en reversa

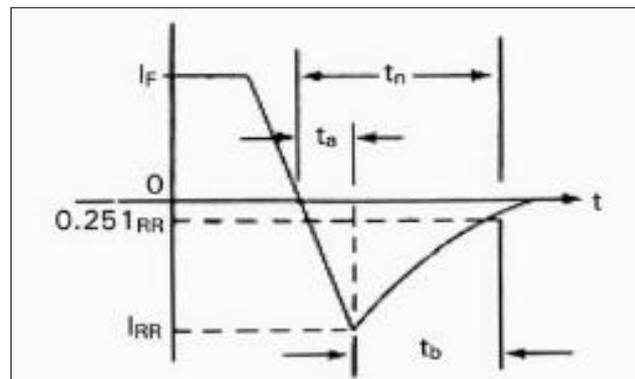


Figura 44-2. Representación temporal de la recuperación de un diodo

Fuente: (Irwin, J. D., 2001)

2.9.2 Tipos de diodo

Dependiendo de las aplicaciones, los diodos se pueden clasificar en las siguientes categorías:

2.9.2.1 Diodo de pequeña señal

Estos dispositivos semiconductores se utilizan en la gran mayoría de aplicaciones de electrónica de consumo, son utilizados en rectificadores, limitadores, capacitores, y cualquier otro dispositivo electrónico de modulación de onda. Los parámetros comunes del diodo que se necesitan conocer

incluyen: el voltaje de polarización en directa, el voltaje de ruptura en reversa, la corriente de fuga en reversa, y el tiempo de recuperación (Irwin 2001).

2.9.2.2 *Diodos rectificadores de silicio*

Estos son diodos que tienen una alta capacidad de transporte de corriente en directa, típicamente de hasta varios cientos de amperios. Ellos usualmente tienen una resistencia en directa de solamente una fracción de un ohmio, mientras que su resistencia en reversa está en el rango de los mega ohmios.

Su aplicación primaria usualmente se encuentra en la conversión de potencia dentro de dispositivos como fuentes de poder, UPS, etc. En el caso de una corriente que excede los valores nominales del diodo, su temperatura aumenta, generalmente la resistencia termal se encuentra entre los 0.1 a 1°C/W (Irwin 2001).

2.9.2.3 *Diodos Zener*

Sus aplicaciones primarias se encuentran en la referencia del voltaje o la regulación del mismo, sin embargo, su habilidad para mantener un voltaje determinado depende de su coeficiente de temperatura y su impedancia, la propiedad de referenciar un voltaje o regularlo nace de sus características de operación dentro de la zona de avalancha descrita anteriormente (Irwin 2001).

2.9.2.4 *Foto diodos*

Cuando la juntura del semiconductor se encuentra expuesta a la luz ambiente, los fotones generan pares de huecos-electrones. Cuando estas cargas atraviesan la juntura de semiconductor, producen una foto corriente. Por lo tanto, este dispositivo actúa como una fuente de corriente que aumenta con la intensidad de la luz que incide sobre su juntura (Irwin 2001).

2.9.3 *MOSFET de potencia*

Otros de los dispositivos semiconductores de conmutación que se deben analizar son los MOSFET de potencia.

Existen dos características deseadas que se consideran cuando se desarrollan los dispositivos electrónicos de potencia, estas son: la velocidad de conmutación (los tiempos que le toma dispositivo encender y apagarse completamente) y las capacidades de manipulación de potencia (el voltaje de bloqueo y la conducción de corriente en directa) esto debido a que en aplicaciones

de potencia prácticas, los dispositivos operan como conmutadores, es decir, solamente en el estado encendido y el estado apagado.

Logrando de esta manera manipular unas cantidades grandes de potencia desde la entrada hacia la salida del convertidor, con una pérdida relativamente muy pequeña de energía disipada en los dispositivos de conmutación. Esto ayuda directamente crear un sistema electrónico de potencia muy eficiente.

La eficiencia se considera como un parámetro importante en el diseño del convertidor, en sistemas de poca eficiencia grandes cantidades de potencias son perdidas en forma de calor entre los dispositivos de conmutación, lo cual implica un incremento en el costo de la energía que se requiere, complicaciones adicionales de diseño especialmente respecto al diseño de dispositivos de disipación de calor, lo cual deriva en un aumento del costo tamaño y peso del sistema total.

Se conoce durante años que la conmutación (mecánica o eléctrica) es la mejor manera de lograr alta eficiencia, sin embargo, a diferencia de conmutadores mecánicos, los conmutadores electrónicos son muy superiores debido a su velocidad y capacidad de manejo de potencia, así como confiabilidad (Irwin 2001).

Dentro de este contexto los MOSFET de potencia se presentan como un dispositivo de tres terminales que se comporta como una resistencia constante linealmente proporcional al cambio de voltaje entre las terminales del dispositivo y la corriente que circula a través de mismo. Que opera a alta eficiencia, y con bajas pérdidas.

Las figuras a continuación muestran el símbolo del dispositivo, así como las características de corriente y voltaje para un MOSFET de enriquecimiento de canal n respectivamente:

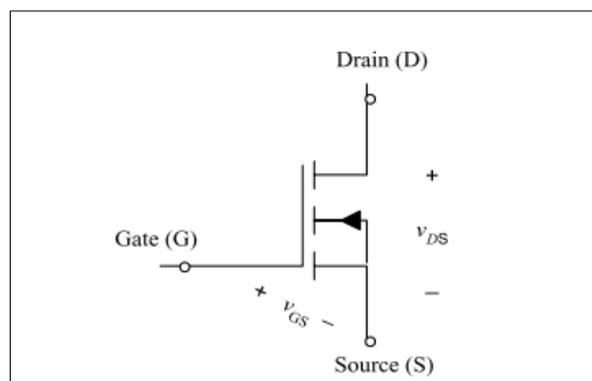


Figura 45-2. Símbolo y terminales del MOSFET de potencia

Fuente: (Irwin, J. D., 2001)

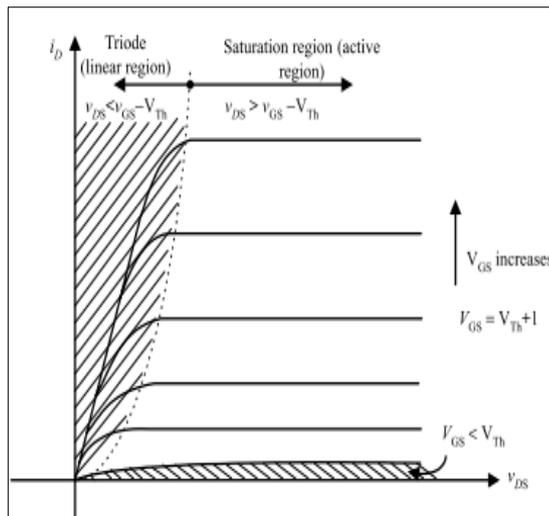


Figura 46-2. Regiones de operación del MOSFET de potencia

Fuente: (Irwin, J. D., 2001)

El valor de la resistencia del MOSFET puede variar significativamente entre décimas de mili ohmios y algunos ohmios para MOSFET de bajo voltaje y alto voltaje respectivamente.

La resistencia de encendido R_{DS} es un parámetro importante que determina la caída de voltaje a través del dispositivo cuando se le enciende y la pérdida total de potencia que se produce. A diferencia de un dispositivo controlado por corriente de tipo bipolar (un transistor BJT) el cual requiere de una corriente de base para que la corriente fluya en el colector, el MOSFET de potencia es un dispositivo unipolar controlado por voltaje, que requiere solamente una pequeñísima corriente de entrada para ser activado (Irwin 2001).

El MOSFET sobrepasa a la mayoría de los dispositivos en velocidad de conmutación con frecuencias que pueden exceder varios megahercios. Al comparar el dispositivo BJT y el MOSFET, el BJT tiene una capacidad mayor de manejo de potencia y una velocidad más lenta de conmutación, mientras que el MOSFET tiene una capacidad inferior de manejo de potencia y una velocidad de conmutación relativamente superior, el MOSFET además presente una resistencia en estado encendido más alto que el transistor bipolar

Otra diferencia es que los parámetros BJT son más sensitivos a los cambios en la temperatura de la junta cuando se comparan con el MOSFET y finalmente es importante señalar que es posible compartir la corriente utilizando dispositivos en paralelo (Irwin 2001).

2.10 Conversores estáticos de energía

Para continuar con el análisis del cargador de baterías híbridas, es importante tratar el tema de los conversores estáticos de energía eléctrica.

Se define de esta manera a los arreglos de dispositivos semiconductores que permiten transformar la energía entre alterna y continua. Existen conversores de alterna a continua (AC/DC), de continua a continua (DC/DC), de continua alterna (DC/AC), y de alterna a alterna (AC/AC). A continuación, se examinarán las características principales de un conversor de corriente continua a corriente directa (AC/DC) (Irwin 2001).

2.10.1 Rectificadores de diodo de una sola fase.

Existen dos tipos de rectificadores de diodo de una sola fase, que convierten la alimentación de voltaje monofásico en voltaje de corriente directa, se denominan rectificadores de media onda y rectificadores de onda completa. Como se mencionó anteriormente, por simplicidad del análisis se considerarán en el análisis que los diodos son ideales, es decir, que tienen cero caída de voltaje cuando están polarizados en directa, y un tiempo de recuperación igual a cero. Además, se considera que la carga conectada es puramente resistiva y que tanto la onda de voltaje como de corriente son iguales (Irwin 2001).

2.10.1.1 Rectificadores monofásicos de media onda

El rectificador más simple monofásico, es el rectificador de media onda. La Figura 47- muestra este tipo de rectificador conectado con una carga de tipo resistivo.

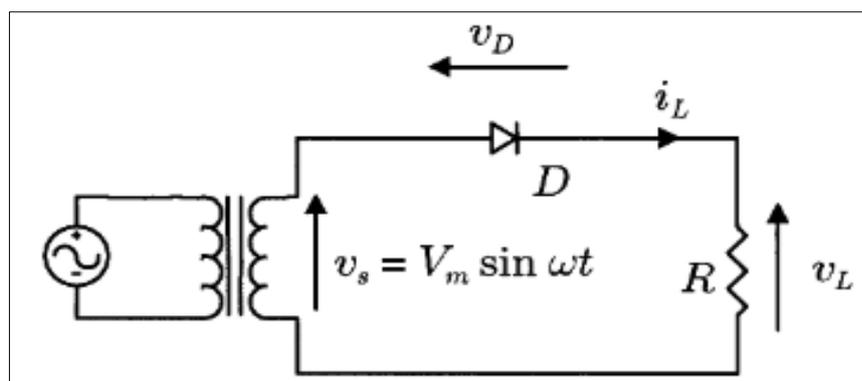


Figura 47-2. Rectificador monofásico de media onda con carga resistiva

Fuente: (Irwin, J. D., 2001)

El circuito consiste en un diodo conectado en el secundario de un transformador, el cual durante el semiciclo positivo del voltaje conduce corriente a través del diodo de la carga. Durante el semiciclo negativo, el diodo deja de conducir; y, asumiendo que transformador tiene una impedancia interna de cero y que provee una señal sinusoidal de voltaje perfecta en su devanado secundario, las ondas de voltaje de corriente y resistencia se muestran en la figura a continuación:

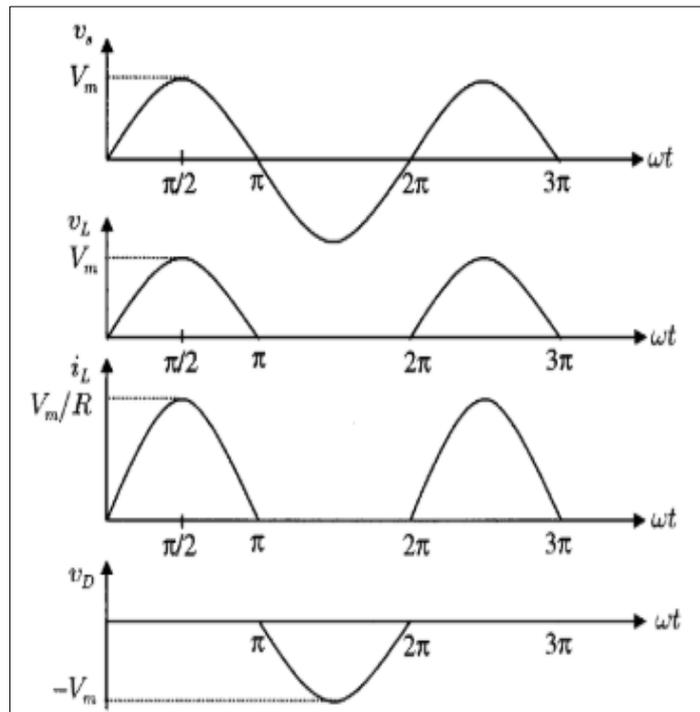


Figura 48-2. Ondas de voltaje y corriente del rectificador de media onda con carga resistiva

Fuente: (Irwin, J. D., 2001)

Observando la onda del voltaje del diodo ilustrada en la Figura 48-, está claro que el voltaje inverso pico de reversa (PIV) es igual al voltaje máximo de voltaje durante el semiciclo negativo del voltaje.

Por eso es importante que el voltaje de reversa repetitivo de pico (RPIV) del diodo sea mayor al que presenta la señal de voltaje para impedir una ruptura en reversa. Durante el semiciclo positivo del voltaje el diodo tiene una corriente de conducción igual a la corriente de la carga, y por lo tanto, la corriente en directa repetitivo pico del diodo debe ser escogida de tal manera que sea superior a la corriente pico de carga (Irwin 2001).

2.10.1.2 Rectificadores de onda completa monofásicos

Existen dos tipos de circuitos rectificadores monofásicos de onda completa, se puede utilizar un transformador con un tab central, o se puede utilizar un puente de diodos, como el mostrado a continuación:

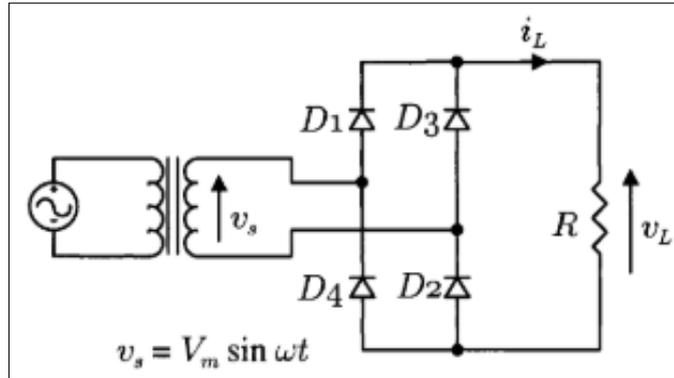


Figura 49-2. Rectificador de puente de onda completa

Fuente: (Irwin, J. D., 2001)

Al emplear cuatro diodos, este rectificador de puente como es comúnmente conocido puede generar una rectificación de onda completa sin la necesidad de utilizar un transformador.

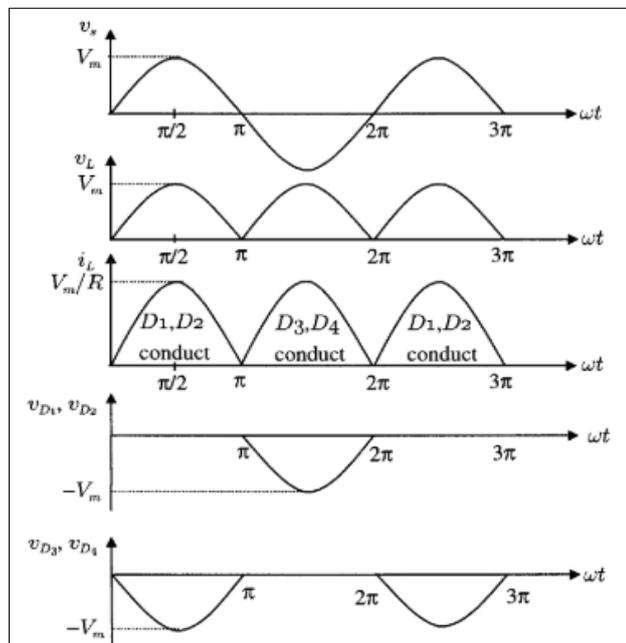


Figura 50-2. Formas de voltaje y corriente para el rectificador de onda completa

Fuente: (Irwin, J. D., 2001)

Durante el semiciclo positivo del transformador, la corriente fluye hacia la carga través de los diodos uno y dos. Durante el semiciclo negativo los diodos tres y cuatro conducen. El voltaje y corriente del puente de diodos rectificador se muestran en la Figura 50-.

Los parámetros principales que se deben considerar durante el diseño de este tipo de conversores se denotan a continuación:

Voltaje medio, el valor de voltaje medio (V de C) entregada la carga se define como:

$$V_{dc} = \frac{1}{T} \int_0^T v_L(t) dt \quad (1)$$

En el caso de rectificador de media onda sólo se entrega la mitad del voltaje, es decir, la mitad de la potencia correspondiente a un solo semiciclo. Se debe considerar que el valor de omega es:

$$\omega = 2 \frac{\pi}{T} \quad (2)$$

Por lo que la ecuación para encontrar el voltaje medio en la carga se puede describir cómo

$$V_{dc} = \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi V_m \sin \omega t d(\omega t) \quad (3)$$

Por lo tanto, en el caso de un rectificador de una completa el voltaje entregado a la carga se puede definir como:

$$V_{dc} = \frac{1}{\pi} \int_0^\pi V_m \sin \omega t d(\omega t) \quad (4)$$

Por tanto, para el rectificador de onda completa sería:

$$V_{dc} = \frac{2V_m}{\pi} = 0.636 V_m \quad (5)$$

Voltaje RMS, el valor RMS del voltaje la carga se define como

$$V_L = \left[\frac{1}{T} \int_0^T v_L^2(t) dt \right]^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

Que deriva en:

$$V_L = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = 0,707 V_m \quad (7)$$

Relaciones de corriente

Para el caso de una carga puramente restrictiva se puede encontrar que:

$$I_{dc} = \frac{V_{dc}}{R} \quad (8)$$

Y, el valor RMS de la corriente la carga puede es:

$$I_L = \frac{V_L}{R} \quad (9)$$

Se tiene entonces:

$$I_L = \frac{0,707V_m}{R} \quad (10)$$

Además de la rectificación con el puente de diodos, es común colocar un capacitor en paralelo con la salida de la onda de voltaje rectificada para disminuir el factor de rizado de la misma. De esta manera, se entrega un mayor voltaje de corriente continua definido como

$$V_{dc} = V_m \left(1 - \frac{1}{2f_r RC} \right) \quad (11)$$

Cuyo valor RMS se aproxima como

$$V_{ac} = \frac{V_m}{2\sqrt{2}f_r RC} \quad (12)$$

Cuyo factor de rizado está determinado por:

$$RF = \frac{1}{\sqrt{2}(2f_r RC - 1)} \quad (13)$$

Para ilustrar estas expresiones previamente mencionadas, la siguiente figura muestra las formas de onda de voltaje y corriente generadas por el rectificador de onda completa de tipo monofásico (Irwin 2001).

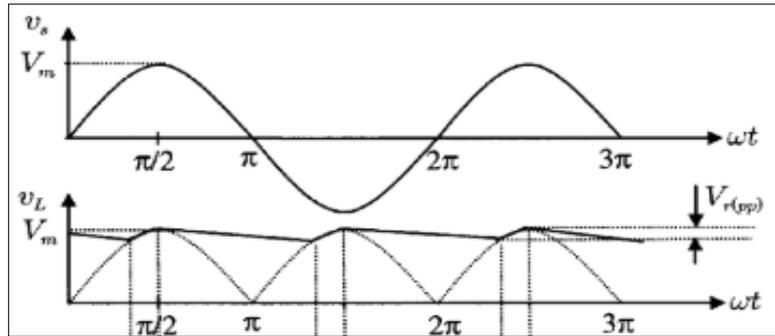


Figura 51-2. Ondas de voltaje y corriente del rectificador de onda completa con un capacitor conectado a la salida

Fuente: (Irwin, J. D., 2001)

2.10.2 Conversores estáticos DC-DC

Los sistemas electrónicos modernos requieren de fuentes de alimentación eficientes, pequeñas, ligeras, confiables y de alta calidad, los reguladores de voltaje lineales, cuyo principio de operación se basa divisores de corriente o voltaje, son ineficientes.

Esta situación se debe a que este tipo de reguladores se encuentran limitados a voltajes de salida más pequeños que los voltajes de entrada, y a densidades de potencia bajas, pues operan en frecuencias entre 50 a 60 Hz. Los reguladores lineales pueden, sin embargo, proveer de una salida de muy alta calidad. Su mayor área de aplicación se encuentra en aplicaciones de nivel bajo de potencia.

Los dispositivos semiconductores utilizados dentro de los reguladores lineales operan en la región activa, es decir, en el modo lineal, sin embargo, a mayores niveles de potencia se requiere utilizar reguladores basados en conmutadores. Este tipo de reguladores utilizan semiconductores de potencia en los estados encendido y apagado, debido a que existe una pequeña pérdida de potencia en esos estados, por esta razón, este tipo de reguladores pueden obtener eficiencias de conversión muy altas.

Los conmutadores electrónicos de potencia modernos pueden operar a más altas frecuencias, debido a esto, los transformadores son más pequeños y ligeros, así como los inductores y los capacitores de filtro que se tienen que utilizar, las características dinámicas del convertidor también mejoran al aumentar la frecuencia de operación. El lazo de control del ancho de banda es usualmente determinado por la frecuencia de esquina superior del filtro de salida. Por lo tanto, las frecuencias más altas de operación permiten obtener una respuesta dinámica más rápida a cambios bruscos de la carga y en las corrientes, así como en el voltaje de salida.

El procesamiento de la potencia de los dispositivos electrónicos de alta frecuencia se utiliza en la conversión de potencia DC-DC. Entre las funciones principales de los conversores DC-DC se puede indicar:

- Convertir una entrada de voltaje de corriente continua en un voltaje de salida corriente continua;
- Regular la salida de voltaje contra variaciones de carga y de línea;
- Disminuir el rizado de corriente alterna en la salida de corriente continua debajo de un nivel establecido;
- Proveer aislamiento entre la fuente de entrada y la carga (el aislamiento no siempre es requerido);
- Proteger el sistema alimentado y la fuente de entrada de interferencia electromagnética;
- Satisfacer algunos estándares de seguridad nacionales e internacionales

Los conversores DC-DC pueden ser divididos en dos tipos: conversores modulados por variación de ancho de pulso (PWM), y conversores de conmutación suave o resonantes. Para el tema en cuestión, se tratará sobre los conversores DC-DC con PWM, debido a que las ventajas de este tipo de conversores incluyen, pocos componentes, alta eficiencia, operación de frecuencia constante, un control relativamente simple de funcionamiento, y la capacidad de obtener razones de conversión altas en las aplicaciones tanto de disminución como de elevación de voltaje.

Una de las pocas desventajas de este tipo de conversores es que las formas de voltaje y de corriente rectangulares debido a la misma naturaleza de la modulación de ancho de pulsos (PWM) causan pérdidas por el encendido y apagado de los dispositivos semiconductores de conmutación, lo cual limita a las operaciones de frecuencia prácticas hasta varios cientos de kilo Hertz (Irwin 2001).

2.10.2.1 Conversores DC-DC con PWM (Chopper)

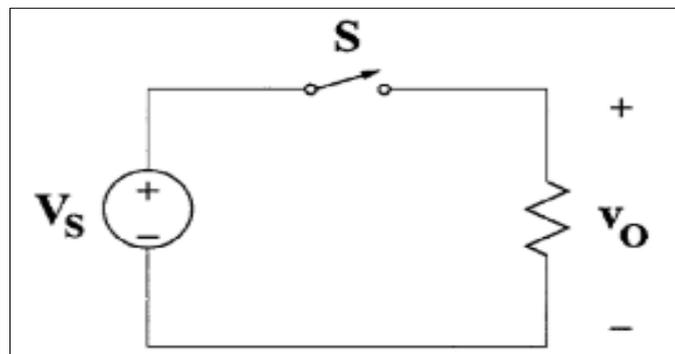


Figura 52-2. Conversor DC-DC con una carga resistiva

Fuente: (Irwin, J. D., 2001)

Se aprecia en la Figura 52- que se encuentran conectado en serie un voltaje de alimentación entrada de corriente continua (V_s), un dispositivo de conmutación controlable (S), y una resistencia de carga (R). En la mayoría de los casos, el dispositivo de conmutación tiene capacidades de bloqueo de voltaje unidireccionales, así como capacidades de conducción de corriente unidireccionales. Los dispositivos de conmutación usualmente utilizados con este tipo de topologías son los MOSFET de potencia, IGBT, BJT o GTO. Un diodo en antiparalelo en cuenta embebido en el dispositivo de conmutación o dispuesto externamente, y el conmutador exhibe una capacidad de conducción bidireccional.

La Figura 53- muestra las formas de onda en un convertidor de este tipo:

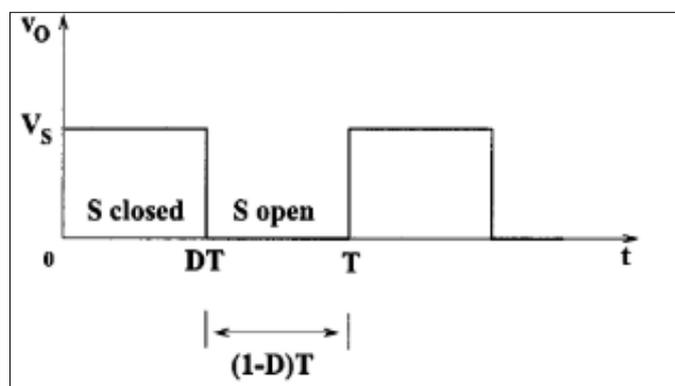


Figura 53-2. Voltaje de salida de un convertidor DC-DC con carga resistiva

Fuente: (Irwin, J. D., 2001)

El dispositivo de conmutación empieza a ser operado con un ciclo de trabajo (D) definido como la razón entre el tiempo de encendido del conmutador respecto a la suma del tiempo en encendido más el tiempo en apagado. Para una frecuencia constante de operación se tiene:

$$D = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} = \frac{t_{on}}{T} \quad (14)$$

Donde:

$$T = \frac{1}{f} \quad (15)$$

Es decir, T es el período de la frecuencia de operación o de conmutación (f). El voltaje promedio de la salida de voltaje es:

$$V_o = DV_s \quad (16)$$

Puede ser regulado solamente con modificar el ciclo de trabajo D . El voltaje de salida promedio en este análisis siempre es más pequeño que el voltaje de entrada, de ahí el nombre del convertor.

Este tipo de topologías son comúnmente utilizadas en los controladores de corriente continua. Para el análisis de estos casos, la carga se le presenta como una combinación en serie de una inductancia (L), una resistencia (R), y una fuerza electromotriz contraria (E) como se muestra la Figura 54- a continuación:

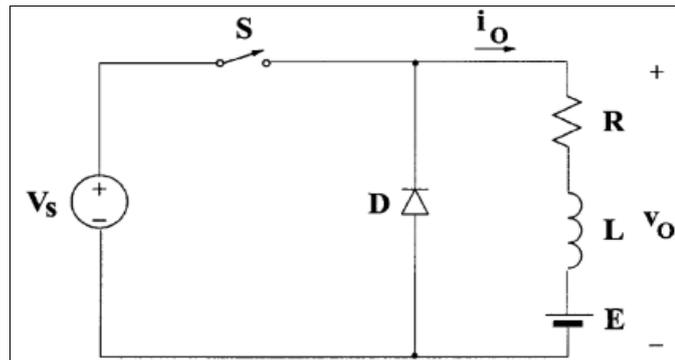


Figura 54-2. Convertor DC-DC con una carga RLE

Fuente: (Irwin, J. D., 2001)

Para proveer una ruta para que la corriente del inductor pueda fluir continuamente cuando el conmutador se encuentra en el estado apagado, un diodo en antiparalelo debe ser conectado entre los extremos de la carga (Irwin 2001).

Debido a que esta topología provee un voltaje y una corriente positivos a la carga, se lo denomina un convertor de primer cuadrante. El voltaje y la corriente se aprecian en la Figura 55- a continuación:

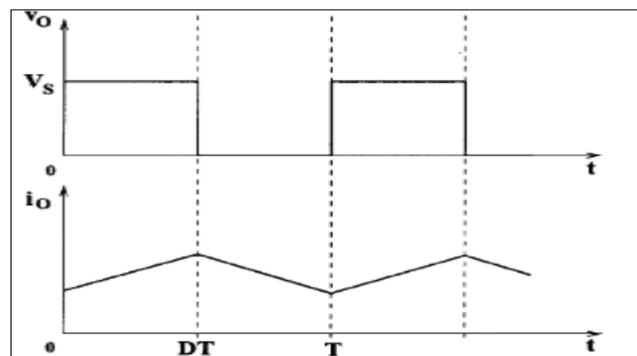


Figura 55-2. Formas de onda del convertor DC-DC con carga RLE

Fuente: (Irwin, J. D., 2001)

Bajo la premisa de que la corriente de carga nunca alcanza cero, y que la constante de tiempo de carga τ (L/R) es mucho mayor que el período T . Los valores promedio del voltaje de salida y la corriente salida pueden ser ajustados simplemente al cambiar la razón de ciclo de trabajo (D). Estos convertidores pueden también proveer voltaje de salida pico mayores que el voltaje de entrada, sin embargo, esta configuración no se analizará en la discusión de este trabajo.

2.10.2.2 *Convertidor reductor (Buck)*

Este tipo de convertidor, comúnmente conocido como convertidor Buck se muestra en la figura continuación

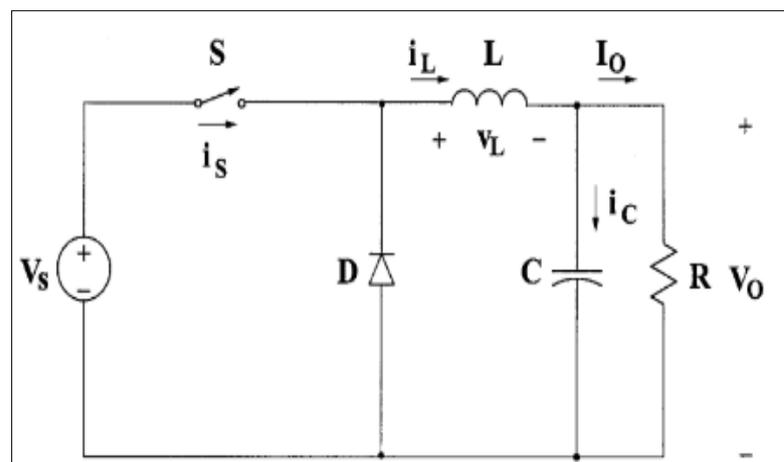


Figura 56-2. Topología del convertidor Buck

Fuente: (Irwin, J. D., 2001)

Consiste en un voltaje de entrada V_s , un conmutador controlado (S), un diodo (D), un inductor (L), un capacitor (C), y una resistencia de carga (R).

Las formas típicas de onda del convertidor están determinadas en la figura a continuación

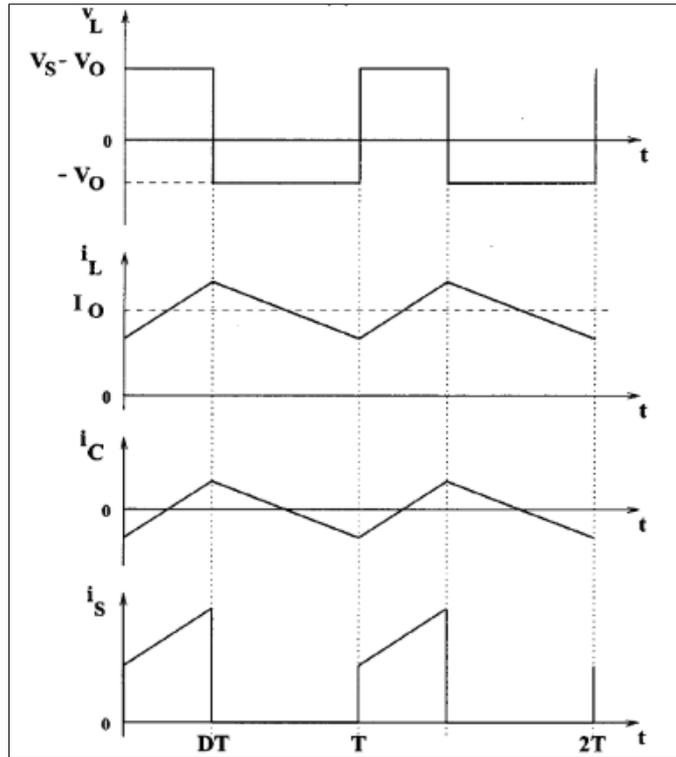


Figura 57-2. Formas de onda en un convertor tipo Buck (reductor)

Fuente: (Irwin, J. D., 2001)

Bajo la asunción de que el inductor se encuentra con una corriente positiva para cualquier instante de tiempo, este modo de operación se denomina como de conducción continua. Se puede ver de la formas de onda del circuito que, cuando el conmutador se enciende, el diodo se polariza en reversa. Cuando el conmutador se apaga el diodo conduce para proveer una corriente ininterrumpida al inductor.

La relación entre el voltaje de entrada, el voltaje de salida, y el ciclo de trabajo del conmutador se puede derivar de la forma de voltaje inducida en el inductor. Mediante la siguiente expresión:

$$(V_S - V_O)DT = -V_O(1 - D)T \quad (17)$$

Por lo tanto, la función de transferencia del voltaje de corriente continua, definida como la razón de la salida de voltaje respecto al entrada de voltaje es:

$$M_v = \frac{V_O}{V_S} = D \quad (18)$$

Esta ecuación (18) muestra que, el voltaje de salida es siempre más pequeño que el voltaje de entrada. En el caso de necesitar dimensionar un inductor para este tipo de convertor, el valor de

la inductancia que determina los límites entre un régimen de operación de corriente continua y un régimen de operación de corriente discontinua está dada por la expresión:

$$L_b = \frac{(1 - D)R}{2f} \quad (19)$$

Además, para limitar el voltaje pico-pico, la capacitancia debe ser mayor que:

$$C_{min} = \frac{(1 - D)V_o}{8V_r L f^2} \quad (20)$$

Las dos ecuaciones anteriores, son fundamentales para diseñar un convertidor reductor. Los voltajes de entrada y salida, así como el rango de la resistencia de carga son usualmente determinados por especificaciones preliminares. El diseñador necesita determinar los valores de los componentes pasivos L y C, así como la frecuencia de conmutación f (Irwin 2001).

Para obtener un diseño compacto y el mínimo de pérdidas posible debido al convertidor, es deseable utilizar los componentes más pequeños posibles. Para esto, las mismas ecuaciones muestran que esto se puede obtener al utilizar una frecuencia de conmutación alta.

Esta frecuencia de conmutación está limitada, sin embargo, por el tipo de conmutador utilizado (dispositivos semiconductores) y por las pérdidas de conmutación. También se debe notar que los valores de inductancia y de capacitor pueden ser alteradas por los efectos de los componentes parásitos en el convertidor, especialmente por la resistencia en serie equivalente del capacitor (Irwin 2001).

2.11 Microntroladores

Un microcontrolador tiene un CPU (microprocesador) atado a una determinada cantidad de memoria RAM, memoria ROM, puertos de entrada y salida, y un timer todo en un solo chip. En otras palabras, los microcontroladores se consideran dispositivos embebidos y por lo tanto el diseñador no necesita añadir elementos externos para que funcione. Esta situación presenta a los microcontroladores como elementos ideales para muchas aplicaciones en las cuales el costo y el espacio son críticos.

Un sistema embebido se controla por su propio microcontrolador, típicamente, en un sistema embebido la memoria ROM se carga con funciones específicas diseñadas para ejecución del mismo sistema (Ali Mazidi, Naimi y Sepher 2011).

Para desarrollar este proyecto se ha considerado un microcontrolador que cumpla con las necesidades de cómputo de la tarea de manera eficiente y con un costo relativamente bajo, es así que se ha elegido el microcontrolador AVR montado sobre la plataforma de desarrollo de hardware libre Arduino. La figura continuación muestra una vista simplificada de un microcontrolador AVR:

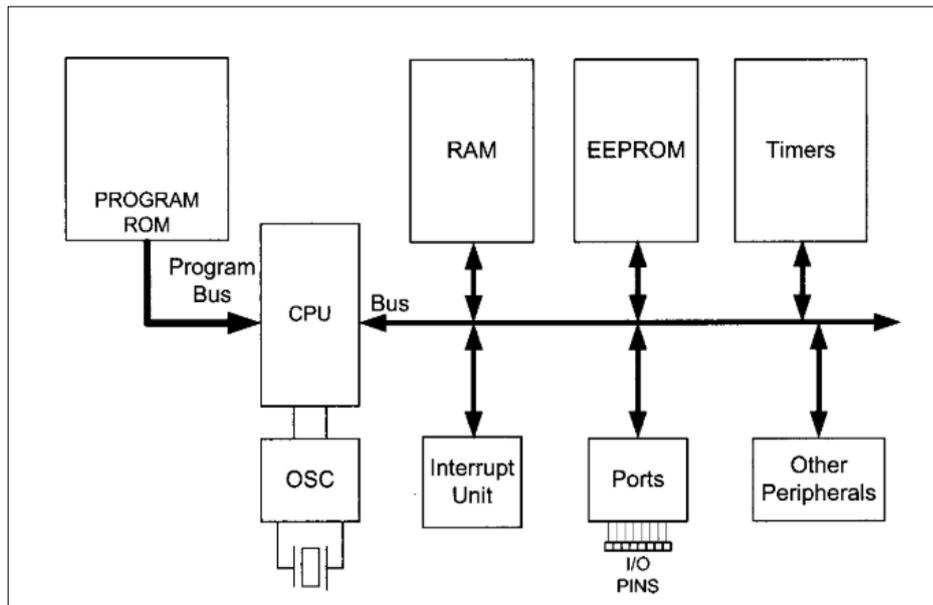


Figura 58-2. Vista simplificada de un microcontrolador AVR

Fuente: (M. Ali Mazidi, et al., 2011)

2.11.1 Arduino NANO

Respecto a la plataforma de desarrollo libre Arduino NANO, se puede manifestar que es una plataforma de hardware libre que contiene un microcontrolador Atmega328p, esta tarjeta ha sido diseñada para operar dentro de las siguientes características:

- Voltaje de operación: 5 V;
- Voltaje de alimentación: 7-12 V;
- Velocidad de CPU: 16 MHz;
- Número de entradas analógicas: 8
- Número de puertos I/O digitales: 14
- Número de puertos con PWM: 6
- Memoria EEPROM: 1 kB
- Memoria SRAM: 2kB
- Memoria Flash: 32kB

- Corriente DC por pin: 40 mA
- Protocolo de comunicación: SPI, UART, TWI

El lenguaje de desarrollo de la programación está basado en C, a continuación, la Figura 59- ilustra las dimensiones del Arduino NANO («Arduino NANO» [sin fecha]):

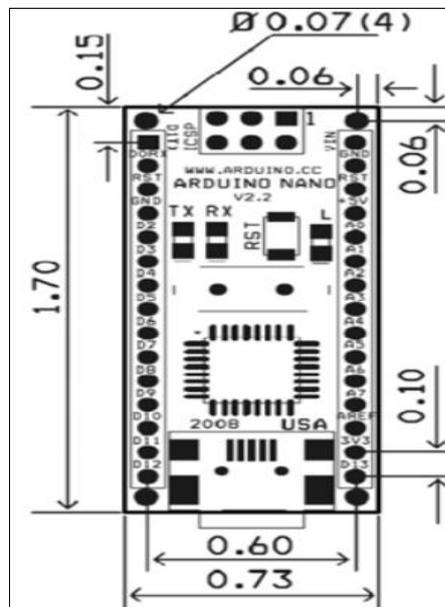


Figura 59-2. Modelo 2D del Arduino NANO

Fuente: (Components101, 2019)

2.11.2 Circuito integrado LM2596

En un circuito integrado que funciona como fuente de voltaje fija, las características principales se listan a continuación:

- Voltaje de salida fijo: 3,3; 5 y 12 V
- Corriente de salida: 3 A;
- Entrada de voltaje sin regular: 12-40 V
- Oscilador interno: 150 MHz
- Corriente de consumo en stand by: 80 uA
- Protección contra sobre voltaje y sobre temperatura
- Regulación de línea y de carga $\pm 4\%$

A continuación, se muestra la figura del regulador descrito previamente:

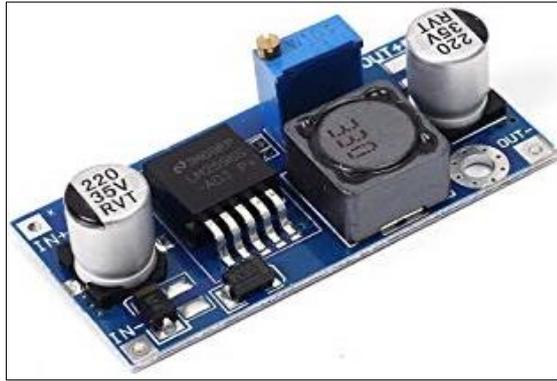


Figura 60-2. Regulador 2596

Fuente: (Texas Instruments, 2019)

2.11.3 Circuito integrado SIM800L

Se trata de un módulo GSM/GPRS que opera en cuatro bandas de frecuencia de transmisión celular, entre las características más importantes se puede citar:

- Voltaje de operación: 3,4 – 4,4 V;
- Dimensiones: 15,8 x 17,8 x 2,4 mm
- Peso: 1,35 g;
- Frecuencias de operación: GSM850 MHz, EGSM900MHz, DCS1800MHz, PCS1900Mhz
- Puertos seriales: 2;
- Interfaces USB: 1;
- Canales de audio: 2 entradas de audio, una salida;
- Interfaz de tarjeta SIM: 1;
- Soporte de recepción FM;
- Soporte de PWM;
- Bajo consumo en stand by, 0,7 mA en modo sleep

A continuación, se muestra la figura del módulo mencionado:



Figura 61-2. Módulo SIM800L

Fuente: (SIMCom, 2019)

2.11.4 Sensor de corriente ACS712

Se trata de un sensor de efecto Hall, para medir la corriente eléctrica de manera lineal, en sistemas industriales, sus aplicaciones principales comprenden: control de motores, detección de manejo de cargas eléctricas, fuentes conmutadas y protección contra sobre corrientes.

Consiste en un sensor de efecto Hall localizado junto a una ruta de cobre, la cual genera un campo magnético medido por el sensor de efecto Hall y convertido en un voltaje proporcional.

Este sensor de corriente se encuentra montado sobre una placa como se muestra en la Figura 62- a continuación:

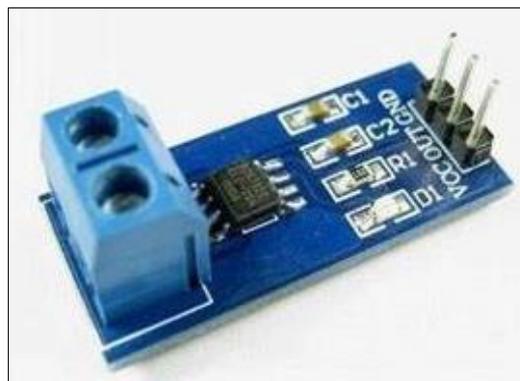


Figura 62-2. Sensor de efecto Hall

Fuente: (Electronicsgadgets.co, 2019)

CAPÍTULO III

3 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

3.1 Parámetros del diseño

Este capítulo se centra en describir los pasos para diseñar e implementar el cargador de baterías híbridas, luego de una exhaustiva revisión bibliográfica sobre todos los parámetros a ser considerados, se listan los cálculos requeridos, las etapas seguidas, así como las implementaciones realizadas

3.1.1 Etapas del diseño general

Se deben considerar como pasos intermedios en la realización de todo el cargador híbrido, de manera general, se ha dividido al proyecto en las siguientes etapas:



Figura 1-3. Etapas del diseño

Fuente: (Jiménez B., Rosero E., 2019)

3.2 Variables del diseño

Para cada etapa previamente definida, se debe definir las variables más importantes a considerar durante el transcurso de algunas de las etapas, a continuación, se listan estas variables:

3.2.1 Variables del circuito de alimentación del sistema y bajo voltaje

Este circuito, debe tomar alimentación externa de 110 Voltios, y reducirlo para operar los dispositivos electrónicos de bajo voltaje, dentro de estos dispositivos, se cuentan:

- Microcontrolador;
- Módulo de comunicación GSM;
- Módulo sensor de corriente;
- Disparadores de los MOSFET de potencia;
- Ventilador del disipador

La variable entonces es el voltaje para alimentar a los dispositivos, que va entre 5 – 12 Voltios de corriente continua o directa (DC).

3.2.2 Variables del circuito de potencia en alto voltaje

Esta es la parte más importante del proyecto descrito, hace referencia al voltaje que debe manejarse para el proceso de carga de la batería híbrida, así como la corriente de carga que se entregará. Además de estos dos parámetros, se debe considerar también la potencia que será disipada por los dispositivos de conmutación y disiparla adecuadamente

3.2.3 Variables del circuito de la etapa de comunicación

Dentro de este circuito, se debe considerar la banda de operación del sistema de comunicación, así como los paquetes que serán transmitidos para notificar los distintos modos de operación del cargador.

3.3 Diseño del equipo

Una vez identificadas las variables más importantes a ser consideradas durante el desarrollo del dispositivo, se procede con el diseño y desarrollo individual de cada una de ellas, descritas en el orden en que se implementaron.

3.3.1 Circuito de alimentación

Como se manifestó anteriormente, se identificó la necesidad de alimentar varios dispositivos dentro del diseño del cargador de baterías, si bien se pudiera utilizar una sola fuente de alimentación para todos los dispositivos, se debe tomar en cuenta que toda la parte de control debe estar aislada eléctricamente de la parte de potencia, debido a que un fallo de esta pudiera destruir toda la parte de control. Otra consideración es que el ventilador es una carga que puede introducir ruido en los circuitos de control, por todas estas razones se decidió desarrollar tres distintas fuentes de alimentación de acuerdo con el siguiente detalle:

3.3.1.1 Fuente para los dispositivos de control

Esta fuente alimentará únicamente al microcontrolador, el módulo de sensor de corriente, y el módulo de comunicación SIM808L y la circuitería discreta, el consumo de corriente para este circuito se calculó de la siguiente manera:

$$I_{TOTALMAX} = I_{uCont} + I_{S808} + I_{Scor} + I_{varios} \quad (21)$$

Donde:

$I_{TOTALMAX}$ es la corriente consumida por todo el circuito de control bajo condiciones de máximo consumo de corriente

I_{uCont} es la corriente consumida por el microcontrolador, de acuerdo con la hoja de especificaciones y considerando los 14 pines en funcionamiento, el máximo de corriente que puede consumir el Arduino es 0,56 Amperios.

I_{S808} es la corriente consumida por el dispositivo de transmisión de datos, de acuerdo con la hoja de especificaciones, la corriente promedio de funcionamiento es de 500 mA.

I_{Scor} es la corriente consumida por el sensor de corriente, de acuerdo con la hoja de especificaciones, la corriente de funcionamiento es de 13 mA

I_{varios} es la corriente consumida por las luces LED, y el optoacoplador de la etapa de disparo, suponiendo el funcionamiento simultaneo de los tres dispositivos, es de 45 mA.

Por lo tanto, se tiene:

$$I_{TOTALMAX} = 560 + 500 + 13 + 45 [mA]$$

$$I_{TOTALMAX} = 1118 [mA]$$

El voltaje requerido por los dispositivos electrónicos es de 5 Voltios, por lo tanto, la máxima potencia a entregar es:

$$P_{TOTALMAX} = 1118 [mA] * 5 [V]$$

$$P_{TOTALMAX} = 5590 [mW]$$

De las especificaciones de la fuente LM2596, se conoce que puede entregar hasta 3 Amperios y 15 Watts, por lo que se selecciona la misma para cumplir con los requerimientos calculados.

3.3.1.2 Fuente para los dispositivos de potencia

Esta fuente se encarga de alimentar el disparo de los dispositivos de potencia (MOSFET), se ha considerado colocarla separada de la alimentación de la circuitería de control debido a dos razones fundamentales, la primera es que los MOSFET de potencia requieren 12 Voltios para ser activados, y la segunda es proveer un aislamiento eléctrico entre los dispositivos de control y potencia.

De las hojas de especificaciones del MOSFET de potencia, este se presenta una resistencia a la entrada del Gate entre 0,5 – 2,7 Ohmios, con esta consideración, necesaria para encender un MOSFET se describe con la siguiente ecuación:

$$I_G = \frac{V_G}{R_G} [mA] \quad (22)$$

Por lo que el valor de I_G en el caso de conectar directamente la alimentación en la compuerta puede oscilar entre los 24 y 4,4 Amperios. Evidentemente, se requiere de una limitación de corriente para entregar en la compuerta.

Con este objetivo, se requiere colocar una red en paralelo, un divisor de voltaje para limitar la corriente que ingresará en el terminal Gate. Se plantea un divisor de voltaje con dos resistencias de 10 kOhmios, en este planteamiento, la resistencia del Gate queda en paralelo con una de las resistencias de 10 kOhmios, por lo que la resistencia equivalente de Gate se acota entre:

$$R_{Gmin} = 10000 + (R_{Gmin}) = 10000,5 \text{ Ohmios}$$

$$R_{Gmax} = 10000 + (R_{Gmax}) = 10002,7 \text{ Ohmios}$$

Del análisis anterior, es seguro asumir la resistencia equivalente para el Gate como:

$R_G = 10000$ Ohmios

Con este divisor de voltaje, se limita la corriente y el valor que entra en la compuerta es:

$$I_G = \frac{V_G}{R_G} [mA] \quad (21)$$

$$I_G = \frac{12}{10\,000} [mA]$$

$$I_G = 1,2 [mA]$$

Se utilizarán 4 MOSFET de potencia, por lo que el valor de corriente entregado para cada disparo simultáneo de los MOSFET es:

$$I_{GTotal} = 4 * \frac{V_G}{R_G} [mA]$$

$$I_{GTotal} = 4,8 [mA]$$

De esto, la potencia entregada por la fuente de 12 Voltios para el disparo de los MOSFET es:

$$P_{Total} = 4,8 [mA] * 12 [V]$$

$$P_{Total} = 48 [mW]$$

De este cálculo, el segundo regulador LM2596 es suficiente para entregar los 12 Voltios requeridos a la corriente de disparo de los 4 MOSFET de potencia.

3.3.1.3 Fuente para el ventilador

Esta fuente se encarga de alimentar continuamente el ventilador del disipador de calor colocado en los MOSFET de potencia, es importante que este dispositivo se encuentre separado de las otras dos fuentes descritas anteriormente, debido a que puede introducir ruido que provocaría transitorios no deseados tanto en la fuente de alimentación de control de bajo voltaje, como en la fuente de alimentación de disparo de los MOSFET, el motor del ventilador consume 100 mA en régimen normal, por lo que la potencia que tiene que entregar la fuente de alimentación es:

$$P_{FuenteVent} = 12 [V] * 100 [mA]$$

$$P_{FuenteVent} = 1200 [mW]$$

Adicionalmente a las tres fuentes descritas anteriormente, se debe diseñar el circuito de rectificación para alimentar a las tres fuentes, considerando la potencia que cada una consumirá, se tiene:

$$I_{Total} = I_{FuenteControl} + I_{FuentePotencia} + I_{FuenteVent} [mA] \quad (23)$$

$$I_{Total} = 1118 + 4,8 + 100 [mA]$$

$$I_{Total} = 1118 + 4,8 + 100 [mA]$$

$$I_{Total} = 1222,8 [mA]$$

Es decir, se requiere una señal rectificadas de voltaje que pueda proveer al menos 1,2 Amperios para asegurar una correcta operación del circuito cargador de baterías.

Con esta consideración, se dimensiona el secundario del devanado del transformador que se utilizará para alimentar a las 3 fuentes de alimentación, se selecciona un transformador de 120 a 24 Voltios con capacidad de 2 Amperios en el devanado secundario. Se selecciona también un puente de diodos con capacidad de 2 Amperios, y se colocan dos capacitores de 2200 uF entre los extremos del rectificador, con esto se provee un voltaje de acuerdo con la expresión:

$$V_{alimentación} = V_{RMS} * \sqrt{2} [V] \quad (24)$$

Donde

V_{RMS} Es el voltaje RMS del secundario del transformador

Por lo que el Voltaje de alimentación para los 3 dispositivos integrados LM2596 es:

$$V_{alimentación} = 24 * \sqrt{2} [V]$$

$$V_{alimentación} = 33.94 [V]$$

Y se coloca un fusible para proteger la alimentación total del circuito en caso de alguna falla. Toda esta descripción, se puede apreciar en el siguiente diagrama esquemático ilustrado a continuación en la Figura 2-:

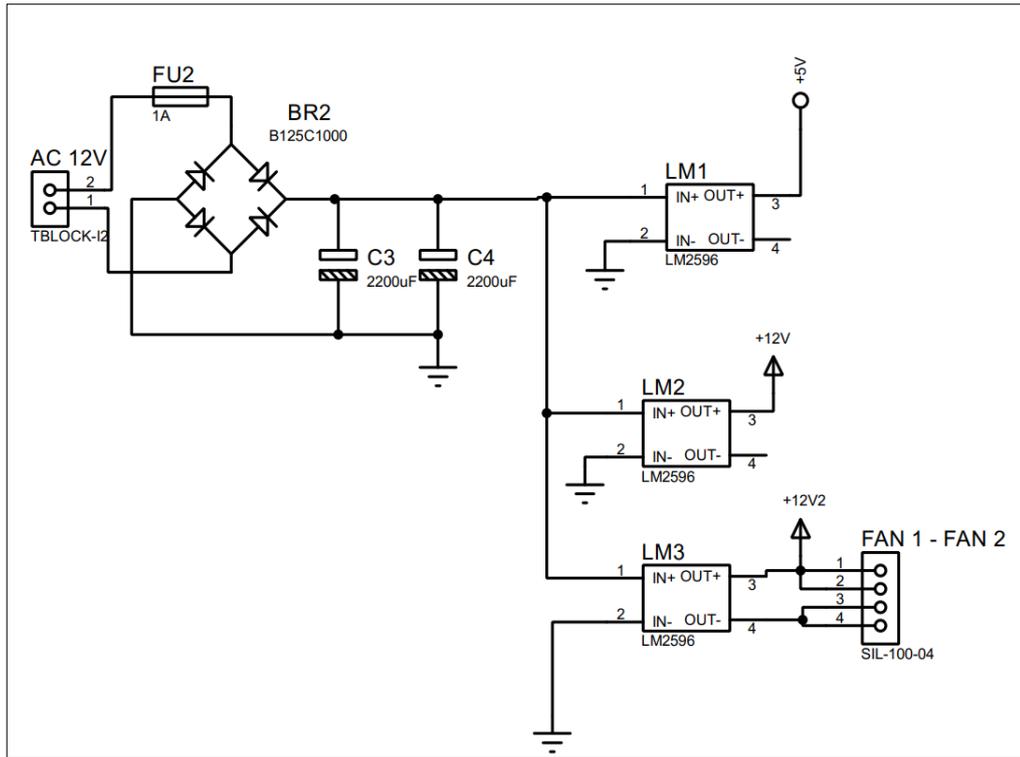


Figura 2-3. Diseño de las fuentes de alimentación

Fuente: (Jiménez B., Rosero E., 2019)

3.3.2 Circuito de potencia

Una vez establecida la alimentación para los circuitos del cargador de baterías híbridas, el siguiente paso en la etapa de diseño es el circuito para realizar la carga de la batería, se ha puesto especial atención y cuidado en el desarrollo de esta etapa, debido a los altos voltajes que se manejan, así como la cantidad de energía a administrar.

De la información analizada anteriormente, se conoce que la batería del auto híbrido a cargar está constituida por 28 celdas de Ni-MH, por lo que se define en primer lugar el voltaje total de la batería como:

$$V_{bateria} = 28 * V_{ni-mh} [V]$$

Donde:

$V_{bateria}$ es el voltaje entre los bornes de la batería híbrida

V_{ni-mh} es el voltaje de una celda individual de níquel-metal hidruro, se conoce que cada celda individual está compuesta de 6 celdas de 1,2 Voltios, por lo que el voltaje total de la batería esta dado por:

$$V_{bateria} = 28 * 6 * 1,2 [V]$$

$$V_{bateria} = 201,6 [V]$$

Es decir, 201,6 Voltios es el voltaje de punto medio de descarga de acuerdo con lo manifestado previamente. Se selecciona, entonces, el valor de voltaje superior para realizar la carga de la batería de la misma curva característica,

$$V_{ni-mh_{max}} = 1,4 [V]$$

Con esto, el voltaje superior al que debe llegar el conjunto de 28 celdas es:

$$V_{bateria_{max}} = 28 * 6 * 1,4 [V]$$

$$V_{bateria_{max}} = 235,2 [V]$$

Cuando la carga llegue a dicho umbral, el cargador debe desconectar la alimentación de corriente.

Otra variable para determinar es la cantidad de corriente que se entregará a la batería, conociendo que la capacidad es de 6,5 Ah; y, que el tiempo preferido de descarga es de 2 a 3 horas, se escoge la carga en el menor tiempo posible, pero que no afecta los ciclos de vida útil, es decir, 2 horas. Para esto, la razón de carga es $C/2$, por lo que se tiene:

$$I_{carga} = 3,5 [A]$$

El caso de mayor potencia entregada a la batería sucede cuando se entrega el $V_{bateria_{max}}$ con la I_{carga} establecida, es decir, la mayor potencia será:

$$P_{max} = V_{bateria_{max}} * I_{carga} [Watts] \quad (25)$$

$$P_{max} = 823,2 [Watts]$$

Con estos valores, se procede con el dimensionamiento de los dispositivos a utilizar el puente de carga.

El flujo de potencia debe partir desde la corriente alterna del tomacorriente, ser rectificadas y entregadas a la batería, el control de potencia se hará en la cantidad de corriente con una modulación de ancho de pulso (PWM) en el dispositivo de conmutación.

Siguiendo este orden se procede en primer lugar con el diseño de un puente rectificador de onda completa.

Al tratarse de una carga de voltaje variable y corriente constante, es mandatorio elevar el voltaje de alimentación por encima del valor de tensión máxima de la batería, para facilitar el flujo de corriente hacia la batería. Por lo que se coloca un transformador con una relación 1:2, y a continuación un puente de diodos con capacidad de conducir 4 Amperios, y dos capacitores entre los externos del puente de 3300 microfaradios, para estabilizar la onda de voltaje rectificado como se puede apreciar en la Figura 3- a continuación:

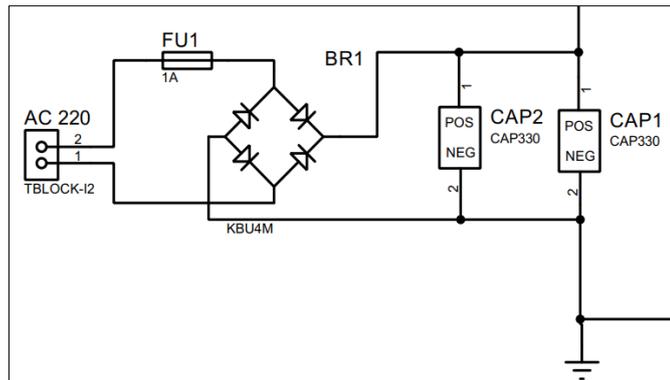


Figura 3-3. Rectificador de onda completa

Fuente: (Jiménez B., Rosero E., 2019)

A partir de las fórmulas anteriores, el voltaje de DC rectificado entregado por el puente de diodos es:

$$V_{DC} = V_{RMS} * \sqrt{2} [V] \quad (26)$$

Donde:

V_{DC} es el voltaje rectificado entregado a la salida de los capacitores

V_{RMS} es el voltaje RMS de la señal de voltaje del transformador, se tiene entonces que:

$$V_{DC} = V_p * \sqrt{2} [V]$$

$$V_{DC} = 311,1 [V]$$

Para realizar el control de la corriente entregada durante la carga a la batería, se selecciona el MOSFET de potencia IRF830, capaz de manejar hasta 500 V de voltaje entre sus terminales, y hasta 4,5 Amperios continuos. La hoja de especificaciones indica una resistencia interna de 1,5

Ohmios. Junto con la corriente de carga a aplicar, la potencia que disipará el MOSFET en forma de calor en la juntura es:

$$P_{MOSFET} = I^2 * R [Watts] \quad (27)$$

$$P_{MOSFET} = 3,5^2 * 1,5 [Watts]$$

$$P_{MOSFET} = 3,5^2 * 1,5 [Watts]$$

$$P_{MOSFET} = 18,4 [Watts]$$

Este es un parámetro importante a considerar, debido a que, durante la carga, se disipará calor en la carcasa del MOSFET, este calor debe ser disipado y controlado para no provocar una avalancha térmica durante la conducción del MOSFET, por este razonamiento, se decide utilizar 4 MOSFET de potencia de las mismas características, entendiendo que la corriente se dividirá en 4 y la potencia a disipar cada semiconductor reducirá, así se tiene:

$$P_{MOSFET} = 0,875^2 * 1,5 [Watts]$$

$$P_{MOSFET} = 1,15 [Watts]$$

Además, los MOSFET se deben colocar en un disipador de calor para garantizar su correcta operación.

Un sensor de corriente de efecto Hall se usa para estimar la cantidad de carga eléctrica ingresada en la batería, así como un capacitor de 3300 microfaradios en paralelo con los terminales de la batería híbrida, esto se hace para suavizar el efecto de la conmutación del MOSFET durante la operación, y reducir el ruido para estimar de mejor manera la corriente que ingresa. Adicionalmente, un relé se coloca en uno de los terminales del cargador para poder conectar y desconectar el cargador desde la batería a voluntad. Este relé se dispara con un transistor 2N2904, en configuración de conmutador, mediante el pin RL del microcontrolador se puede activar y desactivar, se coloca un diodo 1N4001 conectado en paralelo a la bobina de relé para evitar la inducción de voltaje en los extremos de la bobina del relé, finalmente se coloca un fusible en una de las terminales de carga, para prevenir cualquier fallo asociado a sobre corrientes.

Todo lo descrito se puede ilustrar en la Figura 4- a continuación:

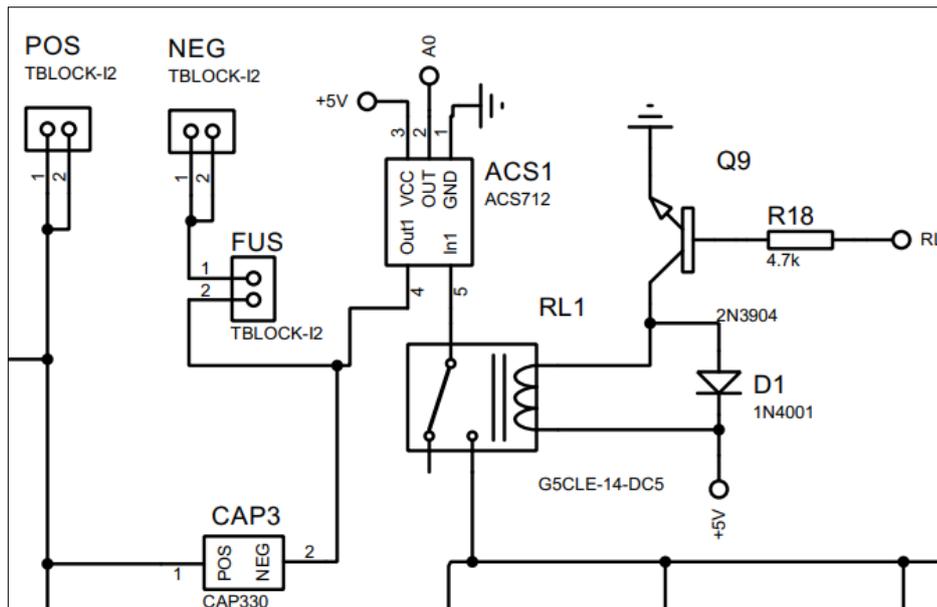


Figura 4-3. Capacitor de filtro y relé de protección en los terminales de carga

Fuente: (Jiménez B., Rosero E., 2019)

El diseño de las resistencias del disparo para los MOSFET de potencia, fueron cubiertos en el apartado anterior. Sin embargo, se debe especificar que, para el disparo simultáneo, se utiliza un relé de estado sólido compuesto por un opto transistor 4N35, de esta manera se puede mantener aislado el circuito de control (microcontrolador), del circuito de alto voltaje, esto se puede apreciar en la Figura 5- a continuación:

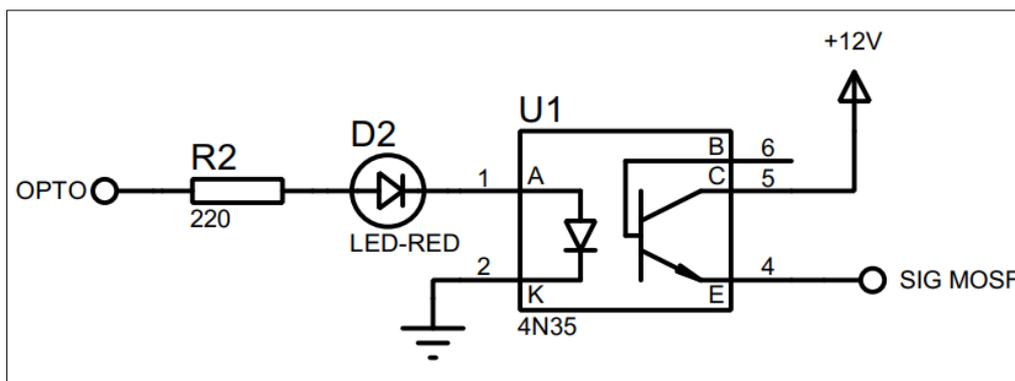


Figura 5-3. Relé de estado sólido

Fuente: (Jiménez B., Rosero E., 2019)

Se ve en la Figura 5-, que el opto transistor recibe las señales de 5 Voltios de encendido y apagado desde el Arduino, y cierra el voltaje de la fuente de 12 V que fue diseñada previamente con el

objetivo de conectar los MOSFET de potencia. De esta manera, se asegura un total aislamiento eléctrico entre las etapas de baja y alta potencia.

Los MOSFET de potencia con las resistencias de disparo se pueden apreciar en la Figura 6- a continuación mostrada:

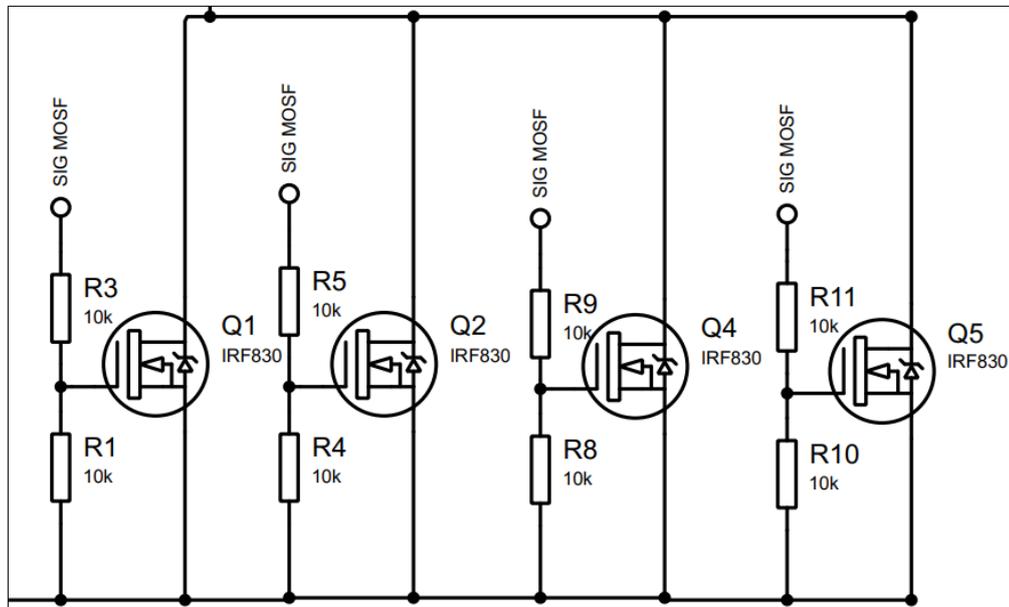


Figura 6-3. Etapa de MOSFET de potencia

Fuente: (Jiménez B., Rosero E., 2019)

Como se manifestó anteriormente, la cantidad de corriente de carga se controlará mediante la aplicación de una modulación de ancho de pulso (PWM), es decir, para el caso de la aplicación de una frecuencia de conmutación constante durante el ciclo de encendido y apagado de los MOSFET, el tiempo que se encuentren encendidos (cerrando el circuito de carga) determina la cantidad de corriente que ingresa en la batería, si se aumenta en ciclo de trabajo del ancho de pulso, la corriente se incrementa y viceversa.

La ventaja de realizar esta configuración de puente de conmutadores es que se controla la corriente únicamente a nivel de software, sin requerir cambios en el hardware.

A partir de las pruebas realizadas, se determinó el valor de la variable de ancho de pulso requerida para ingresar la corriente de carga deseada $C/2$, este valor dentro de la programación se configuró como:

Ciclo de trabajo = 35%

Para monitorear el valor del voltaje de carga entre las terminales de la batería híbrida, es necesario colocar un sensor de voltaje que pueda ser interpretado por el conversor analógico digital del Arduino.

Con este objetivo, se diseñó un divisor de tensión para reducir el voltaje entre los terminales de carga, considerando lo siguiente:

$V_{Arduino_max} = 5 [V]$ es el voltaje máximo que puede ser leído por el conversor A/D del Arduino

Se asume el voltaje máximo del cargador que puede ser entregada en vacío:

$$V_{carga_max} = 311,1 [V]$$

Se debe escalar este voltaje máximo de carga, mediante un factor:

$$k = \frac{V_{carga_max}}{V_{Arduino_max}} \quad (28)$$

$$k = \frac{311,1}{5}$$

$$k = 62,2$$

El divisor de voltaje debe reducir 62,2 veces el voltaje de carga para poder medirlo, con esta consideración, la fórmula del divisor de tensión como el indicado en la Figura 7-, para dos valores de resistencia expresa:

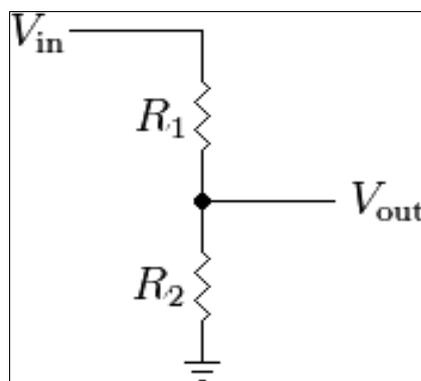


Figura 7-3. Divisor de voltaje simplificado

Fuente: (Jiménez B., Rosero E., 2019)

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} * V_{in} \quad (29)$$

De lo manifestado anteriormente se conoce:

$$V_{out} = V_{Arduino_max} = 5 [V]$$

$$V_{in} = V_{carga_max} = 311,1 [V]$$

$$\frac{1}{k} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$\frac{1}{62,2} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Se tiene entonces la expresión requerida para hacer el dimensionamiento de los componentes resistivos. Es necesario recordar, que el voltaje a reducir es relativamente alto, por lo que la corriente que circulará por el divisor de tensión se debe reducir con un juego de resistencias altas, en el orden de los Mega Ohmios. De este razonamiento, se puede asumir:

$$R_1 = 6 [M \text{ Ohm}]$$

Con ese valor, la ecuación de divisor de voltaje entrega el otro valor de la resistencia:

$$R_2 = 98,039 [k \text{ Ohm}]$$

Por lo que se asume un valor de resistencia comercial, entonces:

$$R_2 = 100 [k \text{ Ohm}]$$

De nuevo, suponiendo el mayor valor de voltaje del cargador de batería, se tiene la corriente máxima que circulará por el divisor de voltaje:

$$I_{divisor_max} = \frac{V_{carga_max}}{R_{total}} [A] \quad (30)$$

Donde:

$$R_{total} = R_1 + R_2 \quad (31)$$

Por lo tanto:

$$I_{divisor_max} = \frac{311,1}{6\ 100\ 000} [A]$$

$$I_{\text{divisor_max}} = 51 [\mu A]$$

Con esta corriente, se determina la potencia disipada en las resistencias del divisor para dimensionar el vatiaje mínimo de cada una:

$$W_{R1} = I^2 * R_1 [Watts] \quad (32)$$

$$W_{R2} = I^2 * R_2 [Watts] \quad (33)$$

Para los valores dimensionados se tiene:

$$W_{R1} = 15,606 [m Watts]$$

$$W_{R2} = 0,26 [m Watts]$$

Se escoge entonces valores de ¼ de Watt para las resistencias del divisor de voltaje.

A continuación, es necesario conocer el valor del voltaje medido por el conversor digital analógico. El Arduino posee un conversor de 10 bits integrado, eso quiere decir, que de toda la escala de alimentación del microcontrolador (5 Voltios), esta se divide en 1024 partes, por ende, el paso del conversor está dado por:

$$Step_{\text{conv_arduino}} = \frac{V_{\text{fuente}}}{2^n} [V]$$

$$Step_{\text{conv_arduino}} = \frac{5}{2^{10}} [V]$$

$$Step_{\text{conv_arduino}} = 4,883 [mV]$$

Aplicando el factor de conversión de 62,2 utilizado por el divisor de voltaje del sensor calculado previamente, se tiene que cada paso del conversor representa en la batería híbrida:

$$Step_{\text{batería}} = Step_{\text{conv_arduino}} * 62,2 [V]$$

$$Step_{\text{batería}} = 0,304 [V]$$

Es decir, cada bit que se incrementa en la lectura del Arduino representa un cambio de 0,304 Voltios en la batería híbrida, lo que da una sensibilidad definida por:

$$Sensibilidad = \frac{Step_{\text{batería}}}{V_{\text{batería_max}}} \% \quad (34)$$

$$\text{Sensibilidad} = 0.098 \%$$

Se puede decir que es una excelente sensibilidad, apropiada para detectar cualquier mínimo cambio de voltaje en la batería, y que provee total control sobre el proceso de carga.

Al haber seleccionado el voltaje de corte en 235,2 Voltios, eso se traduce en el valor:

$$\text{Valor}_{\text{corte}} = \frac{V_{\text{batería}_{\text{max}}}}{\text{Step}_{\text{batería}}} \quad (35)$$

$$\text{Valor}_{\text{corte}} = \frac{235,2}{0,304}$$

$$\text{Valor}_{\text{corte}} = 773,7$$

Entonces, cuando el valor del conversor analógico digital regrese un valor de 774 o superior, se corta la carga de la batería, y se procede con la notificación de carga completa.

El diseño del sensor de voltaje se ilustra en la Figura 8- a continuación:

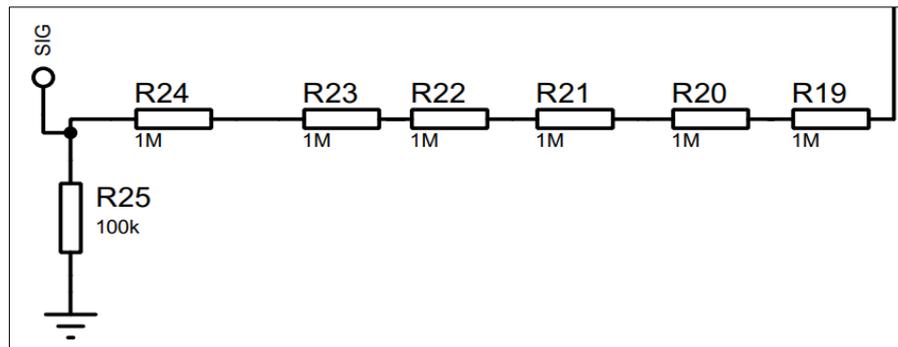


Figura 8-3. Divisor de voltaje para medir el voltaje de la batería híbrida

Fuente: (Jiménez B., Rosero E., 2019)

3.3.3 Circuito de comunicación

Uno de los requerimientos del proyecto es el desarrollo de una interfaz de comunicación que sea capaz de enviar notificaciones sobre el estado de carga, para lograr este objetivo, en el diseño se ha considerado la integración de un módulo de comunicación inalámbrica; en este caso el circuito integrado SIM808L.

El circuito como se indicó anteriormente este circuito integrado se alimenta con 5 Voltios de corriente continua, y se comunica mediante el protocolo UART (transmisión asíncrona), con una velocidad del puerto de 9600 baudios.

Para el envío de las órdenes de mensajes a enviar, se utilizan comandos AT. La Figura 9- a continuación ilustra el diseño esquemático del circuito, en donde se muestra la alimentación y los buses de comunicación a ser utilizados para recibir los mensajes a ser comunicados.

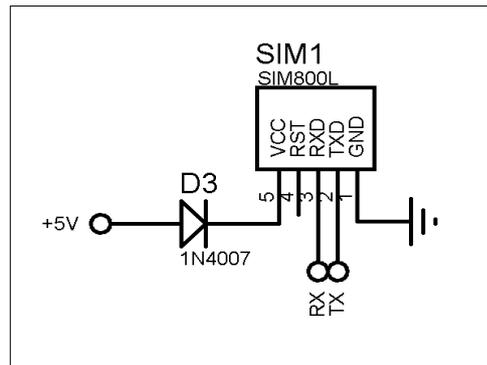


Figura 9-3. Circuito de comunicación inalámbrica

Fuente: (Jiménez B., Rosero E., 2019)

El algoritmo de envío de datos es el ilustrado en la Figura 10-:

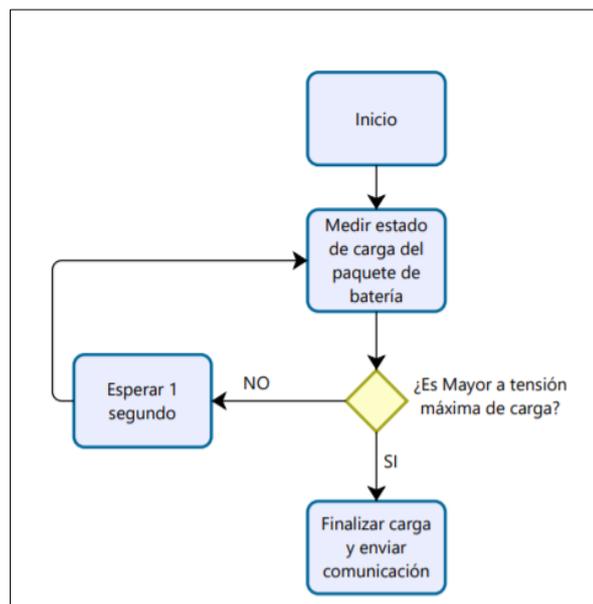


Figura 10-3. Algoritmo de notificación de estado de carga

Fuente: (Jiménez B., Rosero E., 2019)

3.3.4 Integración de las etapas en un diseño completo

Una vez diseñadas las etapas por separado, se debe integrarlas dentro de un diseño que abarque todo el cargador; por lo que, adicional lo expuesto anteriormente, es necesario considerar algunos elementos electrónicos para habilitar la manipulación del cargador. A continuación, se describen estos circuitos adicionales, y el diseño final integrado.

Se ha diseñado un circuito para el botón para de RESET al circuito en el caso de requerir reiniciar el cargador, este botón está conectado directamente al pin 13 de Arduino y al ser presionado, desconecta los circuitos de potencia y restablece las condiciones iniciales de carga, la Figura 11- a continuación, ilustra la implementación de este botón:

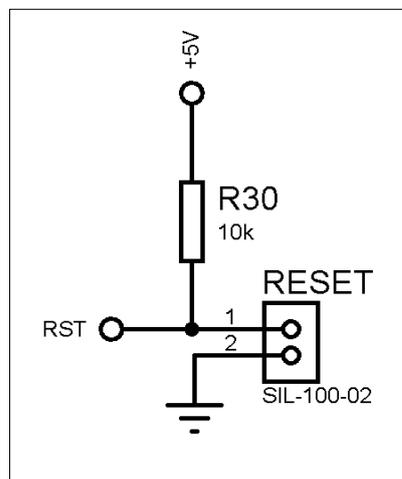


Figura 11-3. Circuito de botón de RESET del cargador

Fuente: (Jiménez B., Rosero E., 2019)

Otra etapa agregada es el buzzer, se trata de un indicador sonoro que oscila de acuerdo con la frecuencia emitida por el Arduino, este oscilador se activa mediante un circuito transistorizado, en el cual el transistor está configurado como un conmutador que puede estar encendido o apagado. A continuación, se puede ver la configuración para el funcionamiento del buzzer, el pin de activación se encuentra conectado al pin 1 del Arduino conforme la Figura 12-:

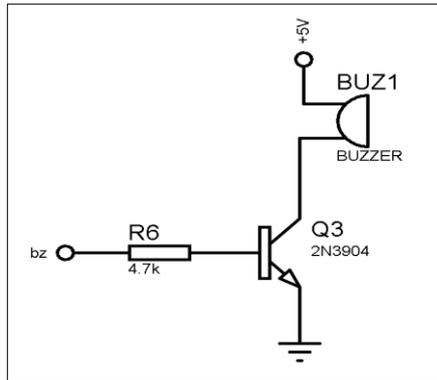


Figura 12-3. Circuito de control del buzzer

Fuente: (Jiménez B., Rosero E., 2019)

Se agregan botones para el control de la carga (activación, desactivación y un botón programable), estos botones se manejarán con botoneras externas que se colocarán en la caja del cargador, la figura a continuación muestra el circuito diseñado para este fin, los pines 22, 23 y 24 del Arduino han sido seleccionados para este fin como se aprecia en la Figura 13- a continuación:

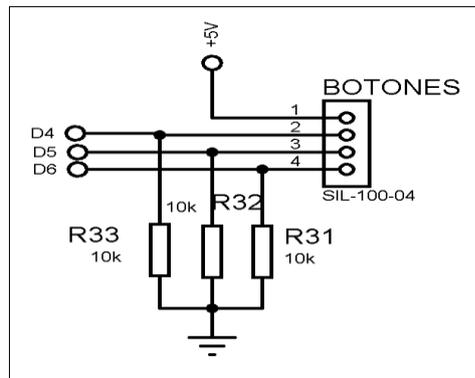


Figura 13-3. Circuitos de botoneras para control de carga

Fuente: (Jiménez B., Rosero E., 2019)

Es importante hacer una retroalimentación visual del estado del cargador, para esto se integran luces LED, una para indicar el estado del cargador (encendido – apagado), el estado de carga (cargando – no cargando) y uno para indicar un posible estado de error (error – no error), una luz led al igual que un botón, se ha dejado programable en caso de requerirlo; para este propósito se seleccionan y conectan los pines 25 al 28 del Arduino Nano, la Figura 14- a continuación ilustra este diseño electrónico:

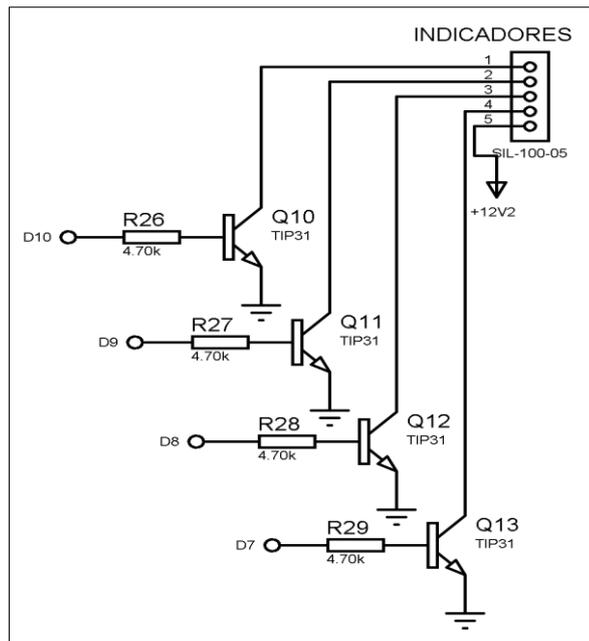


Figura 14-3. Circuito de control de las luminarias LED de notificación

Fuente: (Jiménez B., Rosero E., 2019)

Para las conexiones que se deben realizar externas, se colocan dos conectores y un fusible como protección, esto se encuentra ilustrado en la Figura 15- a continuación mostrada:

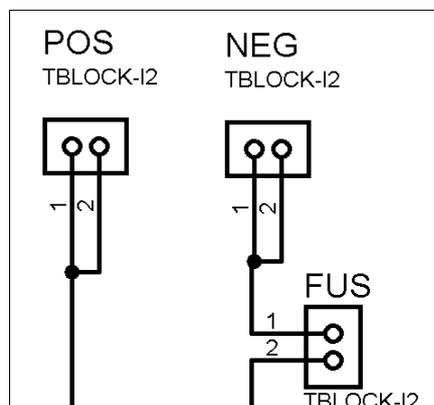


Figura 15-3. Conectores externos de cable y porta fusibles

Fuente: (Jiménez B., Rosero E., 2019)

Finalmente, con las conexiones antes enumeradas; esquemáticamente, el Arduino presenta las siguientes conexiones indicadas a continuación:

- Bz: Señal de control para el buzzer;

- A0: Señal de ingreso del sensor de corriente;
- SIG: Señal de ingreso del sensor de voltaje;
- RST: Señal del botón de RESET manual;
- GND: Conexión a tierra del circuito;
- +5V: Señal de alimentación del Arduino;
- RX: Señal de recepción de los datos UART para el módulo de comunicación inalámbrica;
- TX: Señal de transmisión de los datos UART para el módulo de comunicación inalámbrica;
- D4, D5 y D6: Señales de ingreso de los botones de inicio, fin y botón programable;
- D7, D8, D9, D10: Señales de control de las luces LED del circuito;
- OPTO: Señal de control para el optoacoplador;
- RL: señal de control para conectar y desconectar el relé de ingreso del alto voltaje.

Todos los puertos antes descritos, se pueden apreciar en la Figura 16- a continuación ilustrada:

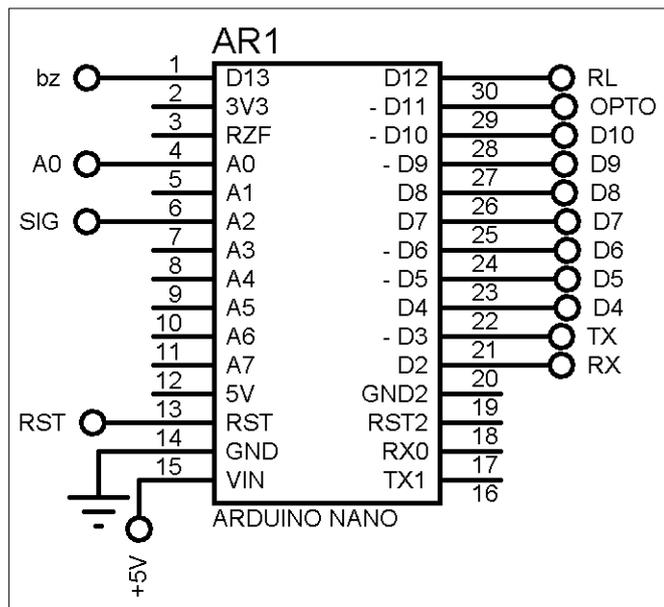


Figura 16-3. Diagrama esquemático del Arduino

Fuente: (Jiménez B., Rosero E., 2019)

Un plano esquemático de todo el diseño se muestra en la Figura 17-:

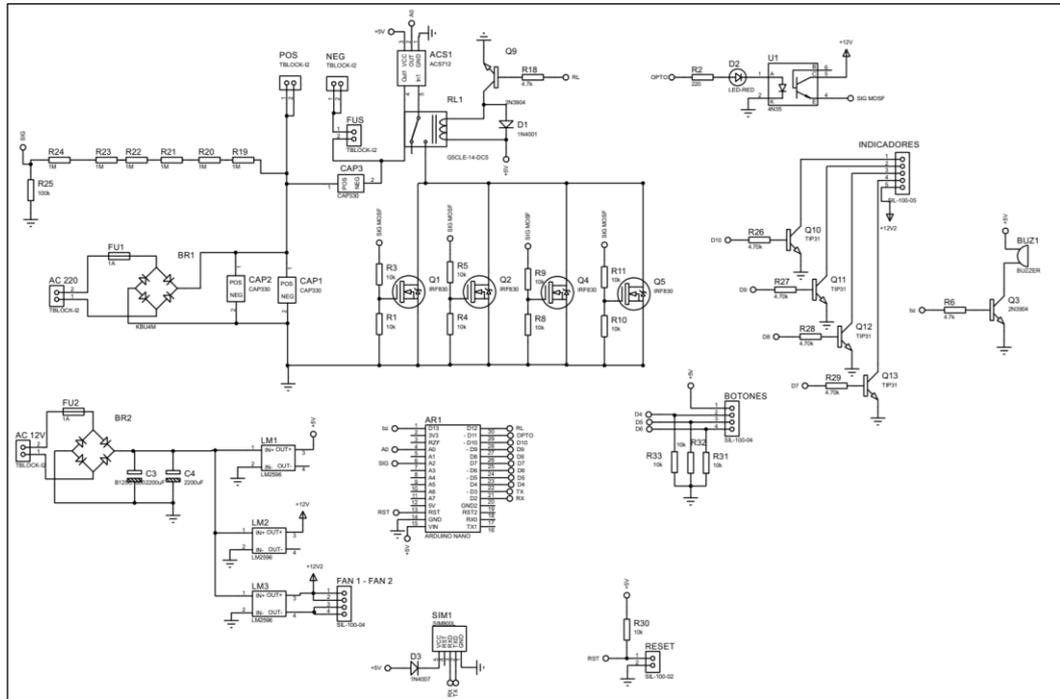


Figura 17-3. Diseño esquemático de todo el proyecto

Fuente: (Jiménez B., Rosero E., 2019)

A continuación, se debe organizar los elementos y las pistas de tal manera que ocupen el menor espacio posible, pero manteniendo los espacios mínimos recomendados por las reglas de ruteo para asegurar el aislamiento de voltaje y con el grosor adecuado de las pistas de acuerdo con el flujo de corriente requerido.

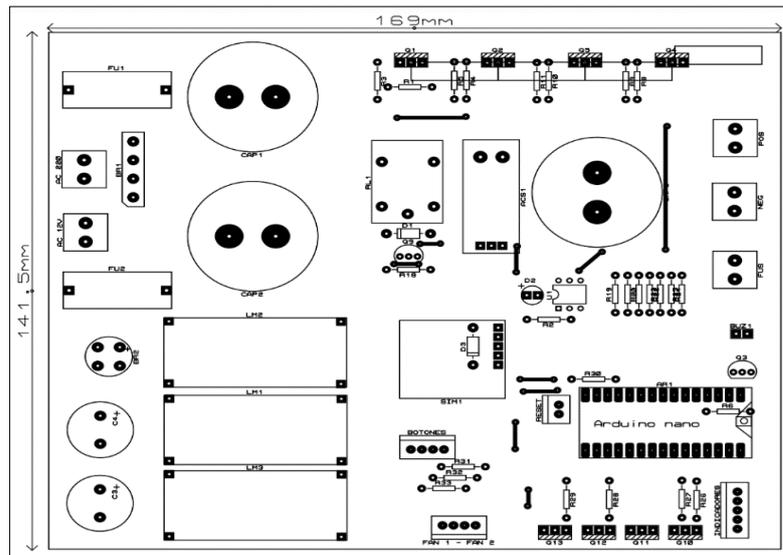


Figura 18-3. Vista superior del posicionamiento de los elementos

Fuente: (Jiménez B., Rosero E., 2019)

La Figura 18- ilustrada a continuación, muestra la vista superior de posicionamiento de los elementos del cargador de baterías híbrido; incluyendo las medidas finales de la placa a elaborar.

La vista inferior del cargador de baterías muestra los diseños de las pistas, se puede apreciar que las pistas de la etapa de potencia son más gruesas que aquellas pistas utilizadas para alimentar las etapas de control y comunicación de datos, según lo ilustrado en la Figura 19-:

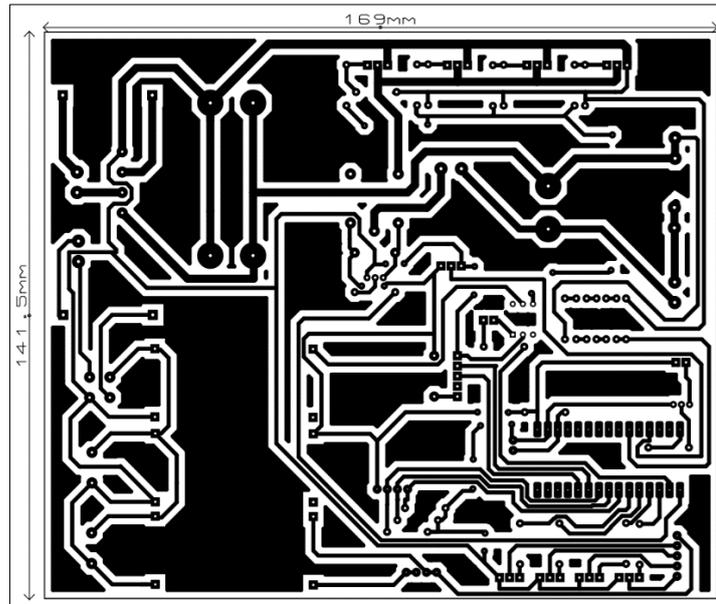


Figura 19-3. Vista inferior de las pistas del circuito cargador de baterías

Fuente: (Jiménez B., Rosero E., 2019)



Figura 20-3. Vista 3D superior del circuito diseñado

Fuente: (Jiménez B., Rosero E., 2019)

La placa, una vez diseñada en el entorno informático, se puede renderizar en 3 dimensiones, para conocer de manera previa, cómo se organizan los elementos y las pistas que fueron descritas previamente, las Figura 20- y Figura 21- a continuación muestran la vista superior, vista inferior y vista lateral del entorno de diseño una vez orientados los componentes y diseñadas las pistas:

A continuación, la vista inferior del diseño de las pistas en 3D:

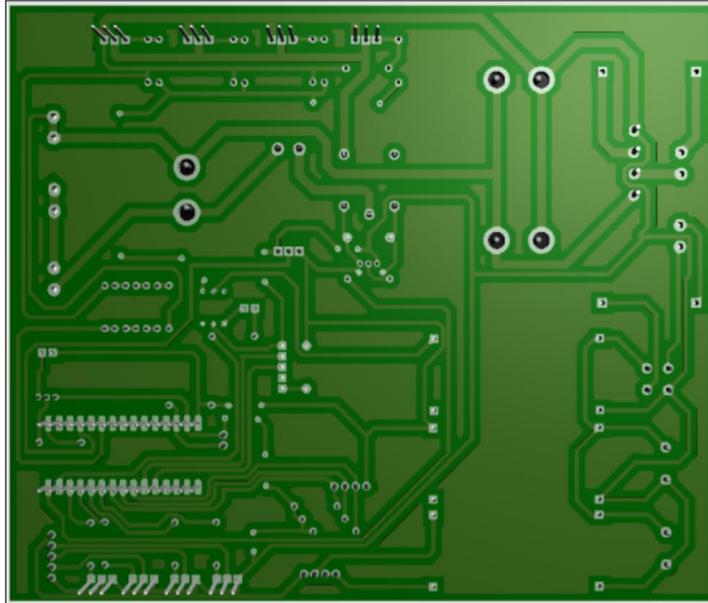


Figura 21-3. Vista 3D inferior del circuito diseñado

Fuente: (Jiménez B., Rosero E., 2019)

Debido a la cantidad de energía a ser manejada, es importante dimensionar el calibre de los conductores a ser utilizados en la entrada de corriente alterna, para esto se requiere conocer la corriente máxima que pudiera circular en el devanado primario del transformador por donde ingresa la energía, de los cálculos anteriores, se conoce que la potencia máxima que consumirá el cargador está dada por

$$P_{total_{cargador}} = P_{circuito_{control}} + P_{circuito_{potencia}} \quad (36)$$

De los cálculos antes realizados, se conoce:

$$P_{circuito_{control}} = P_{fuente_{control}} + P_{circuito_{arduino}} + P_{circuito_{ventilador}} \quad (37)$$

$$P_{circuito_{control}} = 6838 [mW]$$

Así mismo, se conoce del circuito de potencia que, a plena carga, puede llegar hasta:

$$P_{circuito_{potencia}} = 823,2 [W]$$

Por lo tanto, la potencia total que pudiera consumir el cargador desde el devanado secundario es:

$$P_{total_cargador} = 830,2 [W]$$

Asumiendo las pérdidas de 5% en el núcleo del transformador, y sobredimensionando un 10%, la potencia máxima que pudiera absorber el primario del transformador sería:

$$P_{cargador_entrada} = 954,5 [W]$$

Conociendo un voltaje de alimentación de 120 Voltios RMS, la corriente máxima que puede circular por el primario del cargador es:

$$I_{entrada_cargador} = \frac{P_{cargador_entrada}}{V_{alimentación}} [A] \quad (38)$$

$$I_{entrada_cargador} = 7,95 [A]$$

A partir de la tabla de calibres de conductores, se debe utilizar un cable de calibre 16-AWG (10 Amperios) o inferior para asegurar un correcto aislamiento en los cables de ingreso de energía.

3.4 Construcción del equipo

Al completar los cálculos y diseños del cargador, así como la placa del circuito, esta debe ser implementada físicamente de acuerdo con los parámetros escogidos, para lo cual, la Figura 22- y Figura 23- muestran la consecución de esta etapa del proyecto, comenzando por la impresión de la placa del cargador:

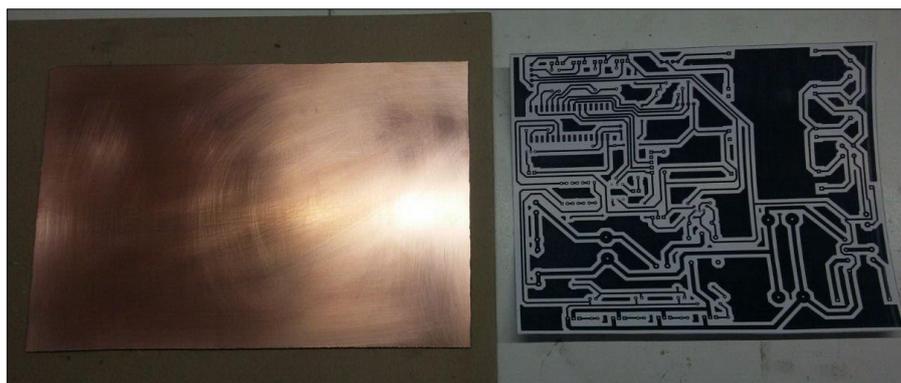


Figura 22-3. Impresión y foto transferencia del circuito impreso

Fuente: (Jiménez B., Rosero E., 2019)

El siguiente paso es realizar el proceso de desgaste del cobre que no se encuentra cubierto por el diseño del circuito impreso, obteniendo la placa con las pistas cubiertas con el material termo transferible como se aprecia en la figura a continuación ilustrada:

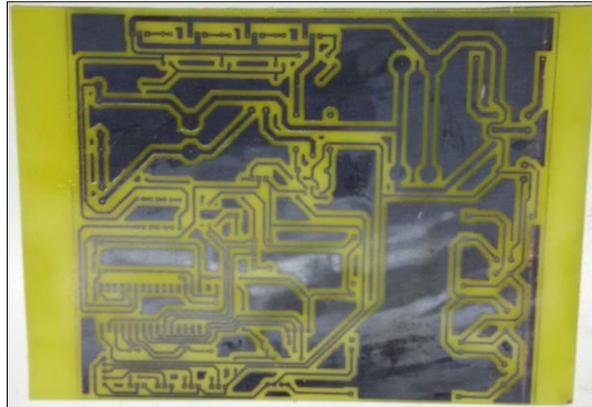


Figura 23-3. Circuito con las pistas cubiertas de material termo transferible

Fuente: (Jiménez B., Rosero E., 2019)

A continuación, se debe retirar la materia termo transferible de la placa para que las pistas de cobre queden descubiertas, y a continuación, realizar las perforaciones para colocar los componentes, el resultado se puede apreciar en la siguiente figura:

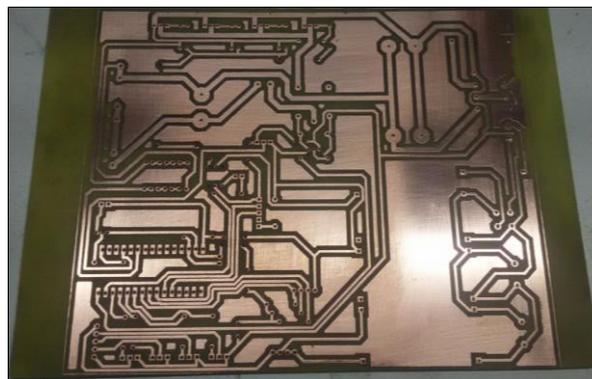


Figura 24-3. Vista inferior de la placa con pistas de cobre y perforaciones realizadas

Fuente: (Jiménez B., Rosero E., 2019)

Luego, se ubican los componentes de acuerdo con la vista superior que se definió previamente, esta situación se ilustra en la Figura 25-:

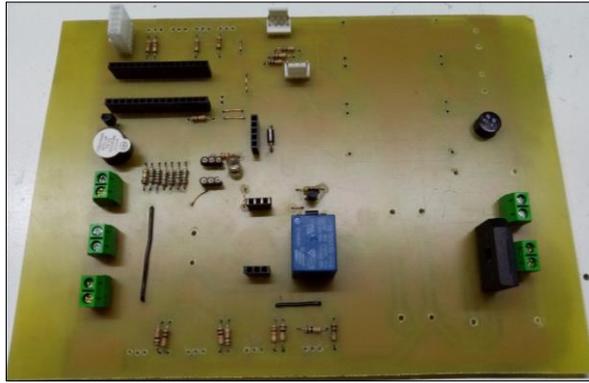


Figura 25-3. Posicionamiento físico de los componentes

Fuente: (Jiménez B., Rosero E., 2019)

Posteriormente, se sueldan los componentes en la placa, como una medida extra de seguridad, se coloca estaño adicional en las placas de la etapa de potencia, esto se realiza con la finalidad de aumentar el volumen de material conductor disponible, y así disminuir la temperatura generada, una vez finalizada la suelda de los componentes, la vista inferior de la placa se presenta a continuación:

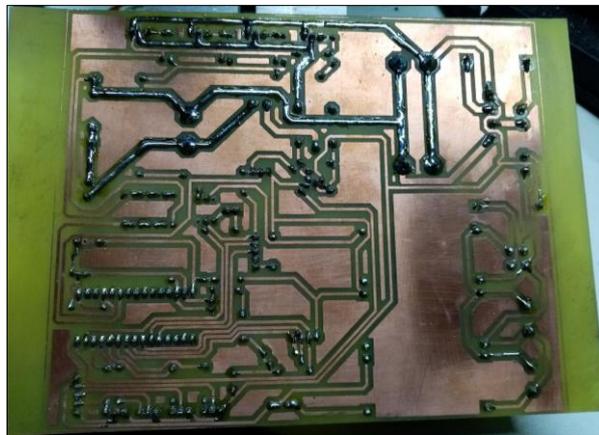


Figura 26-3. Vista inferior de la placa con los elementos soldados

Fuente: (Jiménez B., Rosero E., 2019)

Una vez finalizada la implementación, la placa se ve de la manera que está ilustrada a continuación en la Figura 27-:

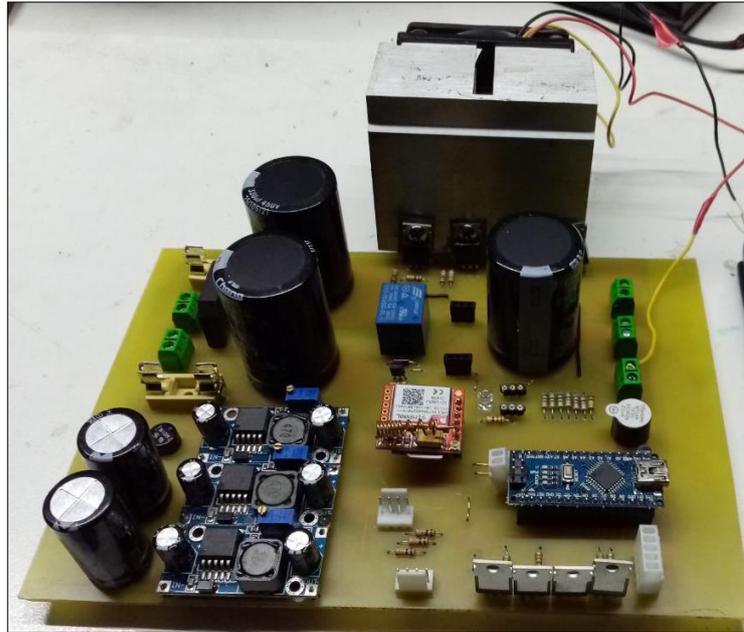


Figura 27-3. Placa del cargador de baterías híbrido finalizada

Fuente: (Jiménez B., Rosero E., 2019)

En la interfaz de conexión a los paquetes de baterías, se utiliza un conector tipo “J” de carga de baterías de autos eléctricos, diseñado para el estándar SAE J1772 (Americano), como se puede apreciar en la Figura 28- a continuación:



Figura 28-3. Conectores SAE J1772

Fuente: (Jiménez B., Rosero E., 2019)

Todo el circuito implementado, así como los conectores, botoneras, cables de conexión externa, deben ser colocados en un contenedor que los proteja del medio ambiente. Para este efecto, se ha escogido un gabinete metálico de pared diseñado para servicio ligero, con protección IP 41, y que cumple con la norma NTE INEN 2568; las características técnicas del gabinete se encuentran en

los anexos del presente documento. El ensamble del cargador con los accesorios originales se puede apreciar en la Figura 29- y la Figura 30- a continuación ilustradas



Figura 29-3. Circuito del cargador de baterías híbrido dentro del armario eléctrico

Fuente: (Jiménez B., Rosero E., 2019)



Figura 30-3. Conectores externos del cargador de baterías

Fuente: (Jiménez B., Rosero E., 2019)

3.5 Pruebas y funcionamiento

Una vez implementado el circuito, se arman conjuntos de 28 celdas de baterías de Ni-Mh para probar el cargador y verificar que los parámetros escogidos permitan el funcionamiento conforme lo esperado, en las figuras a continuación se pueden ver los resultados de algunas de las pruebas realizadas en distintos paquetes de baterías:

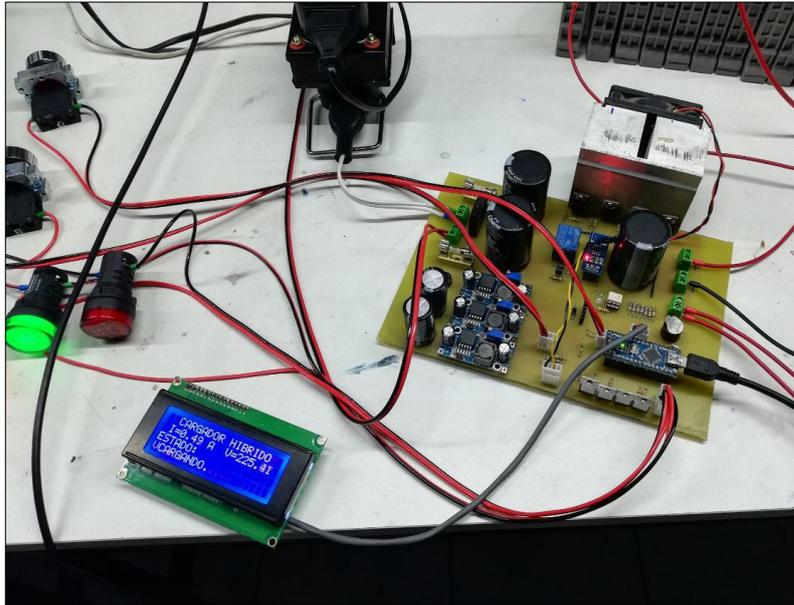


Figura 31-3. Prueba de carga de batería de 28 celdas

Fuente: (Jiménez B., Rosero E., 2019)

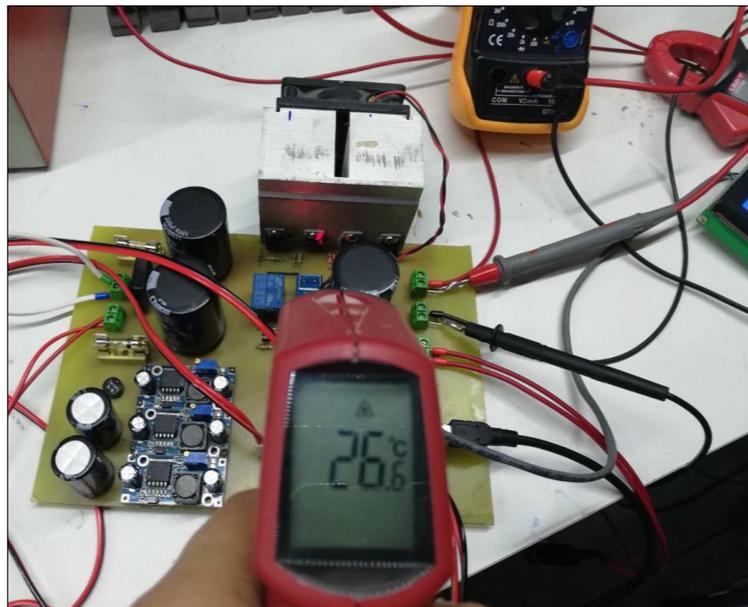


Figura 32-3. Temperatura del disipador luego de media hora de funcionamiento

Fuente: (Jiménez B., Rosero E., 2019)

Un parámetro importante para considerar es la temperatura de los conmutadores luego de un prolongado uso, en la Figura 32-, se ve que la temperatura luego de media hora de uso, no supera los 26 grados Centígrados.

3.6 Análisis de resultados

Una vez calibrado el equipo con las pruebas de funcionamiento, en este apartado, se procede a revisar de un ciclo completo de carga y analizar los resultados obtenidos, determinando si cumplen con las características deseadas, para esto, se implementa un banco de pruebas como el mostrado en la Figura 33- a continuación:

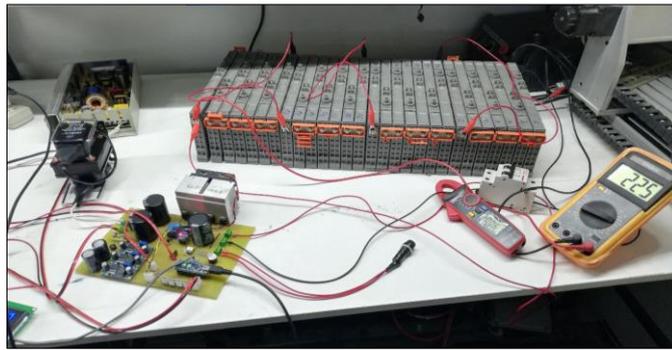


Figura 33-3. Banco de pruebas para carga y descarga

Fuente: (Jiménez B., Rosero E., 2019)

Como se ve, además de la placa del cargador de baterías híbrido, se utilizaron dispositivos de medición externa: una pinza amperimétrica para medir la corriente, y un multímetro digital para medir el voltaje de todo el paquete de celdas de Ni-Mh, adicionalmente, se incorporó durante la prueba, una medición de la temperatura del paquete de baterías para saber que no se excede la temperatura límite durante el proceso de carga. Los datos fueron registrados una muestra cada segundo desde la carga.

Es importante indicar que el paquete de prueba de baterías no es de un auto nuevo, por lo que la capacidad de almacenamiento de carga es reducida si se compara con la capacidad de almacenamiento de un paquete de baterías de un auto nuevo, este factor es importante a tomar en cuenta porque es predominante para establecer el tiempo de carga y la cantidad de corriente que puede aceptar.

Para comenzar el experimento, se escogieron las celdas con mayor capacidad de carga y se las conecta de tal manera que el valor de tensión del paquete comienza en 183,4 Voltios aproximadamente, representado un valor promedio de 1,09 [V] por celda de Ni-Mh.

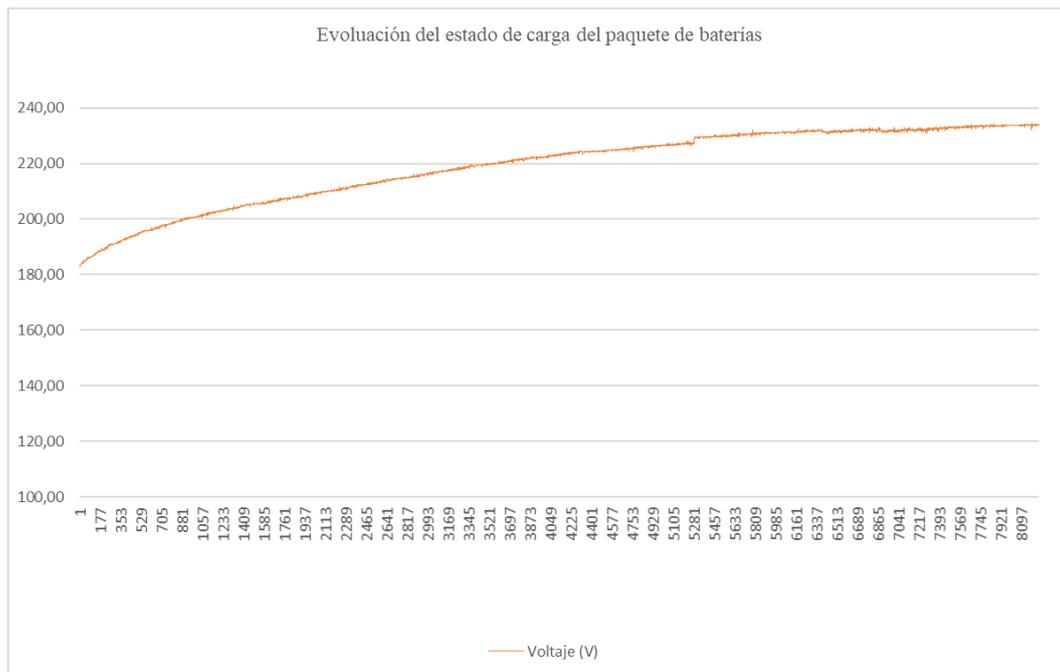


Figura 34-3. Evolución de la carga de voltaje de la batería

Fuente: (Jiménez B., Rosero E., 2019)

Una vez que se tiene el voltaje mínimo, se conecta el cargador, y se monitorea constantemente los valores para suspender la carga en caso de que algún valor exceda los parámetros de seguridad de sobre corriente, sobre voltaje o sobre temperatura.

Luego de dos horas y media, el cargador notifica carga completa, y desconecta la alimentación de energía hacia el paquete de baterías, obteniendo la siguiente curva de carga de voltaje.

Los valores importantes de las mediciones obtenidas son:

- Tiempo del experimento: 8251 segundos -> 2,29 horas
- Voltaje inicial: 183,40 [V]
- Voltaje final: 233,80 [V]
- Variación de voltaje: 50,4 [V]

Se aprecia que el voltaje al inicio incrementa rápidamente, y conforme el tiempo pasa, el voltaje aumenta y al final, incrementa muy lentamente.

A continuación, la Figura 35- muestra la curva de la corriente entregada a la batería durante el mismo periodo de tiempo:

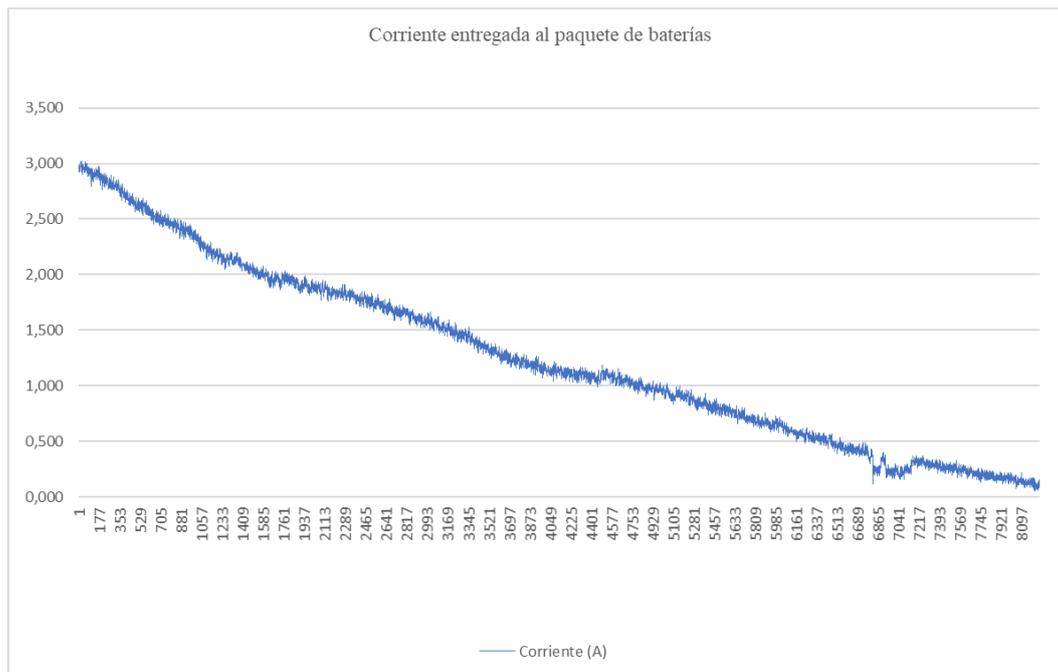


Figura 35-3. Evolución de la corriente entregada al paquete de baterías híbrida

Fuente: (Jiménez B., Rosero E., 2019)

Los valores importantes de las mediciones obtenidas son:

- Tiempo del experimento: 8251 segundos -> 2,29 horas
- Corriente inicial entregada: 2,992 Amperios
- Corriente final entregada: 0,161 Amperios
- Variación de corriente: 2,831 Amperios

Para obtener la cantidad de carga almacenada en la batería, se debe encontrar el área debajo de la curva, y trasladarla a horas, por lo tanto, la cantidad de carga almacenada en la batería luego del experimento es:

Cantidad de carga almacenada: 2,89 [Ah]

Es importante notar a partir de la gráfica, que conforme el voltaje de la batería aumenta, la cantidad de corriente disminuye gradualmente, a diferencia de lo que sucede al inicio de la carga en donde se entrega una cantidad de corriente importante. Esto corrobora el diseño del circuito como cargador de voltaje constante y corriente variable.

Finalmente, es importante mostrar que la temperatura del paquete de baterías se mantuvo relativamente constante como se ilustra a continuación en la Figura 36-:

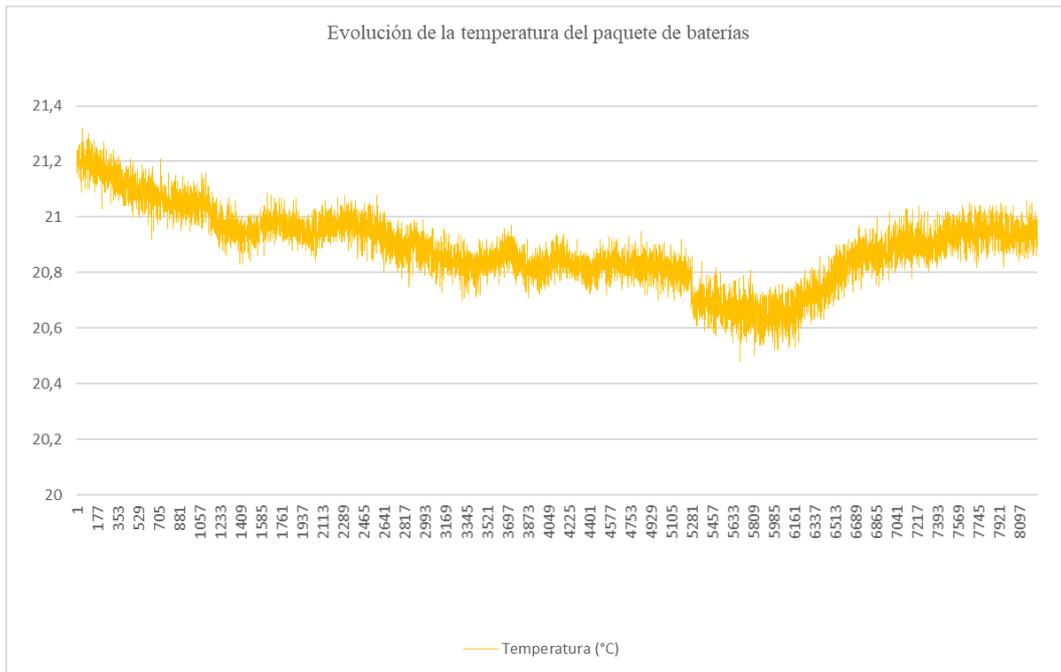


Figura 36-3. Evolución de temperatura durante el proceso de carga

Fuente: (Jiménez B., Rosero E., 2019)

Los valores importantes de las mediciones obtenidas son:

- Tiempo del experimento: 8251 segundos -> 2,29 horas
- Temperatura máxima registrada: 21,32 ° Centígrados
- Temperatura mínima registrada: 20,48 ° Centígrados

Se debe notar que, dentro de todo el rango del experimento, no se rebasaron los límites de temperatura de operación normal de las baterías de Ni-Mh.

En las tres gráficas es visible la presencia de ruido en la adquisición de datos, es factible realizar la reducción del ruido al aplicar un circuito de filtrado en la entrada de la adquisición de datos. Es decir, se debe acoplar un capacitor en paralelo a los sensores para que filtre las señales eléctricas.

Tabla 1-3: Comparación de tiempos de carga

Cargador	Tiempo carga (s)	Tiempo carga (h)	Relación porcentual
Poste cargador	8251	2,29	100 %
Cargador L1	18 000	5,00	218,2 %

Fuente: (Jiménez B., Rosero E., 2019)

Al comparar los tiempos de carga del poste implementado, con un cargador estándar de autos eléctricos de nivel 1 (L1) para un auto de capacidad de 20 millas de recorrido eléctrico, se tiene la comparación de la **Tabla I-**.

De la tabla, se demuestra que el cargador de baterías presenta un decremento del 118% en el tiempo de carga, comparado con un cargador estandarizado de nivel L1.



Figura 37-3. Cargador de baterías conectado en un auto de pruebas

Fuente: (Jiménez B., Rosero E., 2019)

Además de las pruebas de laboratorio, se realizó un ciclo de pruebas en un Toyota Prius del año 2010 con 160 000 km de recorrido y el paquete original de baterías instalado, como se puede ver en la Figura 37-.

Se debe notar que se requirió aproximadamente 3 horas para acoplar los conectores del cargador en el banco de baterías del auto hasta ponerlo en funcionamiento.

CAPÍTULO IV

4 ESTUDIO DE COSTOS

El capítulo analiza el costo económico para el desarrollo del poste de recarga de baterías para un prototipo de vehículo híbrido. Para determinar el costo total, se analiza los costos directos e indirectos incurridos.

4.1 Costos directos

Como su nombre lo indica, son aquellos costos que están directamente relacionados al desarrollo del poste de recarga, tiene que ver con toda la materia prima e insumos utilizados.

La Tabla 1- mostrada a continuación, muestra en detalle los materiales utilizados para la construcción del poste de recarga de baterías, indicando la cantidad, su valor unitario, valor total y el porcentaje que representa dentro del costo total directo del desarrollo del prototipo:

Tabla 1-4: Costos directos

Costos directos				
Descripción	Cantidad	V. unidad	Valor total	% valor total
Capacitor	3	0,5	1,5	0,1%
Resistencia	26	0,1	2,6	0,1%
Opto transistor	1	2	2	0,1%
MOSFET IRF830	4	2,5	10	0,5%
Transistor 2N3904	2	0,25	0,5	0,0%
Transistor TIP-31	4	0,5	2	0,1%
Diodo 1N4001	1	0,5	0,5	0,0%
Diodo 1N4007	1	0,5	0,5	0,0%
Diodo LED	1	0,15	0,15	0,0%
Conectores	5	0,25	1,25	0,1%
Arduino nano	1	15	15	0,7%
Botoneras	3	2,5	7,5	0,3%
Puente de diodos	1	1,5	1,5	0,1%
Buzzer	1	1,5	1,5	0,1%
Luces indicadoras	3	2,5	7,5	0,3%

LM2597	3	5	15	0,7%
SIM800L	1	60	60	2,7%
Display	1	15	15	0,7%
Cables	1	50	50	2,3%
Placa PCB	1	20	20	0,9%
Solder mask	1	20	20	0,9%
Transformador	1	150	150	6,8%
Protecciones	2	20	40	1,8%
Conectores externos	2	200	400	18,2%
Caja de protección	1	70	70	3,2%
Mano de obra	1	500	500	22,8%
Asesoría electrónica	1	800	800	36,5%
TOTAL			2194	100%

Fuente: (Jiménez B., Rosero E., 2019)

4.2 Costos indirectos

Se refiere a los gastos incurridos, y que no están directamente ligados al desarrollo y producción del poste cargador de baterías, pero deben ser considerados de igual manera, al constituirse parte del gasto total del proyecto. La Tabla 2- mostrada a continuación, detalla estos costos:

Tabla 2-4: Costos indirectos

Costos indirectos			
Descripción	Cantidad	Valor	% valor total
Transporte	1	150	21,4%
Insumos de oficina	1	100	14,3%
Documentos	1	150	21,4%
Varios	1	300	42,9%
TOTAL		700	100%

Fuente: (Jiménez B., Rosero E., 2019)

4.3 Costo total

Con los costos directos e indirectos determinados, el costo final deviene de integrar los dos costos, de acuerdo con lo mostrado en la Tabla 3- mostrada a continuación:

Tabla 3-4: Costos totales

Costo total		
Descripción	Valor	% valor total
Costo directo	2194	75,8%
Costo indirecto	700	24,2%
TOTAL	2894	100%

Fuente: (Jiménez B., Rosero E., 2019)

El costo total del cargador implementado y funcionando, bordea los \$ 2900,00; al referirse a costos de mantenimiento, al tratarse de electrónica de estado sólido, no tiene partes móviles o propensas al desgaste, por lo que, con un correcto cuidado, no existen partes que deban ser reemplazadas o mantenidas periódicamente.

4.4 Recuperación de la inversión

En este apartado, se propone cuál sería el retorno de la inversión del poste cargador de baterías con un análisis de costos y tiempo de funcionamiento, para lo siguiente, se debe considerar los costos de operación del cargador. El kWh en el país a nivel residencial se fija en 9,5 centavos, mientras que a nivel comercial se encuentra en un valor de 10,3 centavos de dólar. Por lo que se tomará el valor máximo en las horas pico (10,3 centavos).

De las pruebas realizadas en el cargador de baterías, se determinó que para una carga completa de una batería de 28 celdas se ingresó 2,197 kWatts, lo que se traslada a 0,61 kWh entregados a la batería, esto representa un 38% de ingreso de carga en la batería, que se conoce tiene una capacidad de 1,6 kWh.

Asumiendo en promedio un 50% de la capacidad de carga entregada en cada uso del poste cargador (0,8 kWh), y un 10% de pérdidas de energía por el desempeño del cargador, se puede calcular el costo de cargar por una ocasión un paquete de baterías:

$$C_{carga} = Costo_{kWh} * (kWh_{cargado} * 1,1) [Centavos] \quad (39)$$

$$C_{carga} = 10,3 * (0,8 * 1,1) [Centavos]$$

$$C_{carga} = 9.064 [\text{Centavos}]$$

Se tiene un valor de 9,064 centavos como el costo de un ciclo de carga; si se considera una ganancia del 100%, se debería cobrar 18 centavos de dólar por ciclo de carga.

Para recuperar el costo de la inversión se requieren entonces:

$$Número_{cargas} = \frac{Valor_{cargador}}{Valor_{1carga} - Valor_{operación1carga}} \quad (40)$$

$$Número_{cargas} = \frac{2894}{(0,18 - 0,09064)}$$

$$Número_{cargas} = 34305$$

Se necesitan realizar 34305 ciclos de carga, con un costo de 18 centavos para recuperar el costo de la inversión, con este análisis, se propone cobrar 50 centavos por ciclo de carga, en cuyo caso, se requerirían 7069 ciclos de carga para recuperar la inversión del cargador.

Con un promedio de 3 cargas realizadas diariamente, se necesitan 2356 días de operación continua del cargador, es decir, aproximadamente 6 años y medio (6,45) para obtener un retorno de la inversión realizada.

CONCLUSIONES

- El desarrollo del cargador de baterías híbridas requirió de una extensa revisión bibliográfica, para entender los principios de funcionamiento de las baterías de Ni-Mh así la manera adecuada y segura de realizar su carga dentro de los parámetros de diseño, los postes de recarga se justifican para vehículos eléctricos mas no para vehículos híbridos.
- Los parámetros seguros de carga de una batería de Ni-Mh se encuentran en el rango de menos de 32 °C de temperatura, es indispensable mantener una razón de carga que no sobrepase los C/2 para evitar la producción de gas que puede ser peligroso y comprometer la integridad de las baterías.
- Para el poste de recarga, dentro del esquema eléctrico fue necesario diseñar y simular en el software de diseño electrónico una fuente de voltaje constante y corriente variable, esto con el objetivo de permitir un cambio de corriente eléctrica que disminuye conforme avanza la carga y se eleva el voltaje, evitando así comprometer la integridad de la batería.
- El poste cargador de baterías se implementó y construyó de acuerdo con los parámetros especificados, demostró capacidad de cargar un paquete de baterías de un vehículo híbrido, como lo muestran las gráficas de voltaje y corriente en el apartado de resultados.
- La resistencia interna de las baterías determinó la velocidad y tiempo de carga, unas baterías muy utilizadas y con poca capacidad de carga, demoran el proceso y tienden a calentarse más que aquellas que se encuentran en mejor condición.
- Existió una directa relación entre la elevación del estado de carga de la batería (SoC) y la disminución paulatina de la cantidad de corriente que ingresaba en la batería. Esto debido incremento del voltaje en las baterías, que disminuye la diferencia de voltaje y por ende la cantidad de corriente con el paso del tiempo.
- Se desarrolló la parte del circuito de baja potencia, aislado eléctricamente del circuito de alta potencia, con el objetivo de proteger la integridad del cargador en caso de algún fallo imprevisto.

RECOMENDACIONES

- Los valores máximos de corriente, temperatura y voltaje deben ser respetados en todo momento para evitar que las baterías entren en estado de gaseo el cual puede ser muy peligroso.
- El principio de carga del poste se basa en conmutar corriente directa, por lo que debe ser manipulada únicamente de la manera para la que fue diseñada, es decir, no se puede en ninguna circunstancia conectar el poste a un carro eléctrico estándar debido a que puede causar un daño en ambas partes.
- No se debe en ninguna circunstancia cortocircuitar elementos del circuito, tanto de baja potencia como de alta, esto debido al gran voltaje que maneja, y que puede resultar letal en el caso de no tener cuidado.
- Para este tipo de proyectos, es fundamental contar con paquetes de baterías en buen estado, que permitan realizar las pruebas sin contratiempos, las baterías en mal estado son peligrosas y pueden comprometer la integridad del cargador.
- El poste cargador de baterías debe ser colocado en un lugar seco y aislado eléctricamente del entorno, el ingreso de agua en la placa electrónica puede cortocircuitar las etapas del cargador y averiarlo.
- Es factible colocar un circuito de filtrado de ruido en todas las entradas de adquisición de datos del poste cargador, tanto en la entrada de medición de voltaje, como medición de corriente y temperatura para realizar un mejor monitoreo de los parámetros de carga.
- Las protecciones eléctricas y térmicas de deben dimensionar de tal manera que permitan el funcionamiento normal de los dispositivos dentro del rango de operación.
- En un siguiente trabajo, se puede colocar un criterio para monitorear la temperatura de las baterías, esto mejoraría por un lado la seguridad del cargador, y por otro lado permitiría incrementar las corrientes de carga y disminuir los tiempos de carga

BIBLIOGRAFÍA

ÁLVAREZ, R. *Metodología de la investigación: Operacionalización de Variables*. Medellín : McGraw-Hill., 2012.

Arbaiza, Pedro Nicolas Molina. *Estudio de factibilidad de una empresa de metalurgia en el Ecuador . Tesis (Pregrado)*. Guayaquil : Universidad Ecotec, 2010.

Banhart, Juan. 2014. *Manufacture, Characterization and application of celular metals and metal foams*. Alemania : Pergamon, 2014.

Beer, Johnson, Dewolf, & Mazurek, D. *Mecanica de Materiales* . Mexico : TWNet., 2013.

Luna, Erardo Elizondo, *Casting Protocols for the Production of Open Cell Aluminum Foams by the Replication Technique and the Effect on Porosity*. Madrid : Journal of Visualized Experiments, 2014, Vol. 1. 10.3791/52268.

Contandriopoulos, A.P. *Preparar un proyecto de investigación*. Barcelona, España : SG Editores, 1991.

Diego Laughlin & Key Hono. *Physical Metallurgy* . Switzerland : Elsevier, 2014.

Gozalez, Bernabe *Efecctos de la estructura celular sobre el componente mecanico de espumas de aluminio de poro ceerrado* . Valencia , 2015.

Hernández, Juan Camilo Quintero. *Diseño de un sistema de ordeño mecánico portátil*. Medellin : UNIVERSIDAD EAFIT, 2010.

Irausquin, Irene. *Tesis Doctoral: Caracterizacion ecanica de espumas metalicas y su aplicacion en sistemas de absorcion de energia*. Madrid : Universidad Carlos III de Madrid , 2012.

Jose Gutierrez & Juan Oñoro. *Espumas de alminio, fabricacion, propiedades y aplicaciones*. Madrid : WSelf., 2015.

Luna E. , Barari F., Woolle R., & Goodall R. *Articulo cientifico: casting Protocols for the production of open cell aluminium foams of the replication Technique and the efect of porodity*. Inglaterra : LDeave., 2014.

Menéndez, Miguel Ángel. *Metalurgia: Un poco de historia*. España : EA1BCU, 2015.

Mentor Ashby & otros. *Metal foams a design guide*. Heinemann : Butterworth, 2012.

Montgomery, Douglas. *Diseño y analisis de Experimentos*. México : Limusa S.A., 2004.

Nebreda, Jorge. *Tesis Doctoral: Optimizacion de la estructura celular en espumas de aluminio*. Villadoild : UEValadolid., 2014.

Pedro Cruz, Luis Fernandez & javier Coletto. *Proceso de fabricacion de metales celulares Parte I: Procesos por via liquida*. Medellin Colombia : LQliquid., 2008.

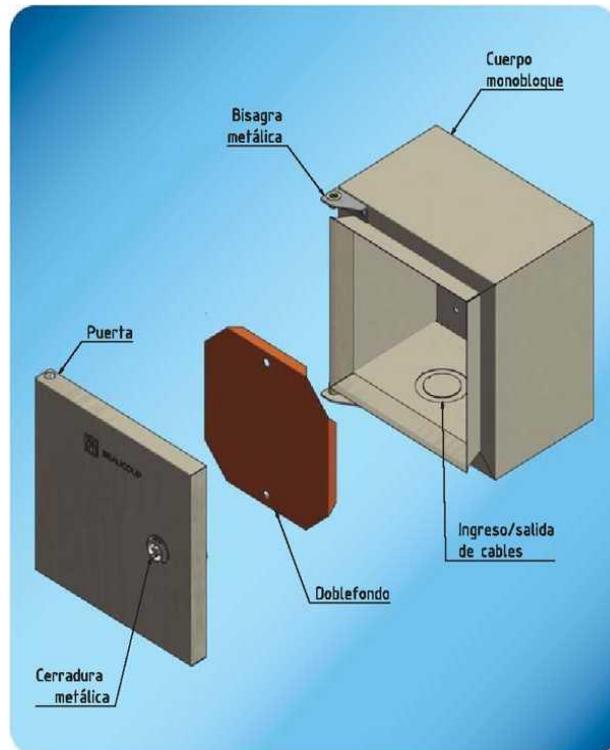
Xialoqing, Zihua, Hongwei, Longmao & Guitong *Effets of cell size on compressive properties of aluminium foam.* China : Mechanical., 2006.

Yolanda Conde, Jardy Despois, Rooman Goodall & Andrea Mortensen. *Replication Processing of Highly Porous Materials.* Alemania : Regional editions.

ANEXOS

Anexo A Especificaciones técnicas del gabinete de servicio

GABINETE DE PARED SERVICIO LIVIANO



NORMATIVA:

- ♦ Aplicable NTE INEN 2568
- ♦ IEC 60529
- ♦ NEMA 250

APLICACIÓN:

- ♦ Apropiado para instalar equipos eléctricos/electrónicos en instalaciones industriales, comerciales, edificios residenciales y edificios de servicios, etc. Uso exclusivo para interiores.

GRADO DE PROTECCIÓN: IP 41

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:

- ♦ Gabinete de servicio liviano, con cuerpo monobloque soldado con sistema MIG.
- ♦ Puerta {no reversible) con empaque de poliuretano expandido, cerradura metálica cromada tipo triángulo de montaje rápido.
- ♦ Los gabinetes de servicio liviano están fabricados de acero laminado en frío de 0.8mm de espesor en todos sus componentes, {Material validado bajo norma JIS 3141).
- ♦ Al ser un producto económico su doblefondo no cuenta con perforaciones.
- ♦ Cable de aterramiento no disponible en este modelo.

ACABADOS:

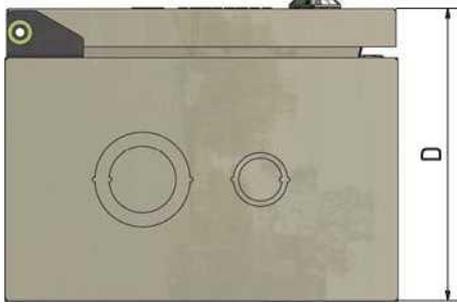
- ♦ Lámina estándar con previo proceso químico de desengrase y fosfatizado previo a recubrimiento con pintura electrostática en polvo de alta adherencia, dureza y durabilidad, acabado texturizado procesado entre 180° a 200° C, color beige texturado RAL 7032 y su doblefondo de color naranja gofrado RAL 2003, cuya capa mínima de aplicación de 65um. Amigable con el medio ambiente, resiste aceites, derivados de petróleo, soluciones ácidos, alcalinas en concentraciones no mayores al 10%.
- ♦ Otros tipos de dimensiones, terminados y recubrimientos son fabricados bajo pedido.

ACCESORIOS INCLUIDOS:

- ♦ Incluye accesorios para montaje del producto a la pared (tirafondo y taco Fisher). Gabinete Metálico, servicio liviano

CODIGO	REFERENCIA	DIMENSIONES (mm)			PESO APROX
		ALTO	ANCH	PROFUN	
I-O3O1	GSL-202015	200	200	150	1.80
1-0302	GSL-302015	300	200	150	2.45
1-0303	GSL - 303020	300	f 300	200	3.70
1-0304	GSL - 403020	400	300	200	4.64
1-0305	GSL- 404020	400	7400	200	5.76
1 1-0306	GSL- 604020	600	40	200	8.00

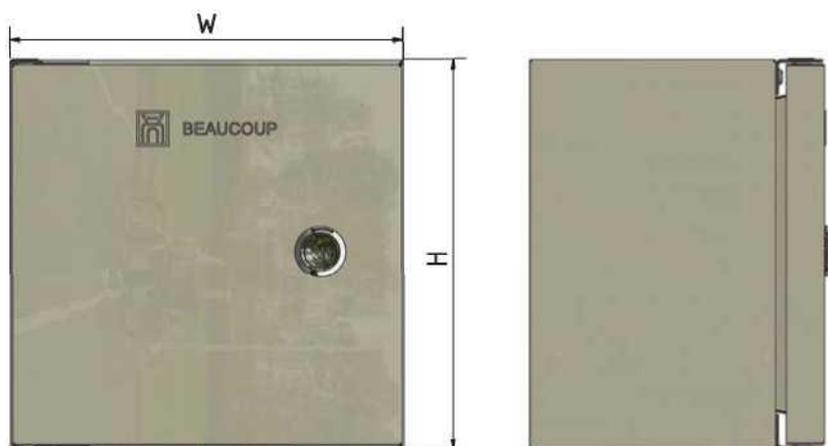
VISTA INFERIOR



VISTA FRONTAL



VISTA LATERAL IZQ.



Anexo B (Especificaciones técnicas de los conectores SAE J1772)

(R) SAE Electric Vehicle Conductive Charge Coupler

SAE J1772

REV.

MONTH01

Issued 1996-10

Revised 2001-August

Supersedes 1996-10

Prepared by the SAE EV Charging Systems Committee

Forward - Since the energy stored in a battery provides the power for an electric vehicle(EV), an EV requires a method of charging the battery on a regular basis. Conductive charging is a method for connecting the electric power supply network to the EV for the purpose of transferring energy to charge the battery and operate other vehicle electrical systems, establishing a reliable equipment grounding path, and exchanging control information between the EV and the supply equipment. This document describes the functional and performance requirements for proper operation and the physical interface for a conductive charging system. This document contains 24 pages, including this page, and should not be used as a design tool if any of the pages are missing.

Note: This SAE Recommended Practice is intended as a guide toward standard practice and is subject to change to keep pace with experience and technical advances

Table of Contents

1. Scope

2. References

2.1 Applicable Publications

2.2 Related Publication

3. Definitions

4. General Conductive Charging System Description

5. Control and Data

6. General EV Requirements

7. General EVSE Requirements

8. Coupler Requirements

Appendix A – History EVSE/Vehicle Interface

Appendix B – AC Level 3 charging

1. Scope - This SAE Recommended Practice covers the general physical, electrical, and performance requirements for the electric vehicle conductive charge system and coupler for use in North America. The intent of this document is to define a common electric vehicle conductive charging system architecture including operational requirements and the functional and dimensional requirements for the vehicle inlet and mating connector.

2. References

2.1 Applicable Publications - The following publications form a part of this specification to the extent specified herein. The latest issue of SAE and other applicable publications shall apply.

2.1.1 SAE Publications – Available from SAE, 400 Commonwealth Drive, Warrendale, PA 15096

SAE J55-5: Performance Levels and Methods of Measurement of Magnetic and Electric Field Strength from Electric Vehicles, Broadband, 9 kHz to 30 MHz

SAE J551-11: Vehicle Electromagnetic Immunity – Off Vehicle sources

SAE J551-15: Vehicle electromagnetic immunity – Electrostatic discharge (ESD)

SAE J1211 – Recommended Environmental Practices for Electronic Equipment Design

SAE J1742 – Connections for High Voltage On-board Vehicle Electrical Wiring Harness

SAE J1850 – Class B Data Communication Network Messages

SAE J2178 – Class B Data communication Network Messages – Network Management Strategies

SAE J2293 – Energy Transfer System for Electric Vehicle

2.1.2 Underwriters Laboratories, Inc. Publications – Available from Underwriters Laboratories, Inc., Corporate offices, 333 Pfingsten Road, Northbrook, IL 60062-2096. Phone (708) 272-8800

UL 50 – Standard for Enclosures for Electrical Equipment

UL 94 – Tests for Flammability of Plastic Materials for Parts in Devices and Appliances

UL 746A – Standard for Polymeric Materials – Short Term Property Evaluations

UL 840 – Insulation Coordination including Clearance and Creepage Distances for Electrical Equipment

UL 1439 – Determination of Sharpness of Edges on Equipment

UL 2202 – EV Charging System Equipment

UL 2231 – Personnel Protection Systems for EV Charging Circuits

UL2251 – Plugs, Receptacles, and Couplers for Electric Vehicles

2.1.3 National Fire Protection Association Publication – Available from The National Fire Protection Association, Batterymarch Park, Quincy, MA 02269

National Electrical Code, NFPA 70 – Article 625

2.1.4 Canadian Standards Association – Available from Canadian Standards Association, 170 Rexdale Boulevard, Rexdale, Ontario, Canada M9W 1R3

Canadian Electrical Code – Part 1, Section 86

2.1.5 Federal Communication Commission Publications – Available from The Superintendent of Documents, U. S. Government Printing Office, Mail Stop SSOP, Washington, D.C. 20402-9320

CFR 47- Code of Federal Regulations - Title 47, Parts 15A, 15B, and 18C

CFR 40 - Code of Federal Regulations – Title 40, Part 600, Subchapter Q

2.2 Related Publications - The following publications are provide for information purposes only and are not a required part of this document

2.2.1 SAE Publications – Available from SAE, 400 Commonwealth Drive, Warrendale, PA 15096

SAE J1773 – SAE Electric Vehicle Inductively Coupled Charging

2.2.2 International Electrotechnical Commission Publications – Available from the International Electrotechnical Commission, 3, Rue de Varembe / CH-1211, Geneva 20, Switzerland

Note: IEC Publications are also available from The American National Standards Institute, 11 West 42nd Street, New York, NY 10036-8002

IEC 61851-1 Electric Vehicle Conductive Charging System – Part 1: General Requirements

IEC 61851-2.1 Electric Vehicle Conductive Charging System – Part 2.1: Electric Vehicle Requirements for Connection to an AC / DC supply

IEC 61851-2.2 Electric Vehicle Conductive Charging System – Part 2.2: AC electric vehicle charging station

IEC 61851-2.3 Electric Vehicle Conductive Charging System – Part 2.3: DC electric vehicle charging station

3. Definitions

3.1 Charger – An electrical device that converts alternating current energy to regulated direct current for replenishing the energy of an energy storage device (i.e. battery) and may also provide energy for operating other vehicle electrical systems.

3.2 Conductive – Having the ability to transmit electricity through a physical path (conductor).

3.3 Connector – A conductive device that by insertion into a vehicle inlet establishes an electrical connection to the electric vehicle for the purpose of transferring energy and exchanging information. This is part of the coupler.

3.4 Coupler – A mating vehicle inlet and connector set.

3.5 Electric vehicle (EV) – An automotive type vehicle, intended for highway use, primarily powered by an electric motor that draws from a rechargeable energy storage device. For the purpose of this document the definition in the United States Code of Federal Regulations – Title 40, Part 600, Subchapter Q is used. Specifically, an automobile means:

- a. Any four wheeled vehicle propelled by a combustion engine using on-board fuel or by an electric motor drawing current from a rechargeable storage battery or other portable energy devices (rechargeable using energy from a source off the vehicle such as residential electric service)
- b. Which is manufactured primarily for use on public streets, roads, and highways
- c. Which is rated not more than 3855.6 kg (8500 lbs.), which has a curb weight of not more than 2721.6 kg (6000 lbs.), and which has a basic frontal area of not more than 4.18 square meters (45 square feet).

3.6 Enclosure – The case or housing into which the contacts and insulators are assembled

3.7 Insulator – The portion of a coupler that provides for the separation, support, sealing, and protection of the contacts.

3.8 Contact – A conductive element in a connector that mates with a corresponding element in the vehicle inlet to provide an electrical path.

3.9 AC Level 1 charging – A method that allows an EV to be connected to the most common grounded electrical receptacle (NEMA 5-15R). The vehicle shall be fitted with an on-board charger capable of accepting energy from the existing alternating current (a.c.) supply network. The maximum power supplied for AC Level 1 charging shall conform to the values in Table 1.

3.10 AC Level 2 charging – A method that utilizes dedicated a.c. EV supply equipment in either private or public locations. The vehicle shall be fitted with an on-board charger capable of accepting energy from alternating current electric vehicle supply equipment. The maximum power supplied for AC Level 2 charging shall conform to the values in Table 1.

3.11 DC charging – A method that utilizes dedicated direct current (d.c.) EV supply equipment to provide energy from an appropriate off-board charger to the EV in either private or public locations. The range of charger ratings encompassed shall conform to the values shown in Table 1.

3.12 Off-board charger – A charger located off of the vehicle

3.13 On-board charger – A charger located on the vehicle

3.14 Equipment ground (grounding conductor) – A conductor used to connect the non-current carrying metal parts of the EV supply equipment to the system grounding conductor, the grounding electrode conductor, or both at the service equipment.

3.15 Chassis ground – The conductor used to connect the non-current carrying metal parts of the vehicle high voltage system to the equipment ground.

3.16 Control pilot – The primary control conductor that is connected to the equipment ground through control circuitry on the vehicle and performs the following functions:

- a. verifies that the vehicle is present and connected
- b. permits energization/de-energization of the supply
- c. transmits supply equipment current rating to the vehicle
- d. monitors the presence of the equipment ground
- e. establishes vehicle ventilation requirements.

3.17 Vehicle inlet – The device on the electric vehicle into which the connector is inserted for the purpose of transferring energy and exchanging information. This is part of the coupler.

3.18 Electric Vehicle Supply Equipment (EVSE) – The conductors, including the ungrounded, grounded, and equipment grounding conductors, the electric vehicle connectors, attachment plugs, and all other fittings, devices, power outlets, or apparatuses installed specifically for the purpose of delivering energy from the premises wiring to the electric vehicle.

3.19 EV Charging System – The equipment required to condition and transfer energy from the constant frequency, constant voltage supply network to the direct current, variable voltage EV traction battery bus for the purpose of charging the battery and/or operating vehicle electrical systems while connected.

4. General Conductive Charging System Description - In the most fundamental sense, there are 3 functions, 2 electrical and 1 mechanical, that must be performed to allow charging of the EV battery from the electric supply network. The electric supply network transmits alternating current electrical energy at various nominal voltages(rms) and a frequency of 60 Hz. The EV battery is a direct current device that operates at a varying voltage depending on the nominal battery voltage, state-of-charge, and charge/discharge rate. The first electrical function converts the alternating

current to direct current and is commonly referred to as rectification. The second electrical function is the supply voltage must be controlled or regulated at a voltage level that permits a managed charge rate based on the battery charge acceptance characteristics – i.e. voltage, capacity, electrochemistry, and other parameters. The combination of these two functions is the embodiment of a charger. The mechanical function is the physical coupling or connecting of the EV to the EVSE and is performed by the user. The conductive charging system consists of a charger and a coupler. The conductive system architecture is suitable for use with both on-board and off-board chargers with electrical ratings as specified in Table 1 and as shown in FIGURE 1.

TABLE 1 – CHARGE METHOD ELECTRICAL RATINGS (North America)

Charge Method	Nominal Voltage(Volts)	Supply Current (Amps-continuous)	Branch Breaker (Amps)	Circuit rating
AC Level 1	120 vac, 1-phase	12 A	15 A (minimum)	
AC Level 2	208 to 240 vac, 1-phase	32 A	40 A	
DC Charging	600 vdc maximum	400 A maximum	As required	

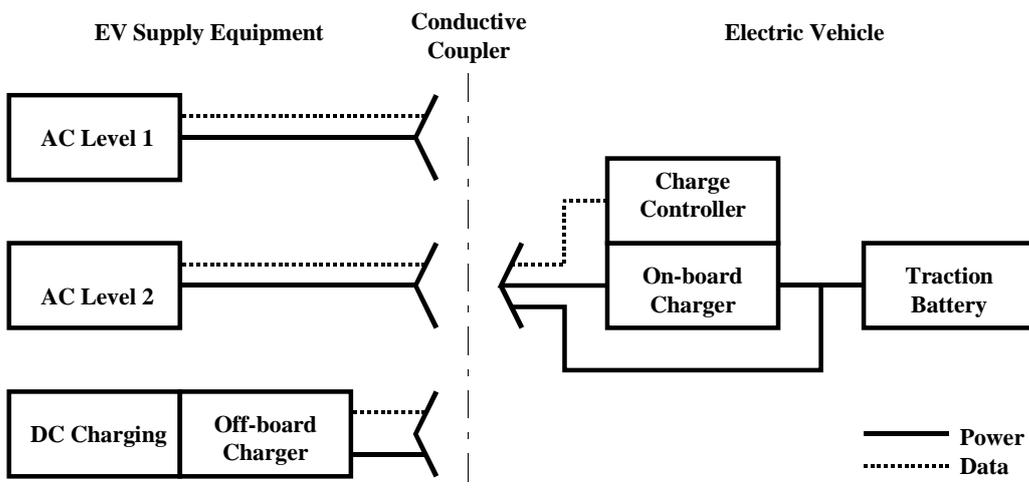


FIGURE 1 – CONDUCTIVE EV CHARGING SYSTEM ARCHITECTURE

4.1 Interface Functions - The conductive coupler consists of a connector/vehicle inlet set with electromechanical contacts imbedded in an insulator and contained within a housing for each of the mating parts. The contacts provide a physical connection at the vehicle interface for the power conductors, equipment grounding conductor, control pilot conductor, and under certain conditions serial data conductors between the EV and EVSE. The interface consists of 9 possible contacts that perform the interface functions as shown in FIGURE 2 and specified in TABLE 2.

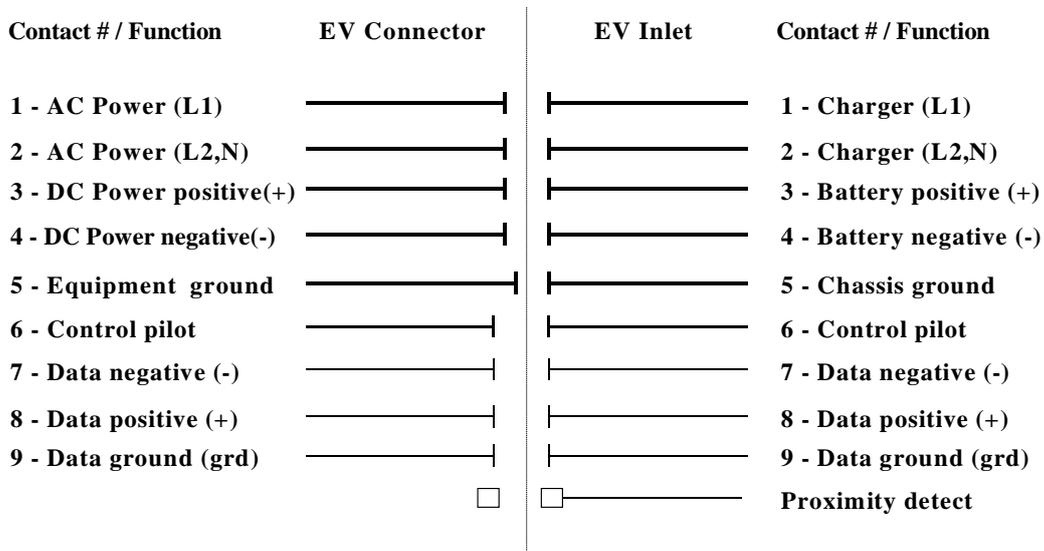


FIGURE 2 – CONDUCTIVE COUPLER CONTACT INTERFACE FUNCTIONS

TABLE 2 – CONDUCTIVE COUPLER CONTACT FUNCTIONS

Contact #	Connector Function	Vehicle Function	Inlet	Description
1	AC Power (L1)	Charger 1		Power for AC Level 1 and 2
2	AC Power (L2,N)	Charger 2		Power for AC Level 1 and 2
3	DC Power positive(+)	Battery positive(+)		Power for DC charging
4	DC Power negative(-)	Battery negative(-)		Power for DC charging

5	Equipment ground	Chassis ground	Connect EVSE equipment grounding conductor to EV chassis ground during charging
6	Control pilot	Control pilot	Primary control conductor (operation described in Section 5)
7	Data negative(-)	Data negative(-)	Negative serial data conductor (SAE J1850 Type 2 only)
8	Data positive(+)	Data positive(+)	Positive serial data conductor (SAE J1850 Type 1 and 2)
9	Data ground	Data ground	Serial data ground conductor (SAE J1850 Type 1 and 2)

4.2 AC Level 2 Charging - The primary method of EV charging that extends a.c. power from the electric supply to an on-board charger from dedicated EVSE as shown in FIGURE 3. The electrical ratings are similar to large household appliances and specified in TABLE 1. AC Level 2 may be utilized at home, workplace, and public charging facilities.

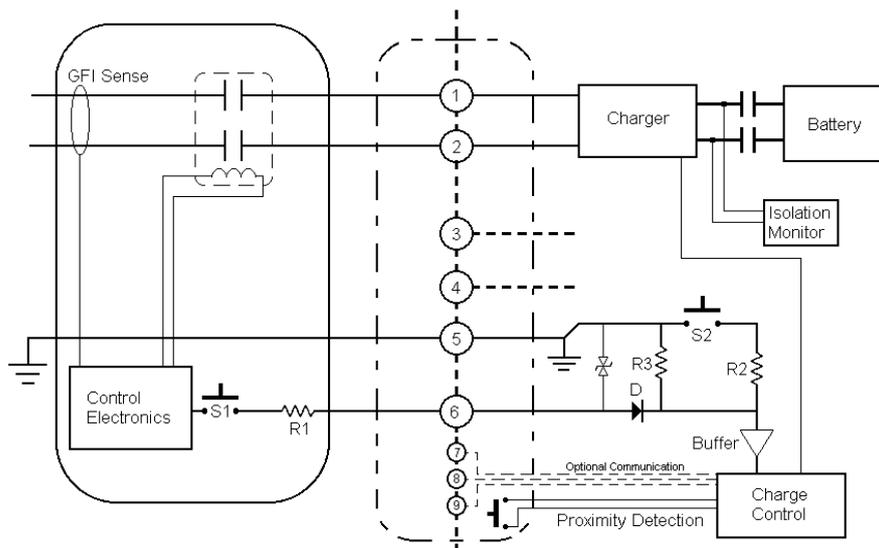


FIGURE 3 – AC LEVEL 2 SYSTEM CONFIGURATION

4.3 AC Level 1 Charging - A method of EV charging that extends a.c. power from the electric supply to an on-board charger from the most common grounded electrical receptacle using an appropriate cord set as shown in FIGURE 4 at the electrical ratings specified in TABLE 1. AC level 1 allows connection to existing electrical receptacles in compliance with the National Electrical Code.

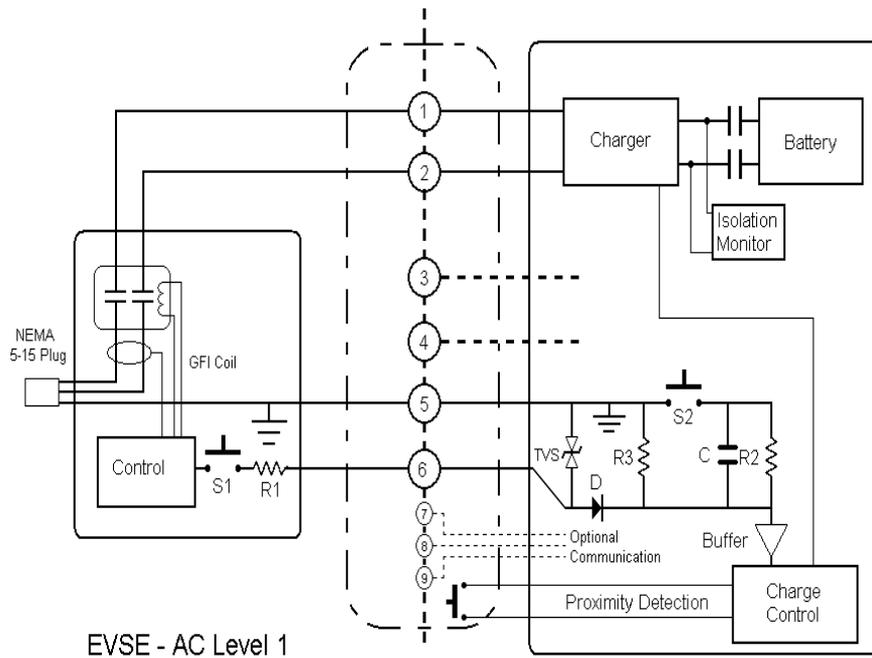


FIGURE 4 – AC LEVEL 1 SYSTEM CONFIGURATION

4.4 DC Charging - The conductive charging system architecture provides a method to provide energy from an appropriate off-board charger as shown in FIGURE 5 to the EV in either private or public locations. The power available for DC Charging can vary from power levels similar to AC Level 1 and 2 to very high power levels that may be capable of replenishing more than ½ of the capacity of the EV battery in as few as 10 minutes. The electrical ratings for DC Charging are specified in TABLE 1.

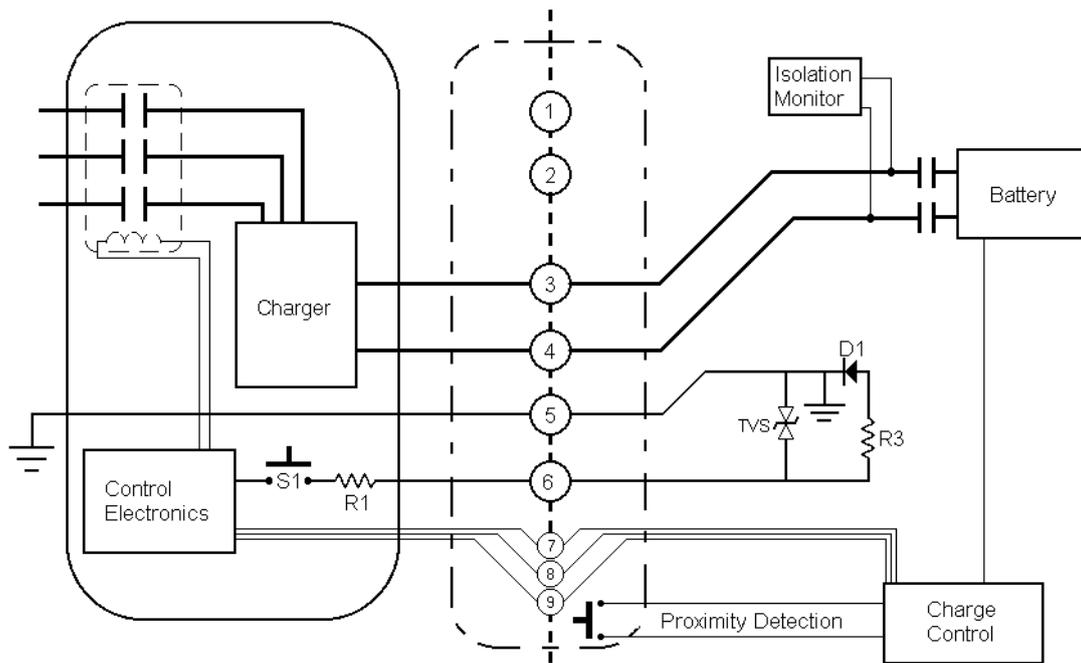


FIGURE 5 – DC CHARGING SYSTEM CONFIGURATION

5. Control and Data - The control pilot circuit is the primary control means to ensure proper operation when connecting an EV to the EVSE. This section describes the functions and sequencing of events for this circuit based on the recommended typical implementation or equivalent circuit parameters. Additional data exchange between the EV and EVSE, using SAE J1850, is mandatory for DC Charging control.

5.1 Control Pilot Circuit – A typical control pilot circuit is shown in Figure 6.

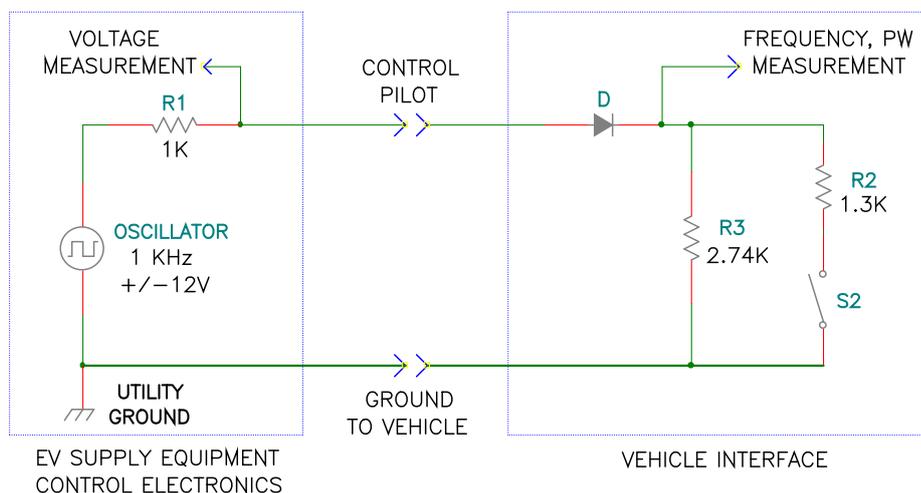


FIGURE 6 – TYPICAL CONTROL PILOT CIRCUIT

5.2 Control Pilot Circuit – The equivalent control pilot circuit and vehicle states are shown in FIGURE 7 and defined in TABLE 3, TABLE 4, and TABLE 5

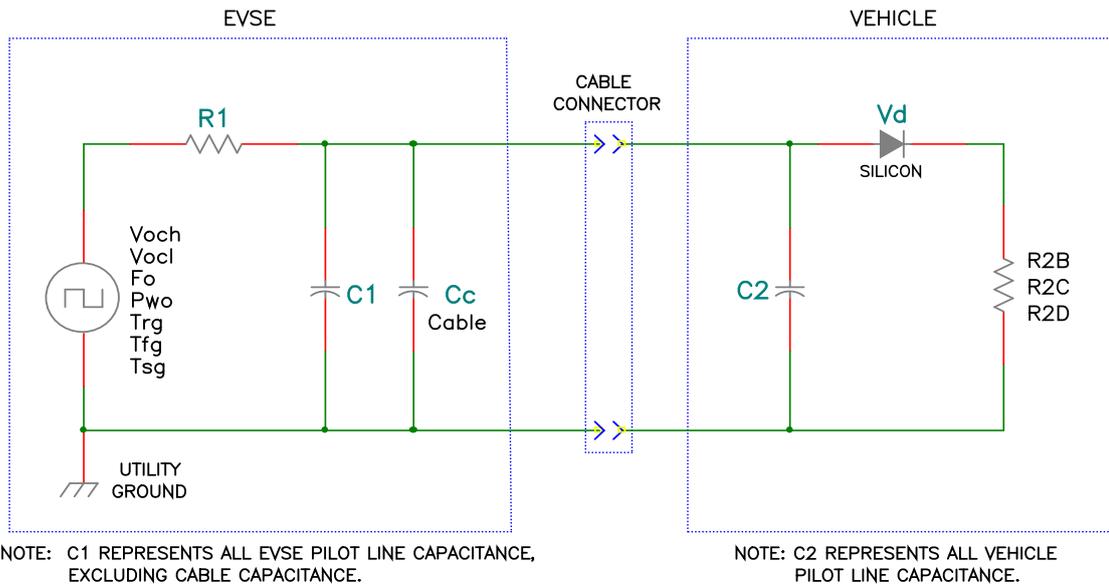


FIGURE 7 – CONTROL PILOT EQUIVALENT CIRCUIT

TABLE 3 – DEFINITION OF VEHICLE STATES

Vehicle state designation	Voltage (vdc nominal)	Description of vehicle state
State A	12.0 (a)	Vehicle not connected
State B	9.0 (b)	Vehicle connected / not ready to accept energy

State C	6.0 (b)	Vehicle connected / ready to accept energy / indoor charging area ventilation not required
State D	3.0 (b)	Vehicle connected / ready to accept energy / indoor charging area ventilation required
State E	0	EVSE disconnected, utility power not available, or other EVSE problem
State F	-12.0 (a)	EVSE not available, or other EVSE problem

Notes:

a) static voltage

b) positive portion of 1 KHz square wave, measured after transition has fully settled

TABLE 4 – EVSE CONTROL PILOT CIRCUIT PARAMETERS (See Figure 7)

Parameter (a)	Symbol	Units	Nominal value	Maximum value	Minimum value
Generator					
voltage high, open circuit	Voch	Volts	12.00	12.60	11.40

voltage low, open circuit	Vocl	Volts	-12.00	-12.60	-11.40
Frequency	Fo	Hertz	1000	1050	950
pulse width (d)	Pwo	Microsec	Per Figure 8	Nom, + 25 usec	Nom, - 25 usec
rise time (b)	Trg	Microsec	n.a.	2	n.a.
fall time (b)	Tfg	Microsec	n.a.	2	n.a.
settling time (c)	Tsg	microsec	n.a.	3	n.a.
Output Components					
equivalent source resistance	R1	Ohms	1000	1030 (f)	970 (f)
total equivalent EVSE capacitance, w/o cable	C1	Picofarads	n.a.	n.a.	300 (e)
total equivalent EVSE	C1 + Cc	Picofarads	n.a.	3100	n.a.

capacitance,
including cable

Notes :

- a.) Tolerances to be maintained over the environmental conditions and useful life as specified by the manufacturer
- b.) 10% to 90% of complete negative-to-positive transition or 90% to 10% of complete positive-to-negative transition. Generator rise/fall times longer than 2 usec may affect Pilot Line rise/fall times defined by source resistance and line capacitance.
- c.) to 95% of steady state value, measured from start of transition
- d.) measured at 50% points of complete negative-to-positive or positive-to-negative transitions.
- e.) guarantees rise time slow enough to remove transmission line effects from cable
- f.) Maximum and minimum resistor values are +/- 3% about nominal.

TABLE 5 – EV CONTROL PILOT CIRCUIT PARAMETERS ((See Figure 7)

Parameter (a)	Symbol	Units	Nominal value	Maximum value	Minimum value
Equivalent load resistance – State B	R2B	Ohms	2740	2822 (e)	2658 (e)
Equivalent load resistance – State C (b)	R2C	Ohms	882	908 (e)	856 (e)

Equivalent load resistance – State D (c)	R2D	Ohms	246	253 (e)	239 (e)
Total equivalent capacitance	C2	picofarads	n.a.	2,400	n.a.
Equivalent diode voltage drop (d)	Vd	Volts	0.70	0.85	0.55

Notes:

- a.) Tolerances to be maintained over the environmental conditions and useful life as specified by the manufacturer
- b.) Vehicles not requiring ventilation for indoor charging areas
- c.) Vehicles requiring ventilation for indoor charging areas
- d.) Silicon small signal diode, -40 C to 85 C, forward current 2.75 to 10.0 ma
- e.) Maximum and minimum resistor values are +/- 3% about nominal

TABLE 6 – EVSE and EV Response Time Specifications

	Initial Condition (a) (b) (c)	New Condition	EVSE Response Time	EV Response Time	Specification or Condition
1	State = x OSC = off	State = x OSC = on	no maximum		delay until pilot oscillator will be turned on by EVSE
2	State = x OSC = x	State = A OSC = x	100 ms maximum		delay from disconnect until the contactor opens

					and terminates AC energy transfer
3	State = x OSC = x	State = E or State = F OSC = x		5 seconds maximum	delay until EV opens battery isolation contactor
4	State = x OSC = on	State = A OSC = off	2 seconds maximum		delay until oscillator turned off after EV is disconnected
5	State = B OSC = on	State = C or State = D OSC = on	3 seconds maximum		delay until contactor closes and initiates AC energy transfer in response to S2 closed
6	State = C or State = D OSC = on	State = B OSC = on	3 seconds maximum		delay until contactor opens and terminates AC energy transfer in response to S2 opened
7	State = x OSC = x	State = A or State = E or State = F OSC = x		3 seconds maximum	in response to an invalid pilot the EV enters a safe mode and if necessary opens S2 and terminates the AC energy transfer
8	State = x OSC = x	State = E or State = F OSC = x	3 seconds maximum		delay from EVSE setting invalid pilot until termination of AC energy transfer
9	State = B or	invalid pilot frequency		3 seconds maximum	in response to an invalid pilot frequency the EV enters a safe mode and if necessary opens S2 and

	State = C or State = D OSC = on				terminates the AC energy transfer
10	State = x OSC = x	external signal to EVSE	10 seconds maximum		delay from external load management signal until EVSE modifies pilot signal state or other required response
11	State = C or State = D OSC = on	change in pilot duty cycle		5 seconds maximum	EV modifies maximum current draw for on-board battery charger in response to pilot signal duty cycle modification

Notes:

- a.) Current State from table 3 defining pilot voltage and vehicle state
 - b.) OSC = off for pilot oscillator turned off, OSC = on for pilot oscillator turned on
 - c.) x for state or oscillator indicates any condition or unknown condition
- 1.) The pilot signal oscillation indicates that the EVSE is ready to supply energy. Regardless of the state transition, there is no guarantee that the EVSE will be ready to supply AC energy within a minimum time period.
 - 2.) The transition from any State to State A indicates the vehicle connector has been removed. For safety reasons, it is important to guarantee de-energization of the connector.
 - 3.) The transition from any State to State E or State F is an indication that the connector has been removed or that the EVSE is not available. For safety reasons, it is important to guarantee the vehicle goes into a safe state.
 - 4.) After a transition from any State to State A, the EVSE should turn off the oscillator. For the purpose of filtering and reasonable control response time, the EVSE will not

respond immediately. The connector may be immediately reinserted into the vehicle, and the EV could see State C or State D with the oscillator turned on and no AC energy transfer for this maximum time before the oscillator is turned off.

- 5.) After the vehicle closes S2 in order to request AC energy transfer, the vehicle can expect the contactor to close within a specified time period.
- 6.) After the vehicle opens S2, in order to stop requesting AC energy transfer, it can expect the contactor to open within a specified time period.
- 7.) The vehicle must respond to the pilot signal voltages. In this case, the EVSE may be experiencing a power outage, ground fault, or other condition that requires termination of the AC energy transfer mode. The vehicle should respond by opening the S2 and entering a safe mode.
- 8.) If the EVSE is experiencing a condition that requires termination of the AC energy transfer mode, the EVSE must open the contactor in less than 3 seconds from setting the pilot signal to a non AC energy transfer state.
- 9.) The vehicle must respond to a pilot signal frequency that is significantly out of tolerance. The frequency of the EVSE oscillator is used to verify connection to a compatible EVSE and proper operation of the EVSE. If the frequency is incorrect, the vehicle should respond by opening the S2 and entering a safe mode. The recommended tolerance is $\pm 10\%$, 1100Hz to 900Hz.
- 10.) It is common for EVSE equipment to support an input signal for the purpose of external load control. This input is used for various purposes including off peak charging support, utility load shedding, and building load management controllers. A maximum response time must be specified to guarantee universal compatibility with the external controlling equipment.
- 11.) The EVSE may modify the pilot signal pulse width at any time, commanding the EV to increase or decrease the maximum AC current draw. The vehicle must adhere to the maximum response time in order guarantee universal compatibility with the external controlling equipment. (see Table 6, specification 10)

5.3 Control Pilot Functions - The control pilot performs the following functions.

5.3.1 Verification of Vehicle Connection - The EVSE is able to determine that the connector is fully inserted into the vehicle inlet and properly connected to the EV by sensing resistance R3 as shown in FIGURES 3, 4, 5, and 6. The diode, D1, insures that an EV is actually connected and can be discriminated from other potential low impedance loads.

5.3.2 EVSE Ready to Supply Energy - The EVSE is able to indicate to the EV that it is ready to supply energy by turning on the oscillator and providing the square wave signal specified in Figure 8. In each of the states specified in Table 3, the EVSE may supply the pilot as a DC signal or as an oscillating signal. However, normally the oscillator is only turned on in State B, State C, or State D. Oscillation in other states should only be transitory as specified in Table 6.

5.3.3 EV Ready to Accept Energy - The EV indicates that it is ready to accept energy from the EVSE by closing switch S2, as shown in FIGURES 3, 4, 5, and 6, when the current profile on the control pilot oscillator is sensed. The EV may de-energize the EVSE at any time by opening switch S2.

5.3.4 Determination of Indoor Ventilation - The EVSE is able to determine if the EV requires indoor charging ventilation by sensing the voltage as specified in Table 3. If required, the EVSE will provide a signal to turn on the indoor charging area ventilation system according to NFPA 70 / NEC – Article 625.

5.3.5 EVSE Current Capacity - The EVSE provides the maximum available continuous current capacity, and by inference the rating of the protective circuit breaker, to the EV by modulating the pulse width as described in TABLE 4 and shown in FIGURE 8. The available line current is linearly proportional to the pulse width by the following equation:

$$\text{Ampacity} = (0.6 \text{ amps} \times \text{pulse width, in usec}) / 10 \text{ usec, from 100 to 800 usec.}$$

As an example, a 200 usec pulse width would be $(0.6 \times 200)/10 = 12$ amps. In this case, the vehicle must adjust its current draw to a maximum of 12 amps.

A pulse width of 900 usec, represents an off-board DC charger and requires that serial data communication be established with the EV before proceeding. The EVSE may accept an external signal to vary the pulse width for supply or premises power limitations. The EV shall use the pulse width to control the on-board charger input/output.

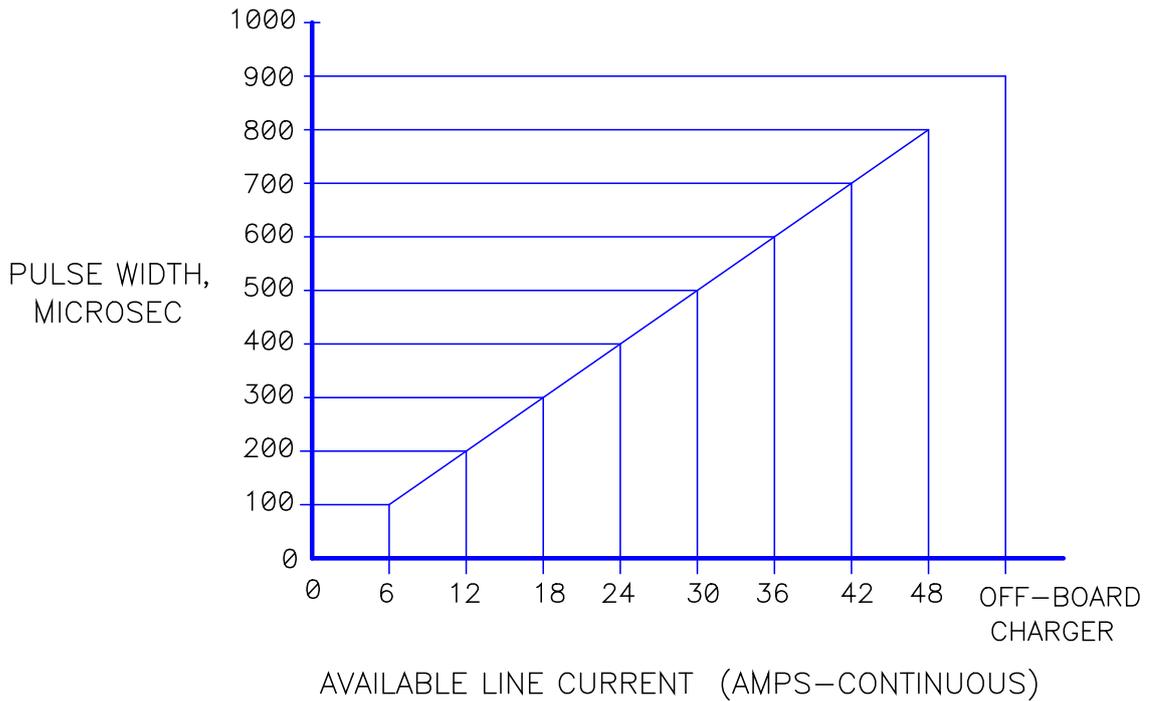


FIGURE 8 – EVSE CURRENT CAPACITY VS. CONTROL PILOT PULSE WIDTH

5.3.6 Verification of Equipment Grounding Continuity - The equipment grounding conductor provides a return path for the control pilot current to insure that the EVSE equipment ground is safely connected to the EV chassis ground during charging. Loss of this signal shall result in the automatic de-energization at the EVSE.

5.4 Proximity Detection - Upon initial insertion of the connector into the vehicle inlet and before any electrical contact is established, the coupler shall provide a means to detect the presence of the connector in the vehicle inlet at a point where damage to coupler, EV, or EVSE could occur if the EV were to be moved. The means shall provide a signal to activate the EV charge controller

and engage the EV drive interlock system. One method to accomplish this is a permanent magnet in the connector and a corresponding hall effect switch in the vehicle inlet as specified in Section 8. Other functionally equivalent means to measure the presence of the connector's magnet shall be permitted at the discretion of the EV manufacturer.

5.5 Serial Data Transfer - Coupler contact numbers 7, 8, and 9 are provided to allow an exchange of serial data information between the EV and the EVSE based on SAE J1850, SAE J2178, and SAE J2293. The serial data link is mandatory for DC Charging to allow the vehicle to control the charge process. The serial data link is optional for AC Level 2 and AC Level 1 – i.e. for displaying charge related or other information to the user.

5.6 Typical Start Up Sequence - The charge process shall commence sequentially according to the following steps as the connector is inserted into the vehicle inlet:

1. The proximity detection means activates EV charge controller and drive interlock
2. Verification of EV connection is detected by EVSE, State B, the oscillator is turned off.
3. EVSE indicates that it is ready to supply energy by turning on the oscillator and supplying square wave pilot signal to the EV, State B.
4. EV indicates that it is ready to accept energy from the EVSE by closing switch S2 and providing vehicle ventilation information to the EVSE, State C or State D.
5. The EVSE determines that the equipment grounding conductor to the EV chassis ground is in place.
6. The EVSE determines that the EV pilot control circuitry is correctly configured by verifying the presence of the diode. The negative side of the pilot pulse must be within the range specified in Table 4.
7. The EVSE determines if indoor area ventilation is required or not. If indoor charging area ventilation is not required then proceed to the next step. If indoor charging area ventilation is required then 3 conditions can exist with corresponding EVSE responses. They are:
 - a) Condition 1 – If the EVSE is listed for indoor charging of all vehicles, turn on the indoor area ventilation system and proceed to the next step.
 - b) Condition 2 – If the EVSE is listed for outdoor charging of all vehicles, proceed to the next step
 - c) Condition 3- If the EVSE is listed for vehicles not requiring indoor charging area ventilation, terminate the process and do not allow energization

8. The EV determines the nature of and available current from the EVSE according to 1 of the following 3 conditions by measuring the pulse width of the signal and proceeding as follows:
 - a) If the pulse width is between 100 and 800 usec, establish the serial data link, if required, and proceed to the next step
 - b) In the pulse width is 900 usec, indicating DC charging, the serial data link must be established before proceeding to the next step.
 - c) If the serial data link cannot be established under the above circumstances, the process must be terminated and the fault condition displayed by the EVSE
9. The EVSE may now energize the system by closing the main power contactor and charging may commence at power levels up to rated maximum continuous current of the EVSE for continuous rated conditions, or up to the rating of the protective circuit breaker for non-continuous conditions, or up to the maximum rated current of the EVSE for DC charging as provided by the serial data link. A continuous load is defined as operating at a given level for more than 3 hours.
10. The above conditions shall be monitored continuously during the charge process. If any of the above conditions do not satisfy the specified requirements, the EVSE must terminate the charge process by opening the main contactor and turning off the pilot oscillator. The EVSE should also display the fault condition.
11. To terminate the charge process, turn the EVSE on/off switch to the off position and/or remove the connector from the vehicle inlet.

6. General EV Requirements

6.1 Electromagnetic Compatibility – During charging, the EV shall meet the requirements of CFR 47- Code of Federal Regulations - Title 47, Parts 15A, 15B, and 18C

6.2 Electromagnetic Emissions – During charging, the EV shall meet the requirements specified in SAE J551-5: Performance Levels and Methods of Measurement of Electromagnetic Radiation from Vehicles and Devices (30 Hz to 1 000 MHz)

6.3 Electromagnetic Immunity – The charging system shall be tested in accordance with SAE J511-11: Performance Levels and Methods of Measurement of Electromagnetic Radiation from Vehicles and Devices (30 Hz to 1 000 MHz) over the frequency range of 530 kHz to 1000 MHz. The test level shall be 50 V/m. As a minimum, the test shall be conducted at 90% of the maximum rated power and at the lowest power rating used during normal operation.

6.4 Electrostatic Discharge – During charging, the EV shall be tested in accordance with and meet the requirements of SAE J511-15: Performance Levels and Methods of Measurement of Electromagnetic Radiation from Vehicles and Devices (30 Hz to 1 000 MHz). The EV may also consider the requirements of IEC 61851-2.1 Electric Vehicle Conductive Charging System – Part 2.1: Electric Vehicle Requirements for Connection to an AC / DC supply

6.5 Environmental – The on-board EV charging system electronic components shall meet the requirements specified in SAE J1211 – Recommended Environmental Practices for Electronic Equipment Design

7. General EVSE Requirements

7.1 Installation Requirements – The EVSE shall meet the requirements specified in the National Electrical Code, NFPA 70 – Article 625 and Canadian Electrical Code – Part 1, Section 86

7.2 General Product Standards – The EVSE shall meet and be listed to the general product requirements specified in UL 2202 – EV Charging System Equipment

7.3 Personnel Protection System – The EVSE shall incorporate a listed system of personnel protection as specified in UL 2231 – Personnel Protection Systems for EV Charging Circuits

7.4 Conductor Cord Requirements – The conductor cord shall meet the requirements specified in the National Electrical Code, NFPA 70 – Articles 625 and Article 400 – Table 400-4, and UL 2202 – EV Charging System Equipment

7.5 Coupler Requirements – The EV coupler shall meet the requirements specified in the National Electrical Code, NFPA 70 – Articles 625, UL2251 – Plugs, Receptacles, and Couplers for Electric Vehicles, and Section 8 of this document

7.6 Electromagnetic Compatibility – During charging, the EVSE shall meet the requirements of CFR 47- Code of Federal Regulations - Title 47, Parts 15A, 15B, and 18C. See 6.1.

8. Coupler Requirements

8.1 Vehicle Inlet/ Connector Compatibility – The vehicle inlet designs shall be of a common physical configuration that is capable of accepting common connector physical configurations for AC Level 1, AC Level 2, and DC charging. Additionally, the physical requirements shall ensure compatibility of connectors and vehicle inlets manufactured by the same manufacturer at different points in time as well as different manufacturers of the mating connectors and vehicle inlets.

8.2 Ergonomic Requirements – The coupler shall comply with the following ergonomic requirements.

8.2.1 Ease of Use – During connection and disconnection, the human efforts required shall be within the physical capabilities of the general adult population and persons with limited or restricted capabilities

8.2.2 Indexing – During connection and disconnection, the insertion/removal of the connector and inlet shall be intuitively obvious and free of multiple orientations for AC Level 1, AC Level 2, and DC charging configurations.

8.2.3 Alignment – The vehicle inlet shall provide a lead-in feature for automatic alignment during insertion and removal of the connector

8.2.4 Tactile Feel – The coupler shall incorporate a means to provide tactile and/or audible feedback to the user when fully engaged

8.2.5 Latching – The coupler shall have a latching mechanism to prevent inadvertent or accidental decoupling. The latching mechanism should provide a means in the connector to open the control pilot conductor when disengaging from the vehicle inlet

8.2.6 Contact Visibility – The coupler contacts shall not be directly visible when decoupled per Section 8.5.8

8.3 Safety Requirements – The coupler shall comply with the following safety requirements

8.3.1 Isolation – The power contacts shall be electrically isolated from the electric supply and battery voltages when decoupled

8.3.2 Exposure of Contacts – When not connected the vehicle inlet and connector shall be designed to prevent direct contact with live parts according to UL2251.

8.3.3 Sharp Edges – The vehicle inlet and connector shall be free of sharp edges and potentially injurious protrusions per UL 1439: Determination of Sharpness of Edges on Equipment

8.3.4 Touch Temperature – the maximum external touch temperature of the coupler shall not be greater than 60 degrees C when the ambient temperature is 40 degrees C. the design process shall

take into consideration material types as specified in UL2251: Plugs, Receptacles, and Couplers for Electric Vehicles

8.3.5 Hazardous Conditions – The coupler should be designed to avoid or mitigate potentially hazardous conditions – fire, electric shock, or personnel injury

8.3.6 Unauthorized Access – For unattended public access charging, the coupler should provide a means to engage a locking or latching mechanism to reduce the likelihood of tampering or unauthorized removal

8.4 Performance Requirements – The coupler shall comply with the following performance requirements

8.4.1 Design Life – The coupler shall be designed to a minimum of 10,000 cycles of mechanical operation. The coupler performance shall not be reduced by the environment conditions specified in Section 8.5 of this document.

8.4.2 Impact Resistance – The connector shall continue to function as intended after being dropped from a height of 1 m onto a concrete surface per UL2251: Plugs, Receptacles, and Couplers for Electric Vehicles

8.4.3 Vehicle Drive-over – The connector shall continue to function as intended or fail in a safe manner after being driven over by a vehicle as specified in UL2251: Plugs, Receptacles, and Couplers for Electric Vehicles

8.5 Environmental Requirements – The coupler shall comply with the following environmental requirements

8.5.1 General Environmental Considerations – The vehicle inlet should meet the performance requirements specified in Section 8.4 under weather and environmental conditions specified by the individual automobile manufacturers.

8.5.2 Temperature Range – The coupler shall be designed to withstand continuous ambient temperatures in the range of –30 degrees C to +50 degrees C during operation when supplied with the EVSE or installed in the EV and continuous ambient temperatures in the range of –50 degrees C and +80 degrees C during shipping or storage when the components parts are assembled, supplied with the EVSE, or installed in the EV

8.5.3 Temperature Rise – The electrical contacts shall be designed for a maximum temperature rise of 50 degrees C above ambient at rated load. The wiring insulation shall be rated for 105 degrees C. For couplers rated less than 200 A, the load is to be applied continuously. For connectors rated 200 A or greater, the load is to be applied for 20 minutes followed by a no-load period of 10 minutes and repeated until peak temperatures stabilize.

8.5.4 Insulation Resistance – The insulation resistance of the coupler between the power conductors and the EV chassis ground shall be a minimum of 10M Ohms at 500 volts DC.

8.5.5 Fluid Resistance – The coupler shall be unaffected by automotive lubricants, solvents, and fuels as specified in Section 4.4 Immersion and Splash of SAE J1211 – Recommended Environmental Practices for Electronic Equipment Design

8.5.6 Mechanical Requirements – The vehicle inlet shall be able to withstand the minimum automotive vibration conditions when tested to the following procedures and pass/fail criteria:

- a. Vibration Test Procedure – A vehicle inlet as mounted on a test fixture shall be securely bolted to the table of the vibration test machine and subjected to vibration according to the following test parameters:

- b. Frequency – Varied from 10 to 55 Hz and return to 10 Hz at a linear sweep period of 2 min./complete sweep cycle
- c. Excursion – $1.0 + 0.1/- 0.0$ mm peak to peak over the specified frequency range
- d. Direction of Vibration – Vertical axis of the vehicle inlet as it is mounted on the vehicle
- e. Test Duration – $60 + 1/- 0$ minutes
- f. Pass/fail criteria – After completion of the test, there shall be no observed rotation, displacement, cracking or rupture of parts of the device that could result in failure to operate as intended or cause to fail any of the other test requirements specified in this document. Cracking or rupture of the parts of the device that affect mounting shall constitute a failure

8.5.7 Sealing Requirements – The vehicle inlet and connector shall be sealed in a manner that the following requirements are met:

- a. When de-coupled, the vehicle inlet shall have an effective sealing system for outdoor use to provide a degree of protection against corrosion, windblown dust and rain, splashing water, hose-directed water, and external ice formation per UL 50, type 3S: Standard for Enclosures for Electrical Equipment as specified in UL2251: Plugs, Receptacles, and Couplers for Electric Vehicles
- b. When coupled, the vehicle inlet shall have an effective sealing system for outdoor use to provide a degree of protection against corrosion, windblown dust and rain, splashing water, hose-directed water, and external ice formation per UL 50, type 3S: Standard for Enclosures for Electrical Equipment as specified in UL2251: Plugs, Receptacles, and Couplers for Electric Vehicles
- c. The vehicle inlet shall provide for the egress of fluids

8.5.8 Shielding Requirements – The coupler shall meet the following shielding requirements:

- a. In addition to an external door, the contacts of the vehicle inlet shall be shielded, physically and visually, when decoupled
- b. The contacts of the connector shall be shielded, physically and visually, when decoupled
- c. The shielding mechanism(s), shall operate automatically during decoupling

- d. When decoupled, the shielding mechanism(s) should be designed to avoid or mitigate direct contact with conductive parts by reducing the likelihood of accidental or inadvertent touching
- e. When decoupled, the shielding mechanism(s) should prevent the ingress of small particles, dirt, leaves, and other small objects from degrading the performance of the sealing system, obstructing electrical current flow, or diminishing coupler performance.

8.6 General Coupler Physical Description – The coupler interface shall be a single common configuration using pressure type contacts and shall be designed for interchangeability with devices of identical ratings and function.

8.6.1 Vehicle Inlet General requirements - There shall be a single vehicle inlet design with two configurations. The standard configuration shall be capable of AC Level 1 and AC Level 2 charging. The optional configuration shall be capable of AC Level 1, AC level 2, and DC Charging. The contact requirements shall be as specified in TABLE 6. The standard configuration shall not function with a connector suitable for DC Charging. The optional configuration shall function with all connector configurations.

TABLE 6 – VEHICLE INLET CONTACT REQUIREMENTS

Contact #	Function	Standard – AC Level 1 and 2	Optional – AC Level 1 and 2 , DC Charging
1	Charger 1	X	X
2	Charger 2	X	X
3	Battery positive		X
4	Battery negative		X
5	Chassis ground	X	X
6	Control pilot	X	X
7	Data negative	O	X
8	Data positive	O	X
9	Data ground	O	X

Note: X = required, O = optional

8.6.2 Connector General Requirements – There shall be a single connector design with two configurations. The standard configuration shall be capable of AC Level 1 and AC Level 2 charging. The optional configuration shall be capable of DC Charging. The minimum contact requirements shall be as specified in TABLE 7. The connector shall be fitted with a cord corresponding to its intended usage and shall meet the requirements specified in the National Electrical Code, NFPA 70 – Articles 625 and Article 400 – Table 400-4.

TABLE 7 – CONNECTOR CONTACT REQUIREMENTS

Contact #	Function	Standard – AC Level 1 and 2	Optional – DC Charging
1	AC Power	X	O
2	AC Power	X	O
3	DC Power		X
4	DC Power		X
5	Equipment ground	X	X
6	Control pilot	X	X
7	Data negative	O	X
8	Data positive	O	X
9	Data ground	O	X

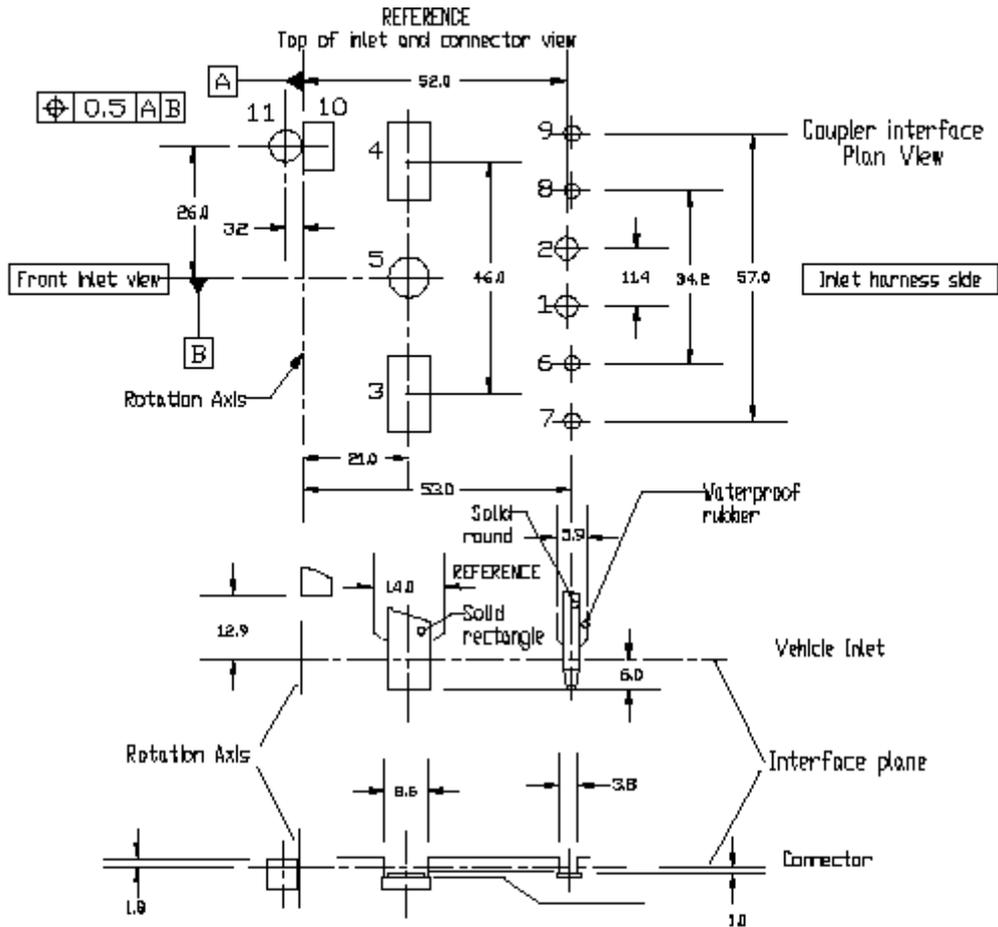
Note: X = required, O = optional

8.7 Dimensional Requirements – The coupler shall be designed to comply with the key dimensional requirements as specified in this section.

8.7.1 Interface Contact Spacing – The general contact sizes and spacing at the coupler interface shall comply with the dimensions as specified in TABLE 8 and shown in FIGURE 9.

TABLE 8 – CONTACT SIZE AND CURRENT RATING

Contact #	Function	Size (mm)	Current rating (Amps)	Voltage rating	Dimension A(mm)	Dimension B(mm)
1	AC Power	4.6 diameter	40 A	300 vac	1.0	6.0
2	AC Power	4.6 diameter	40 A	300 vac	1.0	6.0
3	DC Power	15.0 x 8.0	400 A	600 vdc	2.0	6.0
4	DC Power	15.0 x 8.0	400 A	600 vdc	2.0	6.0
5	Equipment/cassis ground	8.0 diameter	Fault rated		1.0	6.0
6	Control pilot	3.1 diameter	15 A	60 vdc	1.0	5.0
7	Data negative	3.1 diameter	15 A	60 vdc	1.0	6.0
8	Data positive	3.1 diameter	15 A	60 vdc	1.0	6.0
9	Data ground	3.1 diameter	15 A	60 vdc	1.0	6.0

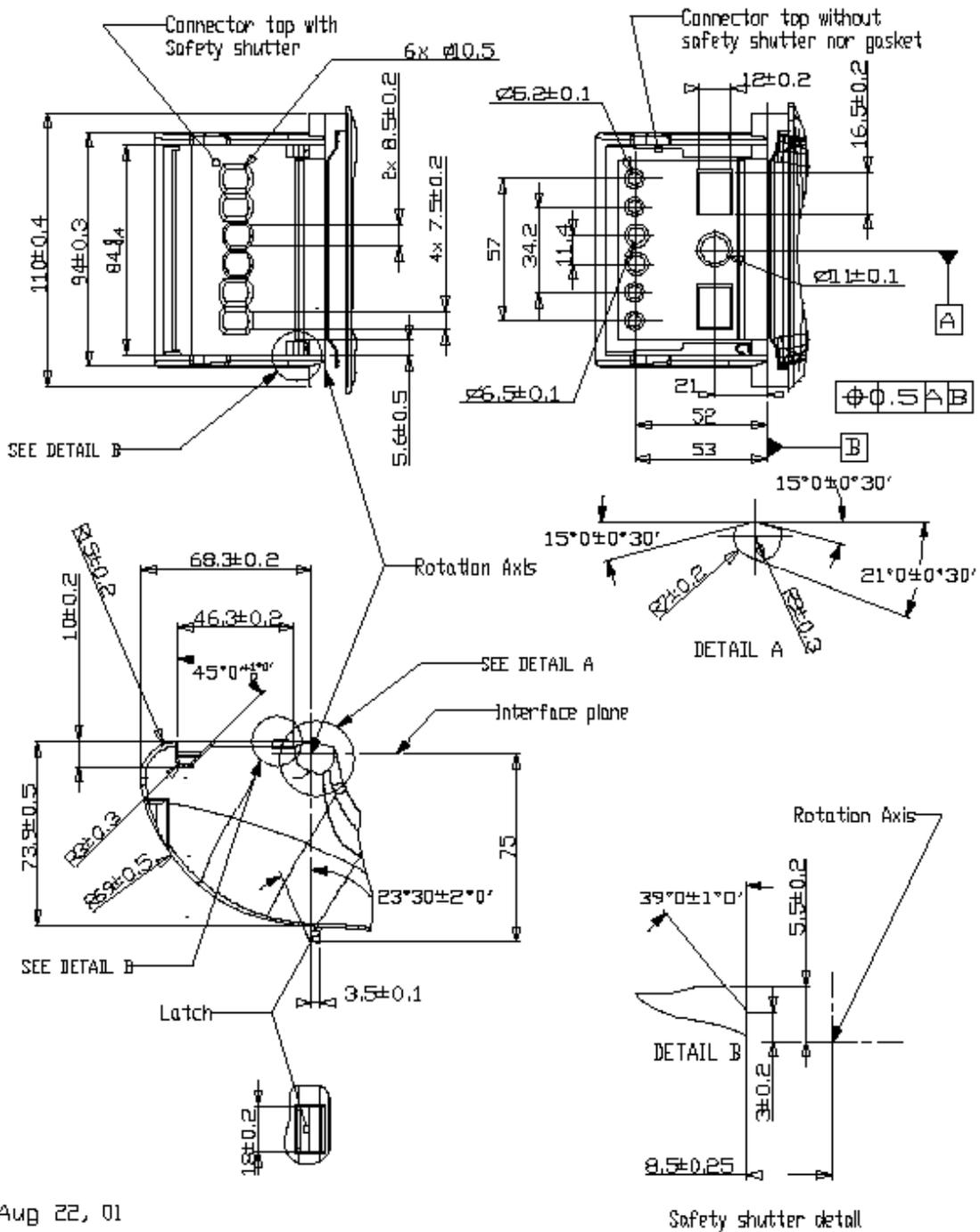


Pin Number	Designation	Size (mm)	Capacity (A)	A±0.2 (mm)	B±0.2 (mm)	C±0.2 (mm)	D±0.2 (mm)	E±0.2 (mm)	F±0.2 (mm)	G±0.2 (mm)	H±0.2 (mm)
1	Low power AC (L/N)	∅ 4.6	40	—	—	1	6	—	8.5	—	6.5
2	Low power AC (L)	∅ 4.6	40	—	—	1	6	—	8.5	—	6.5
3	High Power	15 x 8	400	—	—	2	6	13	—	11	—
4	High Power	15 x 8	400	—	—	2	6	13	—	11	—
5	Equipmt/Chassis ground	∅ 8	—	—	—	1	6	13	—	11	—
6	Control pilot	∅ 3.1	15	—	—	1	5	—	6.8	—	5.2
7	Communication (-)	∅ 3.1	15	—	—	1	6	—	6.8	—	5.2
8	Communication (+)	∅ 3.1	15	—	—	1	6	—	6.8	—	5.2
9	Communication (GND)	∅ 3.1	15	—	—	1	6	—	6.8	—	5.2
10	Reed Switch *	9 x 6 x 20	—	12.9	—	—	—	—	—	—	—
11	Magnetic Sensor *	∅ 6 x 6.8	Surf 6000 Gauss 6.3±1.3 Gauss	—	1.8	—	—	—	—	—	—

* Reed minimum attractive distance to magnet = 17mm

FIGURE 9 – CONTACT INTERFACE SPACING AND CONTROL DIMENSIONS

8.7.2 Connector Physical Dimensions – The connector shall comply with the key physical dimensions as shown in FIGURE 10.



Aug 22, 01

FIGURE 10 – CONNECTOR PHYSICAL CONTROL DIMENSIONS

8.7.3 Vehicle Inlet Physical Dimensions – The vehicle inlet shall comply with the key physical dimensions as shown in FIGURE 11.

8.7.5 Contact Sequencing – During connection, the connector and vehicle inlet shall comply with the contact sequencing and events shown in FIGURE 13 and specified in TABLE 9. It should be noted that the equipment/chassis ground contact is first make/last break and the control pilot contact is last make/first break.

TABLE 9 – COUPLER INTERFACE CONTACT SEQUENCING EVENTS

Sequencing event	AC Level 1 and 2	DC Charging
	Angle A (degrees)	Angle A (degrees)
Insertion zone	0 to -12	0 to -12
Line-to-line connector/inlet	0	0
Equipment-chassis ground	44.5	34.5
Power	49.5	43.0
Data	51.0	51.0
Control pilot	52.0	52.0
Latch point	55.0	55.0
Over travel	58.0	58.0

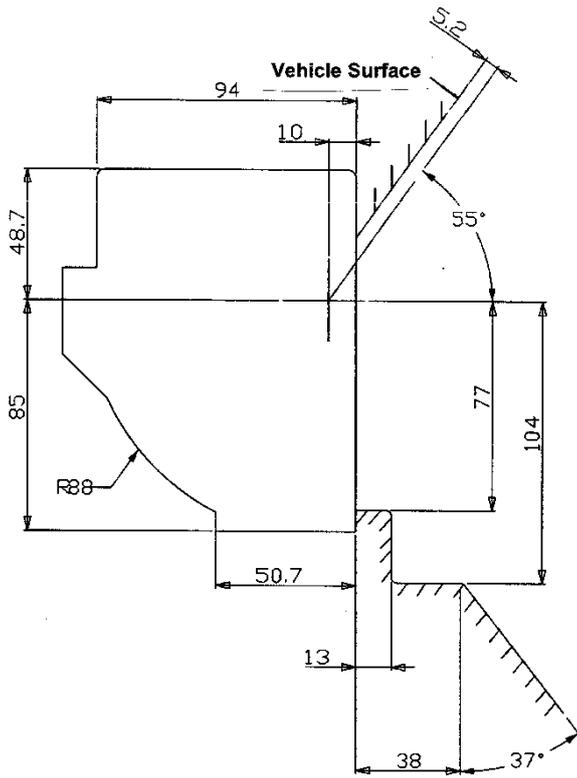


FIGURE 12 – VEHICLE INLET INTERFACE ACCESS ZONE

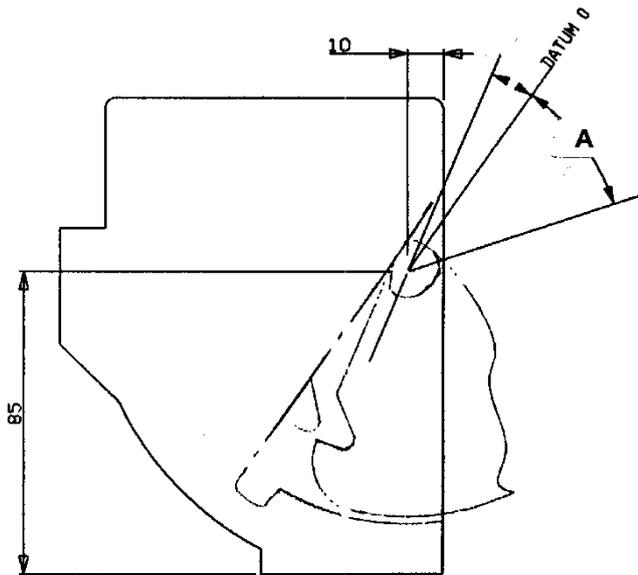


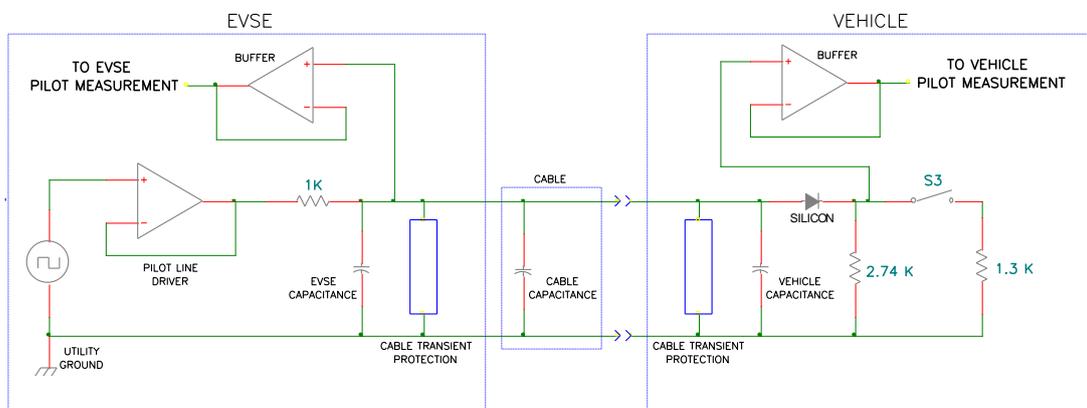
FIGURE 13 – COUPLER INTERFACE CONTACT SEQUENCING

Appendix A - History EVSE/Vehicle Interface

The specifications for the Control Pilot system shown in Section 5 of SAE J1772 are purposely written to convey the most basic information needed to precisely define the system. However, the initial version of this system has been in use since 1997, and the experience gained by the industry may be of help to new manufacturers attempting to design equipment conforming to the SAE J1772 Standard. This Appendix is a compilation of that experience, focused on the interface circuitry between the EVSE and the Vehicle.

Typical circuitry presently in use by Charging Station and Vehicle Manufacturers, is shown in basic form in Figure 1 below. Actual schematics cannot be shown due to proprietary considerations.

Figure 1. Typical Pilot Line Circuitry



Pilot Circuit Components

1. The op-amp shown as a driver is only indicative of the function, and is not intended to imply that this is a Standard method of driving the Pilot line. The low output impedance of a typical op-amp makes the source resistance essentially the resistor itself. Although this may simplify

the design, it does not mean that this is the only valid architecture. Other factors, such as susceptibility to cable transients, should also be considered in the design effort.

2. The two op-amps shown as buffers are meant to show a method of tapping off the Pilot line, for measurement purposes, in a manner that will not significantly effect the line waveform.
3. Switch S2 need not be a mechanical switch or relay. At least one vehicle manufacturer is successfully using an FET for this purpose.
4. The diode shown on the vehicle side is intended to be a common small signal silicon diode. Reverse voltage ratings of at least 100V are readily available and are recommended since this diode is exposed directly to cable transients.
5. The cable capacitance from the Pilot wire to the Ground wire will probably be around 25 pF per foot, and many cables are 15 to 20 feet long. If the EVSE's contactor closes when the line voltage is near a positive or negative peak, then the voltage on the contactor output can rise from 0 to 170 volts in just a few nanoseconds. This fast, high-voltage transition can easily be coupled through the capacitance of the cable. In addition, with the contactor closed during charging, any transients such as might be generated by nearby industrial equipment or lightning strikes can be coupled through. It is highly recommended that transient protection be installed on both the EVSE output and the vehicle input.

Basic Communication Sequence.

The most basic communication sequence between the EVSE and the Vehicle is presented below in terms of the nominal voltage levels involved.

1. The EVSE generates a static +12V, waiting for connection to the Vehicle.
2. Upon connection, assuming that switch S2 is open, the 2.74K resistor on the vehicle will pull the +12V down to +9V, as measured at the EVSE output. The EVSE will sense this and begin generating a +9V, -12V, 1 KHz square wave. Because of the diode on the Vehicle, the negative portion will be at

-12V. Note that, for standard AC Level I and AC Level 2 charging, the negative portion will always remain at -12V. This purpose of this feature is safety, to allow the EVSE to distinguish between a vehicle and the straight resistance of a curious child's fingers.

3. If the Vehicle requires AC energy transfer, it will close switch S2. Most often, this will switch a 1.3K resistor in parallel with the 2.74K resistor, for an effective total resistance of 882 ohms. This value will pull the positive portion of the square wave down to +6V. The EVSE will interpret this as a request for AC power and close the contactor.

If a 270 ohm resistor is switched in, the positive portion of the square wave will be pulled down to +3V, informing the EVSE that the vehicle's battery is a type that emits hazardous gasses during charging, and requires an exhaust fan in enclosed areas. Unless the EVSE is equipped to verify that such a fan is running, it must not close the contactor. In practice, very few auto manufacturers have put such batteries in their vehicles due to liability issues, and virtually all are using the 1.3K resistor value.

4. When the Vehicle no longer requires AC energy transfer, it will open S2 and the positive portion of the signal will go back up to +9V. The EVSE will open the contactor, removing power. The +9V, -12V square wave will remain until the cable is disconnected from the Vehicle, when it will again go back to the static +12V state.

Pilot Line Voltage Ranges

Table 1 is not intended to imply that the Control Pilot voltages must remain within the minimum and maximum voltages shown. Rather, given the voltages and component values, and their tolerances as specified in Section 5 of SAE J1772, it shows the range of voltages that will be obtained on the Pilot line output, over a -40 C to 85 C temperature range. This includes a tolerance of 3% for resistors on both the EVSE and the vehicle, and includes temperature affects on the small signal silicon diode. The table also assumes low-resistance Pilot Line and Ground connections through the cable and connections.

EVSE manufacturers must decide for themselves what voltage tolerances will be acceptable for each Pilot line state, keeping in mind that vehicle tolerances are also involved.

Table 1. Pilot Line Voltage Ranges

	minimum	nominal	maximum
Positive Voltage, State A	11.40	12.00	12.60
Positive Voltage, State B	8.36	9.00	9.56

Positive Voltage, State C	5.48	6.00	6.49
Positive Voltage, State D	2.62	3.00	3.25
Negative Voltage - States B, C, D, and F	-11.40	-12.00	-12.60

In the States B, C, and D, where a 1 KHz square wave is present with capacitance on the line, the voltages shown represent the fully-settled values ($> 8RC$) after a transition.

The +12V and -12V voltages will most likely be generated using generic 3-terminal regulators. The minimum and maximum voltages shown in Table 1 both indicate a 5% tolerance. However, in recent years the +12V regulators have become commonly and inexpensively available with tolerances of +/- 2% over line, load, and temperature variations. The -12V regulators are commonly available with +/- 4% tolerance. Use of these, or others that may have even tighter tolerance specifications, will give greater tolerance to other components, increasing the probability that system voltages will stay within the specifications over the life of the equipment.

Previously, SAE J1772 specified the voltage range for each state, as shown in Table 2, below. Each state had a +/- 1V range, with 1V gaps between each range that were considered invalid voltages. This was intended to give each state a large tolerance leeway, and provide gaps between states for noise immunity.

Table 2. Original Pilot Voltage Specification (no longer required)

	Invalid
	13.0V
State A	12.0V - nominal
	11.0V
	Invalid
	10.0V
State B	9.0V - nominal
	8.0V
	Invalid
	7.0V
State C	6.0V - nominal
	5.0V
	Invalid
	4.0V
State D	3.0V - nominal
	2.0V
	Invalid

These voltage ranges are no longer part of the SAE 1772 Specification. EVSE manufacturers may still use these ranges, at their discretion, but they are no longer constrained to do so by the Standard. As shown in Table 1, in a properly functioning system where the voltages and component tolerances are within the Specification, the voltages obtained will be well within those in Table 2.

However, staying within the Specifications for the EVSE in Section 5 of SAE J1772, it will be left to the EVSE designer to decide the general architecture they will use and what voltage tolerances they will allow in their equipment for each state. At the other end of the cable, the Vehicle Manufacturers must be sure the equivalent resistances for each state fall within the Specifications.

The specifications for the EVSE in Table 4 of SAE J1772 can be used by the Vehicle Manufacturers to fully test their end of the system by simulating the EVSE part of the interface. The same is true for EVSE manufacturers, who can simulate the vehicle part of the interface. Values of all parameters can be adjusted over their specified range, and the robustness of the system can be determined before committing to the manufacture of a particular design.

APPENDIX B - AC Level 3 Charging

B.1 Scope—This appendix is intended to provide guidance to accommodate vehicles using an on-board charging system capable of accepting current in excess of 48 A a.c.

B.1.1 System Description—The J1772 recommended conductive coupler provides for two sets of current-carrying conductors. Contacts 1 and 2 are designated for a.c. charging at 6 to 48 A line current; contacts 3 and 4 are designated for high-current charging at up to 400 A. DC Charging uses the high-current contacts exclusively while AC Level 2 and AC Level 1 charging use the low-current contacts exclusively. Improvements in onboard charging technology enable more powerful charging, but require more current than can be supplied by contacts 1 and 2. The high-power coupler contacts 3 and 4 may be used to supply AC Level 3 to compatible vehicles following the guidelines in this appendix.

Definition: AC Level 3 – A charging method that utilizes dedicated electric vehicle supply equipment in either private or public locations. The vehicle shall be fitted with an on-board charger capable of accepting energy from an a.c. supply network at a nominal voltage of 208 and 240 vac and a maximum current of 400 A.

Table B1 compares the characteristics of electric vehicle charging modes. Note that AC Level 3 charging shares most characteristics with AC Level 2 charging because the charger is located in the vehicle.

Table B1—CHARGING MODE CHARACTERISTICS

EVSE Type	EVSE Input	EVSE Output	EVSE—Vehicle Control Method	Charger Location	Charger Location	Power Max.
AC Level 2	208-240 Vac	208-240 Vac	J1772 Pilot	Vehicle	Vehicle	11.5 kW
AC Level 3	208-240 Vac	208-240 Vac	J1772 Pilot	Vehicle	Vehicle	96 kW
DC Charging	208-600 V	0-600 Vdc	J1772 and J2293	EVSE	EVSE	240 kW

B.2 Pilot Circuit—AC Level 3 charging interface is controlled by a pilot signal output from the Electric Vehicle Supply Equipment, similar to AC Level 2 charging. Characteristics of the EVSE are conveyed by the output (open circuit) voltage combination of the pilot signal. When plugged into an EVSE, a vehicle connects the pilot output to the supply ground through a resistor/diode combination, bringing the pilot test point voltages into the range of a valid response. If the EVSE detects a valid charge request, it adjusts the pilot duty cycle to convey the available a.c. line current, and then closes the appropriate contactor.

B2.1 Electric Vehicle Supply Equipment output parameters—Table A2 defines pilot signal characteristics for AC Level 2, AC Level 3, and DC Charging EVSE. Note that an AC Level 3 EVSE can operate as an AC Level 2 EVSE if AC Level 3 charging is not requested. The AC Level 3 pilot signal duty cycle range corresponds to the duty cycle range for AC Level 2 charging but not DC Charging. Permissible supply resistance (on pilot oscillator output) is the same for all EVSE.

Table B2—EVSE CONTROL PILOT PARAMETERS

EVSE Type	Output OCV (-)	Output OCV (+)	Duty Cycle Min.	Duty Cycle Max.	Oscillato r Hz	Supply Resistan ce
AC Level 2	-12 Vdc	+12 Vdc	10%	80%	1000	1000Ω
DC Charging	-12 Vdc	+12 Vdc	90%	90%	1000	1000Ω
AC Level 3	-9 Vdc*	+12 Vdc	10%	80%	1000	1000Ω

*EVSE supporting Level 2 and High-power AC may transition to -12 v for Level 2 mode

B.2.2 Vehicle response parameters—Electric vehicles respond to the pilot signal by applying a resistor/diode combination to complete the pilot circuit. The necessary equivalent resistance (diode plus resistor) values for valid responses are indicated in Table B3.

Table B3—VEHICLE CHARGE REQUEST PARAMETERS

Charge Request	Pilot Voltage Test Point (-)	Pilot Voltage Test Point (+)	Vehicle Equiv. Resistance (-)	Vehicle Equiv. Resistance (+)
AC Level 2	-12 Vdc	+6 Vdc*	∞	1000Ω*
DC Charging	-12 Vdc	+9 Vdc	N/A	3000Ω
AC Level 2	-3 Vdc	+9 Vdc	500Ω	3000Ω

*Confirmation is +3 v if ventilation is required, $R_{eq.} = 333\Omega$

B.2.3 EVSE response parameters—The EVSE continuously monitors the filtered test point voltages. Test point voltages specified in Table B4 constitute valid responses. While the power contactor is being opened or closed, the EVSE may be configured to lower pilot duty cycle (current limit) to reduce wear on the power contacts.

Table B4—EVSE RESPONSE PARAMETERS

EVSE Type	Vehicle Present Test Point (-)	Vehicle Present Test Point (+)	Charge Request Test Point (-)	Charge Request Test Point (+)
AC Level 2	-12vdc	+9vdc	-12vdc	+6vdc*
DC Charging	-12vdc	+9vdc	-12vdc	+9vdc
AC Level 3	-9vdc	+9vdc	-3vdc	+9vdc

*Test point is +3 v if ventilation is required

B.2.4 EVSE current limit function—AC Level 2 and AC Level 3 EVSE use the pilot signal duty cycle to communicate available line current to the vehicle charger. The equations for these scales are indicated Table B5. The AC Level 3 charging scale enables the EVSE to limit current between 0 and 400 A, while the AC Level 2 scale enables control between 6 and 48 A. Examples of duty-cycle to line-limit correspondence are shown in Table B6.

Table B5—CURRENT LIMIT EQUATION

Charging Mode	Duty Cycle Range	Current Limit, AC amperes
AC Level 2	5% < duty cycle <80%	$I = 60 \times (\text{DUTY CYCLE})$
AC Level 3	13% < duty cycle <80%	$I = 600 \times (\text{DUTY CYCLE}) - 80$
AC Level 3	If duty cycle < 13%	$I = 0$

Table B6—CURRENT LIMIT SCALE

Control Pilot	Current Limit ACLevel 2	Current Limit ACLevel3
Duty Cycle	(AC amps, cont.)	(AC amps, cont.)
10%	6	0
20%	12	40
30%	18	100
40%	24	160
50%	30	220
60%	36	280
70%	42	340
80%	48	400
90%	0—DC Charging Only	0—DC Charging Only

B.2.5 AC charging implementation—Vehicles and EVSE configured for AC Level 3 charging may also support AC Level 2 for greater compatibility. Figure B1 shows an EVSE/vehicle implementation of AC Level 3 charging. Note that the EVSE and EV are both configured to support AC Level 2 charging. The vehicle’s low and high current charge port contacts are wired together to permit the on-board charger to operate from either low or high power sources. The EVSE uses 2 separate contactors to preclude parallel current paths while charging AC Level 3 vehicles. Vehicles could also be configured for DC Charging with the addition of a serial data interface and contactors between the high power contacts and the on-board charger and battery pack.

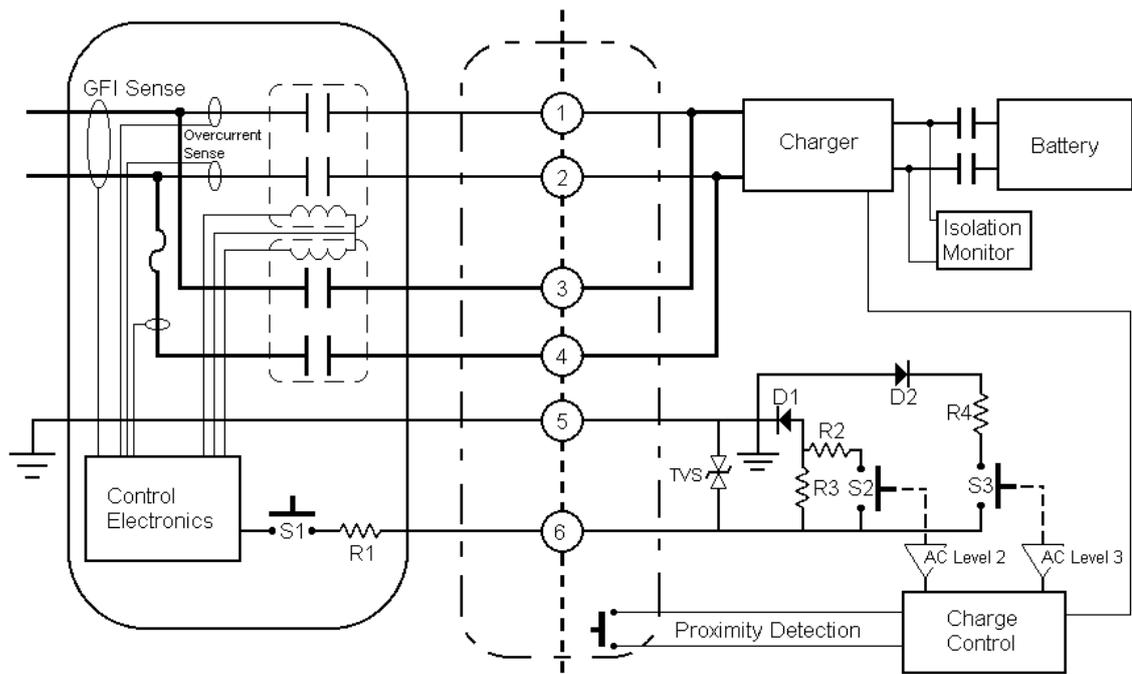


Figure B1—AC LEVEL 3 AND AC LEVEL 2 SYSTEM CONFIGURATION

Anexo C Código fuente del poste cargador de baterías

```
#include <math.h>

#include <Wire.h>

#include <LiquidCrystal_I2C.h>

#include <SoftwareSerial.h>

#define I2C_ADDR 0x27

SoftwareSerial SIM800(3,2); // RX, TX

LiquidCrystal_I2C      lcd(I2C_ADDR,2, 1, 0, 4, 5, 6, 7);

float SENSIBILITY = 0.100; // Modelo 20A

unsigned long time;

int SAMPLESNUMBER = 100;

float current;

int sen=11, rele=12, pw=0, bz=13;

float voltage, voltaje, voltajet, corrienteSum = 0;

String cod="";

int ledv=10, lederr=9, ledch=8, ledon=7;

int p1,p2,p3,i;

void setup()

{

  Serial.begin(9600);

  SIM800.begin(9600);

  lcd.begin (20,4);

  lcd.setBacklightPin(3,POSITIVE);

  lcd.setBacklight(HIGH);
```

```
lcd.home ();

lcd.setCursor(0,1);

lcd.print(" INICIANDO.....");

SIM800.println("AT+CMGF=1\r");

delay(500);

SIM800.println("AT+CNMI=2,2,0,0,0\r");

delay(500);

pinMode(ledon,OUTPUT); pinMode(ledch,OUTPUT); pinMode(lederr,OUTPUT);

pinMode(ledv,OUTPUT); pinMode(sen,OUTPUT); pinMode(rele,OUTPUT);

pinMode(bz, OUTPUT);

pinMode(4, INPUT); pinMode(5, INPUT); pinMode(6, INPUT);

ini();

lcd.clear();

// smscarga();

}

void loop()

{

digitalWrite(ledon,HIGH);

pulsasen();

lcd.clear();

pw = analogRead(A1);

pw=map(pw,0,1023,0,15);

pantalla();

if(p1==HIGH)
```

```

{
    ini();
    ciclocarga();
}

//printMeasure("Corriente=", current, " ");
}

void printMeasure(String prefix, float value, String postfix)
{
    Serial.print(prefix);
    Serial.print(value, 3);
    Serial.print(postfix);
}

float getCorriente(int samplesNumber)
{
    corrienteSum = 0;
    voltaje=0;
    for (int i = 0; i < samplesNumber; i++)
    {
        voltaje = analogRead(A0) * 5.0 / 1023.0;
        corrienteSum += (voltaje - 2.5) / SENSIBILITY;
        int sensorValue = analogRead(A2);
        voltaje += sensorValue * (270 / 1023.0);
    }
    corrienteSum=corrienteSum / samplesNumber;
}

```

```

voltajet=voltaje/samplesNumber;

if(voltajet<=10)

{

voltajet=0;

}

// corrienteSum=corrienteSum-5.20;

corrienteSum=corrienteSum-0.9;

if(corrienteSum<=0.6)

{ corrienteSum=0; }

return(corrienteSum);

}

void smscarga()

{

lcd.setCursor(0,0);

lcd.print(" ENVIANDO ALERTA ");

SIM800.println("AT+CMGF=1\r");

delay(500);

SIM800.println("AT+CMGS=\"+593988052067\"");

delay(500);

SIM800.println("BATERIA CARGADA");

delay(500);

SIM800.println((char)26);

delay(500);

SIM800.println();

```

```
    delay(500);

    lcd.setCursor(0,1);

    lcd.print("  CARGA LISTA SMS  ");

    digitalWrite(bz, HIGH); delay(500); digitalWrite(bz, LOW); delay(100);

    digitalWrite(bz, HIGH); delay(500); digitalWrite(bz, LOW); delay(100);

    delay(2000);

}

void ini()

{

    digitalWrite(ledon, HIGH);

    delay(200);

    digitalWrite(ledon, LOW);

    delay(100);

digitalWrite(ledch, HIGH);

    delay(200);

    digitalWrite(ledch, LOW);

    delay(100);

    digitalWrite(lederr, HIGH);

    delay(200);

    digitalWrite(lederr, LOW);

    delay(100);

    digitalWrite(ledv, HIGH);

    delay(200);

    digitalWrite(ledv, LOW);
```

```
    delay(100);

    /* digitalWrite(ledch, HIGH);

    delay(1000);

    digitalWrite(ledch, LOW);

    delay(1000);

    digitalWrite(lederr, HIGH);

    delay(1000);

    digitalWrite(lederr, LOW);

    delay(1000);

    digitalWrite(ledv, HIGH);

    delay(1000);

    digitalWrite(ledv, LOW);

    delay(1000);

    */

    digitalWrite(bz, HIGH); delay(100); digitalWrite(bz, LOW);

}

void pulsasen()

{

    p1 = digitalRead(4);

    p2 = digitalRead(5);

    p3 = digitalRead(6);

    /*

    Serial.print("P1: ");

    Serial.print(p1);
```

```
Serial.print(" P2: ");

Serial.print(p2);

Serial.print(" P3: ");

Serial.println(p3);

*/

current = getCorriente(SAMPLESNUMBER);

}

void pantalla()

{

    lcd.setCursor(0,0);

    lcd.print(" CARGADOR HIBRIDO");

    lcd.setCursor(0,1);

    lcd.print(" I=");

    lcd.print(current,2);

    lcd.print(" A");

    lcd.print(" V=");

    lcd.print(voltajet);

    lcd.print(" V");

    lcd.setCursor(0,2);

    lcd.print("ESTADO: ");

    lcd.setCursor(0,3);

    lcd.print(" ESPERANDO");

    delay(100);

    lcd.setCursor(0,3);
```

```
lcd.print(" ESPERANDO.");

delay(100);

lcd.setCursor(0,3);

lcd.print(" ESPERANDO..");

delay(100);

lcd.setCursor(0,3);

lcd.print(" ESPERANDO...");

delay(10);

Serial.print(" Corriente: ");

Serial.print(current,2);

Serial.print(" Voltaje: ");

Serial.print(voltajet);

Serial.println(" ");

}

void ciclocarga()

{

    digitalWrite(ledon,HIGH);

    lcd.clear();

    lcd.setCursor(0,1);

    lcd.print(" INICIANDO CARGA.. ");

    lcd.setCursor(0,2);

    lcd.print(" ESPERE.. ");

    digitalWrite(rele,HIGH);

    for(i=1;i<=30;i++)
```

```
{  
  
  analogWrite(sen, i);  
  
  lcd.setCursor(0,3);  
  
  current = getCorriente(SAMPLESNUMBER);  
  
  pantalla();  
  
  lcd.print(i);  
  
  Serial.println(i);  
  
  delay(500);  
  
}  
  
current = getCorriente(SAMPLESNUMBER);  
  
pantalla();  
  
delay(1000);  
  
while(voltajet<=280)  
{  
  
digitalWrite(ledch,HIGH);  
  
current = getCorriente(SAMPLESNUMBER);  
  
pulsasen();  
  
lcd.clear();  
  
lcd.setCursor(0,0);  
  
lcd.print(" CARGADOR HIBRIDO");  
  
lcd.setCursor(0,2);  
  
lcd.print("ESTADO:");  
  
lcd.setCursor(0,3);  
  
lcd.print(" CARGANDO.");  
  
}
```

```
lcd.setCursor(0,1);

lcd.print(" I=");

current = getCorriente(SAMPLESNUMBER);

lcd.print(current,2);

Serial.print("Corriente: ");

Serial.print(current,2);

Serial.print(" Voltaje: ");

Serial.print(voltajet);

Serial.println(" CARGANDO....");

lcd.print(" A");

lcd.print(" V=");

lcd.print(voltajet);

lcd.print(" V");

delay(200);

lcd.setCursor(0,3);

lcd.print(" CARGANDO..");

delay(100);

lcd.setCursor(0,3);

lcd.print(" CARGANDO...");

delay(100);

digitalWrite(ledch,LOW);

lcd.setCursor(0,3);

lcd.print(" CARGANDO.....");

delay(100);
```

```
lcd.setCursor(0,3);

lcd.print(" CARGANDO.....");

delay(100);

lcd.setCursor(0,3);

lcd.print(" CARGANDO.....");

if(current<=0.9)

{

error();

}

}

analogWrite(sen, 0);

digitalWrite(ledch,LOW);

digitalWrite(rele,LOW);

smscarga();

lcd.setCursor(0,2);

lcd.print(" BATERIA CARGADA ");

lcd.setCursor(0,3);

lcd.print("DESCONECTE");

while(1)

{

digitalWrite(ledv,HIGH);

delay(100);

digitalWrite(ledv,LOW);

delay(100);
```

```
    }  
  }  
  void error()  
  {  
    while(1)  
    {  
      Serial.println("ERRORRRRRRR");  
      digitalWrite(lederr,HIGH);  
      digitalWrite(ledon,LOW);  
      analogWrite(sen, 0);  
      digitalWrite(rele,LOW);  
      lcd.clear();  
      lcd.setCursor(0,0);  
      lcd.print("  ALERTA ERROR ");  
      lcd.setCursor(0,1);  
      lcd.print("BATERIA DESCONECTADA ");  
      digitalWrite(bz, HIGH); delay(800); digitalWrite(bz, LOW); delay(500);  
      digitalWrite(bz, HIGH); delay(800); digitalWrite(bz, LOW); delay(500);  
      digitalWrite(bz, HIGH); delay(800); digitalWrite(bz, LOW); delay(500);  
      digitalWrite(bz, HIGH); delay(800); digitalWrite(bz, LOW); delay(500);  
    }  
  }  
}
```