



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN MECATRÓNICA**

TEMA:

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CARGA CON ENERGÍA NO
CONVENCIONAL EN UN VEHÍCULO ELÉCTRICO TIPO SCOOTER”**

AUTOR: PARIÓN PULAMARÍN DARWIN ISRAEL

DIRECTOR: MSC. DIEGO LUIS ORTIZ MORALES

IBARRA, 2019



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA.

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100402107-5		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Parión Pulamarín Darwin Israel		
DIRECCIÓN:	Cayambe, Barrio Álvarez y Chiriboga, Calle San Pedro #117		
EMAIL:	israel_777.dipp@hotmail.com / diparionp@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	(02) 3480231	TELÉFONO MÓVIL:	(+593) 999914951

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CARGA CON ENERGÍA NO CONVENCIONAL EN UN VEHÍCULO ELÉCTRICO TIPO SCOOTER
AUTOR:	Parión Pulamarín Darwin Israel
FECHA: DD/MM/AAAA	17/05/2019
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	Pregrado
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Mecatrónica
ASESOR /DIRECTOR:	MSc. Diego Luis Ortiz Morales



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

2. CONSTANCIAS.

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 17 días del mes de mayo de 2019.

EL AUTOR:

A handwritten signature in blue ink, which appears to read 'Darwin Israel Parión Pulamarín', is written over a horizontal dotted line.

Darwin Israel Parión Pulamarín



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN

En calidad de Director del Trabajo de Grado titulado: **“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CARGA CON ENERGÍA NO CONVENCIONAL EN UN VEHÍCULO ELÉCTRICO TIPO SCOOTER”**, certifico que ha sido desarrollado en su totalidad y bajo mi supervisión, por el señor Darwin Israel Parión Pulamarín, con cédula de ciudadanía 100402107-5, para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica.

Ibarra, a los 17 días del mes de mayo de 2019.

Atentamente:

A handwritten signature in blue ink, which appears to read "Diego Luis Ortiz Morales", is written over a horizontal dotted line.

MSc. Diego Luis Ortiz Morales
Director de Tesis

AGRADECIMIENTO

Mi más sincero y profundo agradecimiento a Dios, por darme la oportunidad formarme como profesional.

Gracias a la Universidad Técnica del Norte, a la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, por haberme abierto las puertas y permitirme adquirir los conocimientos académicos durante mi proceso de estudio.

A mi director de tesis MSc. Diego Ortiz por tanta paciencia y ayuda brindada, durante la realización de mi trabajo de grado.

A toda mi familia, especialmente a mis padres, quienes me han apoyado en todo momento. De todo corazón, muchas gracias.

Darwin Israel Parión Pulamarín

DEDICATORIA

Dedicado a Dios mi creador por haberme dado las fuerzas y la sabiduría necesaria para cumplir con mis objetivos académicos y profesionales.

A mis padres Ruperto y Lucinda, por siempre haber confiado en mí, por ese apoyo y amor incondicional mostrado día a día.

A mis hermanos Franklin, William, Diego y a cada una de sus familias, quienes han sido mi ejemplo e inspiración para seguir adelante.

A mis amigos Vladimir, Azucena y Beatriz, por haber sido parte de todo este proceso.

A esa persona muy especial que veo reflejada cada mañana, al estar frente al espejo...
¡Naciste para ser grande!

Darwin Israel Parión Pulamarín

RESUMEN

El aumento de los medios de transporte en el Ecuador, está creciendo de una manera acelerada, y la demanda energética por combustibles fósiles para su funcionamiento también ha ido en aumento, provocando que el medio ambiente se contamine. Ante la situación planteada, se ha propuesto la utilización de energías alternativas en el sector automotriz, con la implementar un sistema de carga no convencional a un vehículo eléctrico, tipo scooter.

La selección de componente eléctrico y mecánicos se realizaron a través de matrices de comparación con el fin de utilizar los más convenientes. Para los diseños y validaciones se hizo uso de cálculos teóricos y apoyos con software.

Como resultado se obtuvo, el ensamble de un scooter eléctrico, con capacidad transportar una carga neta de 95 Kg a una velocidad máxima de 45 Km/h en línea recta; el vehículo cuenta con aproximadamente 30% de piezas construidas a nivel local, en su sistema mecánico. La implementación de energías alternativas se realizó por medio de un panel fotovoltaico, que, al pasar por el regulador de carga, entrega una tensión eléctrica nominal de 56 voltios y una corriente nominal de 160 miliamperios.

ABSTRACT

The increase of means of transport in Ecuador is growing in an accelerated way, and the energy demand for fossil fuels for its operation has also been increasing, causing the environment to become contaminated. Given the situation, the use of alternative energies in the automotive sector has been proposed, with the implementation of a non-conventional charging system for an electric vehicle, scooter type.

The selection of electrical and mechanical components were made through comparison matrices in order to use the most convenient ones. For the designs and validations, theoretical calculations and supports with software were used.

As a result, the assembly of an electric scooter was obtained, with the capacity to transport a net load of 95 kg at a maximum speed of 45 Km/h in a straight line. The vehicle has approximately 30% of parts built locally, in its mechanical system. The implementation of alternative energies was carried out by means of a photovoltaic panel, which, when passing through the charge regulator, delivers a nominal voltage of 56 V and a nominal current of 160 mA.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	Pág.
1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA.....	ii
2. CONSTANCIAS.....	iii
CERTIFICACIÓN.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
DEDICATORIA.....	vi
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT.....	viii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xvii
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xx
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xxiv
CAPÍTULO I.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Problema.....	1
1.2. Antecedentes.....	1
1.3. Objetivos.....	3
1.3.1. Objetivo general.....	3
1.3.2. Objetivos específicos.....	3
1.4. Alcance.....	3
1.5. Justificación.....	4
CAPÍTULO II.....	5

2. MARCO TEÓRICO	5
2.1. Scooter Eléctrico.....	5
2.2. Tipos de Scooters eléctricos.....	5
2.2.1. Scooter eléctrico tipo vespa o motoneta.....	5
2.2.2. Scooter eléctrico tipo ciclomotor o bicicleta.....	6
2.2.3. Scooter eléctrico tipo patinete.....	7
2.3. Componentes de un scooter eléctrico.....	7
2.3.1. Sistema mecánico.....	7
2.3.2. Sistema eléctrico.....	19
2.3.3. Accesorios de un scooter eléctrico.....	86
2.4. Geometría básica de un scooter eléctrico.....	87
2.4.1. Distancia entre ejes.....	87
2.4.2. Eje de dirección.....	88
2.4.3. Lanzamiento.....	88
2.4.4. Avance.....	88
2.4.5. Desplazamiento de la horquilla.....	89
2.5. Fuerzas que actúan sobre un scooter eléctrico.....	89
2.5.1. Fuerzas gravitacionales.....	90
2.5.2. Fuerzas de desaceleración.....	91
2.5.3. Fuerzas durante el giro.....	92
CAPÍTULO III	93
3. METODOLOGÍA	93
3.1. Establecer el fundamento teórico necesario, para la implementación de un sistema de carga de baterías no convencional a un scooter eléctrico.....	93
3.2. Diseñar un sistema de carga de baterías a través de paneles solares fotovoltaicos, que permita alimentar los acumuladores del scooter eléctrico.....	93
3.3. Ensamblar un scooter eléctrico con partes y piezas existentes en el mercado local.....	93

3.4.	Construir el sistema carga de baterías, con paneles solares fotovoltaicos.....	94
3.5.	Elaborar planos mecánicos y eléctricos del scooter.....	94
3.6.	Construir los soportes, para la implementación de las partes eléctricas, electrónicas, controlador de carga y paneles solares fotovoltaicos.....	94
3.7.	Implementar el sistema de carga con paneles solares fotovoltaicos a la estructura del scooter eléctrico.	94
3.8.	Realizar las pruebas de funcionamiento del scooter eléctrico.	95
CAPÍTULO IV		97
4.	RESULTADOS	97
4.1.	Parámetros Iniciales de Funcionamiento.	97
4.2.	Selección del Modelo.....	97
4.3.	Componentes básicos para el Ensamble del Scooter Eléctrico.....	98
4.3.1.	Componentes para el sistema mecánico.	98
4.3.2.	Componentes para el sistema eléctrico.....	99
4.3.3.	Accesorios.	99
4.4.	Diseño y Selección de Componentes para el Sistema Mecánico del Scooter Eléctrico.....	100
4.4.1.	Geometría del Scooter Eléctrico.....	100
4.4.2.	Análisis Físico.	101
4.4.3.	Selección de componentes para el ensamble del sistema mecánico del scooter eléctrico.	109
4.4.4.	Diseño del chasis para el scooter eléctrico.	115
4.4.5.	Diseño del soporte para las baterías.	121
4.4.6.	Fabricación del chasis.....	136
4.5.	Diseño y Selección de Componentes para el Sistema Eléctrico del Scooter.....	137
4.5.1.	Selección del motor.	137
4.5.2.	Diseño del sistema de almacenamiento de energía.	145
4.5.3.	Selección del cargador de baterías convencional.	153

4.5.4.	Diseño del sistema de carga por medio de paneles solares fotovoltaicos. ..	155
4.6.	Pruebas de Funcionamiento.	207
4.6.1.	Pruebas de conducción.	207
4.6.2.	Pruebas de velocidad.	208
4.6.3.	Pruebas del panel fotovoltaico.....	209
4.6.4.	Pruebas del regulador de carga.	211
CAPÍTULO V	213
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	213
5.1.	Conclusiones.....	213
5.2.	Recomendaciones.	214
REFERENCIAS	215
ANEXOS	223

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1. Estructura y puntos de anclaje de un chasis de scooter eléctrico.....	8
Figura 2.2. Estructuras básicas para un chasis de scooter.	10
Figura 2.3. Estructura de una horquilla.	14
Figura 2.4. Juego de dirección.....	17
Figura 2.5. Basculantes.....	18
Figura 2.6. Amortiguador de resorte helicoidal externo.....	19
Figura 2.7. Variación de la capacidad de una batería en función del régimen de descarga.	27
Figura 2.8. Modelo eléctrico para una batería en proceso de: a) Carga, b) Descarga.	30
Figura 2.9. Vida útil de una batería en función de la profundidad de descarga.	34
Figura 2.10. Batería monoblock de 12 V.	35
Figura 2.11. Tipos de asociación de baterías: a) Serie, b) Paralelo, c) Mixtas.....	35
Figura 2.12. Diagrama de bloques de una fuente conmutada.....	38
Figura 2.13. Circuito de rectificación y filtrado.	38
Figura 2.14. Entrada y salida de un rectificador de onda completa.....	39
Figura 2.15. Forma de onda del voltaje de salida al utilizar un filtro capacitor.....	39
Figura 2.16. Símbolo eléctrico, para una célula fotovoltaica.	41
Figura 2.17. Circuito equivalente para una célula fotovoltaica ideal.	42
Figura 2.18. Conexión de una célula fotovoltaica en: a) Cortocircuito. b) Circuito abierto. c) Conectada a una resistencia de carga.	44
Figura 2.19. Circuito equivalente para una célula fotovoltaica real.....	45
Figura 2.20. Curvas $I - V$ y $P - V$ para una célula solar fotovoltaica en condiciones estándar de medida.....	48
Figura 2.21. Interacción de una célula fotovoltaica con una carga resistiva.	49
Figura 2.22. Curva $I - V$ para una célula fotovoltaica con distintos valores de irradiancia solar con TC a $25\text{ }^{\circ}C$	51
Figura 2.23. Curva $P - V$ para una célula fotovoltaica con distintos valores de irradiancia solar con TC a $25\text{ }^{\circ}C$	51

Figura 2.24. Curva $I - V$ para una célula fotovoltaica con distintos valores de temperatura de trabajo con irradiancia solar de 1000 Wm^2	55
Figura 2.25. Curva $P - V$ para una célula fotovoltaica con distintos valores de temperatura de trabajo con irradiancia solar de 1000 Wm^2	55
Figura 2.26. Conexión de una carga resistiva a un módulo fotovoltaico.	67
Figura 2.27. Conexión de una batería ideal en un módulo fotovoltaico.....	68
Figura 2.28. Conexión de una batería real en un módulo fotovoltaico.	69
Figura 2.29. Regulador de carga paralelo o shunt.	82
Figura 2.30. Regulador de carga serie, controlado en la línea positiva.	83
Figura 2.31. Regulador de serie, controlado en la línea negativa.....	83
Figura 2.32. Geometría básica de un scooter eléctrico.....	87
Figura 2.33. Fuerzas que actúan sobre un scooter eléctrico.	89
Figura 4.1. Geometría básica del scooter eléctrico y distribución de fuerzas.	100
Figura 4.2. Ruedas marca Qing Da de 15 pulgadas de diámetro.....	104
Figura 4.3. Boceto en 3D para el chasis del scooter eléctrico.	116
Figura 4.4. Límite elástico, para el chasis sometido a peso total vehicular, obtenido por medio del análisis de elementos finitos.	119
Figura 4.5. Deformación, para el chasis sometido a peso total vehicular, obtenido por medio del análisis de elementos finitos.	120
Figura 4.6. Factor de seguridad, para el chasis sometido a peso total vehicular, obtenido por medio del análisis de elementos finitos.	120
Figura 4.7. Estructura para el soporte de las baterías.	121
Figura 4.8. Diagrama de cuerpo libre, para el soporte de las baterías.....	122
Figura 4.9. Formulario para una viga biempotrada con carga uniformemente distribuida.	122
Figura 4.10. Diagrama de cortes, para el soporte de las baterías.	125
Figura 4.11. Diagrama momento flector, para el soporte de las baterías.	127
Figura 4.12. Formulario de áreas para secciones circulares.	131
Figura 4.13. Límite elástico, por análisis de elementos finitos, para el soporte de las baterías.	134
Figura 4.14. Deformación, por análisis de elementos finitos, para el soporte de las baterías.	134
Figura 4.15. Factor de seguridad, por análisis de elementos finitos, para el soporte de las baterías.....	135

Figura 4.16. Construcción del chasis, soldado de estructura.....	136
Figura 4.17. Construcción del chasis, soldado de láminas.....	136
Figura 4.18. Pintado del chasis.....	137
Figura 4.19. Motor brushless de la marca Boma Motor modelos MB4 48V 1500W.	141
Figura 4.20. Controlador para el motor seleccionado, 48 V a 1500 W	142
Figura 4.21. Medidas de los puntos de anclaje, para el sistema de transmisión de movimiento en la rueda trasera.....	143
Figura 4.22. Simulación para el piñón T8F 64T.	144
Figura 4.23. Piñón T8f 64T.	145
Figura 4.24. Batería de plomo ácido sellado, marca Jiuhua de 12 V a 14 Ah.....	147
Figura 4.25. Medidas de la caja para baterías.....	150
Figura 4.26. Cargador de baterías convencional seleccionado.....	155
Figura 4.27. Conexión básica de las células fotovoltaicas seleccionadas.	159
Figura 4.28. Boceto en 3D de la estructura del panel fotovoltaico.	162
Figura 4.29. Tensión de Von Mises para la estructura del panel fotovoltaico.	163
Figura 4.30. Deformación máxima, para la estructura del panel fotovoltaico.	163
Figura 4.31. Factor de seguridad, para la estructura del panel fotovoltaico.....	164
Figura 4.32. Fabricación y ensamble del panel o módulo fotovoltaico diseñado.	173
Figura 4.33. Diagrama de bloques para el diseño del regulador de carga.....	175
Figura 4.34. Implementación práctica de un regulador de tensión Básico Serie.	177
Figura 4.35. Diagrama de conexión de las células fotovoltaicas con los reguladores de tensión.....	178
Figura 4.36. Simulación, regulador de tensión diseñado, con el voltaje nominal de las células fotovoltaicas.	185
Figura 4.37. Simulación, regulador de tensión diseñado, con el voltaje en circuito abierto de las células fotovoltaicas.....	186
Figura 4.38. Ensamble de la placa reguladora de tensión.	187
Figura 4.39. Conexión para el regulador LM7805.....	193
Figura 4.40. Simulación, fuente de alimentación para el circuito de control diseñada, con voltaje máximo de las baterías.	194
Figura 4.41. Simulación, fuente de alimentación para el circuito de control diseñada, con voltaje nominal de las baterías.	194
Figura 4.42. Circuito Divisor de Voltaje.....	195

Figura 4.43. Simulación, sensor de voltaje diseñado, con voltaje máximo del banco de baterías.....	197
Figura 4.44. Simulación, sensor de voltaje diseñado, con voltaje nominal del banco de baterías.....	197
Figura 4.45. Simulación, sensor de voltaje diseñado, con el banco de baterías descargado.	198
Figura 4.46. Diagrama de flujo para el algoritmo de trabajo a implementar en el microcontrolador.	200
Figura 4.47. Simulación, controlador de carga, con el banco de baterías totalmente descargado.	202
Figura 4.48. Simulación, controlador de carga, con la tensión de rearme de carga.	203
Figura 4.49. Simulación, controlador de carga, con el banco de baterías en su máximo nivel de carga.....	204
Figura 4.50. Simulación, controlador de carga, con la tensión final de carga.....	205
Figura 4.51. Placa controladora de carga fabricada y ensamblada.....	205
Figura 4.52. Pruebas de conducción.....	207
Figura 4.53. Pruebas de velocidad para el scooter eléctrico en línea recta.	208
Figura 4.54. Pruebas de voltaje nominal suministrado por el panel fotovoltaico, luego de pasar por la placa reguladora de voltaje.	209
Figura 4.55. Pruebas de corriente nominal, suministrado por el panel fotovoltaico, luego de pasar por la placa reguladora de voltaje.	210
Figura 4.56. Voltaje de las baterías medidas con un multímetro digital.	211
Figura 4.57. Voltaje de las baterías medidas con el sensor de voltaje diseñado.	211
Figura 0.1. Pruebas de tensión de cada célula fotovoltaica.	223
Figura 0.2. Pruebas de tensión de las células fotovoltaicas asociadas.	223

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2.1. <i>Características del scooter eléctrico tipo vespa o motoneta</i>	6
Tabla 2.2. <i>Características del scooter eléctrico tipo ciclomotor o bicicleta</i>	6
Tabla 2.3. <i>Características del scooter eléctrico tipo patinete</i>	7
Tabla 2.4. <i>Requisitos generales de rigidez para scooters</i>	9
Tabla 2.5. <i>Relación entre los costos de fabricación del chasis en función de los materiales y su complejidad de manufacturación</i>	11
Tabla 2.6. <i>Tipos de sistemas de transmisión de movimientos en base a la potencia del motor</i>	12
Tabla 2.7. <i>Características para la selección del manubrio de acuerdo a sus medidas</i>	13
Tabla 2.8. <i>Tipos de tubos de dirección en relación a su diámetros y espesores</i>	15
Tabla 2.9. <i>Tipos de sistema de amortiguación en base a su resorte helicoidal</i>	16
Tabla 2.10. <i>Tipos de juego de dirección y sus modos de ajuste</i>	17
Tabla 2.11. <i>Características de los tipos de freno</i>	19
Tabla 2.12. <i>Características de los motores con escobillas (brush) y sin escobillas (brushless)</i>	20
Tabla 4.1. <i>Parámetros iniciales de funcionamiento del scooter eléctrico</i>	97
Tabla 4.2. <i>Comparación de los tipos de scooters eléctricos</i>	98
Tabla 4.3. <i>Lista de componentes a transportar</i>	101
Tabla 4.4. <i>Comparación de los tipos de sistemas de frenos para scooters eléctricos</i>	103
Tabla 4.5. <i>Comparación de los tipos de ruedas existentes en el mercado para scooters eléctricos</i>	104
Tabla 4.6. <i>Características técnicas de las ruedas seleccionadas</i>	105
Tabla 4.7. <i>Comparación de los distintos tipos de sistemas de dirección para scooter eléctricos tipo patinete</i>	110
Tabla 4.8. <i>Comparación de los distintos tipos de horquillas para scooter eléctricos tipo patinete</i>	110
Tabla 4.9. <i>Comparación de los distintos tipos de amortiguadores para horquilla</i>	111

Tabla 4.10. <i>Comparación de los distintos tipos de basculantes para scooter eléctricos tipo patinete.</i>	112
Tabla 4.11. <i>Comparación de los beneficios de poner uno o dos amortiguadores en el basculante.</i>	113
Tabla 4.12. <i>Componentes de ensamble que conforman el scooter eléctrico.</i>	114
Tabla 4.13. <i>Comparación de los tipos de materiales usados en la fabricación de chasis para scooters.</i>	116
Tabla 4.14. <i>Propiedades mecánicas del acero con serie ASTM A500.</i>	117
Tabla 4.15. <i>Comparación de los tipos de tubos estructurales disponibles en el mercado.</i>	117
Tabla 4.16. <i>Lista de fuerzas que actúan sobre el scooter eléctrico.</i>	118
Tabla 4.17. <i>Lista de componentes a colocar sobre el soporte de las baterías.</i>	121
Tabla 4.18. <i>Propiedades del acero con serie ASTM A706.</i>	129
Tabla 4.19. <i>Comparación entre los valores obtenidos de manera teórica y el análisis de elementos finitos, para el soporte de las baterías</i>	135
Tabla 4.20. <i>Parámetros mínimos de funcionamiento para la selección del motor eléctrico.</i>	140
Tabla 4.21. <i>Comparación de los tipos de motores para scooters eléctricos.</i>	140
Tabla 4.22. <i>Características técnicas del motor brushless de la marca Boma Motor modelos MB4 48V 1500W.</i>	141
Tabla 4.23. <i>Características técnicas del controlador para motor brushless de 48V a 1500W.</i>	142
Tabla 4.24. <i>Parámetros entregados por el sistema de transmisión de movimiento.</i>	144
Tabla 4.25. <i>Características de los diferentes tipos de baterías para scooters eléctricos.</i>	145
Tabla 4.26. <i>Comparación de tipos de baterías para scooters eléctricos.</i>	146
Tabla 4.27. <i>Especificaciones técnicas de las baterías.</i>	148
Tabla 4.28. <i>Comparación de los conductores más comunes en el mercado.</i>	149
Tabla 4.29. <i>Parámetros máximos de carga.</i>	153
Tabla 4.30. <i>Comparación entre los tipos de cargadores de batería convencionales existentes en el mercado.</i>	154
Tabla 4.31. <i>Características técnicas del cargador de baterías convencional seleccionado.</i>	154
Tabla 4.32. <i>Comparación de los posibles lugares de ubicación del panel fotovoltaico en el scooter eléctrico.</i>	156

Tabla 4.33. <i>Comparación de tipos células fotovoltaicas existentes en el mercado.</i>	157
Tabla 4.34. <i>Características técnicas de la célula fotovoltaicas de 12 V a 2 W.</i>	158
Tabla 4.35. <i>Características técnicas de la célula fotovoltaicas de 12 V a 1.5 W.</i>	159
Tabla 4.36. <i>Comparación entre materiales utilizados en las tapas de baterías de scooters eléctricos.</i>	160
Tabla 4.37. <i>Propiedades del contrachapado.</i>	160
Tabla 4.38. <i>Lista de componentes a soportar por el panel fotovoltaico.</i>	161
Tabla 4.39. <i>Comparación entre materiales a utilizarse para la cubierta del panel fotovoltaico.</i>	165
Tabla 4.40. <i>Propiedades del policarbonato sólido.</i>	165
Tabla 4.41. <i>Parámetros eléctricos del panel fotovoltaico diseñado.</i>	169
Tabla 4.42. <i>Tensiones de regulación.</i>	174
Tabla 4.43. <i>Comparación entre los tipos de reguladores de carga, utilizados en las instalaciones fotovoltaicas.</i>	175
Tabla 4.44. <i>Comparación entre los reguladores de tensión.</i>	176
Tabla 4.45. <i>Comparación entre los tipos de reguladores lineales de tensión.</i>	177
Tabla 4.46. <i>Voltajes máximos a las entradas de los reguladores de tensión, proporcionados por las células fotovoltaicas.</i>	179
Tabla 4.47. <i>Voltajes nominales que deben entregar las celdas fotovoltaicas, luego de pasar por el regulador de tensión.</i>	179
Tabla 4.48. <i>Diodos Zener seleccionados.</i>	180
Tabla 4.49. <i>Comparación entre los dispositivos que permiten visualizar el nivel de carga de las baterías.</i>	188
Tabla 4.50. <i>Comparación entre los interruptores utilizados en los controladores de carga.</i>	189
Tabla 4.51. <i>Equivalencias de voltajes del banco de baterías con el sensor y su nivel porcentual de carga.</i>	199
Tabla 4.52. <i>Tensiones de regulación, con sus valores equivalentes de censado y su representación porcentual de carga.</i>	201

ÍNDICE DE ECUACIONES

	Pág.
Ecuación 2.1. Capacidad de descarga para una batería.	25
Ecuación 2.2. Capacidad de descarga para una batería en Vatios hora (Wh)	26
Ecuación 2.3. Capacidad útil para una batería.	28
Ecuación 2.4. Estado de carga para una batería.	29
Ecuación 2.5. Tensión en los bornes de la batería durante el proceso de carga.	30
Ecuación 2.6. Tensión en los bornes de la batería durante el proceso de descarga.	31
Ecuación 2.7. Tensión eléctrica del sistema de acumulación.	36
Ecuación 2.8. Capacidad total del sistema de acumulación.	36
Ecuación 2.9. Corriente de cortocircuito de una batería.	37
Ecuación 2.10. Intensidad total que suministra una célula fotovoltaica ideal.	42
Ecuación 2.11. Tensión térmica.	43
Ecuación 2.12. Intensidad total que suministra una célula fotovoltaica ideal, con intensidad de cortocircuito y tensión en circuito abierto.	44
Ecuación 2.13. Intensidad total que suministra una célula fotovoltaica real.	45
Ecuación 2.14. Intensidad total que suministra una célula fotovoltaica real, con intensidad de cortocircuito y tensión en circuito abierto.	46
Ecuación 2.15. Potencia eléctrica máxima que puede suministrar la célula en condiciones estándar de medida.	47
Ecuación 2.16. Carga resistiva para una célula solar.	48
Ecuación 2.17. Intensidad en cortocircuito para una irradiación solar G	50
Ecuación 2.18. Tensión de circuito abierto de una célula fotovoltaica en función de la irradiancia solar.	50
Ecuación 2.19. Potencia de la célula en el punto de máxima potencia a una temperatura de trabajo TC	52
Ecuación 2.20. Intensidad en cortocircuito a la temperatura de trabajo TC de la célula fotovoltaica.	53

Ecuación 2.21. Tensión de circuito abierto a la temperatura de trabajo T_C de la célula fotovoltaica.	53
Ecuación 2.22. Variación de la tensión de circuito abierto en una célula de silicio cristalino debida al efecto de la temperatura.	54
Ecuación 2.23. Rendimiento o eficiencia para una célula solar fotovoltaica.	56
Ecuación 2.24. Factor de forma o de relleno para una célula solar fotovoltaica.	57
Ecuación 2.25. Rendimiento o eficiencia para un módulo fotovoltaico.	63
Ecuación 2.26. Factor de forma o de relleno para un panel solar fotovoltaico.	64
Ecuación 2.27. Expresión de la recta de funcionamiento de la resistencia.	66
Ecuación 2.28. Potencia que entrega un módulo fotovoltaico conectado a una batería ideal de tensión constante.	67
Ecuación 2.29. Tensión en los bornes de una batería real, en proceso de carga.	68
Ecuación 2.30. Recta de funcionamiento una batería real, en proceso de carga con un módulo fotovoltaico.	69
Ecuación 2.31. Modelo matemático para un módulo fotovoltaico.	70
Ecuación 2.32. Resistencia serie del módulo fotovoltaico.	71
Ecuación 2.33. Número total de módulos fotovoltaicos.	75
Ecuación 2.34. Potencia de un generador fotovoltaico en condiciones ideales.	76
Ecuación 2.35. Intensidad máxima de entrada para un regulador de carga.	85
Ecuación 2.36. Intensidad máxima de salida para un regulador de carga.	86
Ecuación 2.37. Peso total vehicular utilizando las fuerzas de reacción sobre las ruedas. ...	90
Ecuación 2.38. Fuerza de frenado.	91
Ecuación 4.1. Peso total vehicular.	102
Ecuación 4.2. Fuerza de empuje.	102
Ecuación 4.3. Fuerza de reacción sobre la rueda delantera cuando el scooter está en reposo.	106
Ecuación 4.4. Fuerza de reacción sobre la rueda trasera cuando el scooter está en reposo.	106
Ecuación 4.5. Fuerza de frenado.	107
Ecuación 4.6. Fuerza de frenado máximo en la rueda delantera.	107
Ecuación 4.7. Fuerza de frenado máximo en la rueda trasera.	108
Ecuación 4.8. Fuerza centrífuga.	109
Ecuación 4.9. Carga total de los elementos a colocar sobre el soporte de las baterías.	123
Ecuación 4.10. Carga uniformemente distribuida a lo largo de un elemento estructural. .	123

Ecuación 4.11. Primera reacción, para una viga biempotrada con carga uniformemente distribuida.	124
Ecuación 4.12. Segunda reacción, para una viga biempotrada con carga uniformemente distribuida.	124
Ecuación 4.13. Momento flector, generado en el primer extremo, para una viga biempotrada con carga uniformemente distribuida.	125
Ecuación 4.14. Momento flector generado en el punto medio, para una viga biempotrada con carga uniformemente distribuida.	126
Ecuación 4.15. Momento flector generado en el segundo extremo, para una viga biempotrada con carga uniformemente distribuida.	127
Ecuación 4.16. Módulo de sección requerido.	128
Ecuación 4.17. Esfuerzo de diseño.	128
Ecuación 4.18. Diámetro para una sección circular.	129
Ecuación 4.19. <i>Esfuerzo flexionante máximo</i>	130
Ecuación 4.20. Segundo momento del área para una sección circular.	131
Ecuación 4.21. Deflexión máxima, en el centro, para una viga biempotrada con carga uniformemente distribuida.	132
Ecuación 4.22. Factor de seguridad.	133
Ecuación 4.23. Torque del motor.	137
Ecuación 4.24. Potencia requerida por el motor.	138
Ecuación 4.25. Velocidad angular.	138
Ecuación 4.26. Velocidad angular en <i>rpm</i>	139
Ecuación 4.27. Número de baterías conectadas en serie en cada rama.	146
Ecuación 4.28. Sección mínima del conductor de cobre, por criterio de caída de tensión, para líneas de corriente continua.	149
Ecuación 4.29. Máxima caída de tensión permitida en la línea.	150
Ecuación 4.30. Diámetro para una sección circular.	151
Ecuación 4.31. Tiempo de operación a corriente continua.	152
Ecuación 4.32. Corriente suministrada por la batería.	153
Ecuación 4.33. Número de células fotovoltaicas conectadas en serie en cada rama.	157
Ecuación 4.34. Peso a soportar por el panel.	161
Ecuación 4.35. Tensión eléctrica del módulo fotovoltaico.	166
Ecuación 4.36. Intensidad del módulo fotovoltaico.	166
Ecuación 4.37. Tensión de circuito abierto del módulo fotovoltaico.	167

Ecuación 4.38. Intensidad de cortocircuito del módulo fotovoltaico.....	168
Ecuación 4.39. Potencia del módulo fotovoltaico.	168
Ecuación 4.40. Resistencia Zener.....	180
Ecuación 4.41. Corriente Zener.....	181
Ecuación 4.42. Voltaje de salida de un regulador de tensión Básico Serie.....	182
Ecuación 4.43. Voltaje nominal regulado del panel fotovoltaico (Sumatoria de fuentes de voltaje conectadas en serie).	183
Ecuación 4.44. Primera resistencia de un divisor de voltaje.	195

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Pruebas celdas fotovoltaicas.	223
Anexo B. Catálogo de DIPAC® MANTA S.A. para Tubo Estructural Cuadrado.	223
Anexo C. Catálogo de DIPAC® MANTA S.A. para Tubo Estructural Redondo.	225
Anexo D. Catálogo de DIPAC® MANTA S.A. para Planchas Galvanizadas.	226
Anexo E. Catálogo de DIPAC® MANTA S.A. para Planchas Laminadas al Caliente. ...	227
Anexo F. Catálogo de ADELCA para Varillas Rectas.	228
Anexo G. Catálogo de ADELCA para Varillas Lisas.	229
Anexo H. Distribución de cables, para controlador de motor brushless de 48 Voltios a 1500 Watts.	230
Anexo I. Catálogo de CSpaRt TM, para piñones de ruedas traseras.	231
Anexo J. Catálogo de ELECTROCABLES C.A. para Conductores de Cobre para Baterías.	232
Anexo K. Catálogo de ELECTROCABLES C.A. para Conductores de Cobre FXT, TFF Y TW-F.	234
Anexo L. Transistor TIP3055 - Datasheet.	236
Anexo M. Dido Zener 1N4728 a 1N4764 - Data Sheet	241
Anexo N. Dido 1N5399 - Datasheet.	244
Anexo O. Conexión LCD 2x16.	247
Anexo P. Conexión básica de un relé.	248
Anexo Q. ATmega328P – Datasheet.	249
Anexo R. Componentes básicos de un Arduino UNO.	251
Anexo S. LM7805 - Datasheet	252
Anexo T. Diodo 1N4004 – Datasheet.	260
Anexo U. Transistor 2N3904 - Datasheet	262
Anexo V. Código en lenguaje C para el controlador de carga fotovoltaico.	263
Anexo W. Optoacoplador 4N35 – Datasheet.	265
Anexo X. Conexión de un optoacoplador.	270
Anexo Y. Planos Mecánicos.	271
Anexo Z. Planos Eléctricos.	273

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Problema.

En nuestro país, con el transcurso del tiempo, la economía de las ciudades ha mejorado notablemente, provocando que muchas familias tengan la facilidad para adquirir uno o más medios de transporte ya sea por necesidad o por comodidad, el aumento de los medios de transporte como los automóviles y las motocicletas, está creciendo de una manera acelerada, por lo cual la demanda energética va en aumento, esto incentiva al gobierno y autoridades a buscar nuevas fuentes energéticas que sean limpias, renovables y menos contaminantes.

Los vehículos motorizados reducen los esfuerzos y los tiempos de traslado de un lugar a otro, sin embargo, debido a que para su funcionamiento dependen de una fuente de energía, en la actualidad la gran mayoría lo hace en base al uso de combustibles fósiles, provocando que el medio ambiente se contamine por los gases emitidos en dicho proceso, a más del ruido que producen al funcionar.

Al situarse el país en la mitad del mundo, se tiene muchos beneficios naturales, entre ellos los rayos solares, los mismos que llegan aproximadamente en dirección perpendicular a la superficie terrestre, el problema es que dicha energía proveniente del sol no es aprovechada en el sector automotriz.

1.2. Antecedentes.

En la actualidad, es una tendencia global el desarrollo de vehículos más eficientes, con emisiones que se acerquen o lleguen a cero, por ello, en los últimos años los medios de transporte eléctricos se han presentado como una gran solución en la reducción de gases que contaminan el medio ambiente [1].

En el año 2007 Soto Eduardo [2], diseña y construye una tricicleta solar, que, si bien cumple con la función de medio de transporte, su tamaño y robustez hacen que se convierta

en un vehículo que ocupa una cantidad de espacio considerable en la vía. Luego en el 2009, Roa Pablo [3], diseña un patinete eléctrico el cual tiene la capacidad de transportar una carga de hasta 100 Kg logrando alcanzar una velocidad máxima de 20km/h y autonomía de 6,5km.

Para el año 2012 Chandi & Salazar [4], diseñan un vehículo eléctrico de cuatro ruedas el cual utiliza un motor de 10 HP a 8000 vatios generador de corriente continua y emplean baterías secas de 12V a 10Ah para luego instalar un circuito de baterías mixto el cual da una capacidad de 48 voltios y 40 amperes suficiente para poner al vehículo en marcha.

Durante el 2014 Bastidas & Cabrera [5], adaptan un sistema motriz eléctrico a una moto de 100 c.c. de combustión interna y además utilizan energía solar fotovoltaica única y exclusivamente para cargar las baterías del que utiliza el sistema de luces de la moto. En el mismo año Toapanta & Núñez [6], utilizan un motor trifásico, para darle movilidad al vehículo tipo cuadrón, además implementa un sistema inversor de corriente alterna a continua, y un sistema de potencia apta para motores trifásicos, la batería utilizada es de 12V a 80Ah, el sistema de carga lo realiza a través de un cargador de baterías y un panel solar pero al ser la batería de una gran corriente por hora la carga entregada por el panel es mínima.

Durante los años 2014 y 2015, estudiantes de la Escuela Politécnica del Ejército [7], [8], [9], realizan un proyecto el cual consiste en construir y diseñar una tricicleta solar, con el objetivo de participar en la denominada “Carrera Solar de Atacama” en Chile, obteniendo como resultado un vehículo solar con características y parámetros exclusivos para dicho evento y para las condiciones geográficas de ese país. La tricicleta puede llegar hasta velocidades de 40 Km/h en vía recta y hasta 36 Km/h en curvas de hasta 9 m de radio sin perder estabilidad, de igual manera el resultado da un vehículo robusto, de gran tamaño el cual, para una vía urbana normal, ocuparía un espacio considerado.

Con base en estos antecedentes, se propone implementar un sistema de carga con energía no convencional a un vehículo eléctrico, tipo scooter, el cual ayudará a mejorar su autonomía de funcionamiento.

1.3. Objetivos.

1.3.1. Objetivo general.

- Implementar un sistema de carga con energía no convencional a un vehículo eléctrico, tipo scooter.

1.3.2. Objetivos específicos.

- Establecer el fundamento teórico necesario, para la implementación de un sistema de carga de baterías no convencional a un scooter eléctrico.
- Diseñar un sistema de carga de baterías a través de paneles solares fotovoltaicos, que permita alimentar los acumuladores del scooter.
- Construir el sistema de carga de baterías, con paneles solares fotovoltaicos.
- Fabricar los soportes, para la implementación de las partes mecánicas, eléctricas, electrónicas, controlador de carga y paneles solares fotovoltaicos.
- Ensamblar un scooter eléctrico con partes y piezas existentes en el mercado local.
- Realizar las pruebas de funcionamiento del scooter eléctrico.

1.4. Alcance.

El presente proyecto está enfocado en aumentar el funcionamiento o autonomía de un vehículo eléctrico tipo scooter, para lo cual se suministrará carga eléctrica a las baterías, utilizando la energía del sol.

Para realizar la carga de las baterías mediante energía solar, se implementa un conjunto de paneles solares fotovoltaicos, los cuales transformarán la radiación luminosa procedente del sol en electricidad, para posteriormente almacenarla en un acumulador, para evitar sobrecargas innecesarias por parte de la energía producida por los paneles, diseñará un regulador de carga el cual debe cumplir con los parámetros necesarios de carga y descarga de las baterías, lo cual hará que éstas alarguen su ciclo de vida útil.

Para la visualización del estado de energía del scooter eléctrico, se implementará un panel de visualización, donde podremos observar, el nivel de energía de las baterías.

1.5. Justificación.

Considerando la demanda energética a nivel mundial, que año tras año va en aumento, muchos países han visto la necesidad de crear nuevas alternativas de abastecimiento energético, lastimosamente estas opciones utilizan fuentes de energías fósiles, las cuales son altamente contaminantes para nuestro plante; por tal motivo, comienza a surgir la tendencia en la utilización de energías renovables y amigables con el medio ambiente.

En el Ecuador de acuerdo al Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER), hasta el 2010, el sector de transporte fue el consumidor predominante de energía, utilizando alrededor del 50 % de la demanda nacional; a su vez el ésta misma institución, determina que el sol es uno de los recursos más confiables para garantizar la seguridad energética, esto se debe a que Ecuador tiene altos niveles de radiación solar, por lo cual su aprovechamiento es enorme a tal punto que de ser bien empleada podría convertirse en la tercera fuente de energía luego del petróleo y la hidroelectricidad.

Con la implementación de un sistema de carga solar en un vehículo eléctrico tipo scooter, se estaría disminuyendo en gran cantidad las emisiones de gases contaminantes que un vehículo de combustión emana, debido a que el scooter al ser eléctrico y con la opción de cargar sus baterías utilizando paneles fotovoltaicos, no requiere una fuente de energía perjudicial para el planeta, ayudando a promover el objetivo Nro. 7 del Plan Nacional del Buen Vivir 2013 - 2017, el cual garantiza los derechos de la naturaleza y promueve la sostenibilidad ambiental territorial global.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Scooter Eléctrico.

Se considera a un scooter eléctrico como un vehículo ligero, fácil de manejar, de dos o más ruedas, que para su propulsión utiliza un motor eléctrico, su principal característica es su cuadro abierto, en el cual el conductor se sienta en una posición relajada y cómoda ya que su diseño cuenta con un piso plano en donde van colocados los pies.


2.2. Tipos de Scooters eléctricos.

En el mercado existen infinidad de modelos de scooters eléctricos, por tal motivo, se ha visto la necesidad de clasificarlos en tres principales, los tipos vespa o motoneta, ciclomotor y patinete.

2.2.1. Scooter eléctrico tipo vespa o motoneta.

Se lo podría considerar básicamente como una motoneta o vespa con motor eléctrico, su diseño es exclusivo del fabricante, si se desea cambiar o reemplazar alguna pieza es necesario buscar la original o “adaptar” alguna existente, por tal motivo, se puede decir que la facilidad de conseguir sus repuestos es muy baja. Un modelo referencial, así como sus principales características de funcionamiento, material de fabricación, y referencia de precio se describen en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1.*Características del scooter eléctrico tipo vespa o motoneta.*


Modelo Referencial	Característica	Detalle
	Potencia [W]	1000 - 10000
	Velocidad máxima [Km/h]	45 - 100
	Autonomía en la ciudad [Km]	40 - 130
	Peso del vehículo [Kg]	95
	Carga máxima permitida [Kg]	90 - 120
	Material del chasis	Acero, Aluminio, Titanio
	Precio [USD]	> 1200.00

Fuente: Elaboración Propia.

2.2.2. Scooter eléctrico tipo ciclomotor o bicicleta.

Su diseño se lo puede considerar como un híbrido entre una motocicleta y una bicicleta con motor eléctrico, por tal motivo la facilidad de conseguir sus repuestos es un poco mayor al modelo tipo vespa a motoneta. Un modelo referencial, así como sus principales características de funcionamiento, material de fabricación, y referencia de precio se describen en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2.*Características del scooter eléctrico tipo ciclomotor o bicicleta.*

Modelo Referencial	Característica	Detalle
	Potencia [W]	250 - 1500
	Velocidad máxima [Km/h]	15 - 45
	Autonomía en la ciudad [Km]	15 - 45
	Peso del vehículo [Kg]	35 - 50
	Carga máxima permitida [Kg]	90 - 120
	Material del chasis	Acero y Aluminio
	Precio [USD]	800.00 - 1500.00


Fuente: Elaboración Propia.

2.2.3. Scooter eléctrico tipo patinete.

Su diseño se lo puede considerar como un híbrido entre una bicicleta y un patinete con motor eléctrico, por tal motivo la facilidad de conseguir sus repuestos es más versátil. Un modelo referencial, así como sus principales características de funcionamiento, material de fabricación, y referencia de precio se describen en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3.

Características del scooter eléctrico tipo patinete.

Modelo Referencial	Característica	Detalle
	Potencia [W]	500 - 2000
	Velocidad máxima [Km/h]	25 - 60
	Autonomía en la ciudad [Km]	25 - 75
	Peso del vehículo [Kg]	35 - 50
	Carga máxima permitida [Kg]	60 - 120
	Material del chasis	Acero y Aluminio
	Precio [USD]	500.00 - 1200.00

Fuente: Elaboración Propia.

2.3. Componentes de un scooter eléctrico.

Un scooter eléctrico está compuesto principalmente por el sistema mecánico, el sistema eléctrico y los accesorios.

2.3.1. Sistema mecánico.

El sistema mecánico está formado por el chasis, las ruedas, el sistema de transmisión de movimiento, el sistema de dirección, el basculante y por el sistema de frenos.

2.3.1.1. El chasis.

El chasis, también conocido como bastidor, cuadro o marco, es una estructura rígida, considerada como el cuerpo principal del scooter debido a que su diseño define la geometría del vehículo; con capacidad de soportar cargas horizontales provocadas por la aceleración y el frenado, cargas verticales proporcionadas por el peso de todo el scooter con el piloto y los esfuerzos producido por la aceleración centrífuga durante las curvas y los giros [10].

2.3.1.1.1. Puntos de anclaje.

En el bastidor se fija el sistema de dirección por medio de la pipa o tubo de dirección, las baterías mediante una caja o base, el basculante y el sillín a través de puntos de anclaje, como se observan en la Figura 2.1.

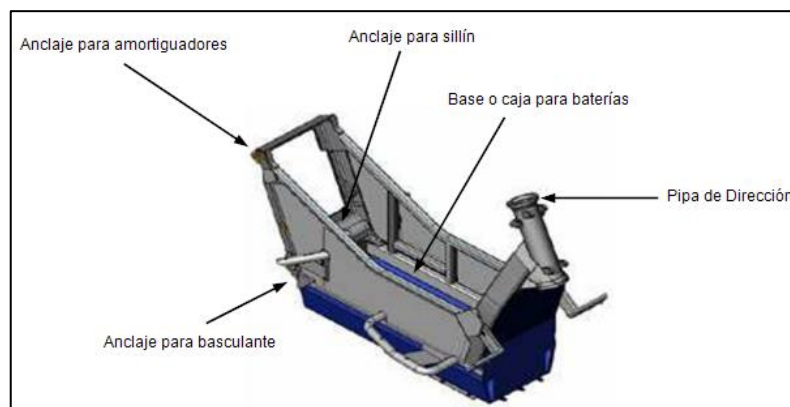


Figura 2.1. Estructura y puntos de anclaje de un chasis de scooter eléctrico.

Fuente: [11]. Cubierta de aluminio para la batería. [Figura].

De acuerdo a la Figura 2.1, en la pipa de la dirección y la zona de anclaje del eje del basculante son las partes del chasis que mayores esfuerzos soportan, por lo tanto estas deberán ser las más reforzadas [12].

2.3.1.1.1.1. Requerimientos estructurales para la fabricación del chasis.

Los requerimientos estructurales del bastidor, proporcionan los parámetros de rigidez y ligereza del mismo, independientemente de su geometría; a su vez estos influirán en su funcionamiento dentro de unos rangos de valores correctos ante cualquier situación que se pudiera dar durante su utilización [12].

2.3.1.1.1.1. Rigidez.

La rigidez, es la capacidad de un objeto sólido o elemento estructural de soportar esfuerzos sin percibir una deformación permanente al ser posteriormente descargada. Puede ser medida o bien en términos de flexión lineal o angular en función de la fuerza o el momento aplicado [13]. La Tabla 2.4, muestra los requisitos generales de rigidez para un scooter.

Tabla 2.4.

Requisitos generales de rigidez para scooters.

Rigidez Vertical [N/mm]	Rigidez Lateral [N/mm]	Rigidez Torsional [Nm/deg]
210	230	600

Fuente: [14].

2.3.1.1.1.2. Resistencia.

La resistencia, es la medida de la carga que podemos aplicar antes de que exista un fallo estructural. Este fallo puede ser la rotura de alguna pieza o una deformación permanente que se mantiene aun después de que desaparezca la carga [13].

2.3.1.1.1.3. Fatiga.

La fatiga, es la rotura del chasis tras aplicar un cierto número de ciclos de carga y descarga; un buen diseño, debe asegurar que este tipo de fallo, se producirá tiempo después de la vida esperada del vehículo [13]. En la práctica, hay que conocer la tensión que sufre la estructura para saber así el número de ciclos con el que se producirá el fallo de la estructura. Cada material tiene sus características de fatiga por lo cual al momento de su selección hay que tener muy en cuenta este parámetro [12].

2.3.1.1.1.4. Eficiencia estructural.

La eficiencia estructural, es la medida de cuan válida es una solución para los recursos que se pretenden utilizar; en los scooters se refiere a la relación entre la rigidez/peso, o por la rigidez/coste, debido a que el coste de un material está muy relacionado con su peso [13].

Existen básicamente dos métodos para conseguir una buena eficiencia estructural, el primero consiste en utilizar una gran cantidad de tubos de geometría recta y pequeño diámetro colocados formando un chasis basado en la triangulación y la segunda es utilizando una pequeña cantidad de tubos de un gran diámetro confiando en su rigidez inherente a torsión y a flexión [15].

2.3.1.1.1.5. Estructuras básicas para un chasis.

Las estructuras básicas de un chasis, se refiere a las formas más simple por las cuales se forma el bastidor; existen de dos tipos, triangular y cuadrilátera, representadas en la Figura 2.2. Para analizar sus principales ventajas y desventajas, se fijan sus bases y se aplica una fuerza obteniendo los siguientes resultados:

- **Estructura triangular:** las uniones no tienen resistencia a la flexión; solo se puede deformar si existe un cambio en la longitud de alguno de los tres miembros; si la estructura permanece intacta al aplicarle una carga, entonces está completamente triangulada y se puede considerar como una estructura completa [15].
- **Estructura cuadrilátera:** su forma se distorsiona y tiende a ser un rombo, siendo únicamente la resistencia a la flexión de los extremos de los tubos la que evita el desmoronamiento total de la estructura; si se desmorona, como en el caso de la figura de cuatro lados, no tiene sentido llamarle estructura, sino mecanismo. Para rigidizar la estructura de cuatro lados se le añade una o dos barras diagonales de refuerzo, de tal manera que se convierte en dos o cuatro triángulos, si solo se añade una barra deberá tener un diámetro suficiente para resistir las cargas de compresión que existirán si cambia el sentido en el que se aplica la fuerza y si se añaden dos diagonales, las barras pueden ser mucho más finas porque una de las dos siempre estará sometida a tracción bajo cualquier tipo de carga [15].

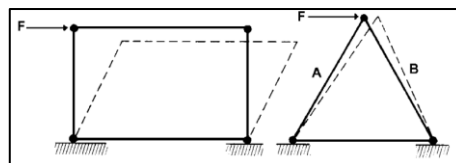


Figura 2.2. Estructuras básicas para un chasis de scooter.
Fuente: [13]. Diferencia estructura cuadrilátera y triangular. [Figura].

2.3.1.1.2. Materiales empleados en la fabricación de un chasis.

Un chasis generalmente es fabricado con tubos cuadrados o redondos para su estructura, y con chapas o láminas para la base de la baterías; los materiales más utilizados debido a su baja densidad (bajo peso); mayor capacidad para resistir las fuerzas aplicadas sin adquirir deformaciones permanentes ni romperse, son el acero, el aluminio, la fibra de carbono y el titanio [15], [16]; cada uno con sus respectivos costos y nivel de complejidad en manufacturación (maquinado, soldadura, moldeo), estos detalles se muestran en la Tabla 2.5.

Tabla 2.5.

Relación entre los costos de fabricación del chasis en función de los materiales y su complejidad de manufacturación.

Material	Complejidad de Manufacturación	Costo
Acero	Baja	Bajo
Aluminio	Media	Medio
Fibra de Carbono	Alta	Alto
Titanio	Alta	Alto

Fuente: Elaboración Propia.

2.3.1.2. Ruedas.

Las ruedas son los componentes del scooter que permiten su movilidad, debido al giro que producen sobre el suelo, además cuando existe un choque contra el terreno, absorben cerca del 80% del impacto producido; se encuentra compuestas por la llanta, rin o aro (parte sólida de la rueda), el neumático (parte con características elásticas) y el buje (eje de la rueda). Para su selección, hay que considerar los siguientes aspectos:

- **Diámetro de la rueda:** entre mayor sea, permite superar de mejor manera los obstáculos, sobre todo en terrenos con grietas, lo que conlleva a aumentar la amortiguación mecánica y disminuir vibraciones, con la desventaja de que la aceleración del vehículo tiende a disminuir. Se mide en pulgadas, los más populares están entre los 8 a 16 [in].

- **Ancho de la rueda:** entre más ancha, mayor es el contacto contra el suelo, por lo tanto, el manejo del vehículo es más estable en trayectorias rectas y más difícil de maniobrar en curvas. Se mide en milímetros, las más comerciales van desde los 40 a 160 [mm].
- **Tipo de aro:** su tamaño depende del diámetro y ancho de la rueda; sobre éste se ancla parte del sistema de frenos (disco o tambor) y el buje (eje) de la rueda. Se fabrican en acero, aluminio y fibra de carbono.
- **Tipo de neumático:** se relaciona directamente con el labrado de la banda de rodadura (parte del neumático que topa con el suelo), en el mercado se encuentran los de tipo deportivos, tienen poco labrado y es utilizado ampliamente en carretera ya que tiene un buen agarre sobre el asfalto; existen también los de tipo turismo, que son hechas para la ciudad, debido a que tienen un labrado más profundo y excelente agarre tanto en seco como en superficies húmedas. Para su utilización recomendable considerar el 80% de su capacidad de carga, lo que ayudará a alargar su vida útil [17].

2.3.1.3. Sistema de transmisión de movimiento.

El sistema de transmisión de movimiento, traslada el giro del motor hacia las ruedas; en los scooters eléctricos, su selección depende de la potencia del motor, pudiendo emplearse de tres tipos: cadena, correa y directo; tomando en cuenta siempre los periodos de mantenimiento, la disponibilidad de repuestos en el mercado y los costos; la Tabla 2.6. muestra que el tipo de sistema a utilizar en base a los requerimientos que se necesiten.

Tabla 2.6.

Tipos de sistemas de transmisión de movimientos en base a la potencia del motor.

Tipo de transmisión	Potencia del motor [W]	Mantenimiento	Costo	Disponibilidad de repuestos
Correa	< 500	Periódico	Bajo	Medio
Cadena	> 250	Periódico	Medio	Medio
Directa	> 250	Bajo	Alto	Bajo

Fuente: Elaboración Propia.

2.3.1.4. Sistema de dirección.

El sistema de dirección, permite mantener la trayectoria del vehículo por parte del conductor, debido a que por medio de esta se transmite la orden de giro del vehículo, tanto a la izquierda como a la derecha [18]; sus componentes principales son: el manubrio, la horquilla, el juego de dirección y la potencia.

2.3.1.4.1. Manubrio.

El manubrio, llamado volante o manillar, es un tubo redondo que funciona como el mecanismo encargado de recibir la orden de conducción; sirve como apoyo para las manos y brazos (extremidades superiores) del piloto; sobre éste se colocan las palancas de freno, los puños, acelerador, mando de luces, encendido, claxon, panel de instrumentos o ciclocomputador y espejos retrovisores [19]. La Tabla 2.7. proporciona recomendaciones para su selección, de acuerdo a las características que el piloto requiera.

Tabla 2.7.

Características para la selección del manubrio de acuerdo a sus medidas.

Característica	Medidas	Recomendaciones para su selección
Largo	640, 660, 680, 710, 785, 800 mm	Su medida debe ser menor al ancho de los hombros del conductor.
Diámetro del tubo	22.2 mm, 26 mm, 25.4 mm (1 in), 28.58 mm (1 1/8 in), 31.75 mm (1 ¼ in)	Depende del gusto y comodidad del conductor. Considerar los diámetros de las abrazaderas de las palancas de freno, los puños y el acelerador, existentes en el mercado
Espesor de la pared del tubo	> 2 mm	A mayor espesor de pared, mayor peso del manillar.
Materiales	Acero, aluminio, fibra de carbono y titanio.	Series iguales a las del chasis.

Fuente: Elaboración Propia.

2.3.1.4.2. Horquilla.

La horquilla es una estructura en forma de horqueta o “Y”, se encarga de mantener la rueda delantera pegada al suelo y cuando se produce un impacto con la calzada, ésta absorbe cerca del 10% del golpe, está formada por el tubo de dirección, los brazos y las plaquetas.

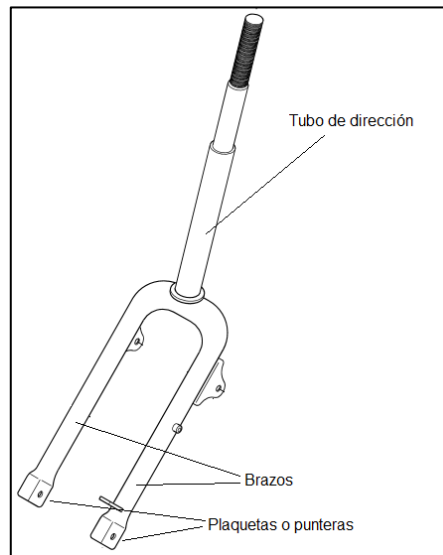


Figura 2.3. Estructura de una horquilla.

Fuente: [20]. Front Buffer and the From Fork. [Figura].

2.3.1.4.2.1. Tubo de dirección.

El tubo de dirección, permite acoplar la horquilla con el chasis; va incrustado en la pipa del bastidor y se sujeta utilizando un implemento llamado juego de dirección (rodamientos, casquillos, tuercas y arandelas), por lo cual, en muchas ocasiones necesita ser roscado en uno de sus extremos, además se los suele fabricar de forma cilíndrica o cónica, la única diferencia entre una y otra es la parte estética, cabe recalcar que entre mayor diámetro tenga, el manejo del vehículo será más estable [21]. En la Tabla 2.8. se puede observar los diferentes diámetros de tubos de dirección existentes en el mercado en base a su diámetro y espesor.

Tabla 2.8.

Tipos de tubos de dirección en relación a su diámetros y espesores.

Tipo de tubo de dirección	Diámetro del tubo	Espesor del tubo
Cilíndrico	25.4 mm (1 in)	> 2 mm
	28.6 mm (1 1/8 in)	
	31.8 mm (1 1/4 in)	
	38.1 mm (1 1/2 in)	
Cónico	1 1/5 in (inferior) - 1 1/8 in (superior)	> 2 mm
	1 1/2 in (inferior) - 1 1/4 in (superior)	

Fuente: Elaboración Propia.

2.3.1.4.2.2. Brazos.

Los brazos, llamados tijeretas o vainas, son barras sólidas o tubulares, conocidas como vainas o brazos de la horquilla, en ocasiones suelen tener soportes para sujetar las pinzas de los frenos, sus medidas dependen del diámetro y ancho de la rueda y existen de dos tipos, los rígidos y con amortiguadores llamados también suspensión delantera.

2.3.1.4.2.2.1. Brazos rígidos.

Lo brazos rígidos, no constan de ningún sistema de amortiguación sofisticado, simplemente, cuentan con la amortiguación proporcionada por su forma, generalmente una curvatura en forma de tijeras; utilizados comúnmente para el tránsito en la ciudad o terrenos con pocas irregularidades; el material con el que se fabrican son los mismos que el chasis, aunque también se los suele combinar, sobre todo cuando se quiere reducir costos o el peso total del vehículo.

2.3.1.4.2.2.2. Suspensión delantera.

Se conoce como suspensión delantera a los brazos de la horquilla que incluyen sistemas de amortiguación, su tarea es absorber de manera progresiva los movimientos bruscos que se pueden producir cuando el scooter está en movimiento sobre terrenos irregulares, lo que permite que el vehículo y sus componentes se mantenga en una trayectoria rectilínea respecto al suelo; en cuanto a comodidad ayuda a reducir molestias en las manos, muñecas y brazos del conductor [21], [18].

La suspensión delantera se puede dividir entre las que tienen resorte helicoidal externo e interno, la utilización de uno u otro tipo, en lo que respecta a comodidad de manejo no tiene una gran diferencia y dependiendo en donde se vaya a utilizar el scooter se puede colocar uno o dos amortiguadores, lo que hará que aumente o disminuya el peso de la horquilla, en la Tabla 2.9. se realiza una comparativa de la suspensión en base al tipo de resorte, número de amortiguadores, mantenimiento y costo.

Tabla 2.9.

Tipos de sistema de amortiguación en base a su resorte helicoidal.

Tipo resorte	Número de amortiguadores	Costo	Mantenimiento
Resorte helicoidal externo	Uno	Medio	Periódico
	Dos	Alto	Periódico
Resorte helicoidal interno	Dos	Alto	Periódico
	Dos	Alto	Periódico

Fuente: Elaboración Propia.

2.3.1.4.2.3. Plaquetas.

Las plaquetas conocidas también como punteras, son los extremos de los brazos, generalmente son platinas troqueladas o con perforaciones, diseñadas exclusivamente para colocar y sujetar al buje o eje de la rueda.

2.3.1.4.3. Potencia.

La potencia conocida también como tija del manubrio, es un conjunto de abrazaderas que une al manillar con el tubo de dirección de la horquilla, su forma y tamaño determinan la posición y el ángulo de inclinación del volante [21].

2.3.1.4.4. Juego de dirección.

El juego de dirección es un conjunto de piezas (rodamientos, casquillos, tuercas y arandelas), que permiten el giro del tubo de dirección de la horquilla, respecto al tubo de dirección del bastidor o pipa de dirección [21].

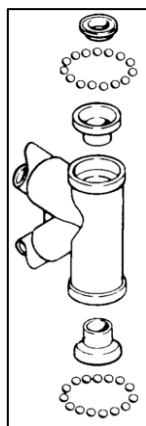


Figura 2.4. Juego de dirección.

Fuente: [22]. Steering head, exploded view (AMF Harley Davidson Motor Co., Inc.). [Figura].

Básicamente existen dos tipos de juegos de dirección con rosca y sin rosca. La Tabla 2.10. permite apreciar sus características.

Tabla 2.10.

Tipos de juego de dirección y sus modos de ajuste.

Tipos	Selección de las medidas	Mantenimiento
Con rosca	En base al diámetro del tubo de dirección de la horquilla. 25.4 mm (1 in) 28.6 mm (1 1/8 in) 31.8 mm (1 1/4 in) 38.1 mm (1 1/2 in)	Periódico
Sin rosca	Si el tubo de dirección del bastidor es cilíndrico. 25.4 mm (1 in) 28.6 mm (1 1/8 in) 31.8 mm (1 1/4 in) 38.1 mm (1 1/2 in)	Bajo
	Si el tubo de dirección del bastidor es cónico. 1 1/5 in (inferior) 1 1/8 in (superior) 1 1/2 in (inferior) 1 1/4 in (superior)	

Fuente: Elaboración Propia.

2.3.1.5. Basculante.

El basculante es el elemento que une la rueda trasera con el chasis, considerado como el equivalente a la horquilla debido a que aloja y sujeta al buje de la rueda, la suspensión posterior y las pinzas de los frenos; en ocasiones el motor también va montado en éste lugar, evitando así que el sistema de transmisión de movimiento pierda su tensión cuando el vehículo está en funcionamiento [23], [20].

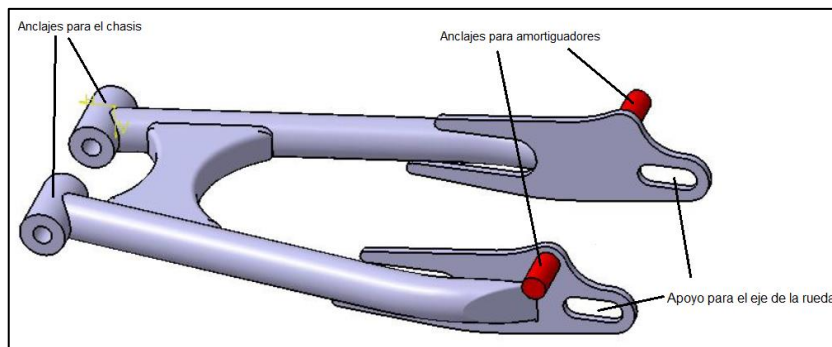


Figura 2.5. Basculantes.

Fuente: [24]. Puntos clave del basculante. [Figura].

Es importante mencionar que existen modelos de scooters eléctricos, en los cuales no se utiliza el basculante y solamente emplean tijeretas o brazos unidos o soldados directamente al chasis, por lo cual no cuentan con un sistema de amortiguación, esto generalmente se hace para reducir peso al vehículo o cuando se lo diseña para terrenos con pocas irregularidades.

Los materiales empleados en la fabricación de los basculantes, suelen ser los mismo que el bastidor y para anclarlo al chasis, para sujetarlos se utilizan pernos o un eje roscado en sus extremos.

2.3.1.5.1. Suspensión posterior.

La amortiguación posterior de los scooters eléctricos son en su mayoría de resorte helicoidal externo, debido a que este es un sistema de amortiguación económico y fiable además que ayuda reduciendo al mínimo la vibración cuando el vehículo está en movimiento. De igual modo se pueden utilizar uno o dos amortiguadores, todo depende del terreno donde trabajará el vehículo.



Figura 2.6. Amortiguador de resorte helicoidal externo.

Fuente: [25], Amortiguador SACHS. [Figura].

2.3.1.6. Sistema de frenos.

El sistema de frenos se encarga de la desaceleración parcial o parada total del vehículo, gracias al rozamiento producido entre una superficie fija y una móvil; básicamente existen dos sistemas de frenos para los scooters, los de disco y de tambor. La Tabla 2.11. proporciona las características principales a tomar en cuenta al momento de seleccionar un tipo de freno, tomando en cuenta la disipación de calor, costos, peso, variedad de repuestos y su mantenimiento.

Tabla 2.11.

Características de los tipos de freno.

Tipo de freno	Disipación de calor	Costo	Peso	Variedad de repuestos	Mantenimiento
Disco	Alta	Medio	Bajo	Alta	Periódico
Tambor	Baja	Alto	Alto	Baja	Bajo

Fuente: Elaboración Propia.

2.3.2. Sistema eléctrico.

El sistema eléctrico de un scooter, está formado por el motor de corriente continua, el controlador del motor, el sistema de almacenamiento de energía y el sistema de carga.

2.3.2.1. Motor de corriente continua.

El motor de corriente continua (DC) utilizado en los scooters, es el encargado de transformar la energía eléctrica en energía mecánica; existen de dos tipos, con escobillas, conocidos como Brush y sin escobillas llamados Brushless. La Tabla 2.12. muestra las principales diferencias que existe entre cada uno de ellos.

Tabla 2.12.

Características de los motores con escobillas (brush) y sin escobillas (brushless).

	Motor con escobillas	Motor Brushless
Conmutación	Por escobillas.	Electrónica, basada en sensores de posición de efecto Hall.
Mantenimiento	Periódico.	Mínimo.
Durabilidad	Menor.	Mayor.
Curva velocidad/par	Moderada. En velocidades altas, la reacción de las escobillas se incrementa, reduciendo el par.	Plana. Operación a todas las velocidades con carga definida.
Eficiencia	Moderada. Con caída de tensión por las escobillas.	Alta. Sin caída de tensión por las escobillas.
Potencia de salida/tamaño	Baja. El calor producido en la armadura es disipado en el interior aumentando la temperatura y limitando las características.	Alta. Menor tamaño debido a mejores características porque los bobinados están en el estator, que al estar en la carcasa tiene una mejor disipación de calor.
Inercia del rotor	Alta. Limita las características dinámicas.	Baja. Debido a los imanes permanentes en el rotor.
Rango de velocidad	Bajo. El límite lo imponen principalmente las escobillas.	Alto. Sin limitaciones mecánicas impuestas por escobillas/conmutador.
Ruido eléctrico	Arco en las escobillas.	Bajo.
Coste de construcción.	Bajo.	Alto. Debido a los imanes permanentes.
Control	Simple y barato.	Complejo y caro.
Requisitos de control	No se requiere control si no se requiere una variación de velocidad.	Un controlador es requerido siempre para mantener el motor funcionando. El mismo puede usarse para variar la velocidad.

Fuente: [26] [23].

Motor brushless (sin escobillas) características fundamentales. [Tabla].

2.3.2.2. Controlador de motor.

El controlador del motor o driver, es el encargado de enviar la energía necesaria para que el motor se mueva y para ello debe ser capaz de manejar los siguientes parámetros de funcionamiento:

- **Regulación de velocidad:** debe ser controlada de acuerdo a las necesidades del piloto.
- **Regulación del par:** se necesita un alto par de arranque al momento de poner en marcha el vehículo, además al momento de ir a bajas velocidades el motor no debe perder su fuerza.
- **Protecciones:** contra las caídas de tensiones y corrientes, que se producen al momento de arrancar y parar el motor.
- **Disipación de calor:** debe tener una buena disipación de calor, para evitar el deterioro de los componentes del controlador.
- **Frenado:** al momento de frenar el vehículo, el controlador debe desactivar el funcionamiento del motor, para evitar el daño del mismo.

2.3.2.3. Sistema de almacenamiento de energía.

Un vehículo eléctrico, almacena su energía en dispositivos acumuladores, conocidos como baterías, que tienen la capacidad de transformar la energía química en eléctrica y viceversa y sus principales objetivos son:

- Proporcionar intensidades de arranque elevadas para el motor [27].
- Estabilizar y fijar la tensión nominal de trabajo de las cargas. Los valores típicos de las baterías son de 12, 24 y 48 *Voltios* [27].

2.3.2.3.1. Funcionamiento interno de una batería.

Una batería suele estar formada por la asociación en serie de elementos, también denominados vasos o celdas, estos a su vez están formados por dos electrodos uno positivo y otro negativo de distintos materiales, inmersos en una disolución electrolítica, de tal forma que entre ambos electrodos se establece una diferencia de potencial o tensión eléctrica. En estos elementos tiene lugar una reacción química reversible que transforma energía química en eléctrica y viceversa [27].

En las baterías de plomo-ácido el electrolito es una solución de ácido sulfúrico donde cada vaso o elemento tiene una tensión eléctrica de unos *2 Voltios*, mientras que en las baterías de níquel-cadmio el electrolito es una solución de hidróxido potásico y agua, siendo la tensión de cada elemento de *1.2 Voltios*. La asociación en serie de seis elementos de plomo-ácido da lugar a una batería de *12 Voltios*. Las baterías disponen de dos conexiones eléctricas externas, una positiva y otra negativa, entre las cuales se establece la diferencia de potencial o tensión eléctrica de la batería [27].

2.3.2.3.2. Proceso de carga y descarga de una batería

El proceso de carga y descarga en una batería, llamado también el ciclo o ciclado, se refiere a los procesos de carga y descarga. Durante la carga la batería funciona como receptor, absorbiendo intensidad eléctrica (régimen de carga), mientras que durante el proceso de descarga la batería funciona como generador suministrando intensidad (régimen de descarga) [27].

Por lo tanto, se puede decir que un ciclo es un proceso de descarga seguido de un proceso de carga. A grandes rasgos se diferencian dos tipos de ciclos, siendo estos:

- **Profundos:** Las baterías de ciclo profundo suministran intensidades no tan elevadas durante largos períodos de tiempo, no siendo recomendable descargas superiores a un 80% [27].

- **Superficiales o poco profundos:** Normalmente las baterías de ciclo superficial o poco profundo, son baterías de arranque. Estas baterías están especialmente diseñadas para suministrar intensidades elevadas durante períodos de tiempo cortos, de forma que una descarga superior a un 50 % puede suponer la imposibilidad de su recarga posterior [27].

2.3.2.3.3. Tipos de baterías.

Los tipos de baterías, generalmente se clasifican en primarias y secundarias. Las baterías primarias no son recargables, mientras que las secundarias son recargables. En los vehículos eléctricos se utilizan baterías recargables, las cuales pueden ser cargadas por distintas fuentes de energía como una conexión a una red eléctrica normal con un cargador de baterías convencional, por fuentes de energía alternativas como generadores solares fotovoltaicos y conversores de energía mecánica a eléctrica, entre otros.

Por otro lado, las baterías también se clasifican en función de tecnología de fabricación, siendo las más utilizadas en los scooters eléctricos, las de plomo-ácido, electrolito inmovilizado, ion-litio y níquel-cadmio.

2.3.2.3.3.1. Baterías de plomo-ácido.

En las baterías de plomo-ácido la placa positiva de cada elemento está construida con dióxido de plomo y la placa negativa con plomo. El electrolito está formado por una solución diluida de ácido sulfúrico [27]. En función de su aplicación, las baterías de plomo ácido se clasifican en:

- **Baterías de arranque:** Se utilizan en automoción y están diseñadas para suministrar intensidades elevadas durante periodos de tiempo muy cortos. Están preparadas para ciclos poco profundos [27].
- **Baterías de tracción:** Se utilizan en vehículos eléctricos. Están diseñadas para ciclos profundos [27].

- **Baterías estacionarias:** Están diseñadas para trabajar en regímenes lentos de carga y descarga. Se utilizan en instalaciones fotovoltaicas y sistemas de alimentación ininterrumpidas [27].

Se debe considerar que en las baterías de plomo-ácido, puede darse el fenómeno de gaseo debido a una sobrecarga. Este fenómeno tiene lugar durante el proceso de carga cuando la batería está cerca de su carga completa. El rendimiento de la batería se reduce ya que parte de la carga no puede ser proporcionada en la siguiente descarga. Otro fenómeno que puede suceder es la sulfatación. Tiene lugar cuando la batería ha permanecido descargada durante mucho tiempo. También puede ocurrir cuando las recargas son incompletas y la batería funciona en estado de carga parcial, en ambos casos las consecuencias son la disminución de su capacidad y por ende su vida útil [27].

2.3.2.3.3.2. Baterías de electrolito inmovilizado.

Las baterías de electrolito inmovilizado, se trata de un tipo especial de tecnología plomo-ácido, pero en este caso el electrolito está inmovilizado, estas a su vez se pueden clasificar en:

- **Baterías AGM (Absorbent Glass Mat):** El electrolito se encuentra en forma cristalina, son las más adecuadas para suministrar corrientes de arranque elevadas [27].
- **Baterías de gel:** El electrolito está gelificado, de tal forma que no precisan mantenimiento. Tienen mayor vida útil que las baterías AGM [27].

2.3.2.3.3.3. Baterías de ion-litio

Las baterías de ion-litio, es una tecnología, que ofrece una densidad de energía de tres veces a la de una batería plomo-ácido, esta gran mejora viene dada por su bajo peso atómico 6.9 vs 209 para la de plomo; cuenta con un voltaje por celda de 3.5 *Voltios*, lo cual reduce el número de celdas en serie para alcanzar cierto voltaje, por lo que su costo de manufactura también a cierto modo se podría considerar bajo, [28], [29], [30].

Este tipo de baterías, tienen una muy baja tasa de auto descarga, rápida degradación y sensibilidad a las elevadas temperaturas, que pueden resultar en su destrucción por inflamación o incluso explosión, requieren en su configuración como producto de consumo, la inclusión de dispositivos adicionales de seguridad, resultando en un coste superior que ha limitado la extensión de su uso a otras aplicaciones [28], [29], [30].

2.3.2.3.3.4. Baterías de níquel-cadmio.

Las baterías de níquel-cadmio, se caracterizan por su larga vida útil y su bajo mantenimiento, pero su precio es bastante elevado con respecto a las baterías de plomo-ácido. La placa positiva está constituida con hidróxido de níquel y la negativa con cadmio [27].

2.3.2.3.4. Características técnicas de una batería.

Las características técnicas de una batería son:

- **Tensión nominal:** Es la tensión eléctrica de la batería. Su valor nominal suele ser de 2, 6, 12, etc. *Voltios*. La tensión de salida de la batería no se mantiene constante, sino que depende del estado de carga de la batería y de la temperatura [27].
- **Capacidad nominal (C):** Es la máxima cantidad de energía eléctrica que se puede extraer de una batería partiendo de un estado inicial de carga máxima, hasta que se alcance un valor determinado de tensión de corte de sobredescarga. Se mide en *Amperios hora (Ah)* [27]. La capacidad de descarga se obtiene con la Ecuación 2.1.

Ecuación 2.1. Capacidad de descarga para una batería.

$$C_T = I_{DESCARGA} \cdot t_{DESCARGA} \quad (2.1.)$$

Fuente: [27].

Donde:

- C_T : Capacidad de descarga para una batería.
- $I_{DESCARGA}$: Intensidad de descarga.
- $t_{DESCARGA}$: Tiempo de descarga.

Esta capacidad también se puede expresar en *Vatios hora (Wh)*, para esto se puede utilizar la Ecuación 2.2.

Ecuación 2.2. Capacidad de descarga para una batería en *Vatios hora (Wh)*.

$$C_T = I_{DESCARGA} \cdot t_{DESCARGA} \cdot V_B \quad (2.2.)$$

Fuente: [27].

Donde:

- C_T : Capacidad de descarga para una batería en *Vatios hora [Wh]*.
- $I_{DESCARGA}$: Intensidad de descarga.
- $t_{DESCARGA}$: Tiempo de descarga.
- V_B : Tensión nominal de la batería.

La capacidad de las baterías se debe diseñar teniendo en cuenta las características de la o las fuentes de carga. Una baja capacidad de la batería puede dar lugar a cortes en el suministro de energía hacia los consumos. Si la capacidad de la batería es elevada con respecto a la potencia de las fuentes de carga, se corre el riesgo de que en cada ciclo las baterías no lleguen a cargarse completamente. Por el contrario, un exceso de potencia de las fuentes de carga con respecto a la capacidad de las baterías se puede dar lugar a un desaprovechamiento de energía en caso de que las baterías se carguen rápidamente [27].

- **Régimen de descarga:** Es el tiempo durante el cual una batería puede proporcionar una determinada intensidad hasta su descarga completa. Se expresa en *horas*. La capacidad de una batería depende del régimen de descarga. Con intensidades de descarga reducidas se obtiene más capacidad que con intensidades de descarga elevadas. Por ejemplo, la capacidad de una batería se expresa en función del régimen de descarga de 10, 20 y 100 *horas*, expresadas mediante C_{10} , C_{20} y C_{100} , respectivamente. Se suele cumplir la relación $C_{100} > C_{20} > C_{10}$ [27].

En la Figura 2.7, se representa un ejemplo de la variación de la capacidad de una batería en función de la intensidad de descarga.

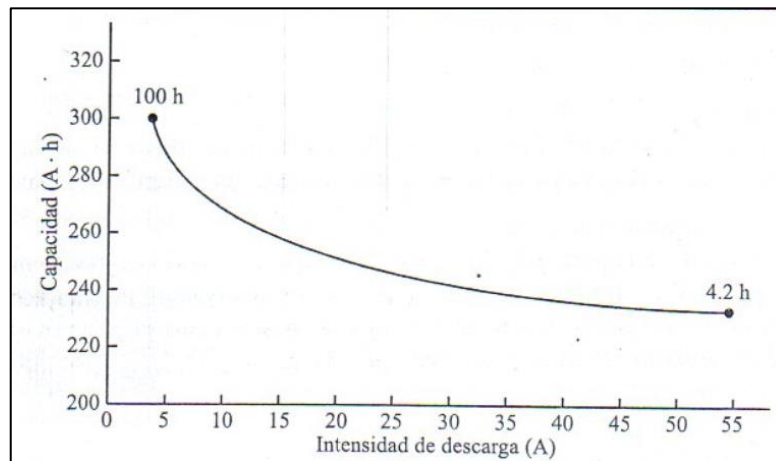


Figura 2.7. Variación de la capacidad de una batería en función del régimen de descarga.
Fuente: [27]. Variación de la capacidad de una batería en función del régimen de descarga. [Figura].

La capacidad de una batería, también depende de la temperatura. Si la temperatura es elevada, la capacidad de la batería aumenta, pero se reduce su vida útil. A bajas temperaturas la capacidad disminuye, pero si la temperatura es demasiado baja, puede tener lugar la congelación del electrolito. Los fabricantes recomiendan en las fichas técnicas el rango idóneo de temperatura de funcionamiento de las baterías (normalmente entre 20 °C y 30 °C) [27].

- **Tensión de corte:** Es la tensión que alcanza la batería una vez se ha descargado [27].
- **Vida útil:** Es el número de ciclos (proceso de carga y descarga) que es capaz de desarrollar una batería. El envejecimiento de una batería depende de la cantidad de ciclos que ha sufrido. Se considera que una batería ha finalizado su vida útil cuando, una vez cargada a su nivel máximo, su capacidad es un 20 % menor con respecto a la capacidad máxima de la batería al principio de su vida útil [27].
- **Profundidad de descarga (PD):** En inglés Depth of Discharge (DOD), es la cantidad de energía, expresada en tanto por ciento, que ha sido extraída de una batería durante un proceso de descarga con respecto a su capacidad a plena carga. La vida útil de una batería depende de la profundidad de descarga [27].

En las baterías de plomo-ácido, cuando menor es la profundidad de descarga, mayor es su vida útil y, por tanto, mayor es el número de ciclos que puede realizar. Los

fabricantes suelen suministrar gráficas en las que se relaciona la vida útil de la batería con la profundidad de descarga en cada ciclo [27].

En un vehículo eléctrico, muchas veces la profundidad de máxima de descarga viene limitada por el driver o controlador del motor, también se puede limitar con un dispositivo de control de carga y descarga. Hay que prestar especial cuidado puesto que una descarga completa de la batería puede suponer la imposibilidad de su posterior recarga [27].

- **Capacidad disponible:** También llamada capacidad útil, es la capacidad o cantidad de energía que se puede extraer de una batería sin superar la profundidad máxima de descarga permitida [27], este valor se puede obtener por medio de la Ecuación 2.3.

Ecuación 2.3. Capacidad útil para una batería.

$$C_{\text{ÚTIL}} = C \cdot PD \quad (2.3.)$$

Fuente: [27].

Donde:

- $C_{\text{ÚTIL}}$: Capacidad útil para una batería.
 - PD : Capacidad nominal
 - CP : Profundidad de descarga.
- **Estado de carga:** En inglés State of Charge (SOC), es la cantidad de energía almacenada en la batería en un momento determinado, expresado en tanto por ciento o tanto por uno con respecto a la capacidad nominal. Su cálculo se lo puede realizar por medio de la Ecuación 2.4. Una batería totalmente cargada tiene un estado de carga del 100%. La suma del estado de carga (SOC) y la profundidad de descarga (PD) da como resultado 100% [27].

Ecuación 2.4. Estado de carga para una batería.

$$SOC = \frac{C_{ALMACENADA}}{C_{NOMINAL}} \quad (2.4.)$$

Fuente: [27].

Donde:

- **SOC:** Estado de carga para una batería.
 - $C_{ALMACENADA}$: Capacidad almacenada.
 - $C_{NOMINAL}$: Capacidad nominal a plena carga.
- **Autodescarga:** Es la pérdida de energía o capacidad cuando no hay ninguna carga conectada a la batería, es decir, en circuito abierto. La Autodescarga aumenta con la temperatura [27].
 - **Rendimiento energético:** Es la relación entre la energía suministrada por la batería durante un proceso de descarga y la energía necesaria para recargarla hasta alcanzar su estado de carga inicial. Debido a las pérdidas internas, de la batería no puede entregar toda la energía utilizada para su carga. El rendimiento es elevado cuando el estado de carga es bajo y va disminuyendo cuando la batería se aproxima a su estado de plena carga [27].
 - **Efecto memoria:** es un fenómeno que reduce la capacidad de las baterías con cargas incompletas. Se produce cuando se carga una batería sin haber sido descargada del todo. Para prevenirlo no hace falta esperar a descargar totalmente la batería antes de realizar una carga; basta con que todas las cargas sean completas.

2.3.2.3.5. Modelo eléctrico de una batería.

Una batería se puede modelar como una fuente ideal de tensión en serie con una resistencia, como se observa en la Figura 2.8.

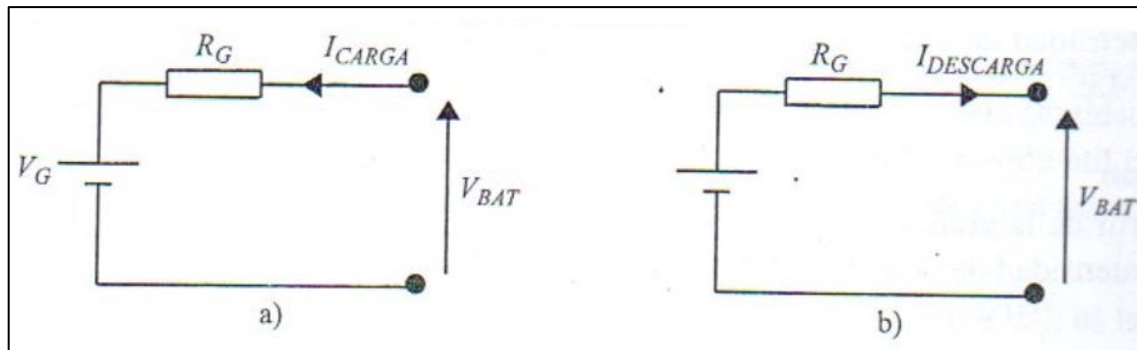


Figura 2.8. Modelo eléctrico para una batería en proceso de: a) Carga, b) Descarga.

Fuente: [27]. Modelo eléctrico de la batería. [Figura].

Donde, la tensión V_G es la tensión de la batería entre sus bornes en circuito abierto, mientras que R_G es la resistencia interna de la batería. Estos parámetros no son constantes; dependen del estado de carga, la intensidad eléctrica, la temperatura y del estado de salud de la batería. Por ejemplo, una batería dañada presenta un valor elevado de la resistencia interna. Durante el proceso de carga el valor de la tensión V_G aumenta, mientras que la resistencia R_G disminuye. Por el contrario, durante el proceso de descarga el valor de la tensión disminuye, y el valor de la resistencia aumenta [27].

Durante el proceso de carga la batería funciona como receptor y la intensidad entra por el borne positivo. En este caso el valor de la tensión en bornes de la batería V_{BAT} se obtiene por medio de la Ecuación 2.5.

Ecuación 2.5. Tensión en los bornes de la batería durante el proceso de carga.

$$V_{BAT} = V_G + R_G \cdot I_{CARGA} \quad (2.5)$$

Fuente: [27].

Donde:

- V_{BAT} : Tensión en los bornes de la batería durante el proceso de carga.
- V_G : Tensión de la batería entre sus bornes en circuito abierto.
- R_G : Resistencia interna de la batería.
- I_{CARGA} : Intensidad durante el proceso de carga.

Por el contrario, durante el proceso de descarga la batería funciona como generador y la intensidad sale por el borne positivo. En este caso, la tensión en bornes de la batería V_{BAT} viene dada por la Ecuación 2.6.

Ecuación 2.6. Tensión en los bornes de la batería durante el proceso de descarga.

$$V_{BAT} = V_G - R_G \cdot I_{DESCARGA} \quad (2.6.)$$

Fuente: [27].

Donde:

- V_{BAT} : Tensión en los bornes de la batería durante el proceso de descarga.
- V_G : Tensión de la batería entre sus bornes en circuito abierto.
- R_G : Resistencia interna de la batería.
- I_{CARGA} : Intensidad durante el proceso de descarga.

2.3.2.3.6. Medida del estado de carga.

Para determinar el estado de carga de una batería, se utilizan, principalmente, dos métodos, que se detallan a continuación:

- **Medida de densidad del electrolito:** El valor de la densidad del electrolito es un indicador muy aproximado del estado de carga de la batería. La densidad depende del estado de carga, de la concentración del electrolito y de la temperatura. Durante las descargas el electrolito se empobrece en ácido, mientras que durante las cargas se enriquece. Es posible determinar el estado de carga de la batería de forma indirecta midiendo la densidad del electrolito mediante un densímetro. La temperatura también influye en la densidad. Cuando aumenta la temperatura, el electrolito se dilata y, por tanto, se hace menos denso. La densidad también puede variar cuando el nivel del electrolito aumenta o disminuye, debido a la vaporización o agregado de agua [27].

- **Medida de la tensión en circuito abierto:** Se puede determinar el estado de carga de la batería midiendo la tensión entre sus bornes. En los scooters eléctricos, el driver del motor funciona como regulador de carga debido a que utiliza la medida de la tensión para determinar el estado de carga de la batería. Si se utiliza otras fuentes de energía para cargar las baterías, también es necesario que estas estén reguladas de manera independiente. Se debe prestar atención a la caída de tensión en los cables que unen la batería con el regulador, ya que se puede falsear la medida de tensión de la batería [27].

En el mercado se pueden encontrar también, reguladores que aprenden el comportamiento de una batería para determinar su estado de carga. Basados, por ejemplo, en un algoritmo que utiliza lógica borrosa (en inglés fuzzy logic) [27].

2.3.2.3.7. Tipos de carga de batería.

Generalmente, existen se suelen utilizar cuatro métodos de carga de las baterías, los cuales se describen a continuación:

- **Carga normal o carga profunda:** En este tipo de carga se permite la entrada de intensidad en la batería hasta alcanzar el punto de tensión final de carga. Se utiliza este tipo de carga para llevar a la batería hasta un valor cercano al 90-95% de su capacidad total [27].
- **Carga de absorción:** En esta etapa se completa el proceso de carga de la batería hasta su capacidad total [27].
- **Carga de flotación.** Su objetivo es conservar el estado de plena carga de la batería mediante la inyección de una corriente de flotación. La carga de flotación también se aplica aun cuando la batería no esté en operación para compensar de esta forma las pérdidas por autodescarga [27].

- **Carga de igualación o ecualización:** Este tipo de carga se realiza periódicamente, y se utiliza cuando hay diferencias entre los estados de carga de cada uno de los elementos o vasos que componen la batería. Se inyecta corriente en la batería para conseguir que todos los elementos de la batería queden igualados y con la máxima carga. También se realiza cuando el estado de carga de la batería ha sido bajo durante un determinado periodo de tiempo [27].

2.3.2.3.8. Factores que afectan la vida útil de un batería.

La vida útil de una batería depende de múltiples factores, los más conocidos son:

- **Las especificaciones de diseño:** Definen las características de fábrica de la batería, además de las condiciones de operación o trabajo a las que puede estar sometida, por lo cual un mal uso, va a condicionar la su vida útil [27].
- **Número de ciclos en la vida de una batería:** Depende de la profundidad de descarga a la que es sometida. Las descargas profundas acortan su vida útil, mientras que las descargas superficiales o poco profundas la largan. Como se mencionó antes en los scooters eléctricos, la profundidad máxima de descarga es controlada por el driver del motor, desconectando los consumos cuando se alcanza la máxima profundidad de descarga programada. Normalmente, se suele limitar la profundidad máxima de descarga a valores de 70 % – 80%, pero todo depende del fabricante. Es habitual que el fabricante de la batería facilite una gráfica donde se presenta la vida útil en función de la profundidad de descarga. El tiempo de vida de una batería se suele expresar en función del número de ciclos [27], un ejemplo de ello se puede apreciar en la Figura 2.9.

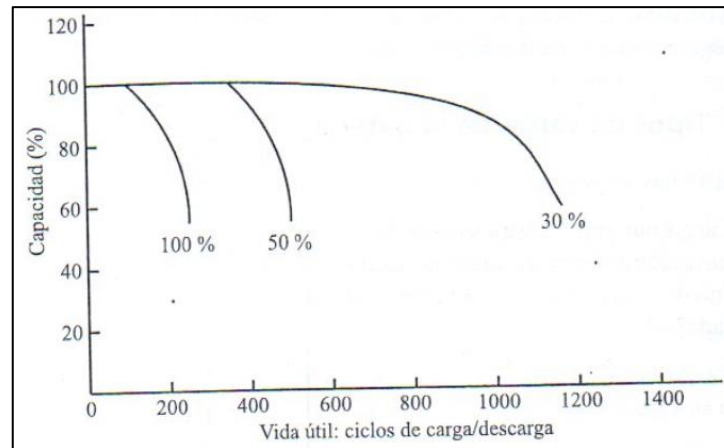


Figura 2.9. Vida útil de una batería en función de la profundidad de descarga.

Fuente: [27]. Vida útil en función de la profundidad de descarga. [Figura].

- **La temperatura de operación:** En general, el funcionamiento a altas temperaturas aumenta la capacidad, pero reduce la vida útil, mientras que las bajas temperaturas disminuyen la capacidad y aumentan la vida útil, con el inconveniente del riesgo de congelación del electrolito. En las fichas técnicas se refleja el rango de temperatura idóneo de funcionamiento [27].
- **Mantenimiento de las baterías:** Se debe vigilar el nivel del electrolito de forma que las placas se encuentren siempre sumergidas. Las baterías de plomo-ácido con el electrolito accesible se rellenan periódicamente con agua destilada. Las estancas sin mantenimiento no se rellenan, pero su vida útil es más corta. Así mismo, los terminales de conexión se deben mantener limpios y sin corrosión, evitando así calentamientos y caídas de tensión no deseados [27].

2.3.2.3.9. Asociación de elementos y baterías.

Cuando un scooter eléctrico utiliza baja potencia para su funcionamiento, se suelen ocupar baterías de tipo monoblock (una sola batería) como se muestra en la Figura 2.10; debido a que son compactas y robustas ocupando poco espacio además de ser fáciles de instalar.



Figura 2.10. Batería monoblock de 12 V.

Fuente: Elaboración propia.

Si un vehículo eléctrico, utilizar gran potencia para su funcionamiento, es recomendable emplear baterías individuales de las mismas características y posteriormente asociarlas (banco de baterías), para obtener la tensión eléctrica y capacidad nominal deseada. La principal ventaja de esta opción es la facilidad de sustitución de un elemento en caso de avería [27]. Los tipos de asociación más utilizadas son:

- **Asociación en serie:** Permite aumentar la tensión eléctrica manteniendo el valor de la capacidad nominal [27], su representación gráfica se observa en la Figura 2.11.a.
- **Asociación en paralelo:** permite aumentar la capacidad nominal manteniendo el valor de la tensión eléctrica [27], su representación gráfica se observa en la Figura 2.11.b.
- **Asociación mixta:** permite aumentar la capacidad nominal y la tensión eléctrica [27], su representación gráfica se observa en la Figura 2.11.c.

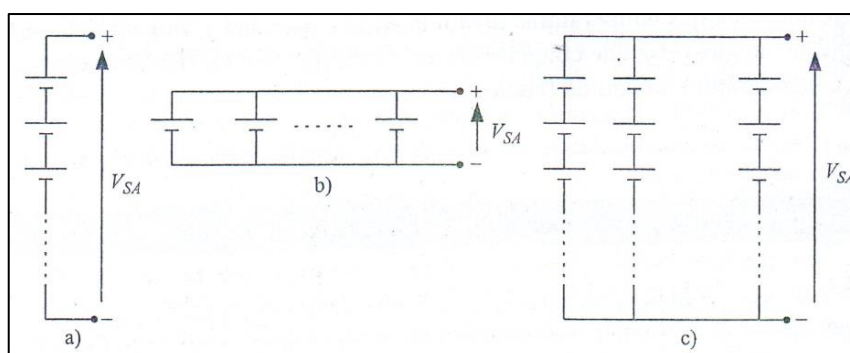


Figura 2.11. Tipos de asociación de baterías: a) Serie, b) Paralelo, c) Mixtas.

Fuente: [27]. Asociación de elementos y baterías. [Figura].

Considerando que todas las baterías son exactamente idénticas, la tensión eléctrica del sistema de acumulación se puede obtener por medio de la Ecuación 2.7.

Ecuación 2.7. Tensión eléctrica del sistema de acumulación.

$$V_{SA} = N_S \cdot V_B \quad (2.7.)$$

Fuente: [27].

Donde:

- V_{SA} : Tensión eléctrica del sistema de acumulación.
- N_S : Número de baterías conectadas en serie en cada rama.
- V_B : Tensión de una batería.

Tomando en cuenta la misma consideración, la capacidad total del sistema de acumulación se obtiene por medio de la Ecuación 2.8.

Ecuación 2.8. Capacidad total del sistema de acumulación.

$$C_{SA} = N_P \cdot C_B \quad (2.8.)$$

Fuente: [27].

Donde:

- C_{SA} : Capacidad total del sistema de acumulación.
- N_P : Número de ramas conectadas en paralelo.
- C_B : Capacidad de una batería.

2.3.2.3.10. Cálculo de la corriente de cortocircuito de una batería.

Un cortocircuito en bornes de una batería de lugar a la circulación de una intensidad muy elevada que ocasiona un elevado calentamiento en el interior de la batería debido a su resistencia interna, pudiendo llegar a explotar. En el instante inicial del cortocircuito la intensidad alcanza un valor muy elevado que va disminuyendo conforme disminuye el estado de carga y la tensión de la batería [27]. El valor de la corriente de cortocircuito puede ser facilitado por el fabricante, o bien es posible calcularlo mediante la ley de Ohm, utilizando la Ecuación 2.9.

Ecuación 2.9. Corriente de cortocircuito de una batería.

$$I_{SC} = \frac{V_B}{R_I} \quad (2.9.)$$

Fuente: [27].

Donde:

- I_{SC} : Corriente de cortocircuito de una batería.
- V_B : Tensión máxima de descarga (batería cargada al 100 %).
- R_I : Resistencia interna equivalente del conjunto de elementos que forman la batería.

2.3.2.4. Sistema de carga de energía eléctrica.

El sistema de carga de baterías de un scooter eléctrico, se encarga de suministrar energía eléctrica necesaria para alimentar a los acumuladores del vehículo; para que esto suceda, la corriente debe circular hacia la batería, se debe proveer un voltaje (tensión) superior al de la batería.

2.3.2.4.1. Cargador de baterías convencional.

Un cargador de batería convencional para un scooter eléctrico, transforma la energía de la red eléctrica de tensión alterna (*CA*) a tensión directa (*CD*) requerida; por lo tanto, se lo puede considerar como el equivalente de una fuente de alimentación conmutada, básicamente este tipo de fuentes trabaja en los cuatro bloques de circuito o etapas:

- Rectificación y filtrado de entrada.
- Conmutación de alta frecuencia.
- Rectificación y filtrado de salida.
- Regulación y control.

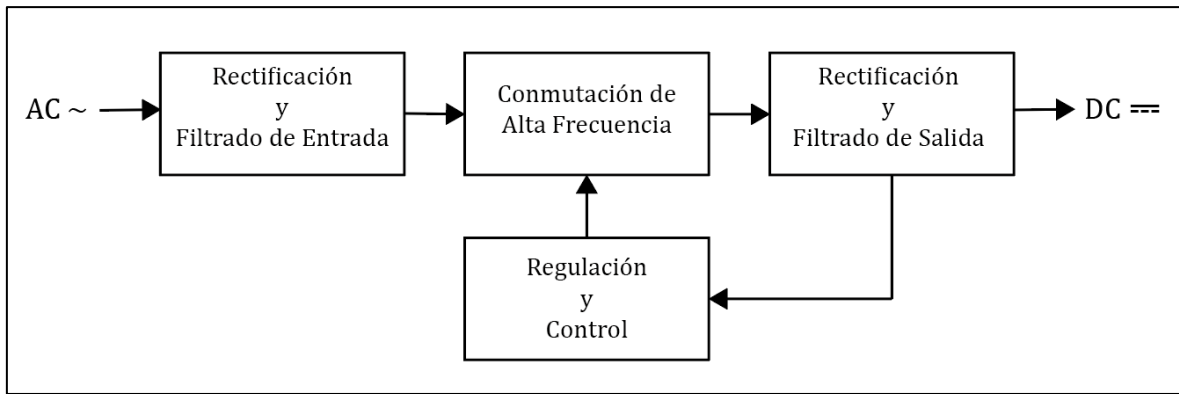


Figura 2.12. Diagrama de bloques de una fuente conmutada.

Fuente: Elaboración propia.

2.3.2.4.1.1. Etapa de rectificación y filtrado de entrada.

Se conoce como la etapa de rectificación y filtro de entrada, al sector de la fuente de alimentación que abarca desde el ingreso de la tensión de red eléctrica (110 o 220 *Voltios AC* y 50 o 60 *Hertz*) hasta su salida rectificadas y filtradas [31], [32], [33].

- **Fase de rectificación:** Se encarga de convertir la tensión alterna de la red eléctrica (*AC*) en continua (*CD*), para realizar esta acción se utiliza un rectificador de onda completa a través de un puente de diodos [34], [35], [36], su circuito se observa en la Figura 2.13, dando como resultado una onda unidireccional rectificada como se muestra en la Figura 2.14.

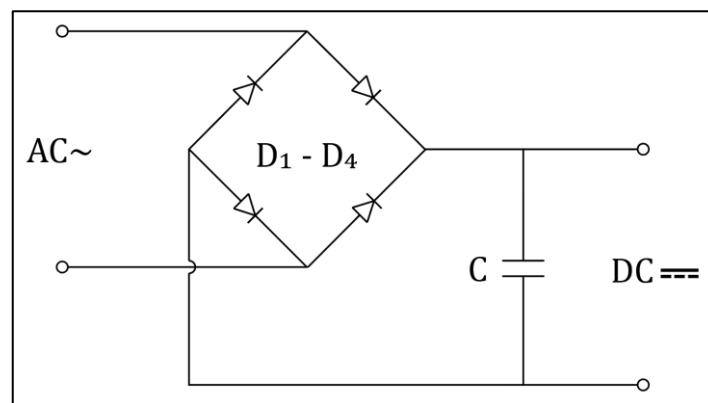


Figura 2.13. Circuito de rectificación y filtrado.

Fuente: Elaboración propia.

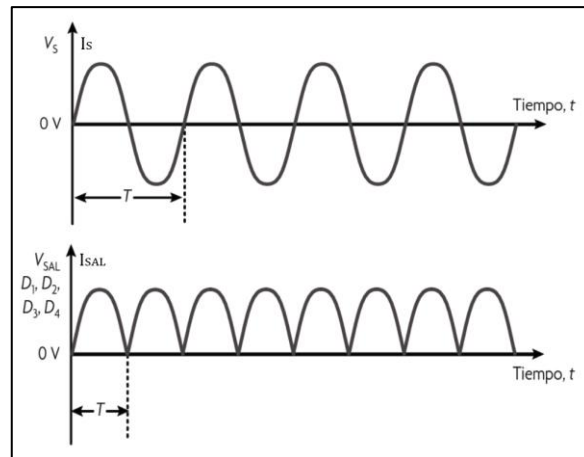


Figura 2.14. Entrada y salida de un rectificador de onda completa.

Fuente: Elaboración propia, [35], [36].

- Fase de rectificación:** Como se puede observar en la Figura 2.14, el proceso para convertir de CA a CD no es suficientemente bueno únicamente con la utilización del puente de diodos. La forma de onda rectificada tiene un componente de CD ; en realidad, esta señal muestra muchas variaciones periódicas de voltaje, conocidas como voltaje de rizo V_r , en lugar de tener un voltaje constante. Estas variaciones tienen que ser suavizadas a fin de obtener una señal de CD genuina, como la mayoría de las aplicaciones requiere. Una forma de suavizar o filtrar estas variaciones de voltaje es conectando uno o más capacitores electrolíticos (de gran tamaño) a la salida del rectificador [35], [36], [33], mostrado en la Figura 2.13, obteniendo como resultado una onda como se muestra en la Figura 2.15.

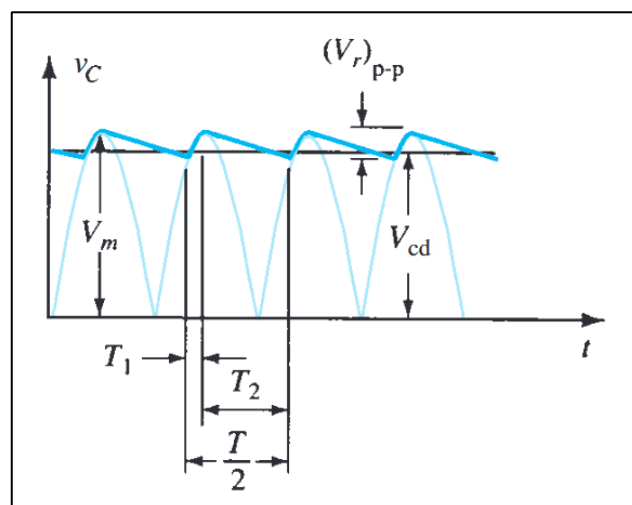


Figura 2.15. Forma de onda del voltaje de salida al utilizar un filtro capacitor.

Fuente: [35]. Operación de un filtro capacitor: (b) voltaje de salida filtrado. [Figura].

2.3.2.4.1.2. Etapa de conmutación de alta frecuencia

La etapa de conmutación de alta frecuencia, se encarga de convertir la señal de salida de la etapa de rectificación y filtrado en una onda cuadrada de alta frecuencia de pulsos (entre 18 a 50 *KHz*), la cual es introducida a un transformador de núcleo de ferrita (funcionando también como separador de la red), utilizando dispositivos de estado sólido (generalmente de potencia como transistores, MOSFET, etc.) que operan como interruptores (completamente apagados o completamente encendidos), y trabajan en su región activa, lo que permite una disipación de potencia más baja, con velocidades mayores de conmutación, tensiones y corrientes nominales más altas y un costo relativamente bajo [37], [32], [38], [37].

Para conseguir la tensión estable deseada en la salida, circuito de regulación gobierna al transistor de control, modificando la frecuencia de conmutación o variando el tiempo de conducción de dicho transistor. El transformador de ferrita, que se incluye en el circuito de conmutación, proporciona la tensión de salida adecuada y realiza funciones de separación con la red [37].

2.3.2.4.1.3. Etapa de rectificación y filtrado de salida.

A la salida de dicho circuito de conmutación se le reconecta una nueva etapa de rectificación y filtrado. El circuito de control y regulación toma parte de la tensión de salida y la realimenta al circuito de conmutación [37]

Por último, se rectifica y filtra la onda cuadrada proveniente del circuito de conmutación, obteniendo al final una tensión continua estable de valor deseado [37].

2.3.2.4.1.4. Regulación y control.

Se encargará de controlar la oscilación de la etapa de conmutación. Este bloque se compone de un oscilador de frecuencia fija, un voltaje de referencia, un comparador de voltaje y un modulador de ancho de pulso (PWM). El modulador recibe el pulso del oscilador y modifica su ciclo según la señal que envía el comparador. Este comparador examina el voltaje de salida de la rectificadora secundaria con el voltaje de referencia.

Para cualquier desestabilización de la tensión de salida, el circuito de control y regulación ajusta automáticamente el funcionamiento del circuito de conmutación hasta conseguir el valor prefijado [37].

2.3.2.4.2. Sistema de carga de baterías con paneles solares fotovoltaicos.

Los componentes que forman parte de un sistema de carga fotovoltaica son:

- La célula fotovoltaica
- El módulo fotovoltaico.
- El regulador de carga.

2.3.2.4.2.1. Célula fotovoltaica.

Una celda o célula fotovoltaica, es un componente electrónico, fabricado con materiales que tienen propiedades fotoeléctricas, lo que hace que sean capaces de absorber fotones de luz y emitir electrones, los cuales al ser capturados resultan en una corriente eléctrica que puede ser utilizada como electricidad. Su vida útil funcionando al máximo rendimiento es de aproximadamente treinta años [39], [27]. Su símbolo para diagramas eléctricos se muestra en la Figura 2.16.

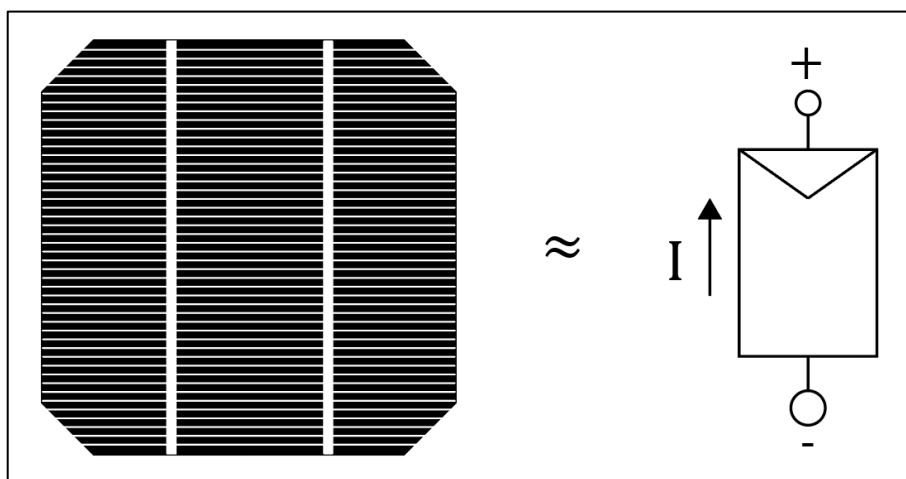


Figura 2.16. Símbolo eléctrico, para una célula fotovoltaica.

Fuente: Elaboración propia, [27].

2.3.2.4.2.1.1. Modelo matemático de una célula fotovoltaica.

El modelo eléctrico o circuito equivalente de una célula fotovoltaica ideal se lo puede apreciar en la Figura 2.17, está formado por una fuente de corriente que modela la intensidad de iluminación fotogenerada por el efecto fotovoltaico (I_L), conectada en paralelo con un diodo que modela la intensidad de oscuridad debida a la recombinación de portadores producida por el voltaje externo (I_D). La intensidad de iluminación (I_L) depende de la irradiación solar que recibe sobre la célula [27].

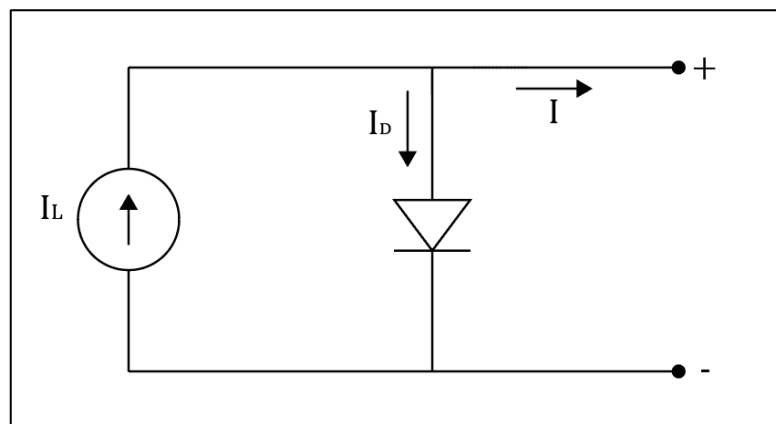


Figura 2.17. Circuito equivalente para una célula fotovoltaica ideal.

Fuente: Elaboración propia.

La intensidad total que suministra la célula fotovoltaica se representa mediante la Ecuación 2.10.

Ecuación 2.10. Intensidad total que suministra una célula fotovoltaica ideal.

$$I = I_L - I_0 \cdot \left(\exp\left(\frac{V}{m \cdot V_T}\right) - 1 \right) \quad (2.10.)$$

Fuente: [8], [27], [40].

Donde:

- I : Intensidad total que suministra una célula fotovoltaica ideal.
- I_L : Intensidad de iluminación.
- I_0 : Intensidad de saturación en oscuridad del diodo.
- V : Tensión en bornes de la célula.

- m : Factor de idealidad del diodo. Adopta valores comprendidos entre 1 y 2 [27].
- V_T : Tensión térmica.

A su vez, el valor de la tensión térmica (V_T) viene dado por la Ecuación 2.11.

Ecuación 2.11. Tensión térmica.

$$V_T = \frac{k \cdot T}{e} \quad (2.11.)$$

Fuente: [27].

Donde:

- V_T : Tensión térmica.
- k : Constante de Boltzmann. Es igual a $(1.38)(10)^{-23} J/K$ [27].
- T : Temperatura del diodo en grados Kelvin.
- e : Carga del electrón. Igual a $(1.6)(10)^{-19} C$ [27].

Cuando la célula fotovoltaica está conectada en cortocircuito como se puede ver en la Figura 2.18.a), la intensidad suministrada se debe exclusivamente a la intensidad de iluminación, denominándose en este caso intensidad en cortocircuito (I_{SC}). Esta intensidad depende de la irradiación solar recibida. Cuando la célula se encuentra en circuito abierto como muestra la Figura 2.18.b), la acumulación de cargas en cada una de las capas N y P da lugar a una tensión de circuito abierto (V_{OC}), que también depende de la irradiación solar incidente. La Ecuación 2.12 expresa la intensidad cuando se incluyen los dos parámetros mencionados [27].

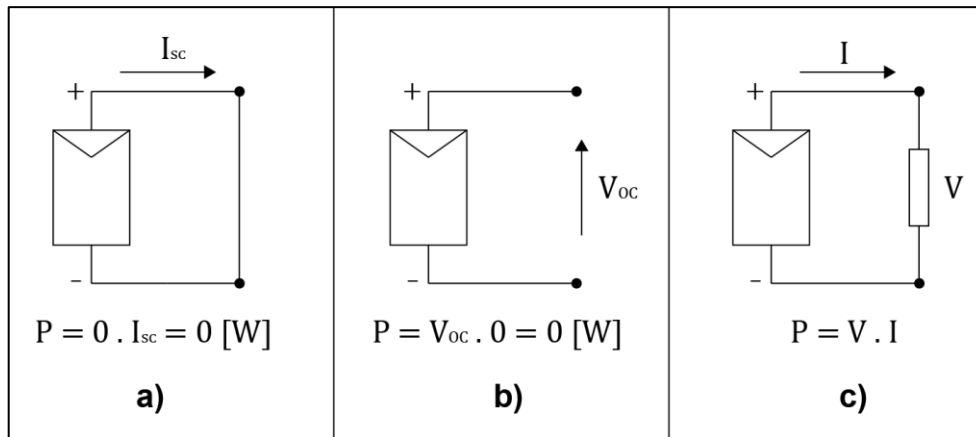


Figura 2.18. Conexión de una célula fotovoltaica en: a) Cortocircuito. b) Circuito abierto. c) Conectada a una resistencia de carga.

Fuente: Elaboración propia, [27].

Ecuación 2.12. Intensidad total que suministra una célula fotovoltaica ideal, con intensidad de cortocircuito y tensión en circuito abierto.

$$I = I_{SC} \cdot \left(1 - \exp\left(\frac{e \cdot (V_{OC} - V)}{m \cdot k \cdot T}\right) \right) \quad (2.12.)$$

Fuente: [27].

Donde:

- I : Intensidad total que suministra una célula fotovoltaica ideal, con intensidad de cortocircuito y tensión en circuito abierto.
- I_{SC} : Intensidad en cortocircuito.
- e : Carga del electrón. Igual a $(1.6)(10)^{-19} \text{ C}$ [27].
- V_{OC} : Tensión de circuito abierto.
- V : Tensión en bornes de la célula.
- m : Factor de idealidad del diodo. Adopta valores comprendidos entre 1 y 2 [27].
- k : Constante de Boltzmann. Es igual a $(1.38)(10)^{-23} \text{ J/K}$ [27].
- T : Temperatura del diodo en grados Kelvin.

Sin embargo, en el modelo de la célula fotovoltaica real se debe considerar una resistencia serie (R_S) que representa principalmente la resistencia de los contactos metálicos con el semiconductor y la resistencia del propio material semiconductor y una resistencia paralelo (R_P) que representa las fugas de corriente entre los bornes de la célula [27].

El circuito equivalente de la célula fotovoltaica real, incluyendo las resistencias serie y paralelo, se presenta en la Figura 2.19. En las células fotovoltaicas de silicio la resistencia serie (R_S) toma valores comprendidos entre 0.05 y 0.1 *Ohms*, mientras que la resistencia en paralelo (R_P) adopta valores comprendidos entre 200 y 300 *Ohms*. En el caso concreto de la célula ideal, la resistencia serie es igual a cero y la resistencia en paralelo es igual a infinito [27].

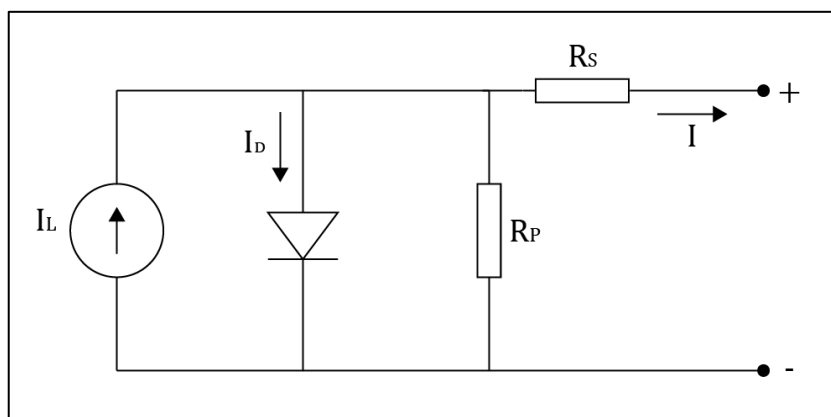


Figura 2.19. Circuito equivalente para una célula fotovoltaica real.

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta la resistencia serie (R_S) y la resistencia en paralelo (R_P). La intensidad total que suministra la célula real viene expresada por la ecuación:

Ecuación 2.13. Intensidad total que suministra una célula fotovoltaica real.

$$I = I_L - I_0 \cdot \left(\exp \left(\frac{V - I \cdot R_S}{m \cdot V_T} \right) - 1 \right) - \frac{V + I \cdot R_S}{R_P} \quad (2.13.)$$

Fuente: [8], [27], [40].

Donde:

- I : Intensidad total que suministra una célula fotovoltaica real.
- I_L : Intensidad de iluminación.
- I_0 : Intensidad de saturación en oscuridad del diodo.
- V : Tensión en bornes de la célula.
- I : Intensidad total que suministra una célula fotovoltaica ideal, con intensidad de cortocircuito y tensión en circuito abierto.

- R_S : Resistencia serie.
- m : Factor de idealidad del diodo. Adopta valores comprendidos entre 1 y 2 [27].
- V_T : Tensión térmica.
- R_P : Resistencia en paralelo.

Considerando que la resistencia en paralelo (R_P), es suficientemente grande frente a su numerador, que la intensidad de cortocircuito (I_{SC}) es igual a la intensidad de iluminación (I_L) y que el valor de la exponencial es mucho mayor de uno, la expresión que relaciona la intensidad que genera la célula con tensión en sus bornes puede ser simplificada. Una vez expresada en función de la tensión en circuito abierto (V_{OC}) y la intensidad en cortocircuito (I_{SC}), se obtiene finalmente la Ecuación 2.14. [27].

Ecuación 2.14. Intensidad total que suministra una célula fotovoltaica real, con intensidad de cortocircuito y tensión en circuito abierto.

$$I = I_{SC} \cdot \left(1 - \exp\left(\frac{V - V_{OC} + I \cdot R_S}{m \cdot V_T}\right) \right) \quad (2.14.)$$

Fuente: [8], [27], [40].

Donde:

- I : Intensidad total que suministra una célula fotovoltaica real, con intensidad de cortocircuito y tensión en circuito abierto.
- I_{SC} : Intensidad en cortocircuito.
- V : Tensión en bornes de la célula.
- V_{OC} : Tensión de circuito abierto.
- I_L : Intensidad total que suministra una célula fotovoltaica ideal, con intensidad de cortocircuito y tensión en circuito abierto.
- R_S : Resistencia serie.
- m : Factor de idealidad del diodo. Adopta valores comprendidos entre 1 y 2 [27].
- V_T : Tensión térmica.

Si se cierra el circuito eléctrico mediante una resistencia eléctrica de carga como se muestra en la Figura 2.18.c), la célula fotovoltaica genera una determinada intensidad eléctrica que provoca a su vez una determinada caída de tensión en dicha resistencia. Si se varía la resistencia de carga entre los valores cero e infinito, la intensidad y la tensión varían siguiendo una curva de funcionamiento denominada curva característica de intensidad – tensión o curva $I - V$. Es decir, el valor de la resistencia de carga conectada a la célula fotovoltaica condiciona el punto de trabajo sobre la curva característica $I - V$. Los puntos externos de la curva se corresponden con la célula en circuito abierto y en cortocircuito [27].

Para caracterizar el funcionamiento de una célula fotovoltaica, se definen unas condiciones de funcionamiento de laboratorio, denominadas condiciones estándares de medida (CEM), en inglés standard test condition (STC). Estas condiciones particulares son:

- Irradiación solar igual a 1000 W/m^2 .
- Incidencia nominal.
- Temperatura de la célula igual a $25 \text{ }^\circ\text{C}$.
- Distribución espectral correspondiente a una masa de aire de 1.5.

En la Figura 2.20, se presenta la forma de la curva característica de una célula fotovoltaica. Está particularizada para una célula de trabajo en condiciones estándar de medida con una intensidad en cortocircuito (I_{SC}) de 3 Amperios y una tensión de circuito abierto (V_{OC}) de 0.6 Voltios . En la Figura 2.20, también se ha incluido la curva que describe la relación entre la potencia eléctrica suministrada por la célula fotovoltaica y su tensión eléctrica, o curva $P - V$. Esta relación presenta un punto de máxima potencia (P_{MPP}) (maximum power point). Los parámetros I_{MPP} y V_{MPP} representan la intensidad y la tensión de la célula en el punto de funcionamiento de máxima potencia [27]. Esta potencia eléctrica máxima que puede suministrar la célula en condiciones estándar de medida, viene dada por la Ecuación 2.25.

Ecuación 2.15. Potencia eléctrica máxima que puede suministrar la célula en condiciones estándar de medida.

$$P_{MPP} = V_{MPP} \cdot I_{MPP} \quad (2.15.)$$

Fuente: [27].

Donde:

- P_{MPP} : Potencia eléctrica máxima que puede suministrar la célula en condiciones estándar de medida.
- V_{MPP} : Tensión de la célula en el punto de funcionamiento de máxima potencia.
- I_{MPP} : Intensidad de la célula en el punto de funcionamiento de máxima potencia.

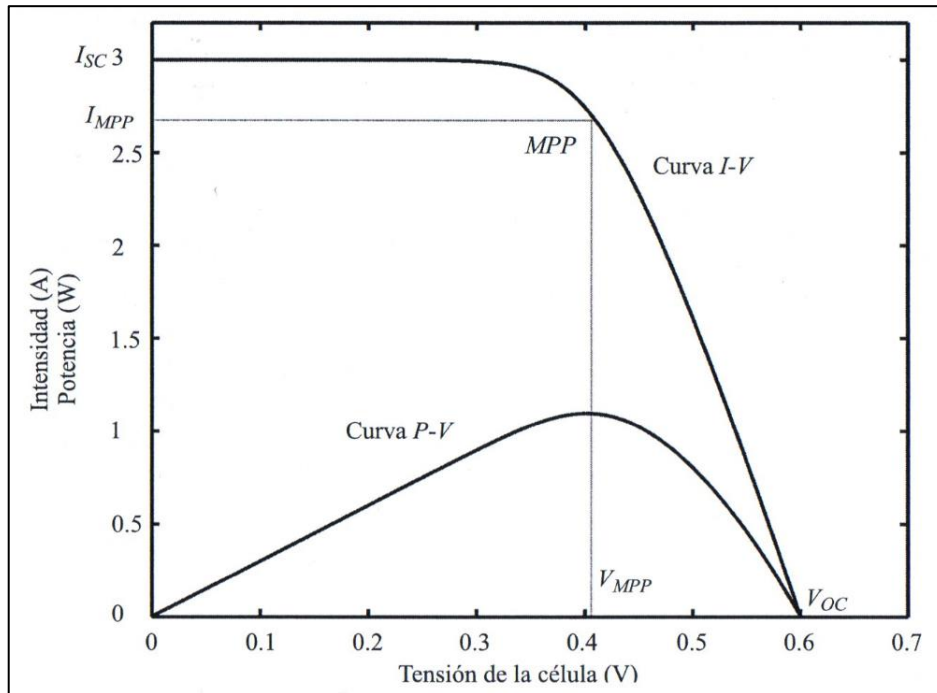


Figura 2.20. Curvas $I - V$ y $P - V$ para una célula solar fotovoltaica en condiciones estándar de medida.

Fuente: [27]. Curva I-V y curva P-V de una célula solar fotovoltaica en condiciones estándar. [Figura].

El punto de trabajo de una célula solar conectada a una carga resistiva depende del valor óhmico de dicha resistencia. Coincide con la intersección de la curva $I - V$ de la célula fotovoltaica con la recta que define el funcionamiento de la resistencia R . De acuerdo con la ley de Ohm se tiene la Ecuación 2.16. [27].

Ecuación 2.16. Carga resistiva para una célula solar.

$$R = \frac{V}{I} \quad (2.16.)$$

Fuente: [27].

Donde:

- R : Carga resistiva para una célula solar.
- V : Tensión de la célula.
- I : Intensidad de la célula.

En la Figura 2.21, se detalla la intersección de la célula con distintos valores de resistencia óhmica. Se observa que existe un valor de la resistencia de carga para el que se obtiene la máxima potencia de la célula [27].

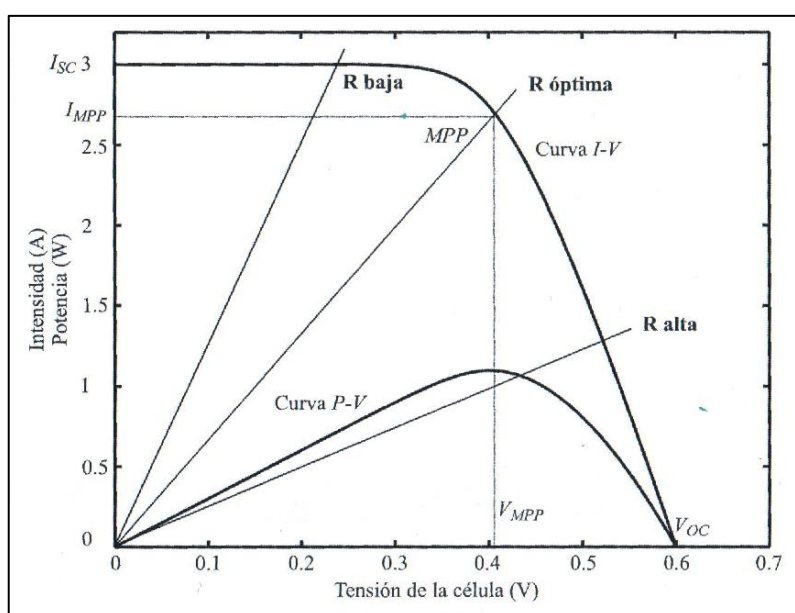


Figura 2.21. Interacción de una célula fotovoltaica con una carga resistiva.

Fuente: [27]. Interacción de una célula fotovoltaica con una carga resistiva. [Figura].

2.3.2.4.2.1.2. Influencia de la radiación sobre una célula fotovoltaica.

Las condiciones estándar de medida establecen una irradiación solar de 1000 W/m^2 . Sin embargo, durante su funcionamiento normal la radiación incidente sobre la célula es variable a lo largo de un día, así como entre los diversos días del año. El efecto de la irradiación solar sobre la tensión eléctrica de circuito abierto de una célula solar fotovoltaica tiene mucho menos peso que sobre la intensidad en cortocircuito. El valor de la intensidad en corto circuito ($I_{SC,G}$) para una temperatura de trabajo de la célula de $25 \text{ }^\circ\text{C}$ es proporcional a la irradiancia solar recibida de acuerdo con la Ecuación 2.17. [27].

Ecuación 2.17. Intensidad en cortocircuito para una irradiación solar G .

$$I_{SC,G} = I_{SC,STC} \cdot \frac{G}{G_{STC}} \quad (2.17.)$$

Fuente: [27].

Donde:

- $I_{SC,G}$: Intensidad en cortocircuito para una irradiación solar G , en *Amperios*.
- $I_{SC,STC}$: Intensidad en cortocircuito en condiciones estándar de medida, en *Amperios*.
- G : Irradiación solar recibida por la célula, en W/m^2 .
- G_{STC} : Irradiación solar en condiciones estándar de medida, W/m^2 .

En muchas aplicaciones prácticas se desprecia el efecto de la irradiación solar sobre la tensión de circuito abierto. Aunque su dependencia es muy pequeña, la tensión de circuito abierto de la célula fotovoltaica en función de la irradiancia solar ($V_{OC,G}$) viene expresada por la Ecuación 2.18. [27].

Ecuación 2.18. Tensión de circuito abierto de una célula fotovoltaica en función de la irradiancia solar.

$$V_{OC,G} = V_{OC,STC} + \frac{m \cdot k \cdot T_C}{e} \cdot \ln \left(\frac{G}{G_{STC}} \right) \quad (2.18.)$$

Fuente: [27].

Donde:

- $V_{OC,G}$: Tensión de circuito abierto de una célula fotovoltaica en función de la irradiancia solar.
- $V_{OC,STC}$: Tensión de circuito abierto de la célula fotovoltaica en condiciones estándar de medida, en *Voltios*.
- m : Factor de idealidad del diodo.
- k : Constante de Boltzmann. Es igual a $(1.38)(10)^{-23} J/K$, [27].
- T_C : Temperatura de trabajo de la célula fotovoltaica en *grados Kelvin*.
- e : Carga del electrón. Igual a $(1.6)(10)^{-19} C$, [27].

- G : Irradiación solar recibida por la célula, en W/m^2 .
- G_{STC} : Irradiación solar en condiciones estándar de medida, W/m^2 .

En la Figura 2.22, se representa la curva característica $I - V$ de la célula de la Figura 2.20, para distintos valores de la irradiación solar, donde la temperatura de trabajo de la célula es de $25\text{ }^\circ\text{C}$. En la Figura 2.23, se representa la curva característica $P - V$ de la misma célula fotovoltaica para distintos valores de irradiación solar [27].

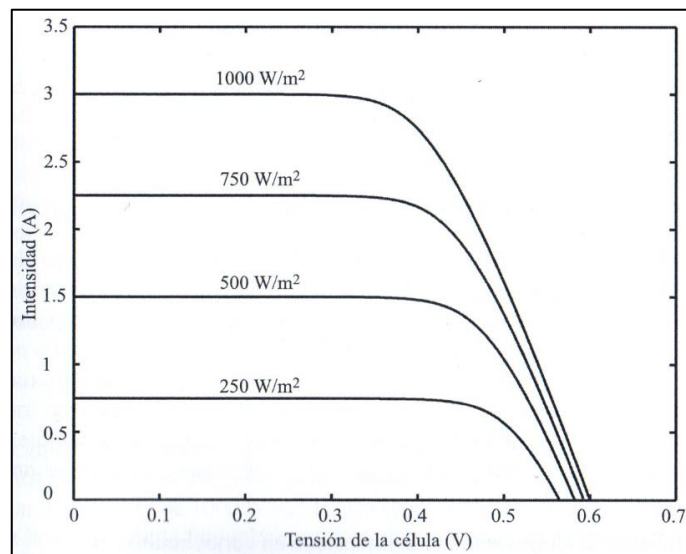


Figura 2.22. Curva $I - V$ para una célula fotovoltaica con distintos valores de irradiancia solar con T_C a $25\text{ }^\circ\text{C}$.

Fuente: [27]. Curva I-V de una célula fotovoltaica para distintos valores de irradiancia solar. [Figura].

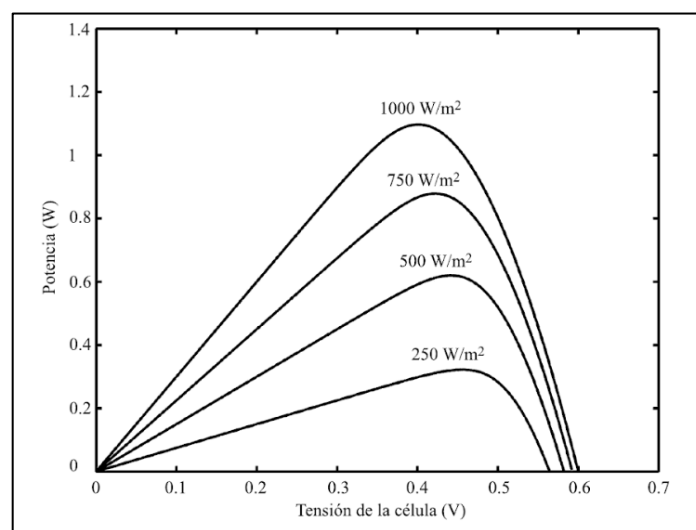


Figura 2.23. Curva $P - V$ para una célula fotovoltaica con distintos valores de irradiancia solar con T_C a $25\text{ }^\circ\text{C}$.

Fuente: [27]. Curva P-V de una célula fotovoltaica para distintos valores de irradiancia solar. [Figura].

2.3.2.4.2.1.3. Influencia de la temperatura sobre la célula fotovoltaica.

Las condiciones estándar de medida establecen una temperatura de trabajo de la célula fotovoltaica de 25 °C. Sin embargo, se trata de unas condiciones de laboratorio. Cuando la célula está funcionando a la intemperie, su temperatura depende principalmente de la temperatura ambiente, de la irradiación solar y de la velocidad del viento. La potencia de la célula en el punto de máxima potencia (P_{MPP}), el valor de la tensión de circuito abierto (V_{OC}) y la intensidad en cortocircuito (I_{SC}) dependen de la temperatura de trabajo de la célula. Para calcular el valor de estos parámetros a una temperatura diferente de 25 °C, el fabricante suministra los denominados parámetros térmicos, expresados normalmente en %/°C, [27], dichos parámetros son:

- El coeficiente de temperatura de la intensidad en cortocircuito (α).
- El coeficiente de temperatura de la tensión en circuito abierto (β).
- El coeficiente de temperatura de la máxima potencia (γ).

La potencia de la célula en el punto de máxima potencia a una temperatura de trabajo T_C se puede calcular con la Ecuación 2.19.

Ecuación 2.19. Potencia de la célula en el punto de máxima potencia a una temperatura de trabajo T_C .

$$P_{MPP,T_C} = P_{MPP,STC} \cdot \left(1 + \frac{\gamma}{100} \cdot (T_C - T_{C,STC}) \right) \quad (2.19.)$$

Fuente: [27].

Donde:

- P_{MPP,T_C} : Potencia de la célula en el punto de máxima potencia a una temperatura de trabajo T_C , en W .
- $P_{MPP,STC}$: Máxima potencia que puede entregar la célula fotovoltaica en condiciones estándar de medida, en W .
- γ : Coeficiente de temperatura de la máxima potencia, en %/°C.
- T_C : Temperatura de trabajo de la célula fotovoltaica, en °C.

- $T_{C,STC}$: Temperatura de trabajo de la célula fotovoltaica, en condiciones estándar de medida, en °C.

Procediendo de la misma forma, se puede calcular el valor de la intensidad en cortocircuito (I_{SC}) y tensión de circuito abierto (V_{OC}) a la temperatura de trabajo de la célula fotovoltaica (T_C) con la Ecuación 2.20, y Ecuación 2.21, [27].

Ecuación 2.20. Intensidad en cortocircuito a la temperatura de trabajo T_C de la célula fotovoltaica.

$$I_{SC,T_C} = I_{SC,STC} \cdot \left(1 + \frac{\alpha}{100} \cdot (T_C - T_{C,STC}) \right) \quad (2.20.)$$

Fuente: [27].

Donde:

- I_{SC,T_C} : Intensidad en cortocircuito a la temperatura de trabajo T_C de la célula fotovoltaica, en W .
- $I_{SC,STC}$: Máxima intensidad en cortocircuito que puede entregar la célula fotovoltaica en condiciones estándar de medida, en W .
- α : coeficiente de temperatura de la intensidad en cortocircuito, en %/°C.
- T_C : Temperatura de trabajo de la célula fotovoltaica, en °C.
- $T_{C,STC}$: Temperatura de trabajo de la célula fotovoltaica, en condiciones estándar de medida, en °C.

Ecuación 2.21. Tensión de circuito abierto a la temperatura de trabajo T_C de la célula fotovoltaica.

$$V_{OC,T_C} = V_{OC,STC} \cdot \left(1 + \frac{\beta}{100} \cdot (T_C - T_{C,STC}) \right) \quad (2.21.)$$

Fuente: [27].

Donde:

- V_{OC,T_C} : Tensión de circuito abierto a la temperatura de trabajo T_C de la célula fotovoltaica, en W .

- $V_{OC,STC}$: Máxima tensión en circuito abierto que puede entregar la célula fotovoltaica en condiciones estándar de medida, en W .
- β : coeficiente de temperatura de la tensión en circuito abierto, en $\%/^{\circ}C$.
- T_C : Temperatura de trabajo de la célula fotovoltaica, en $^{\circ}C$.
- $T_{C,STC}$: Temperatura de trabajo de la célula fotovoltaica, en condiciones estándar de medida, en $^{\circ}C$.

El efecto de la temperatura de trabajo de la célula fotovoltaica en la intensidad en cortocircuito tiene mucho menos peso que sobre la tensión de circuito abierto. Los fabricantes suelen dar el valor de los coeficientes de temperatura de la intensidad en cortocircuito, la tensión en circuito abierto y la potencia, que describen la variación de estos en función de la temperatura, expresados en $\%/^{\circ}C$ con respecto a las condiciones estándar de medida, así como las curvas características. El efecto de la temperatura viene condicionado por el tipo de encapsulado. A falta de datos, se considera que la variación de la tensión de circuito abierto en una célula de silicio cristalino debida al efecto de la temperatura es el valor mostrado en la Ecuación 2.22, [27].

Ecuación 2.22. Variación de la tensión de circuito abierto en una célula de silicio cristalino debida al efecto de la temperatura.

$$\frac{dV_{OC}}{dT} = -2.3 \text{ mW}/^{\circ}C \quad (2.22.)$$

Fuente: [27].

Donde:

- dV_{OC} : Variación de la tensión de circuito abierto en una célula de silicio.
- dT : Efecto de la temperatura.

En la Figura 2.24, se representa la curva característica I-V de la célula de la Figura 2.20, para distintos valores de la temperatura de trabajo de la célula fotovoltaica, donde la irradiancia solar incidente es de 1000. En la Figura 2.25, se representan la curva característica P-V de la misma célula fotovoltaica para distintos valores de la temperatura de trabajo. Al aumentar la temperatura de trabajo de la célula, disminuye la tensión de circuito abierto, aumenta suavemente la corriente en cortocircuito y disminuye la potencia eléctrica

entregada. No hay que confundir temperatura ambiente con temperatura de trabajo de la célula.

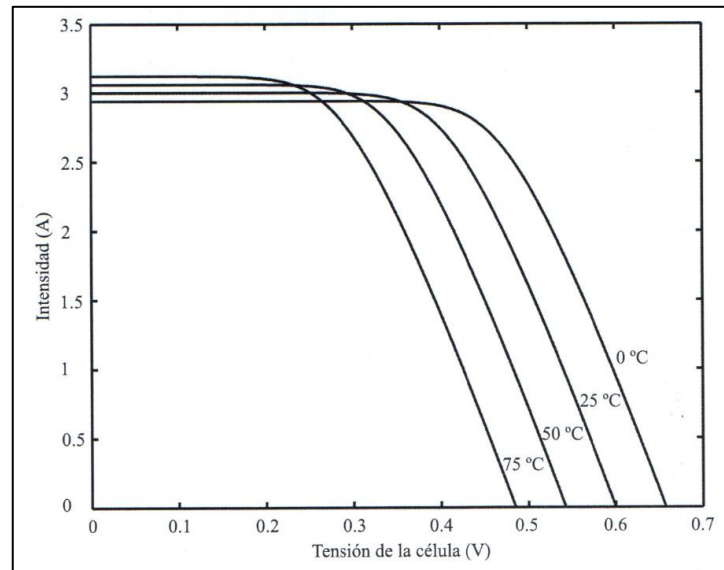


Figura 2.24. Curva $I - V$ para una célula fotovoltaica con distintos valores de temperatura de trabajo con irradiancia solar de 1000 W/m^2 .

Fuente: [27]. Curva I-V de una célula fotovoltaica para distintos valores de temperatura de trabajo. [Figura].

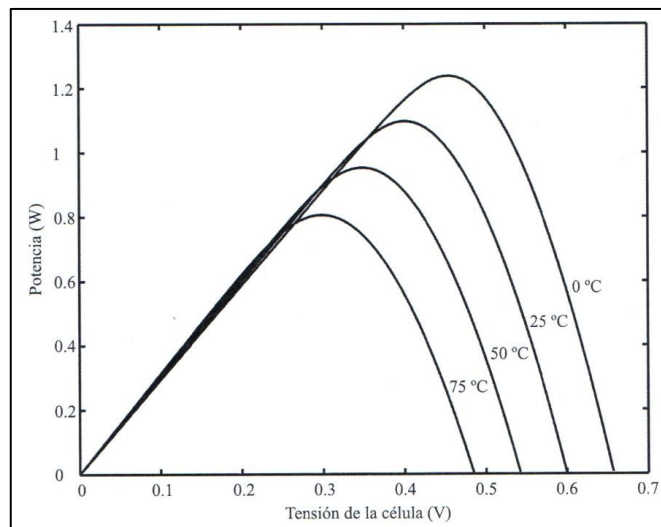


Figura 2.25. Curva $P - V$ para una célula fotovoltaica con distintos valores de temperatura de trabajo con irradiancia solar de 1000 W/m^2 .

Fuente: [27]. Curva P-V de una célula fotovoltaica para distintos valores de temperatura de trabajo. [Figura].

2.3.2.4.2.1.4. Parámetros de la célula fotovoltaica.

- **Intensidad en cortocircuito (I_{SC}):** Es la intensidad que circula por la célula cuando está en cortocircuito y, por tanto, la tensión eléctrica es cero. Es la máxima intensidad que puede proporcionar la célula en condiciones estándar de medida [27].
- **Tensión de circuito abierto (V_{OC}):** Es la tensión en bornes de la célula cuando el circuito está abierto y, por tanto, la intensidad eléctrica es cero. Es la máxima tensión que puede proporcionar la célula en condiciones estándares de mediada [27].
- **Potencia máxima (P_{MPP}):** Es la potencia eléctrica máxima que puede entregar la célula fotovoltaica en condiciones estándar de medida. [27].
- **Tensión en el punto máximo de potencia máxima (V_{MPP}):** Es la tensión de la célula en el punto de trabajo máximo de potencia [27].
- **Intensidad en el punto máximo de potencia máxima (I_{MPP}):** Es la intensidad que circula por la célula en el punto de trabajo máximo de potencia [27].
- **Rendimiento o eficiencia (η):** Es el cociente entre la potencia eléctrica máxima que puede entregar la célula y la potencia luminosa que incide sobre ella (P_L). La potencia luminosa se puede calcular como el producto de la irradiación solar por el área superficial de la célula [27]. Se puede calcular con la Ecuación 2.23.

Ecuación 2.23. Rendimiento o eficiencia para una célula solar fotovoltaica.

$$\eta = \frac{V_{MPP} + I_{MPP}}{P_L} \quad (2.23.)$$

Fuente: [27].

Donde:

- η : Rendimiento o eficiencia para una célula solar fotovoltaica.
- V_{MPP} : Tensión en el punto máximo de potencia.

- I_{MPP} : Intensidad en el punto máximo de potencia.
- P_L : Potencia luminosa sobre la célula solar fotovoltaica.
- **Factor de forma o de relleno (FF):** Es el cociente entre la potencia eléctrica máxima y el producto de la tensión de circuito abierto (V_{OC}) y la intensidad en cortocircuito (I_{SC}). También se puede ver como el cociente entre el área del rectángulo definido por el producto $I_{MPP} \cdot V_{MPP}$ y el área del rectángulo definido por el producto $I_{SC} \cdot V_{OC}$. Cuanto más se aproxima el valor del factor de forma a uno, más se aproxima la curva $V - I$ al rectángulo de máxima potencia. En las células fotovoltaicas reales el factor de forma toma valores de orden de 0.7 – 0.8 [27]. Se puede calcular con la Ecuación 2.24.

Ecuación 2.24. Factor de forma o de relleno para una célula solar fotovoltaica.

$$FF = \frac{I_{MPP} \cdot V_{MPP}}{I_{SC} \cdot V_{OC}} \quad (2.24.)$$

Fuente: [27].

Donde:

- **FF :** Factor de forma o de relleno para una célula solar fotovoltaica.
- I_{MPP} : Intensidad en el punto máximo de potencia máxima.
- V_{MPP} : Tensión en el punto máximo de potencia máxima.
- I_{SC} : Intensidad en cortocircuito.
- V_{OC} : Tensión de circuito abierto
- **Coefficiente de temperatura de intensidad en cortocircuito (α):** Representa la dependencia de la intensidad en cortocircuito con la temperatura de la célula, expresado en porcentaje por grados centígrados (%/°C) [27], [41].
- **Coefficiente de temperatura de tensión de circuito abierto (β):** Representa la dependencia de la tensión de circuito abierto con la temperatura de la célula, expresado en porcentaje por grados centígrados (%/°C) [27], [41].

- **Coefficiente de temperatura de potencia máxima (γ):** Representa la dependencia de la potencia máxima con la temperatura de la célula, expresado en porcentaje por grados centígrados ($\%/^{\circ}\text{C}$) [27], [41].
- **Temperatura de operación nominal de la célula (TONC):** Temperatura que alcanzan las células solares cuando se somete al módulo a las siguientes condiciones de operación: irradiación de 800 W/m^2 , distribución espectral AM 1,5 (masa del aire), temperatura ambiente de 20°C y velocidad del viento de 1 m/s .

2.3.2.4.2.1.5. Tipos de celdas solares fotovoltaicas.

Los tipos de celdas solares fotovoltaicas, se clasifican de acuerdo con su material y tecnología de fabricación, siendo las más comunes y comerciales, las de tecnología cristalina de silicio, capa fina de concentración, células flexibles y de arseniuro de galio [27], [42], [43].

2.3.2.4.2.1.5.1. Celdas fotovoltaicas, fabricadas con tecnología cristalina de silicio.

Las celdas solares fotovoltaicas, fabricadas con tecnología cristalina de silicio, son las más comunes a nivel comercial (el silicio abarca el 90% del mercado) [44], a su vez estas se clasifican en:

- **Silicio monocristalino (Mono c-Si):** Tienen una estructura perfectamente ordenada, de forma cuadrada, con las esquinas redondeadas, se caracterizan por su color azul uniforme, su rendimiento oscila entre el 15 % y el 18% [27].
- **Silicio policristalinas (Multi c-Si):** Tienen un aspecto azulado, pero en su superficie se aprecian regiones diferentes compuestas por cristales distintos que dan lugar una disminución de su rendimiento. Su forma es totalmente cuadrada, Su rendimiento oscila entre 12% y el 14% [27].

2.3.2.4.2.1.5.2. Celdas fotovoltaicas, fabricadas con tecnología de capa fina.

Se basa en la acumulación de capas finas de material fotosensible sobre una superficie de bajo coste. La más comercial es la de silicio amorfo.

- **Silicio amorfo (a-Si):** Tiene un color marrón homogéneo. Una vez montadas en un módulo fotovoltaico, no se aprecia conexión visible entre las células. Son menos sensibles a la temperatura, pero son menos eficientes que los módulos de silicio cristalino. Su rendimiento es menor del 10%. Cuando se confecciona un módulo fotovoltaico con silicio amorfo, no se realizan mediante células independientes. Se trata de una estructura continua depositada sobre una base [27].

2.3.2.4.2.1.5.3. Celdas solares fotovoltaicas de arseniuro de galio.

Las celdas solares fotovoltaicas de arseniuro de galio, presentan mejores cualidades de eficiencia que el silicio para la producción de energía eléctrica, pero debido a su escasez en la naturaleza lo hace muy caro, y solo se lo utiliza en aplicaciones en las que los costos no son relevantes, como en las aplicaciones espaciales, su rendimiento se aproxima al 25% [44], [43].

2.3.2.4.2.1.5.4. Celdas solares fotovoltaicas de concentración.

La tecnología fotovoltaica de concentración, se trata de células fotovoltaicas preparadas para funcionar con luz concentrada. Usan una lente para aumentar la incidencia de la radiación solar sobre las células. Su eficiencia está entre el 20% y 30% [27].

2.3.2.4.2.1.5.5. Células solares fotovoltaicas flexibles.

Las células flexibles, son similares a las células de capa fina. El material se deposita sobre un plástico fino de tal forma que la célula puede ser flexible. Permite ampliar las posibilidades de integración de los sistemas fotovoltaicos en edificios [27].

2.3.2.4.2.1.6. Pérdidas y rendimiento.

En la célula solar fotovoltaica tiene lugar una serie de pérdidas que limitan su rendimiento, de modo que solo es posible extraer una parte de la energía solar que incide sobre ella, todo ello limita el rendimiento global de la célula fotoeléctrica a aproximadamente el 16% [43]; dichos factores y su porcentaje de pérdida son:

- Sombra causada por la conexión eléctrica y reflexión de parte de la radiación solar: 3%.
- Energía de los fotones demasiado baja como para romper el enlace del silicio y generar un par electrón-hueco: 22%.
- Energía de los fotones demasiado elevada para romper el enlace del silicio: 30%.
- Pérdida de energía debido a la recombinación de electrones y huecos: 8.5%.
- Tensión en la célula: 20%.
- Resistencia: 0.5%.

2.3.2.4.2.2. Módulo o panel fotovoltaico.

El panel solar fotovoltaico, conocido también como módulos o colectores fotovoltaicos, está formado por un grupo de celdas o células fotovoltaicas, conectadas entre sí tanto en serie como en paralelo las cuales se encargan de producir electricidad a partir de la luz que cae sobre ellas [27], [41].

Normalmente las características de una célula fotovoltaica no son adecuadas para las aplicaciones convencionales, ya que su tensión es del orden de 0.6 Voltios, su intensidad de unos 3 Amperios y la potencia que suministra está comprendida entre 1 y 2 *Watts*. En la práctica, para obtener niveles de tensión y de intensidad adecuados a cada aplicación específica, es necesario asociar las células fotovoltaicas para conseguir mayores potencias y mayores niveles de tensión y de intensidad [27], [41].

Además, un módulo fotovoltaico es una asociación eléctrica de células fotovoltaicas, encapsuladas y montadas sobre un soporte. Es habitual clasificar los módulos fotovoltaicos en función del tipo de células utilizadas [27], [41].

2.3.2.4.2.2.1. Características constructivas

El módulo fotovoltaico, envuelve y protege las células fotovoltaicas frente a los agentes externos, y dota al conjunto de rigidez para su posterior acoplamiento y fijación a las estructuras de soporte [27], [41]. Normalmente está compuesta por las siguientes partes:

- **Cubierta frontal:** Su principal función es proteger a las células fotovoltaicas contra los agentes atmosféricos. Suele estar fabricada con vidrio templado de unos tres o cuatro milímetros de espesor. Debe ser un buen transmisor de la radiación solar y poseer una baja reflexión para aprovechar al máximo la energía solar que incide en el módulo. Además, debe ser impermeable al agua para que no penetre en el interior del módulo. Puesto que la potencia que entregan las células disminuye al aumentar su temperatura, la resistividad térmica de la cubierta debe ser baja para disipar el calor de las células [27], [41].
- **Encapsulante:** Normalmente esta fabricad don un material transparente. Proporcionando solidez a las células. El material más utilizado es el EVA (etilvinilacetato) [27], [41].
- **Células fotovoltaicas:** Transforman parcialmente la energía solar en energía eléctrica. Disponen de una rejilla que recoge la intensidad de la célula. Esta intensidad se lleva a dos buses o cintas colectoras, normalmente de aluminio o acero inoxidable, que transportan la corriente hasta la siguiente célula del módulo. Suelen ser redundantes para optimizar la recolección de corriente. A su vez, para realizar la conexión entre células fotovoltaicas, la capa *P* de una célula se une con la capa *N* de la siguiente célula por medio las cintas colectoras [27], [41].
- **Cubierta posterior:** Fabricada con un material plástico; el más utilizado es el Tedlar. Protege las células contra los agentes atmosférico y debe ser impermeable al agua [27], [41].

- **Marco:** Suele estar fabricado con aluminio anodizado. Proporciona rigidez y resistencia mecánica al módulo fotovoltaico y permite su fijación. Viene preparado de fábrica para su puesta a tierra [27], [41].
- **Caja de conexiones:** Se encuentra en la parte posterior del módulo. Cuenta con dos bornes de salida, debidamente señalizados: positivo y negativo. También se suelen incluir de fábrica los diodos de paso para evitar el efecto de punto caliente. Debe ser estanca y resistente a la intemperie [27], [41].

2.3.2.4.2.2. Parámetros característicos de un módulo fotovoltaico.

Un módulo fotovoltaico está caracterizado por sus parámetros eléctricos, parámetros térmicos, características físicas y rango de funcionamiento. Estos datos son facilitados normalmente por los fabricantes.

- **Intensidad en cortocircuito (I_{SC}):** Es la intensidad que circula por el módulo cuando está conectado en cortocircuito y, por tanto, la tensión eléctrica es cero. Es la máxima intensidad que puede proporcionar el módulo en condiciones estándar de medida [27], [41].
- **Tensión de circuito abierto (V_{OC}):** Es la tensión en bornes del módulo cuando el circuito está abierto y, por tanto, la intensidad eléctrica es cero. Es la máxima tensión que puede proporcionar el módulo en condiciones estándar de medida [27], [41].
- **Potencia máxima (P_{MPP}):** Es la potencia eléctrica máxima que puede entregar el módulo fotovoltaico en condiciones estándar de medida. El fabricante suele ofrecer este dato con una tolerancia. Esto se debe al hecho de que no todas las células que componen el módulo son idénticas, y las células con menos prestaciones afecta al comportamiento del resto [27], [41].
- **Tensión en el punto de máxima potencia (V_{MPP}):** Es la tensión del módulo en el punto de trabajo de máxima potencia [27], [41].

- **Intensidad en el punto de máxima potencia (I_{MPP}):** Es la intensidad que circula por el módulo en el punto de trabajo de máxima potencia [27], [41].
- **Tensión máxima del sistema:** Este valor de tensión limita el número de módulos que se pueden conectar en serie [27], [41].
- **Rendimiento o eficiencia (η):** Es el cociente entre la potencia eléctrica máxima que puede entregar el módulo y la potencia luminosa que incide sobre él [27], [41]. Este valor se lo puede calcular utilizando la Ecuación 2.25.

Ecuación 2.25. Rendimiento o eficiencia para un módulo fotovoltaico.

$$\eta = \frac{V_{MPP} \cdot I_{MPP}}{P_L} = \frac{V_{MPP} \cdot I_{MPP}}{\text{Área.Irradiación}} \quad (2.25.)$$

Fuente: [27], [41].

Donde:

- η : Rendimiento o eficiencia para un módulo fotovoltaico.
 - V_{MPP} : Tensión en el punto máximo de potencia para un módulo fotovoltaico.
 - I_{MPP} : Intensidad en el punto máximo de potencia para un módulo fotovoltaico.
 - P_L : Potencia luminosa sobre un módulo fotovoltaico.
- **Factor de forma o de relleno (FF):** Es el cociente entre la potencia eléctrica máxima y el producto de la tensión de circuito abierto (V_{OC}) y la intensidad en cortocircuito (I_{SC}). También se puede ver como el cociente entre el área del rectángulo definido por el producto $V_{MPP} \cdot I_{MPP}$ y el área del rectángulo definido por el producto $V_{OC} \cdot I_{SC}$. Cuanto más se aproxima el valor del factor de forma a uno, más se aproxima la curva $V - I$ al rectángulo de máxima potencia. En los módulos fotovoltaicos reales, el factor de forma toma como valores del orden de 0.7 y 0.8, [27], [41]. Este factor se puede encontrar con la Ecuación 2.26.

Ecuación 2.26. Factor de forma o de relleno para un panel solar fotovoltaico.

$$FF = \frac{V_{MPP} \cdot I_{MPP}}{V_{OC} \cdot I_{SC}} \quad (2.26.)$$

Fuente: [27], [41].

Donde:

- **FF**: Factor de forma o de relleno para un módulo fotovoltaico.
- V_{MPP} : Tensión en el punto máximo de potencia máxima para un módulo fotovoltaico.
- I_{MPP} : Intensidad en el punto máximo de potencia máxima para un módulo fotovoltaico.
- V_{OC} : Tensión de circuito abierto para un módulo fotovoltaico.
- I_{SC} : Intensidad en cortocircuito para un módulo fotovoltaico.

- **Intensidad inversa (I_R)**: Es el valor máximo de intensidad en sentido inverso que puede soportar un módulo fotovoltaico en régimen permanente [27], [41].

- **Coefficiente de temperatura de I_{SC} (α)**: Representa la dependencia de la intensidad en cortocircuito con la temperatura del módulo, expresada en %/°C, [27], [41].

- **Coefficiente de temperatura de V_{OC} (β)**: Representa la dependencia de la tensión de circuito abierto con la temperatura del módulo expresado en %/°C, [27], [41].

- **Coefficiente de temperatura de potencia máxima P (γ)**. Representa la dependencia de la potencia máxima con la temperatura del módulo, expresados en %/°C, [27], [41].

- **Dimensiones**: Un módulo fotovoltaico tiene forma de cubo. Sus dimensiones son el alto, ancho y largo. Normalmente vienen dadas en *mm* [27], [41].

- **Peso**: Peso aproximado del módulo. Suele expresarse en *Kg* [27], [41].

- **Área:** Es el área o superficie expuesta a la radiación solar. Es el producto del largo por el ancho. La unidad habitual es el m^2 [27], [41].
- **Tipo de célula:** Se indica el tipo de célula utilizada para formar el panel (tecnología y material de fabricación), junto con sus dimensiones [27], [41].
- **Asociación y números de células:** Indica el número de células utilizadas para formar el módulo, así como su modo de asociación eléctrica [27], [41].
- **Material del marco:** Material con el que está fabricado el marco del módulo [27], [41].
- **Caja de conexiones:** Características de la caja de conexiones, con su grado de protección IP [27], [41].
- **Código IP:** Es un sistema de codificación para indicar los grados de protección proporcionado por la envolvente contra el acceso a partes peligrosas, contra la penetración de cuerpos sólidos extraños, contra la penetración de agua y para suministrar una información adicional unida a la referida protección. El código IP está formado por dos números de una cifra cada uno, situados inmediatamente después de las letras << IP >> y que son independientes uno del otro [41].
- **Temperatura:** Establece los límites máximos y mínimos de temperatura ambiente que puede soportar el módulo, expresado en $^{\circ}C$ [27], [41].
- **Carga máxima del viento:** Un módulo debe soportar los efectos de la intemperie. Uno de ellos es el efecto del viento. El fabricante suele indicar la máxima velocidad del viento que soporta el panel, en Km/h , o bien la máxima presión, en Pa [27], [41].
- **Carga máxima de nieve:** Un módulo también debe soportar el efecto de la nieve que se debe depositar sobre él. EL fabricante indica el máximo peso que puede soportar, expresado en kg/m , o bien la máxima presión, en Pa [27], [41].

2.3.2.4.2.2.3. Punto de funcionamiento de un módulo fotovoltaico.

El comportamiento de un módulo fotovoltaico viene definido por su curva característica *intensidad – tensión* específica para unas determinadas condiciones de irradiancia solar y temperatura. Sin embargo, el punto de funcionamiento dentro de esta curva va a depender de las características de la carga que se conecta en los bornes del módulo fotovoltaico [27], [41].

Cuando se conecta una carga resistiva, el punto de funcionamiento del módulo fotovoltaico es el correspondiente a la intersección entre su curva característica *tensión – intensidad* y la recta de funcionamiento de la resistencia. Esta recta viene dada por la expresión de la Ecuación 2.27, en virtud de la ley de Ohm, donde R es el valor óhmico de la resistencia Figura 2.26. Para conseguir que el módulo fotovoltaico trabaje en el punto de máxima potencia se debe ajustar el valor óhmico de la resistencia de forma que el punto de intersección coincida con el punto de máxima potencia de la curva del módulo [27], [41].

Ecuación 2.27. Expresión de la recta de funcionamiento de la resistencia.

$$I = \frac{V}{R} \quad (2.27.)$$

Fuente: [41].

Donde:

- I : Intensidad de un módulo fotovoltaico, conectado con carga resistiva.
- V : Tensión de un módulo fotovoltaico, conectado con carga resistiva.
- R : Valor óhmico de la resistencia (Figura 2.26) [41].

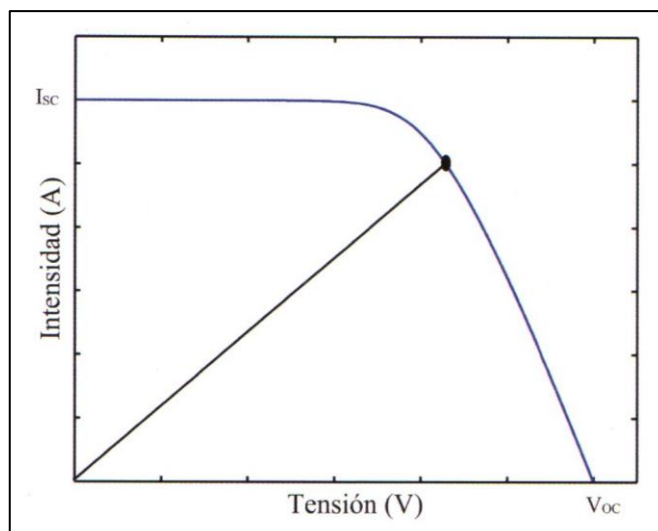


Figura 2.26. Conexión de una carga resistiva a un módulo fotovoltaico.
Fuente: [41]. Conexión de una resistencia de carga a un módulo fotovoltaico. [Figura].

En el caso de que se conecte una batería ideal de tensión constante (V_{BAT}) y resistencia interna cero a un módulo fotovoltaico, la tensión de funcionamiento del módulo viene impuesta por la tensión de la batería, El punto de funcionamiento del módulo fotovoltaico se corresponde con la intersección de su curva característica *tensión – intensidad* y la recta de funcionamiento de la batería Figura 2.27, [27], [41]. La potencia que entrega el módulo fotovoltaico se expresa en la Ecuación 2.28.

Ecuación 2.28. Potencia que entrega un módulo fotovoltaico conectado a una batería ideal de tensión constante.

$$P = I_{SC} \cdot V_{BAT} \quad (2.28.)$$

Fuente: [41].

Donde:

- P : Potencia que entrega un módulo fotovoltaico conectado a una batería ideal de tensión constante.
- I_{SC} : Intensidad de un módulo fotovoltaico en cortocircuito.
- V_{BAT} : Tensión de una batería ideal.

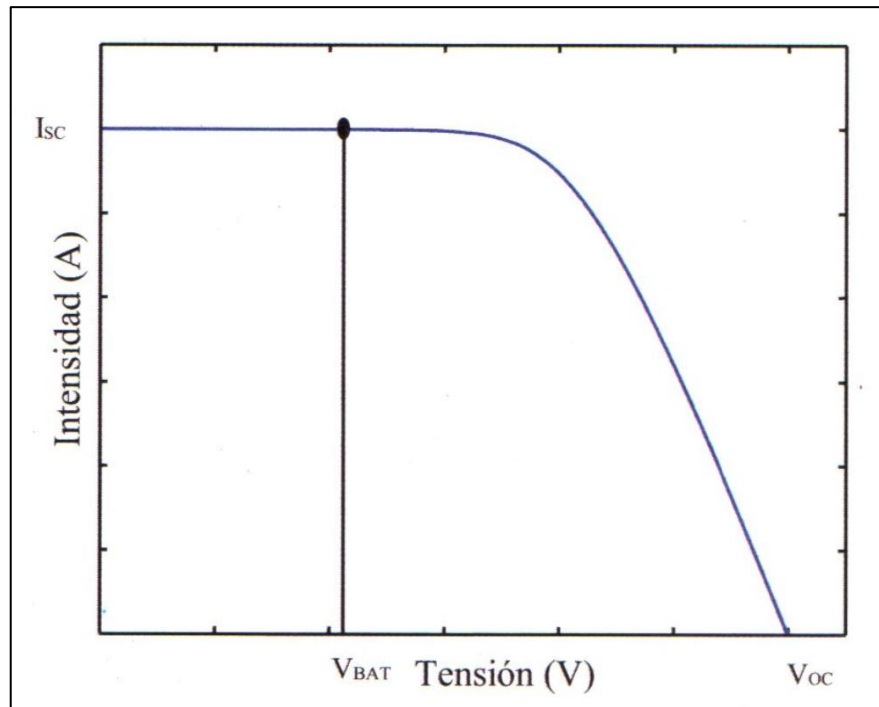


Figura 2.27. Conexión de una batería ideal en un módulo fotovoltaico.

Fuente: [41]. Conexión de una batería ideal a un módulo fotovoltaico. [Figura].

Sin embargo, una batería real tiene una tensión y una resistencia interna (R_i) que depende de diversos factores como, por ejemplo, el estado de carga [27], [41]. La tensión en bornes de la batería real en proceso de carga viene dada por la Ecuación 2.29.

Ecuación 2.29. Tensión en los bornes de una batería real, en proceso de carga.

$$V = V_{BAT} + I \cdot R_i \quad (2.29.)$$

Fuente: [27], [41].

Donde:

- V : Tensión en los bornes de una batería real, en proceso de carga.
- V_{BAT} : Tensión de una batería real.
- I : Intensidad proporcionada por el módulo fotovoltaico (curva *tensión – intensidad*).
- R_i : Resistencia interna de una batería real.

Por tanto, su recta de funcionamiento viene definida por la Ecuación 2.30.

Ecuación 2.30. Recta de funcionamiento una batería real, en proceso de carga con un módulo fotovoltaico.

$$I = \frac{V - V_{BAT}}{R_i} \quad (2.30.)$$

Fuente: [27], [41].

Donde:

- I : Intensidad proporcionada por el módulo fotovoltaico (curva *tensión – intensidad*).
- V : Tensión en los bornes de una batería real, en proceso de carga.
- V_{BAT} : Tensión de una batería real.
- R_i : Resistencia interna de una batería real.

La intersección de la recta de funcionamiento de la batería y la curva característica del módulo fotovoltaico determina el punto de funcionamiento, como se puede observar en la Figura 2.28.

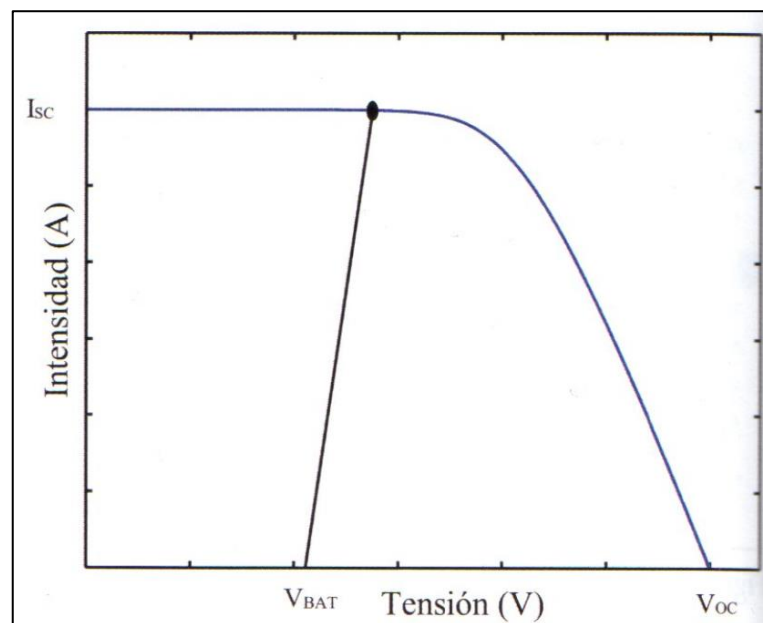


Figura 2.28. Conexión de una batería real en un módulo fotovoltaico.

Fuente: [41]. Conexión de una batería real a un módulo fotovoltaico. [Figura].

2.3.2.4.2.2.4. Modelo matemático de un módulo Fotovoltaico

Con el objetivo de obtener el modelo matemático del módulo fotovoltaico, se consideran las siguientes hipótesis:

- Todas las células son idénticas y trabajan en las mismas condiciones.
- Los conductores utilizados para las conexiones entre células son ideales.
- El efecto de la resistencia paralelo de la célula es despreciable.
- La intensidad en cortocircuito es igual a la corriente de iluminación.
- El valor de la exponencial de la ecuación es mucho mayor que 1.

Teniendo en cuenta dichas hipótesis, el modelo matemático del módulo es

Ecuación 2.31. Modelo matemático para un módulo fotovoltaico.

$$I_{MF} = I_{SC,MF} \left(1 - \exp \left(\frac{V_{MF} - V_{OC,MF} + I_{MF} \cdot R_{S,MF}}{m \cdot N_S \cdot V_T} \right) \right) \quad (2.31.)$$

Fuente: [27].

Donde:

- I_{MF} : Intensidad del módulo fotovoltaico.
- $I_{SC,MF}$: Intensidad de cortocircuito del módulo fotovoltaico.
- V_{MF} : Tensión eléctrica del módulo fotovoltaico.
- $V_{OC,MF}$: Tensión de circuito abierto del módulo fotovoltaico.
- I_{MF} : Intensidad del módulo fotovoltaico, con resistencia serie del módulo fotovoltaico ($R_{S,MF}$).
- $R_{S,MF}$: Resistencia serie del módulo fotovoltaico.
- m : Factor de idealidad del diodo.
- N_S : Número de células fotovoltaicas conectadas en serie en cada rama.
- V_T : Tensión térmica.

Donde $R_{S,MF}$ es la resistencia serie del módulo fotovoltaico. Se puede calcular de forma aproximada mediante la Ecuación 2.32:

Ecuación 2.32. Resistencia serie del módulo fotovoltaico.

$$R_{S,MF} = \frac{N_S \cdot R_S}{N_P} \quad (2.32.)$$

Fuente: [27].

Donde:

- $R_{S,MF}$: Resistencia serie del módulo fotovoltaico.
- N_S : Número de células fotovoltaicas conectadas en serie en cada rama.
- R_S : Resistencia serie de una célula fotovoltaica.
- N_P : Número de ramas conectadas en paralelo.

2.3.2.4.2.2.5. El problema del punto caliente.

Se dice que hay un punto caliente en un panel solar fotovoltaico cuando una de sus células (o paneles o conjunto de ellas) esta averiada o bajo sombra. En estas condiciones, los reajustes de tensiones que se originan pueden dar una corriente superior a la fotocorriente de la célula averiada, invirtiendo su funcionamiento, ósea, de elemento generador a consumidor [42].

Esta corriente puede originar el calentamiento de la célula, pudiendo llegar a deteriorarla e incluso a inutilizar el panel o conjuntos de éstos. Para evitarlo, se conectarán diodos de bloques o by-pass en paralelo con grupos de células conectadas en serie, éstos permiten el paso de corriente de otros grupos de células conectadas en serie, éstos permiten el paso de corriente de otros grupos en una misma dirección e impidiendo el paso en sentido contrario. Estos dispositivos son siempre necesarios si la tensión de funcionamiento es superior a 24 V [42].

El fenómeno de punto caliente tiene lugar cuando una célula o grupo de células dentro de un módulo fotovoltaico genera menos intensidad que la intensidad de la rama o string del módulo en el que se encuentra. También se puede ver como aquella situación en la que la intensidad de un módulo fotovoltaico es superior a la intensidad en cortocircuito de una célula o grupo de células sombreadas, dañadas, defectuosas o con características eléctricas diferentes del resto de células [27], [41].

2.3.2.4.2.2.5.1. Diodos de paso para la protección contra puntos calientes.

Los módulos solares se protegerán eléctricamente para evitar riesgos o accidentes sobre los mismo. Una forma de protección es la de colocar un diodo en su circuito de salida para evitar que accidentalmente funcionen como receptores. Los diodos de bloqueo evitan que se disipe energía de los módulos o de la batería en caso de defecto eléctrico. Los diodos de paso evitan que los módulos funcionen como receptores. El fabricante colocará estos diodos sobre los propios módulos.

La protección se completa con fusibles que se colocan en la salida de polo positivo en cada serie de módulos [45].

El sombreado parcial de un módulo es prácticamente inevitable. Puede darse, simplemente por el paso de una nube, un pájaro posado o por la suciedad. El sombreado de alguna de las células de un módulo fotovoltaico, mientras el resto están iluminadas, puede provocar la inversión de su polaridad pasando a funcionar en el segundo cuadrante, convirtiéndose en una carga eléctrica que consume la energía generada por el resto de células que tenga asociadas en serie.

La temperatura de la célula aumentará y puede llegar a destruirse. Para evitar este fenómeno, se utilizan diodos de paso de protección contra puntos calientes. Estos diodos se conectan de tal manera que quedan inversamente polarizados si todas las células que tienen en paralelo trabajan correctamente, y por tanto el diodo no conduce en esta situación. Si una de las ramas queda sombreada considerablemente, cambia su polaridad y el diodo conectado en paralelo queda polarizado directamente y permite la circulación de la corriente generada por el resto de grupos de células.

2.3.2.4.2.2.6. Criterios para la selección de módulos fotovoltaicos.

En el mercado existen diversos fabricantes de módulos fotovoltaicos y, as u vez, cada fabricante dispone de una variedad de modelos diferentes. Cuando en una determinada aplicación se debe seleccionar un módulo fotovoltaico es necesario tener en cuenta distintos criterios:

- **Rendimiento o eficiencia:** El rendimiento del módulo es un dato que se debe considerar, sobre todo en aquellas aplicaciones con problemas de espacio, Mayores rendimientos suponen menores superficies del módulo por una misma potencia, aunque su coste es mayor.
- **Tolerancia de potencia máxima:** Los fabricantes ofrecen el valor de la potencia máxima que puede suministrar un módulo fotovoltaico al comienzo de la vida útil del módulo, junto con un valor de tolerancia que puede ser negativo y positivo (por ejemplo $-5\%/+5\%$), mientras que otros ofrecen tolerancias negativas nulas (por ejemplo, $0\%/+5\%$).
- **Punto de trabajo del módulo fotovoltaico:** En una instalación aislada de red que utilice un regulador de carga sin seguimiento del punto de máxima potencia, el módulo fotovoltaico no va a trabajar a su máxima potencia, sino que su punto de funcionamiento lo va a fijar la tensión de la batería. Por tanto, no tiene sentido elegir un módulo fotovoltaico con una tensión V_{MPP} mucho más alta que la tensión de la batería, ya que la potencia real suministrada por el módulo sería considerablemente menor que la máxima que podría conseguir.
- **Presupuesto:** El presupuesto disponible también podría ser un factor que puede condicionar la selección la selección de fabricante y modelo de módulo fotovoltaico.
- **Garantía de potencia:** Con el paso de los años, la potencia máxima que puede proporcionar un módulo fotovoltaico va disminuyendo. Los fabricantes garantizan una potencia mínima en función del tiempo, que pueden ser lineal o escalonada. Cuando se selecciona un módulo fotovoltaico, se debe valorar la pérdida de potencia en función del tiempo, así como el valor mínimo garantizado por el fabricante.
- **Garantía de defecto de fabricación:** Otro factor para tener en cuenta es también la cobertura de la garantía ofrecida, así como el límite de tiempo.

- **Características ambientales:** La ubicación de la instalación solar fotovoltaica puede condicionar las características de los módulos fotovoltaicos. En lugares con características meteorológicas adversas, se deben elegir los módulos fotovoltaicos de tal forma que sean capaces de soportar las condiciones ambientales: temperaturas extremas, cargas provocadas por fuertes vientos y por nieve, etc.
- **Asesoramiento técnico y servicio posventa:** Es importante que el fabricante dé facilidades cualquier aspecto o duda técnica que pueda surgir de una forma rápida y eficiente. Asimismo, es deseable que se trate de un fabricante consolidado en el mercado, que pueda ofrecer un servicio técnico de reparaciones y una disponibilidad de modelos en stock para posibles cambios o sustituciones de módulos fotovoltaicos que pudieran resultar dañados durante su vida útil.

2.3.2.4.2.2.7. Asociaciones y conexiones

Normalmente en las instalaciones fotovoltaicas es necesario agrupar módulos fotovoltaicos para satisfacer las necesidades energéticas demandadas. Para aumentar los niveles de tensión intensidad y potencia de los módulos, estos se asocian eléctricamente y dan lugar a los generadores fotovoltaicos. En la composición de los generadores fotovoltaicos, todos los módulos utilizados deben ser del mismo fabricante e igual modelo para evitar las pérdidas por efecto mismatch. Dichas pérdidas se deben a la conexión de módulos fotovoltaicos con características eléctricas ligeramente diferentes, incluso siendo los mismo fabricante y modelo.

Si se conectan módulos en serie con diferentes intensidades el módulo de menor intensidad limitará la corriente de la rama, de tal forma que la potencia del generador fotovoltaico es inferior a la suma de las potencias de cada uno de los módulos que lo componen.

Para conseguir incrementar los niveles de tensión, intensidad y potencia, los módulos fotovoltaicos se pueden asociar en serie, en paralelo o en configuración mixta (serie-paralelo).

- **Asociación en serie:** Permite aumentar la tensión y la potencia eléctrica manteniendo el valor de intensidad. Se denomina rama, string o cadena a un conjunto de módulos fotovoltaico conectados en serie. Si se considera que todos los módulos son idénticos y trabajan en las mismas condiciones, la tensión eléctrica del generador fotovoltaico (V_{GF}) es igual al producto de la tensión de un módulo (V_{MF}) por el número de módulos conectados en serie (N_S). Mientras que la intensidad del generador fotovoltaico (I_{GF}) es igual a la intensidad suministrada por un módulo (I_{MF}).
- **Asociación en paralelo:** Permite aumentar la intensidad y la potencia eléctrica manteniendo el valor de la tensión. Si se considera que todos los módulos son idénticos y trabajan en las mismas condiciones, la intensidad eléctrica del generador fotovoltaico (I_{GF}) es igual al producto de la intensidad de un módulo (I_{MF}) por el número de módulos conectados en paralelo (N_P). Mientras que la tensión del generador fotovoltaico (V_{GF}) es igual a la tensión suministrada por un módulo (V_{MF}).
- **Asociación Mixta:** Combina las asociaciones serie y paralelo, permitiendo aumentar el valor de la intensidad, de la tensión y de la potencia eléctrica. Si se considera que todos los módulos son idénticos y trabajan en las mismas condiciones, la tensión eléctrica del generador fotovoltaico (V_{GF}) es igual al producto de la tensión de un módulo (V_{MF}) por el número de módulos conectados en serie (N_S). Mientras que la intensidad eléctrica del generador fotovoltaico (I_{GF}) es igual al producto de la intensidad de un módulo (I_{MF}) por el número de ramas conectadas en paralelo (N_P).

En los tres casos, la potencia del generador fotovoltaico en condiciones ideales es igual a la expresión mostrada en la Ecuación 2.33 por la potencia de un módulo (P_{MF}), como se indica en la Ecuación 2.34.

Ecuación 2.33. Número total de módulos fotovoltaicos.

$$N_T = N_S \cdot N_P \quad (2.33.)$$

Fuente: [41].

Donde:

- N_T : Número total de módulos fotovoltaicos.
- N_S : Número de módulos fotovoltaicos conectados en serie.
- N_P : Número de módulos fotovoltaicos conectados en paralelo.

Ecuación 2.34. Potencia de un generador fotovoltaico en condiciones ideales.

$$P_{GF} = N_T \cdot P_{MF} \quad (2.34.)$$

Fuente: [41].

Donde:

- P_{GF} : Potencia de un generador fotovoltaico en condiciones ideales.
- N_T : Número total de módulos fotovoltaicos.
- P_{MF} : Potencia de un módulo fotovoltaico.

2.3.2.4.2.3. Regulador de carga.

Un regulador de carga es un dispositivo electrónico cuya función principal es, controlar los procesos de carga y descarga del sistema de acumulación de energía (baterías), evitando su sobrecarga o sobredescarga [27], [41], [45], [46].

Otras funciones adicionales, pero no por eso menos importantes del regulador de carga son:

- Servir como punto de conexión entre el generador fotovoltaico, el sistema de acumulación y las cargas o consumos [41].
- Desconectar los consumos cuando la profundidad de descarga de la batería alcanza un valor umbral prefijado [41].

- Proteger la batería frente a sobredescarga, por lo cual es necesario establecer la máxima profundidad de descarga del acumulador, haciendo que se desconecten las cargas o consumos cuando se alcanza dicho valor [41].
- Proteger la batería frente a sobrecargas. Cuando la batería se encuentra totalmente cargada el regulador limita la energía suministrada [41].
- Conseguir que los módulos fotovoltaicos trabajen en el punto máximo de potencia (solo en el caso de que el regulador incorpore esta opción) [41].
- Proteger al generador fotovoltaico en periodos de oscuridad, evitando que la energía o fugas de corriente de la batería regresen a los paneles fotovoltaicos [41].
- Control sobre los consumos, el regulador puede conectar o desconectar en momentos determinados, como podría ser, horas del día [41].
- Suministrar información del estado del sistema mediante distintos indicadores o puertos de conexión (tipo de carga, alarmas, etc.) [41].

2.3.2.4.2.3.1. Funcionamiento del regulador de carga.

El proceso de funcionamiento de un regulador de carga, empieza cuando el sistema de generación formado por los módulos fotovoltaicos, convierte la energía solar en energía eléctrica de corriente continua (*CC*). Si la irradiación solar es suficiente, la energía producida, se utiliza para alimentar las cargas o consumos de *CC*, mientras que el exceso de energía se utiliza para cargar las baterías. En el caso de irradiación insuficiente, las cargas de consumo *CC* son alimentadas por las baterías [41].

El regulador controla el proceso de carga de las baterías, evitando la sobrecarga. Si se sigue aplicando corriente a una batería que se encuentra totalmente cargada, aparece un fenómeno de gaseo y pérdida de electrolito, lo que reduce su vida útil. Por otro lado, un aumento excesivo de la energía consumida por las cargas, así como los largos periodos de tiempo con baja irradiación solar pueden dar lugar a una producción de energía insuficiente para recargar la batería. Estos fenómenos originan las descargas profundas que reducen la vida útil de las baterías. [41].

Para evitarlo, el regulador de carga desconecta los consumos cuando la profundidad de descarga de la batería alcanza un valor umbral prefijado. Normalmente los reguladores están configurados por defecto para un determinado tipo de batería y capacidad [41].

2.3.2.4.2.3.2. Regulación de la intensidad de carga de las baterías.

- **Igualación:** Esta respuesta del regulador permite la realización automática de carga de igualación de los acumuladores tras un periodo de tiempo en el que el estado de carga ha sido bajo, reduciendo al máximo el gaseo en caso contrario.
- **Carga profunda:** Tras la igualación, el sistema de regulación permite la entrada de corriente de carga a los acumuladores sin interrupción hasta alcanzar el punto de tensión final de carga. Alcanzando dicho punto el sistema de regulación interrumpe la carga y el sistema de control pasa a la segunda fase, la flotación. Cuando se alcanza la tensión final de carga, la batería ha alcanzado un nivel de carga próximo al 90 % de su capacidad, en la siguiente fase se completará la carga.
- **Carga final y flotación:** La carga final del acumulador se realiza estableciendo una zona de actuación del sistema de regulación dentro de lo que denominamos “banda de flotación dinámica”. La BFD es un rango de tensión cuyos valores máximos y mínimos se fijan entre la tensión final de carga y la tensión nominal + 10 % aproximadamente. Una vez alcanzado el valor de voltaje de plena carga de la batería, el regulador inyecta una corriente de flotación. Esta corriente se encarga por tanto de mantener la batería a plena carga y cuando no se consume energía se emplea en compensar la Autodescarga de las baterías.

2.3.2.4.2.3.3. Características técnicas de un regulador de carga.

Los fabricantes suelen proporcionar las características eléctricas, físicas y normas de seguridad que cumple el regulador de carga. Las principales características eléctricas de un regulador de carga, son:

- **Tensión nominal:** Tensión de funcionamiento de la instalación. Se corresponde con la tensión nominal del sistema de acumulación o batería. En algunos reguladores es posible configurar este valor o tensión.
- **Tensión máxima de circuito abierto del generador fotovoltaico:** Máxima tensión que puede soportar el regulador. La tensión máxima del circuito abierto del generador fotovoltaico, en el peor caso no debe superar este valor.
- **Intensidad máxima de generación:** Máxima intensidad procedente del generador fotovoltaico que puede recibir el regulador de carga.
- **Intensidad máxima de consumo:** Máxima intensidad procedente del generador fotovoltaico que puede recibir el regulador de carga.
- **Sobrecarga en la línea de generación:** Sobreintensidad que puede soportar el regulador con respecto a la intensidad nominal en la línea de generación.
- **Sobrecarga en la línea de consumo:** Sobreintensidad que puede soportar el regulador con respecto a la intensidad nominal en la línea de consumo.
- **Profundidad máxima de descarga:** En función del regulador de carga utilizado, la profundidad máxima de descarga permitida para la batería viene fijada por defecto o bien puede ser ajustada por el instalador.
- **Consumo típico:** Cantidad de energía que consume el regulador para su funcionamiento. En ocasiones se expresa en forma de corriente eléctrica.

- **Dimensiones:** Medidas de la profundidad, alto, largo. Normalmente se expresa en *milímetros*.
- **Peso:** Peso del regulador de carga. Normalmente en gramos o kilogramos.
- **Grado de protección IP:** Indica el valor del grado de protección IP proporcionado por la envolvente, compuesto por dos cifras.
- **Características ambientales:** El fabricante también puede suministrar los datos de funcionamiento como el rango de temperatura ambiente de trabajo y altura sobre el nivel del mar.

2.3.2.4.2.3.4. Protecciones.

Los reguladores de carga, pueden incorporar dispositivos de autoprotección frente a diversos factores; siempre tomando en cuenta que no todos, incorporan todas las protecciones, a continuación, se detallan las más típicas:

- **Protección contra cortocircuitos en la salida de consumo:** El regular suele disponer de un circuito electrónico que desconecta de forma inmediata la salida de consumo cuando detecta un cortocircuito. La salida se intenta rearmar a intervalos periódicos comprobando si ha desaparecido el cortocircuito [27], [41].
- **Protección contra sobretensiones:** El regulador puede disponer de protecciones contra sobretensiones en las líneas del generador fotovoltaico, de baterías y de consumos. El motivo más habitual de sobretensiones son las tensiones inducidas ocasionadas por las descargas eléctricas durante las tormentas. Normalmente las protecciones contra sobretensiones del regulador no protegen frente a descargas directas de rayos [27], [41].

- **Protecciones contra sobrecargas:** Un regulador de carga también puede disponer de protección contra sobrecargas. En algunos casos esta protección sirve para sobrecargas de corta duración, y es necesario insertar un magneto térmico en la salida de consumo para proteger contra sobredescarga de larga duración [27], [41].
- **Protección contra inversión de polaridad:** Algunos reguladores están protegidos contra la inversión de polaridad en las líneas del generador fotovoltaico, de baterías o de consumo. Es decir, la inversión entre el positivo y el negativo de una línea. No se debe confundir una inversión de polaridad con una conexión errónea que puede dar lugar a una avería del regulador de carga [27], [41].
- **Protección térmica:** El regulador dispone de un sistema de autoprotección en caso de producirse un aumento excesivo de su temperatura interna [27], [41].

2.3.2.4.2.3.5. Tipos de reguladores de carga.

Los tipos de reguladores de carga más utilizados en las instalaciones fotovoltaicas aisladas (no se conectan a la red general de distribución eléctrica) son: el tipo paralelo, serie, con seguimiento del punto máximo de potencia, conmutados e híbridos.

2.3.2.4.2.3.5.1. Regulador paralelo.

El regulador de carga paralelo, también llamado shunt o paralelo, basa su funcionamiento en un interruptor, bien de estado sólido o electromecánico, instalado en paralelo con el generador fotovoltaico. Durante el proceso de carga de las baterías el interruptor permanece abierto. De esta forma se consigue mantener el generador fotovoltaico conectado a las baterías. Para proteger a las baterías frente a sobrecargas, se cortocircuita el generador fotovoltaico mediante el interruptor de control, el cual debe disipar el exceso de energía [27].

En este tipo de reguladores es necesario insertar un diodo para evitar cortocircuitar las baterías. Por otro lado, la protección de las baterías frente a sobrecargas se realiza mediante un interruptor conectado en serie entre las baterías y los consumos, de tal forma que la desconexión tiene lugar cuando el estado de carga de la batería disminuye por debajo de un umbral prefijado [27].

Uno de los inconvenientes de este tipo de regulador es que debe disipar toda la corriente (en forma de calor) de salida del panel cuando el sistema de baterías alcanza el estado de plena carga. Esto resulta una tarea razonable cuando los sistemas eléctricos solares son pequeños, pero, con los grandes sistemas, se requieren disipadores de grandes dimensiones o disipadores menos múltiples, lo que conduce a problemas de fiabilidad y de costo elevado [47].

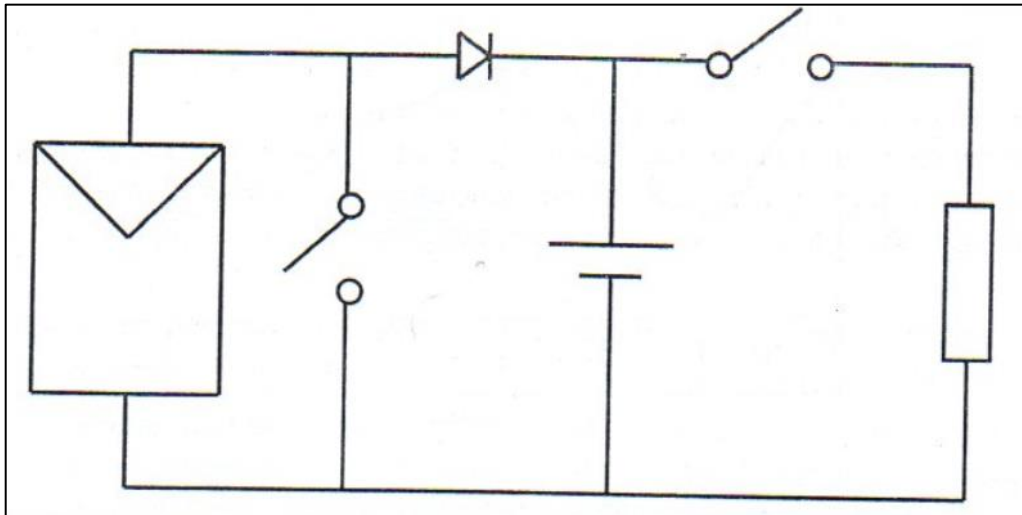


Figura 2.29. Regulador de carga paralelo o shunt.

Fuente [27]. Regulador de carga shunt o paralelo. [Figura].

2.3.2.4.2.3.5.2. Regulador de carga serie.

El regulador de carga serie basa su principio de funcionamiento en un interruptor, bien de estado sólido o electromecánico, instalado en serie entre el generador fotovoltaico y las baterías. A diferencia del regulador paralelo o shunt, este elemento de control no debe disipar energía cuando el generador y las baterías se encuentran desconectados [27].

Durante el proceso de carga de las baterías el interruptor proporciona una vía de baja impedancia desde el generador fotovoltaico hacia estas. Para proteger a las baterías frente a sobrecargas, se desconecta del generador fotovoltaico mediante una apertura del interruptor. A su vez, la protección de las baterías frente a sobredescarga se realiza mediante un interruptor conectado en serie entre las baterías y los consumos, de tal forma que la desconexión tiene lugar cuando el estado de carga de la batería disminuye por debajo de un umbral prefijado. En la Figura 2.30 se detalla un ejemplo de regulador de carga serie, donde los elementos de control se encuentran ubicados en la línea positiva [27].

Algunos modelos de reguladores serie actúan (abren y cierran) sobre la línea de negativo, de tal forma que la línea de positivo es común para el generador fotovoltaico, las baterías y los consumos (Figura 2.31). Esta circunstancia debe ser tenida en cuenta en el caso que se desee realizar una puesta a tierra de la instalación ya que, si se conecta a tierra el negativo del generador, de la batería y de los consumos, los elementos de control del regulador de carga quedan puenteados [27].

En resumen, este tipo de reguladores no disipan energía, simplemente interrumpen la línea campo fotovoltaico – baterías. Por esta razón, suelen utilizarse en instalaciones de mayor potencia que los reguladores en paralelo [47].

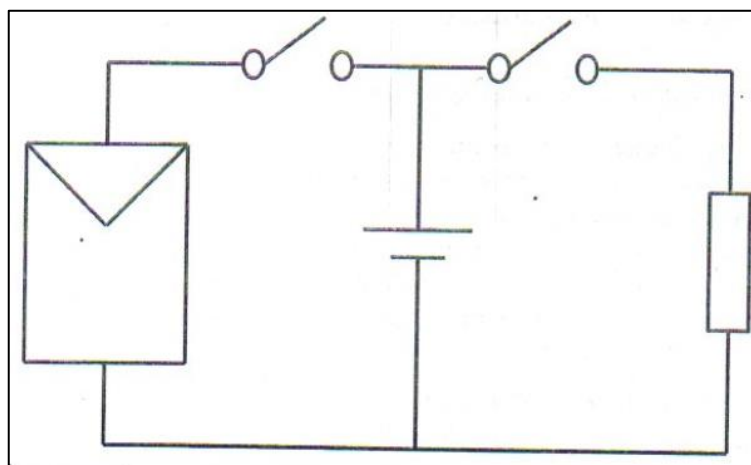


Figura 2.30. Regulador de carga serie, controlado en la línea positiva.
Fuente: [45].

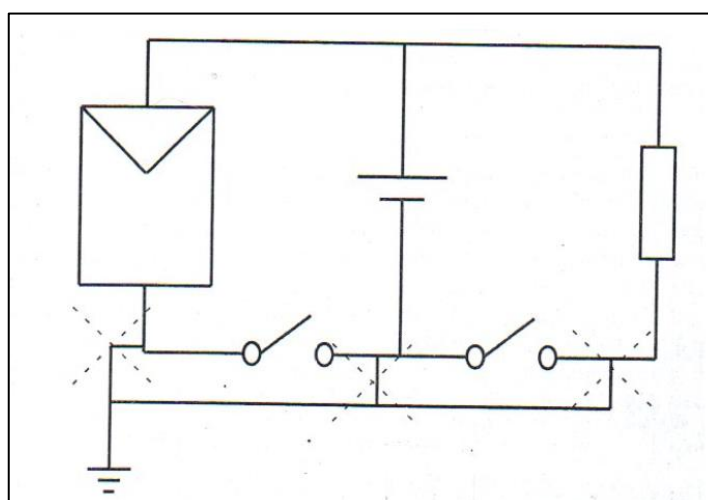


Figura 2.31. Regulador de serie, controlado en la línea negativa.
Fuente: [45].

2.3.2.4.2.3.5.3. Reguladores de carga con seguidor del punto de máxima potencia.

Los reguladores de carga con seguidor del punto de máxima potencia (MPPT), surgen debido a que los reguladores tipo shunt y tipo serie tiene lugar un cierto desaprovechamiento de la potencia del generador fotovoltaico ya que este no funciona en el punto máximo de potencia. Es posible extraer la máxima potencia del generador fotovoltaico mediante la utilización de un tipo especial de reguladores que incorporan un dispositivo con un algoritmo de seguimiento que fuerza al generador fotovoltaico a trabajar en el punto de máxima potencia de su curva característica de funcionamiento [27].

2.3.2.4.2.3.5.4. Reguladores conmutados.

Los reguladores conmutados actúan desconectando la batería del generador mediante un interruptor conectado en serie con el panel. La particularidad de estos dispositivos se refiere a la capacidad de control del valor de la tensión a la salida, para que sea más adecuado a la carga de la batería. Sus principales características son la de incorporar un conmutador que interrumpe la corriente en la fuente primera a intervalos de corta duración variable además de tener un rendimiento elevado [46], [47].

2.3.2.4.2.3.5.5. Reguladores híbridos.

Son sistemas híbridos aquellos que utilizan dos o más fuentes de alimentación diferentes. Algunas instalaciones, además de aprovechar la energía solar fotovoltaica, incorporan un generador auxiliar (eólico, diésel, etc.), o bien utilizan la red de distribución pública como segunda fuente de alimentación. Existen en el mercado algunos reguladores de carga solar que permiten la utilización de shunts en las líneas de los generadores complementarios y de los consumos conectados directamente a las baterías, de manera que el regulador también puede determinar el estado de carga de la batería cuando esta se carga a partir de dichos generadores, o bien cuando la batería suministra energía a los consumos sin pasar por el regulador [27]. Se pueden encontrar reguladores que permiten dos soluciones:

Se utilizan un shunt para medir la corriente suministrada por el generador auxiliar hacia las baterías y un shunt diferente para medir la corriente suministrada por la batería hacia las cargas conectadas directamente a esta [27].

Se utiliza un único shunt para medir en la batería que mide la corriente total de carga o descarga de la batería [27].

En ambos casos es necesario que el generador auxiliar disponga de su propio regulador de carga para evitar sobrecargas en la batería [27].

2.3.2.4.2.3.6. Dimensionado del regulador de carga.

Para dimensionar correctamente el regulador de carga se debe determinar la intensidad máxima de entrada procedente del generador fotovoltaico, la intensidad máxima de salida en la línea de consumo, la máxima tensión de entrada y la tensión nominal de trabajo del sistema de acumulación.

El regulador de carga elegido, debe ser capaz de funcionar a la tensión nominal de trabajo, la cual corresponde con la tensión de las baterías.

La intensidad de entrada del regulador de carga, es suministrada por el generador fotovoltaico. Por lo tanto, la intensidad máxima de entrada procedente del generador, tendrá lugar cuando se encuentre conectado en cortocircuito.

Ecuación 2.35. Intensidad máxima de entrada para un regulador de carga.

$$I_{ENTRADA} = I_{SC,GFT} = (1.25)(I_{SC})(N_P) \quad (2.35.)$$

Fuente: [41].

Donde:

- $I_{ENTRADA}$: Intensidad máxima de entrada para un regulador de carga.
- $I_{SC,GFT}$: Intensidad en cortocircuito de un generador fotovoltaico.
- I_{SC} : Intensidad en cortocircuito de un módulo fotovoltaico.
- N_P : Número de ramas en paralelo.

Por lo tanto, un regulador de carga debe soportar en su entrada de generación una corriente de valor superior a la corriente de cortocircuito del generador en condiciones estándar de medida con un margen del 20 % al 25%.

Para determinar la intensidad máxima de salida en línea de consumo se distinguen dos situaciones diferentes en función de la conexión del inversor.

Ecuación 2.36. Intensidad máxima de salida para un regulador de carga.

$$I_{SALIDA} = (1.25) \left(\frac{P_{CC}}{V_N} \right) \quad (2.36.)$$

Fuente: [41].

Donde:

- I_{SALIDA} : Intensidad máxima de salida que debe ser capaz de suministrar el regulador de carga, en *Amperios*.
- P_{CC} : Potencia máxima de las cargas en corriente continua susceptibles de funcionar simultáneamente a la tensión nominal, en *Watts*.
- V_N : Tensión nominal de la instalación, en *Voltios*.

2.3.3. Accesorios de un scooter eléctrico.

En lo que refiere a accesorios, cada uno de ellos depende del modelo y diseño en particular, pero generalmente los accesorios básicos, están compuestos por:

- El carenado.
- El sillín.
- Espejos retrovisores.

2.4.2. Eje de dirección.

El eje de dirección es la línea imaginaria, sobre la cual gira el sistema de dirección, que a su vez pasa por la pipa de dirección [50].

2.4.3. Lanzamiento.

El lanzamiento, es el ángulo de inclinación en sentido horario, que forma el eje de dirección con la perpendicular al suelo (línea de plomada) [51]. Su utilización fundamentalmente se la realiza por motivos constructivos ya que en caso de no emplearse obligaría a situar al conductor más hacia delante, lo que adelantaría significativamente el centro de gravedad del conjunto vehículo – piloto [52]. En los scooters se suele utilizar un rango entre 15° a 35° , siendo 25° el más utilizado [49]; en su empleo se debe tomar en cuenta que cuanto mayor es este ángulo, disminuye el rango maniobrabilidad (facilidad de giro) en la conducción [53].

2.4.4. Avance.

El avance conocido también como avance de suelo o trail, es la distancia horizontal entre el centro de la huella de contacto (punto de contacto) del neumático y el punto en el que el eje de dirección interseca con el suelo; su función principal, es proporcionar al vehículo de cierta estabilidad en línea recta, debido a que crea un momento estabilizador (efecto autocentrante) sobre la rueda delantera, por tanto, un avance mayor proporcionará un momento mayor, mejorando la estabilidad en altas velocidades, en cambio un avance pequeño nos proporcionará un momento menor, mejorando la maniobrabilidad a baja velocidad [50], [51], [52].

Las medidas del avance generalmente no tiene un valor fijo, porque depende tanto del diámetro de la rueda como del lanzamiento; en los scooters se recomienda utilizar medidas que estén entre los rangos de 0.102 ft (31.01 mm) a 0.68 ft (207.26 mm), siendo los 0.34 ft (103.63 mm) un valor promedio bastante aceptable [49].

2.4.5. Desplazamiento de la horquilla.

El desplazamiento de la horquilla llamado también offset, es la distancia que existe entre el eje de la dirección y el eje de la rueda, su objetivo principal es ayudar a disminuir el avance cuando se aplica un lanzamiento alto. En muchas ocasiones se supone nulo para simplificar los cálculos [51], [52].

2.5. Fuerzas que actúan sobre un scooter eléctrico.

Un scooter eléctrico, principalmente está sometido tres tipos de fuerzas, las gravitacionales, de desaceleración y las de giro [54]. La Figura 2.33, muestra de manera gráfica la distribución de dichas fuerzas.

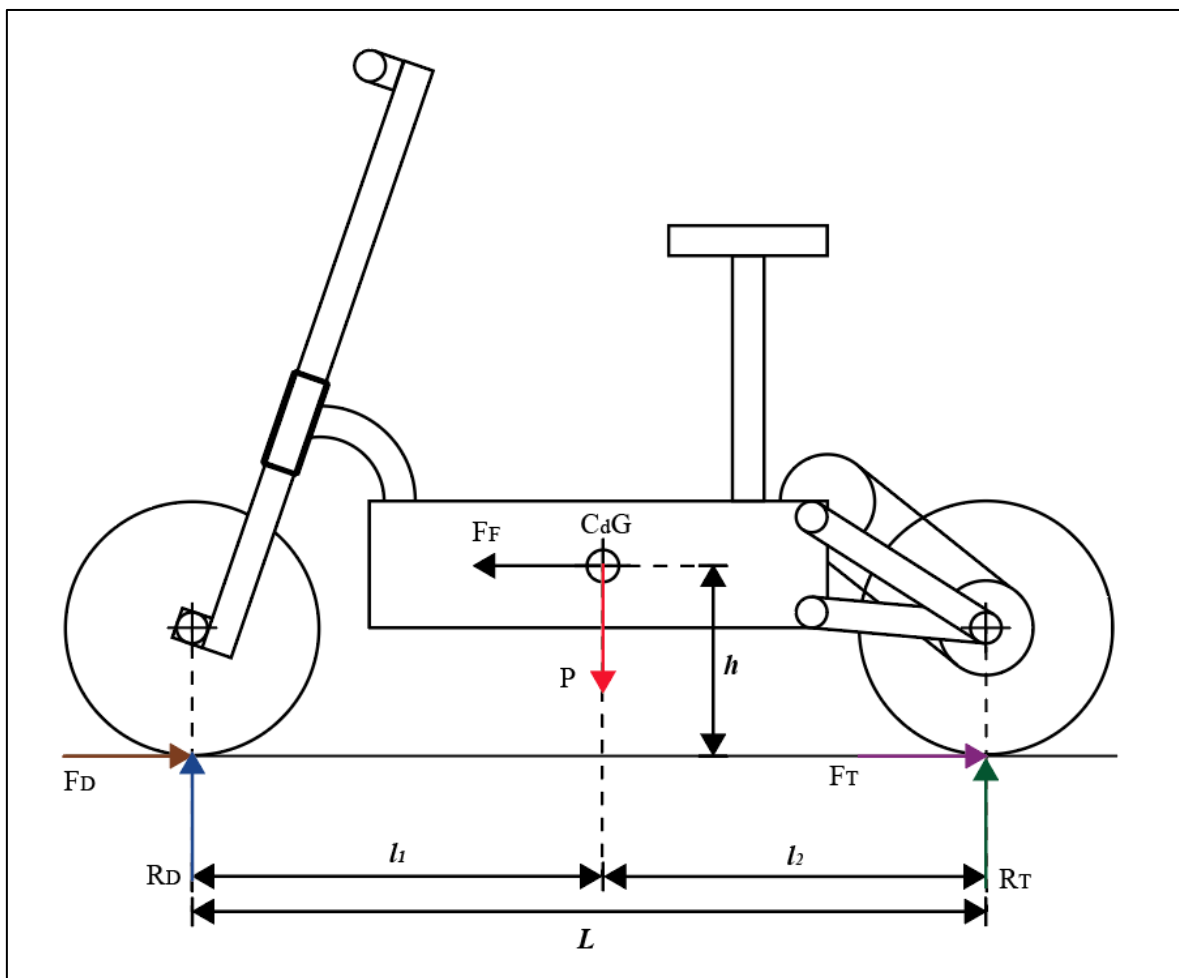


Figura 2.33. Fuerzas que actúan sobre un scooter eléctrico.

Fuente: Elaboración propia.

2.5.1. Fuerzas gravitacionales.

Las fuerzas gravitacionales, son provocadas por las cargas de los pesos del vehículo y el piloto, estas a su vez causan reacciones sobre las ruedas, las más importantes son el peso total vehicular y las reacciones provocadas en las ruedas.

2.5.1.1. Peso total vehicular.

Peso total vehicular también llamado peso bruto vehicular, es la fuerza vertical (P), ilustrada en la Figura 2.33, se la considera de gran importancia, debido a que ejerce una gran carga en el chasis; es generada por los pesos de todo el scooter y el piloto, por lo tanto, para su cálculo se necesitan conocer las respectivas masas [54].

2.5.1.2. Reacciones en las ruedas.

Las reacciones en las ruedas, son las fuerzas verticales de reacción R_D (fuerza de reacción en la rueda delantera) y R_T (fuerza de reacción en la rueda trasera) mostradas en la Figura 2.33, causadas por el peso total vehicular cuando el scooter está en reposo y hace contacto con el suelo [35]. Si se analiza la Figura 2.33, se puede deducir que el peso total vehicular (P) es igual la sumatoria de las reacciones provocadas en las ruedas, dando como resultados la Ecuación 2.37.

Ecuación 2.37. Peso total vehicular utilizando las fuerzas de reacción sobre las ruedas.

$$P = R_D + R_T \quad (2.37.)$$

Fuente: [54].

Donde:

- P : peso total vehicular.
- R_D : reacción en la rueda delantera.
- R_T : reacción en la rueda trasera.

2.5.2. Fuerzas de desaceleración.

Las fuerzas de desaceleración, todas aquellas que se oponen al movimiento de scooter, las más importantes son:

- **Fuerza de empuje:** Es aquella necesaria para mover el scooter cuando está en reposo, sin que exista la aplicación de los frenos en ninguna rueda [5].
- **Fuerza de frenado:** Es aquella necesaria para detener al scooter cuando está en movimiento, y es provocada cuando se aplica al mismo tiempo tanto el freno delantero como el freno trasero. Analizado la Figura 2.33, se puede decir que la fuerza de frenado es igual a la sumatoria de las fuerzas de frenado máximo de la rueda delantera con la trasera, dando como resultado la Ecuación 2.38.

Ecuación 2.38. Fuerza de frenado.

$$\mathbf{F}_F = F_D + F_T \quad (2.38.)$$

Fuente: [54].

Donde:

- F_F : fuerza de frenado.
- F_D : fuerza de frenado máximo en la rueda delantera.
- F_T : fuerza de frenado máximo en la rueda trasera.
- **Fuerza de frenado máximo en la rueda delantera:** Se produce cuando se aplica únicamente el freno delantero para detener el scooter, esto hace que la rueda delantera tome el peso total mientras la rueda trasera se levanta del suelo, es decir, la reacción en la rueda trasera es igual a cero ($R_T = 0$).
- **Fuerza de frenado en la rueda trasera:** Se produce cuando se aplica únicamente el freno trasero para detener el scooter, esto hace que la rueda trasera tome el peso total mientras la rueda delantera se levanta del suelo, es decir, la reacción en la rueda delantera es igual a cero ($R_D = 0$).

2.5.3. Fuerzas durante el giro.

Fuerza durante el giro (F_c), es la carga producida por la aceleración centrífuga durante las curvas y los giros. Para calcular esta fuerza es muy importante saber cómo actuaría el scooter durante el giro y la inclinación. Cuando se conocen esas condiciones, el siguiente paso es calcular el radio mínimo de giro antes del deslizamiento y la velocidad máxima.

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

3.1. Establecer el fundamento teórico necesario, para la implementación de un sistema de carga de baterías no convencional a un scooter eléctrico.

- Recolectar la información teórica, de los sistemas que constituyen un scooter eléctrico.
- Recolectar la información teórica de los diferentes sistemas de carga de baterías con paneles solares fotovoltaicos.

3.2. Diseñar un sistema de carga de baterías a través de paneles solares fotovoltaicos, que permita alimentar los acumuladores del scooter eléctrico.

- Establecer los parámetros de carga de las baterías del scooter eléctrico.
- Diseñar el sistema de carga por medio de paneles solares fotovoltaicos.
- Diseñar el controlador de carga.
- Simular los sistemas de carga por medio de paneles solares fotovoltaicos y el controlador de carga.

3.3. Ensamblar un scooter eléctrico con partes y piezas existentes en el mercado local.

- Establecer los parámetros de funcionamiento necesarios que debe cumplir el scooter eléctrico.
- Seleccionar partes y piezas con las cuales se ensamblará el scooter eléctrico, haciendo uso de matrices de comparación, lo que no servirá para clasificar las más adecuadas para el estudio.
- Adquirir las partes y piezas con las cuales se ensamblará el scooter eléctrico.

- Ensamblar el scooter eléctrico con las partes y piezas adquiridas.

3.4. Construir el sistema carga de baterías, con paneles solares fotovoltaicos.

- Adquirir los componentes para la construcción del sistema de carga de baterías con paneles solares fotovoltaicos.
- Adquirir los componentes para la construcción del controlador de carga.
- Construir el sistema de carga de baterías con paneles solares.
- Construir el controlador de carga.

3.5. Elaborar planos mecánicos y eléctricos del scooter.

- Elaborar los planos de las partes mecánicas del scooter.
- Elaborar los planos de las partes eléctricas del scooter

3.6. Construir los soportes, para la implementación de las partes eléctricas, electrónicas, controlador de carga y paneles solares fotovoltaicos.

- Establecer los parámetros y condiciones que debe tener el soporte del controlador de carga.
- Establecer los parámetros y condiciones que deben cumplir los soportes en donde irán las partes eléctricas y electrónicas que tendrá el scooter.
- Establecer los parámetros y condiciones que debe tener los soportes para los paneles solares fotovoltaicos.
- Adquirir los materiales para la construcción de los diferentes soportes.
- Construir el soporte para el controlador de carga.
- Construir los soportes para las partes eléctricas y electrónicas.
- Construir los soportes para los paneles solares fotovoltaicos.

3.7. Implementar el sistema de carga con paneles solares fotovoltaicos a la estructura del scooter eléctrico.

- Montar los soportes de las partes eléctricas, electrónicas, controlador de carga y paneles solares fotovoltaicos en el chasis del scooter eléctrico.
- Montar las partes eléctricas, electrónicas, controlador de carga, y paneles solares fotovoltaicos en sus respectivos soportes.

3.8. Realizar las pruebas de funcionamiento del scooter eléctrico.

- Evaluar el funcionamiento del scooter eléctrico.
- Corregir posibles errores de funcionamiento del scooter eléctrico.
- Realizar pruebas finales.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

4.1. Parámetros Iniciales de Funcionamiento.

En primera instancia, se establecen los parámetros iniciales de funcionamiento, que el scooter eléctrico debe cumplir, los cuales se establecen en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1.

Parámetros iniciales de funcionamiento del scooter eléctrico.




Parámetro	Detalle
Velocidad máxima de desplazamiento [Km/h]	40
Masa del piloto a transportar [Kg]	85
Estatura promedio del conductor [m]	1.75
Carga de energía	Conexión a 110 V AC Paneles solares fotovoltaicos

Fuente: Elaboración Propia.

4.2. Selección del Modelo.

Tomando como referencia los tipos de scooters eléctricos existentes, los cuales fueron expuestos en la Tabla 2.1, Tabla 2.2 y Tabla 2.3, se realiza la Tabla 4.2, en donde se comparan las principales características que nos servirán para seleccionar el modelo.

Tabla 4.2.*Comparación de los tipos de scooters eléctricos.*

Tipo de Scooter Eléctrico	Vespa o Motoneta	Ciclomotor o Bicicleta	Patinete
Característica			
Modelo referencial			
Facilidad de ensamblaje	0	0.5	1
Disponibilidad de repuestos	0	0.5	1
Precio*	0.5	1	1
Total	0.5	2	3

Fuente: Elaboración Propia.

Nota: La puntuación se maneja en un rango de valores de 0 a 1, siendo 1 la mejor opción. *Los precios referenciales de cada tipo de scooter eléctrico se pueden ver en la Tabla 2.1, Tabla 2.2 y Tabla 2.3.

Con el resultado obtenido en la Tabla 4.2, se decide seleccionar el modelo de scooter tipo patinete.

4.3. Componentes básicos para el Ensamble del Scooter Eléctrico.

Una vez establecidos los parámetros iniciales de funcionamiento del scooter, así como la selección del modelo; el siguiente paso es definir que sistemas y componentes formarán parte del vehículo, y las características mínimas que deberán cumplir.

4.3.1. Componentes para el sistema mecánico.

- **Ruedas:** deben tener la capacidad de soportar el peso del scooter, el piloto, el sistema de carga con paneles solares, y una carga extra, a una velocidad máxima de 40 Km/h; su labrado debe ser óptimo para la movilización en la ciudad; además de ser fáciles de encontrar en el mercado local, esto en caso de requerir algún tipo de repuesto o cambio en por alguna eventualidad no prevista.
- **Sistema de frenos:** se deberá seleccionar uno con la capacidad de disipar rápidamente el calor, además de ser fácil de montar en los aros de las ruedas y el scooter.

- **Sistema de dirección:** debe tener un manillar ergonómico, ayudando así en el manejo y cómoda posición para los brazos del conductor, la horquilla será con sistema de amortiguación para aumentar la comodidad durante el manejo.
- **Chasis:** debe ser capaz de soportar todas las cargas descritas en la Tabla 4.1, y para su fabricación, se utilizará materiales que sean de manufacturación económica.

4.3.2. Componentes para el sistema eléctrico.

- **Motor DC:** Deberá tener la capacidad de movilizar al scooter y todas sus cargas hasta una velocidad máxima de 40 Km/h, en trayectoria recta.
- **Controlador para motor:** Deberá tener como mínimo protecciones contra fugas de corriente para evitar daños en los demás componentes electrónicos; además de permitir arrancar y parar el motor de acuerdo a las necesidades del usuario.
- **Almacenamiento de energía:** El almacenamiento de energía se realizará a través de baterías y su selección dependerá de los requerimientos eléctricos de vehículo.
- **Sistema de carga:** Por convertidor *AC/DC*. Paneles solares fotovoltaicos y un generados de energía mecánica a eléctrica.

4.3.3. Accesorios.

- **Espejos retrovisores:** uno para cada lado del manillar.
- **Sillín:** uno, en el cual el piloto se sienta cómodo al momento de conducir.

4.4. Diseño y Selección de Componentes para el Sistema Mecánico del Scooter Eléctrico.

4.4.1. Geometría del Scooter Eléctrico.

Una vez que se ha seleccionado el modelo de scooter a ensamblar, el siguiente paso es proporcionarle la geometría básica que el vehículo deberá tener, para lo cual se realiza la Figura 4.1, y además se establecen los siguientes parámetros:

- **L** : 1.2 m, considerada como la medida estándar en los scooters [29].
- **h** : 0.40 m, para un scooter eléctrico con una distancia entre ejes de 1.2 m [29].
- **l_2** : 0.54 m, para un scooter con una distancia entre ejes de 1.2 m [29].
- **μ** : para scooters en carretera ordinaria es de aproximadamente 0.7 [34].

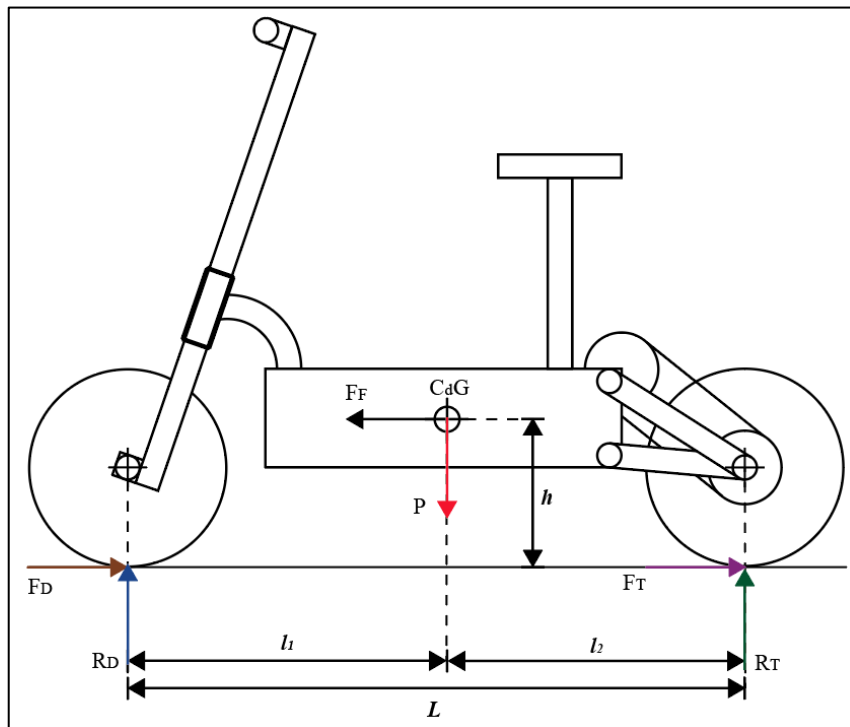


Figura 4.1. Geometría básica del scooter eléctrico y distribución de fuerzas.

Fuente: Elaboración Propia.

Conociendo L y l_2 , podemos obtener l_1 , ya que por geometría:

$$l_1 = L - l_2$$

$$l_1 = 1.2 \text{ m} - 0.54 \text{ m} = 0.66 \text{ m}$$

4.4.2. Análisis Físico.

Una vez que se establecidos los datos geométricos del scooter eléctrico, se procede a realizar el análisis físico, el cual permite conocer y calcular, los diferentes tipos de fuerzas a las cuales estará sometido el vehículo, datos que servirán en el proceso de diseño y selección de componentes para ensamblar el sistema mecánico.

4.4.2.1. Peso total vehicular.

La primera fuerza que se necesita conocer, es el peso total vehicular, con el fin de definir cuál será la carga máxima en la cual va a funcionar el scooter, para esto se ha realizado la Tabla 4.3, en donde se realiza una lista de los principales componentes con sus respectivas masas, que el vehículo tendrá que transportar; cabe recalcar que los datos son estimaciones que servirán como punto de partida para los diferentes cálculos, diseños y selección de componentes.

Tabla 4.3.

Lista de componentes a transportar.

Componente	Masa [Kg]
Chasis	50
Motor	10
Baterías	25
Controlador, convertidor y accesorios eléctricos	5
Sistema de alimentación con paneles solares	15
Persona Promedio	85
Carga Adicional	10
Total	200

Fuente: Elaboración Propia.

Con el resultado obtenido en la Tabla 4.3, se procede a calcular el peso total vehicular, para esto se utiliza la Ecuación 4.1.

Ecuación 4.1. Peso total vehicular.

$$\mathbf{P} = m \cdot g \quad (4.1.)$$

Fuente: [54].

Donde:

- \mathbf{P} : peso total vehicular.
- m : masa total del scooter y el piloto.
- g : aceleración de la gravedad.

$$\mathbf{P} = 200 \text{ Kg} \left(9.81 \text{ m/s}^2 \right) = 1962 \text{ N}$$

4.4.2.2. Fuerza de empuje.

Conociendo el peso total vehicular, el siguiente paso es conocer la fuerza de empuje que se requiere para mover al vehículo, para lo cual se hace uso de la Ecuación 4.2.

Ecuación 4.2. Fuerza de empuje.

$$\mathbf{F}_E = C_{rr} \cdot N \quad (4.2.)$$

Fuente: [5].

Donde:

- \mathbf{F}_E : fuerza para mover el scooter eléctrico del reposo sin aplicar los frenos.
- C_{rr} : coeficiente de resistencia a la rodadura.
- N : Fuerza normal, es igual al peso bruto vehicular P .

Como se observa en la Ecuación 4.2, es necesario conocer el valor de C_{rr} (coeficiente de resistencia a la rodadura), el cual depende del tipo de neumático a utilizar, y por ende la rueda, por tal motivo se hace necesario seleccionarla.

4.4.2.2.1. Selección de ruedas.



Antes de seleccionar las ruedas, es necesario conocer qué tipo de sistema de frenos va a utilizar, esto debido a que los aros de las ruedas tienen un diseño específico, de acuerdo al tipo de freno que se utilice, por tal motivo, en primera instancia, se realiza la selección del sistema de frenos.

4.4.2.2.1.1. Selección del sistema de frenos.

Para la selección del sistema de frenos, se realizó la Tabla 4.4, donde hace una comparación entre los más utilizados en los scooters eléctricos.

Tabla 4.4.

Comparación de los tipos de sistemas de frenos para scooters eléctricos.

Tipo de sistema de frenos	De Disco	De tambor
Características		
Modelo referencial		
Facilidad de ensamble	1	0
Facilidad de mantenimiento	1	0.5
Facilidad de anclaje en el aro de la rueda	1	0.5
Disponibilidad de repuestos	1	0
Disipación de calor	1	0.5
Eficiencia de frenado	1	0.5
Activación por vía mecánica	1	1
Activación por vía hidráulica	1	1
Seguridad para el conductor	1	0.5
Total	9	4.5




Fuente: Elaboración propia, [55], [56].

De acuerdo a los resultados obtenidos en la Tabla 4.4, se selecciona el sistema de frenos de disco.

Una vez que se ha seleccionado el tipo de sistema de frenos a utilizar, se procesa a seleccionar el tipo de rueda, por lo cual se realizó la Tabla 4.5, donde se hace una comparación entre las ruedas más comunes que existen en el mercado, en base a las principales características que requiere el scooter eléctrico..

Tabla 4.5.

Comparación de los tipos de ruedas existentes en el mercado para scooters eléctricos.

Tipo de rueda	Aro Con radios	Aro Forjado	Hub Motor
Características			
Modelo referencial			
Con buje y accesorios de ajuste	1	1	1
Aro con anclaje para frenos de disco	1	1	1
Aro con anclaje para sistema de transmisión	1	1	0
Neumático para ciudad	0	1	1
Facilidad de montaje	0.5	0.5	1
Disponibilidad de repuestos	0	1	0.5
Precio*	0.5	1	0.5
Total	4	6.5	5

Fuente: Elaboración propia, [55], [56].

Nota: La puntuación se maneja en un rango de valores de 0 a 1, siendo 1 la mejor opción. *Los precios estimados son para una rueda de 15 pulgadas de diámetro, de aro con radios igual 60.00 USD, de aro forjado 35.00 USD y hub motor (500 W a 48 V) de 150.00 USD.

Con los resultados de la Tabla 4.5, se selecciona la rueda de aro forjado y de acuerdo con los requerimientos expuestos en la Tabla 4.1, Tabla 4.3, el peso bruto vehicular y el modelo de scooter, se adquiere dos ruedas de 15 pulgadas cada una, como se muestra en la Figura 4.2, y sus características técnicas se detallan en la Tabla 4.6.



Figura 4.2. Ruedas marca Qing Da de 15 pulgadas de diámetro.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.6.*Características técnicas de las ruedas seleccionadas.*

Características generales de la rueda	
Diámetro [in]	15
Ancho [in]	2.5
Características del aro	
Material	Aluminio
Anclaje para freno	De disco
Anclaje para transmisión de	De cadena
Características del neumático	
Marca	Qing Da
Modelo	2.50 – 10
Índice de velocidad [Km/h]	J = 100 máximo
Índice de carga [Kg]	33 = 115 máximo
Material	Caucho
Cámara	Si
Tipo de labrado	Para ciudad
Características del buje	
Para eje delantero	Si
Para eje posterior	Si

Fuente: Elaboración Propia.

Conociendo el tipo de neumático a utilizar y su material que en este caso es caucho, se puede determinar que C_{rr} (coeficiente de resistencia a la rodadura) para una llanta sobre asfalto es igual a 0.03 [5]. Realizando los cálculos respectivos y remplazando la fuerza normal por el peso bruto vehicular, en la Ecuación 4.2, se obtiene:

$$F_E = (0.03)(1962 N) = 58.86 N$$

4.4.2.3. Reacciones en las ruedas.

El siguiente paso a realizar, es cálculo de las fuerzas de reacción que se provocan en las ruedas, cuando el scooter está en reposo.

La primera reacción a calcular es en la rueda delantera, para ello se utiliza la Ecuación 4.3.

Ecuación 4.3. Fuerza de reacción sobre la rueda delantera cuando el scooter está en reposo.

$$\mathbf{R}_D = \frac{P}{L} (l_2) \quad (4.3.)$$

Fuente: [35].

Donde:

- \mathbf{R}_D : fuerza de reacción sobre la rueda frontal cuando el vehículo está en reposo.
- P : peso total vehicular.
- L : distancia entre ejes.
- l_2 : distancia horizontal entre el punto de contacto de la rueda trasera y el centro de gravedad.

$$\mathbf{R}_D = \frac{1962 \text{ N}}{1.2 \text{ m}} (0.54 \text{ m}) = 882.9 \text{ N}$$

La segunda reacción a calcular, es en la rueda trasera, para ello se utiliza la Ecuación 4.4.

Ecuación 4.4. Fuerza de reacción sobre la rueda trasera cuando el scooter está en reposo.

$$\mathbf{R}_T = \frac{P}{L} (l_1) \quad (4.4.)$$

Fuente: [35].

Donde:

- \mathbf{R}_T : fuerza de reacción sobre la rueda trasera cuando el vehículo está en reposo.
- P : peso total vehicular.
- L : distancia entre ejes.
- l_1 : distancia horizontal entre el punto de contacto de la rueda frontal y el centro de gravedad.

$$\mathbf{R}_T = \frac{1962 \text{ N}}{1.2 \text{ m}} (0.66 \text{ m}) = 1079.1 \text{ N}$$

2.1.3.1. Fuerzas de frenado.

El frenado es uno de los factores más importantes para una conducción segura, por lo cual es eso que durante el diseño del chasis se verifica cuidadosamente desde todos los ángulos posibles. La fuerza estática durante el frenado se expresa mediante la Ecuación 4.5:

Ecuación 4.5. Fuerza de frenado.

$$F_F = P \cdot \mu \quad (4.5)$$

Fuente: [54].

Donde:

- F_F : fuerza de frenado.
- P : peso bruto vehicular.
- μ : coeficiente de fricción. Para scooters en carretera ordinaria es de aproximadamente 0,7 [34].

$$F_F = 1962 \text{ N} (0.7) = 1374.4 \text{ N}$$

2.1.3.1.1. Fuerza de frenado máximo en la rueda delantera.

Con el valor de la fuerza de frenado, el siguiente paso, es determinar que reacción se produce cuando se aplica el freno únicamente en la rueda delantera, para lo cual se utiliza la Ecuación 4.6

Ecuación 4.6. Fuerza de frenado máximo en la rueda delantera.

$$F_D = \frac{F_F}{L} (l_1 + \mu h) \quad (4.6)$$

Fuente: [35].

Donde:

- R_F : fuerza de frenado máximo en la rueda delantera.
- P : peso total vehicular.
- L : distancia entre ejes.

- l_1 : distancia horizontal entre el punto de contacto la rueda delantera con el suelo, y el centro de gravedad.
- μ : coeficiente de rozamiento entre la rueda y el suelo.
- h : altura entre el centro de gravedad y el suelo.

$$F_D = \frac{1373.4 N}{1.2 m} (0.66 m + (0.7)(0.4 m)) = 1075.83 N$$

2.1.3.1.2. Fuerza de frenado de frenado máximo en la rueda trasera.

El siguiente paso es, calcular la fuerza que se provoca cuando se aplica el freno únicamente en la rueda trasera, para lo cual se utiliza la Ecuación 4.7.

Ecuación 4.7. Fuerza de frenado máximo en la rueda trasera.

$$F_T = \frac{F_F}{L} (l_2 - \mu h) \quad (4.7.)$$

Fuente: [35].

Donde:

- R_F : Fuerza de frenado máximo en la rueda trasera.
- P : Peso total vehicular.
- L : Distancia entre ejes.
- l_2 : Distancia horizontal entre el punto de contacto de la rueda trasera con el suelo, y el centro de gravedad.
- μ : Coeficiente de rozamiento entre la rueda y el suelo.
- h : Altura entre el centro de gravedad y el suelo.

$$F_T = \frac{1373.4 N}{1.2 m} (0.54 m - (0.7)(0.4 m)) = 297.54 N$$

2.1.3.2. Fuerzas durante el giro.

Por último, se realizará el cálculo de la fuerza cuando es scooter está girando, para lo cual se utiliza la Ecuación 4.8.

Ecuación 4.8. Fuerza centrífuga.

$$F_c = \frac{m \cdot v^2}{R} \quad (4.8.)$$

Fuente: [54].

Donde:

- F_c : Fuerza centrífuga.
- m : Masa total del scooter y el piloto.
- v : Velocidad máxima.
- R : Radio mínimo de giro antes del deslizamiento y la velocidad máxima. Para una vía en área urbana a una velocidad de 50 Km/h el radio mínimo es 100 m [38].

$$F_c = \frac{200 \text{ Kg} (12.5 \text{ m/s})^2}{100 \text{ m}} = 312.50 \text{ N}$$

4.4.3. Selección de componentes para el ensamble del sistema mecánico del scooter eléctrico.

Los principales compones a seleccionar para el ensamble del scooter eléctrico, será es sistema de dirección y el basculante.



En primer lugar, se selecciona el sistema de dirección que tendrá el scooter eléctrico.

4.4.3.1. Selección del sistema de dirección.

Para la selección del sistema de dirección se realizó la Tabla 4.7, donde se compara los distintos tipos de sistemas de dirección que se utilizan en los scooters eléctricos tipo patinete, dando como resultado que la mejor opción es el sistema de dirección tipo plegable.

Tabla 4.7.

Comparación de los distintos tipos de sistemas de dirección para scooter eléctricos tipo patinete.

Tipo sistema de dirección	Plegable	No Plegable
Característica		
Modelo referencial		
Facilidad de ensamblaje	1	1
Facilidad de traslado	1	0
Regulación del manubrio	1	1
Disponibilidad de componentes y repuestos	1	1
Total	4	3

Fuente: Elaboración propia. [57]



Nota: La puntuación se maneja en un rango de valores de 0 a 1, siendo 1 la mejor opción.

4.4.3.1.1. Selección del tipo de horquilla.

Para la selección de la horquilla se realizó la Tabla 4.8, donde se compara los distintos tipos de horquillas utilizadas en los sistemas de dirección plegables, dando como resultado que la mejor opción es la horquilla con amortiguadores.

Tabla 4.8.

Comparación de los distintos tipos de horquillas para scooter eléctricos tipo patinete.

Tipo de horquilla	Rígidas	Con amortiguadores
Característica		
Modelo referencial		
Facilidad de ensamblaje	1	1
Mantenimiento	1	0
Absorción de impactos	0	1
Desmontables	0	1
Disponibilidad de componentes y repuestos	0	1
Seguridad para el conductor	0.5	0.5
Total	2.5	4.5

Fuente: Elaboración Propia.



Nota: La puntuación se maneja en un rango de valores de 0 a 1, siendo 1 la mejor opción.

4.4.3.1.1.1. Selección de amortiguadores para la horquilla.

Para la selección de la horquilla se realizó la Tabla 4.9, donde se compara los distintos tipos de amortiguadores utilizados en las horquillas, dando como resultado que la mejor opción es el amortiguadores del resorte helicoidal externo y tomando en cuenta la Tabla 2.9, para reducir costos y peso en el scooter se seleccionará únicamente uno, lo que a su vez nos conduce a buscar en el mercado, una horquilla que utilice únicamente un solo amortiguador.

Tabla 4.9.

Comparación de los distintos tipos de amortiguadores para horquilla.

Tipo de Suspensión Delantera	Resorte Helicoidal Externo	Resorte Helicoidal Interno
Característica		
Modelo referencial		
Facilidad de ensamblaje	1	1
Mantenimiento	1	0.5
Absorción de impactos	1	1
Desmontables	1	0
Disponibilidad de componentes y repuestos	1	0
Peso	1	0.5
Seguridad para el conductor	0.5	1
Costo*	1	0
Total	7.5	4

Fuente: Elaboración Propia.

Nota: La puntuación se maneja en un rango de valores de 0 a 1, siendo 1 la mejor opción. *Se toma como precio referencial en USD para un amortiguador de 29 mm a 2000 lb: resorte helicoidal externo igual a 35.00 y resorte helicoidal interno igual a 70.00 USD.

4.4.3.1.1.1.1. Parámetro de carga a soportar por el amortiguador de la horquilla.

Para determinar la carga que deberá soportar el amortiguador de la horquilla, se toma en cuenta la recomendación, que éste debe ser capaz de soportar como mínimo 3 veces la mayor fuerza a ejercer sobre él [58], en este caso sería el peso total vehicular de 1962 *N* que multiplicado por tres da un valor de 5886 *N*, como los amortiguadores comercialmente se venden en libras, el valor debemos transfórmalo, dando un equivalente de 1323,23 *lb*.



Una vez que se ha seleccionada el sistema de dirección, así como sus componentes, el siguiente paso es seleccionar el tipo de basculantes.

4.4.3.2. Selección del tipo basculante.

Para la selección del basculante, se realizó la Tabla 4.10, donde se compara los distintos tipos de basculantes utilizados en los scooters eléctricos.

Tabla 4.10.

Comparación de los distintos tipos de basculantes para scooter eléctricos tipo patinete.

Tipo Basculante	Rígidos	Con amortiguadores
Característica		
Modelo referencial		
Facilidad de ensamblaje	1	1
Mantenimiento	1	0.5
Absorción de impactos	0	1
Desmontables	0	1
Anclaje para pinzas de frenos	1	1
Disponibilidad de repuestos	0	1
Soporte para motor	1	1
Seguridad para el conductor	0.5	1
Precio	1	0.5
Total	5.5	8

Fuente: Elaboración Propia.

Nota: La puntuación se maneja en un rango de valores de 0 a 1, siendo 1 la mejor opción.



Con los resultados obtenidos en la Tabla 4.10, se selecciona un basculante con amortiguadores y con soporte para motor.

4.4.3.2.1.1. Selección de amortiguadores para el basculante.

Para la selección de la de amortiguador del basculante, así como su número, se toma en cuenta el análisis y los resultados obtenidos de la Tabla 4.9, dando como resultado el amortiguador de resorte helicoidal externo. Y para seleccionar su número de amortiguadores se realiza a utilizar en el basculante se realizó la Tabla 4.11.

Tabla 4.11.

Comparación de los beneficios de poner uno o dos amortiguadores en él basculante.

Número de amortiguadores	Uno	Dos
Característica		
Modelo referencial		
Facilidad de ensamblaje	0	1
Mantenimiento	0.5	1
Absorción de impactos	0.5	1
Desmontables	0.5	1
Disponibilidad de componentes y repuestos	1	1
Peso	1	0.5
Seguridad para el conductor	0.5	1
Precio*	1	0.5
Total	5	7

Fuente: Elaboración Propia.

Nota: La puntuación se maneja en un rango de valores de 0 a 1, siendo 1 la mejor opción. *Se toma como precio referencial en USD para un amortiguador de 29 mm a 2000 lb: resorte helicoidal externo igual a 35.00 y resorte helicoidal interno igual a 70.00 USD.

Con los resultados obtenidos en la Tabla 4.11, se selecciona dos amortiguadores para el basculante, por lo cual se debe buscar en el mercado uno que sea tenga anclaje para este tipo de sistema de amortiguación.

4.4.3.2.1.1.1. Parámetro de carga a soportar por el amortiguador de la horquilla.





Para determinar la carga que deberá soportar el amortiguador del basculante, se en cuenta la recomendación, que dice que un amortiguador debe ser capaz de soportar como mínimo 3 veces la mayor fuerza a ejercer sobre éste [58], en este caso sería el peso total vehicular de 1962 *N* que multiplicado por tres da un valor de 5886 *N*, como los amortiguadores comercialmente se venden en libras, el valor debemos transfórmalo, dando un equivalente de 1323,23 *lb*, por lo cual se busca en el mercado uno con esas características y que además sea compatible con el tipo de basculante seleccionado.








4.4.3.3. Componentes de ensamble que conforman el scooter eléctrico.

De acuerdo con los resultados de las tablas comparativas para la selección de componentes, el scooter estará ensamblado por las partes que se indican en la Tabla 4.12.

Tabla 4.12.

Componentes de ensamble que conforman el scooter eléctrico.

Componente	Principales características	Precio* [USD]
Sistema de frenos 	Tipo: De disco Activación: Mecánica Desmontable: Si Regulación: Si	25.00
Ruedas 	Material del aro: Aluminio Desmontable: Si Tipo de neumático: Turismo Anclaje para frenos de disco: Si Más información ver Tabla 4.6.	80.00
Manubrio 	Material: Acero Desmontable: Si Regulación: Si	15.00
Horquilla 	Material: Aluminio Desmontable: Si Suspensión: Si Amortiguadores: 1	35.00

Suspensión delantera	Tipo: Resorte Helicoidal Externo Medida: 2000 Lb/in	25.00
		
Tubo de dirección	Material: Acero Desmontable: Si Regulación: Si Extremo Roscado: Si	15.00
		
Pipa de dirección	Material: Acero Desmontable: Si Plegable: Si Ángulo de lanzamiento: 25°	20.00
		
Potencia	Material: Aluminio Desmontable: Si Regulación: Si	10.00
		
Juego de dirección	Material: Acero cromado Desmontable: Si Modo de ajuste: Por Rosca	10.00
		
Basculante	Material: Acero Desmontable: Si Suspensión: Si Amortiguadores: 2	25.00
		
Suspensión Posterior	Tipo: Resorte Helicoidal Externo Medida: 2000 Lb/in	50.00
		
Total		300.00

Fuente: Elaboración Propia. [59]

Nota: *Los precios son estimaciones durante el año 2019.

4.4.4. Diseño del chasis para el scooter eléctrico.

Una vez que se han encontradas las fuerzas que actúan sobre el scooter eléctrico, y se han seleccionado las piezas con el cual será ensamblado, se procede a realizar el diseño asistido por computadora (CAD) del chasis, por medio de software SolidWorks en su versión 2019, para luego validarlo utilizando el análisis de elementos finitos (FEA) y finalmente proseguir con la fabricación del del bastidor [60].

4.4.4.1. Boceto en 3D.

En primera instancia se ha realizado un boceto en 3D con la ayuda del software SolidWorks, en su versión 2019, el cual se muestra en la Figura 4.3; Cada una de las dimensiones del chasis se pueden ver en los planos del mismo, los cuales se adjuntan en la sección de anexos.

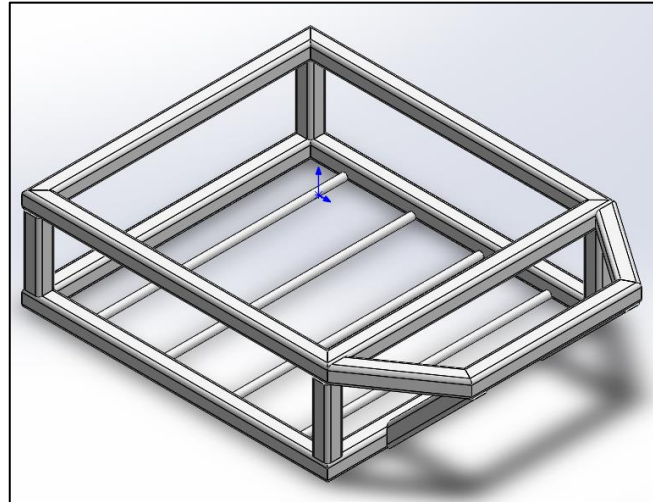


Figura 4.3. Boceto en 3D para el chasis del scooter eléctrico.

Fuente: Elaboración Propia.

4.4.4.2. Selección del tipo de material para el chasis.

Para la selección del material a emplearse en el chasis, se realiza la Tabla 4.13, donde se comparan los diferentes materiales utilizados en la fabricación de este tipo estructuras.

Tabla 4.13.

Comparación de los tipos de materiales usados en la fabricación de chasis para scooters.

Material	Acero	Aluminio	Fibra de carbono	Titanio
Característica				
Peso	0	0.5	1	1
Complejidad de manufacturación	1	0.5	0.5	0
Disponibilidad en el mercado	1	0.5	0	0
Costos	1	0.5	0	0
Total	3	2	1.5	1

Fuente: Elaboración Propia.

Nota: La puntuación se maneja en un rango de valores de 0 a 1, siendo 1 la mejor opción.

Con los resultados obtenidos en la Tabla 4.13, para el diseño y fabricación del chasis se decide utilizar acero en su serie ASTM A500, por su facilidad de manufacturación, bajo costo y accesibilidad en el país [61]. Sus propiedades mecánicas se pueden observar en la Tabla 4.14.

Tabla 4.14.

Propiedades mecánicas del acero con serie ASTM A500.

Parámetro	Detalle
Resistencia a la tensión [MPa]	310
Resistencia a la fluencia [MPa]	228
Módulo de elasticidad [GPa]	200

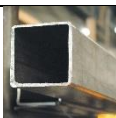



Fuente: [61], [62], [63], [64], [65].

4.4.4.3. Selección del tipo de tubo estructural.

En la estructura del chasis, se decide utilizar tubos estructural, con el fin de reducir peso, pero sin perder rigidez [15]; para la selección de la forma de su sección, se realiza la Tabla 4.15, donde se compara cada tipo de tubo estructural disponible en el mercado, respecto a las características más importantes para su adquisición.

Tabla 4.15.

Comparación de los tipos de tubos estructurales disponibles en el mercado.

Tipo de tubo estructural	Cuadrado	Rectangular	Redondo	Ovalado
Característica				
Imagen referencial				
Complejidad de manufacturación	1	0.5	0.5	0
Disponibilidad en el mercado	1	1	1	0.5
Precio	1	1	1	0.5
Total	3	2.5	2.5	1

Fuente: Elaboración Propia, [66].

Nota: La puntuación se maneja en un rango de valores de 0 a 1, siendo 1 la mejor opción.

Con los resultados obtenidos en la Tabla 4.15, se decide seleccionar el tubo estructural cuadrado; sus dimensiones (ancho y alto) se eligen tomando en cuenta las de menor valor con un espesor entre 1.5 a 2 *milímetros*, con el propósito de facilitar el proceso de soldadura [15]. Con todo lo mencionado anteriormente, se recurre al catálogo de Dipac Manta S.A. (ver en la sección de anexos) [67], y se decide escoger, el tubo cuadrado de 0.02 *m* para cada lado, con espesor de 0.002 *m*.

4.4.4.4. Análisis de elementos finitos para la estructura del chasis.

El análisis de la estructura del chasis se lo realiza utilizando el método de elementos finitos para lo cual se hace uso del software SolidWorks, en su versión 2019, tomando en cuenta la mayor carga a la que se encuentra sometido el bastidor, por tal motivo se ha realizado la Tabla 4.16 donde se resumen y enlistan cada una de las fuerzas calculadas.

Tabla 4.16.

Lista de fuerzas que actúan sobre el scooter eléctrico.

Fuerza	Valor [N]
Peso total vehicular	1962
De empuje	58.86
Reacción sobre la rueda delantera cuando el vehículo está en reposo	882.9
Reacción sobre la rueda trasera cuando el vehículo está en reposo	1079.1
De frenado	1374.4
Frenado máximo en la rueda delantera	1075.83
Frenado máximo en la rueda trasera	297.54
Centrífuga	312.5

Fuente: Elaboración Propia.

De acuerdo a la Tabla 4.16, la mayor fuerza a la que se encuentra sometido el chasis es el peso total vehicular que es igual a 1962 *N*, por tal motivo, el análisis se lo realiza a partir de esta carga.

4.4.4.4.1. Chasis, sometido a peso total vehicular.

Una vez que se definió la carga máxima que va a soportar el chasis, se establece su dirección, sentido y distribución, para lo cual se toma como referencia la Figura 4.1, concluyendo que estará distribuida en los tubos superiores del batidor con dirección vertical y en sentido de la aceleración de la gravedad. Las sujeciones se las realiza en las esquinas traseras (donde se ancla el basculante) y en las esquinas superiores delanteras (donde se sujeta la pipa de dirección); el tipo de mallado a utilizarse es el determinado por SolidWorks para vigas y piezas soldadas.

4.4.4.4.1.1. Límite elástico.

Como se puede observar en la Figura 4.4, el límite elástico del chasis sometido al peso total vehicular es de 80.03 MPa , valor que es inferior al del material utilizado (228 MPa), por lo tanto, en este punto el diseño se lo considera válido.

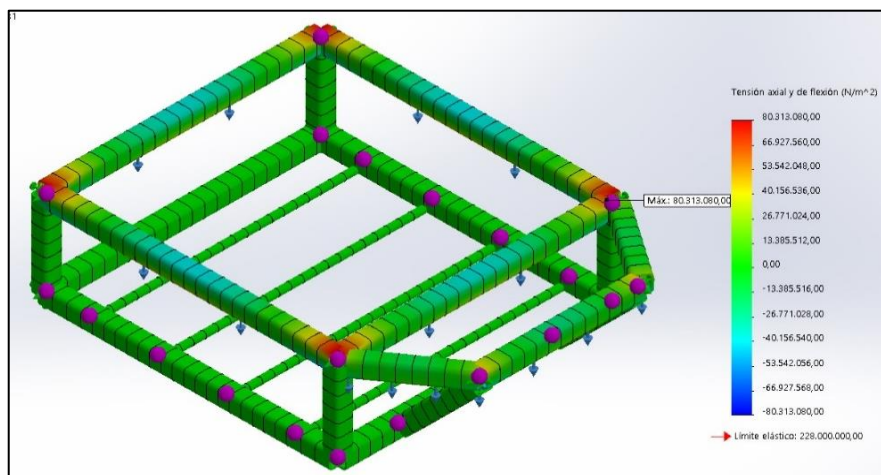


Figura 4.4. Límite elástico, para el chasis sometido a peso total vehicular, obtenido por medio del análisis de elementos finitos.

Fuente: Elaboración Propia.

4.4.4.4.1.2. Deformación.

Los resultados, mostrados en la Figura 4.5, indican que la mayor deformación, se da en los tubos superiores de los costados del chasis, con un valor de 0.16 mm , cantidad que se puede considerar despreciable para este tipo de estructuras [54], por lo tanto en este punto, el diseño se considera válido.

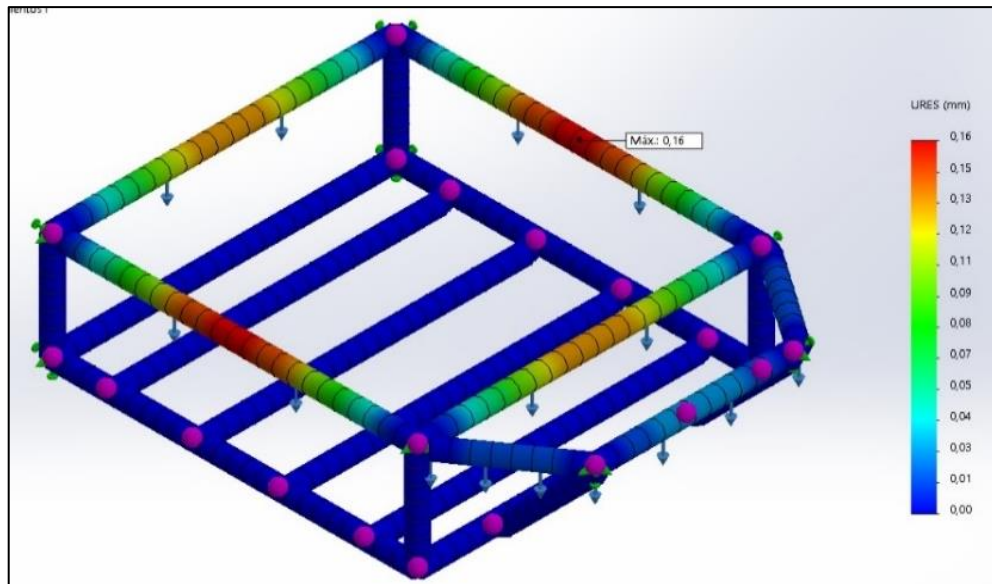


Figura 4.5. Deformación, para el chasis sometido a peso total vehicular, obtenido por medio del análisis de elementos finitos.

Fuente: Elaboración Propia.

4.4.4.1.3. Factor de seguridad.

La Figura 4.6, muestra los resultados del factor de seguridad del chasis, el cual tiene un valor mínimo de 2.84 en los tubos superiores de la estructura, el cual se lo considera válido para estructuras bajo cargas dinámicas [68].

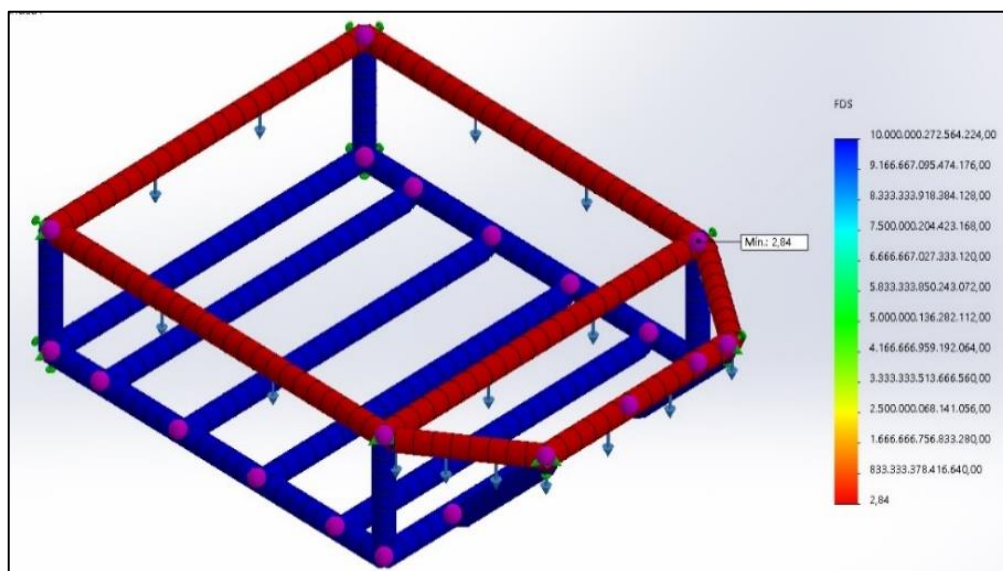


Figura 4.6. Factor de seguridad, para el chasis sometido a peso total vehicular, obtenido por medio del análisis de elementos finitos.

Fuente: Elaboración Propia.

4.4.5. Diseño del soporte para las baterías.

4.4.5.1. Parámetros y condiciones para el diseño del soporte de las baterías.

El soporte de las baterías, debe ser diseñado con una estructura que permita colocar los acumuladores, de tal manera que queden distribuidas de manera uniforme y además ayuden a que el bastidor quede lo más ligero posible; motivo por el cual se decidió utilizar únicamente barras cruzadas, como se muestra en la Figura 4.7.

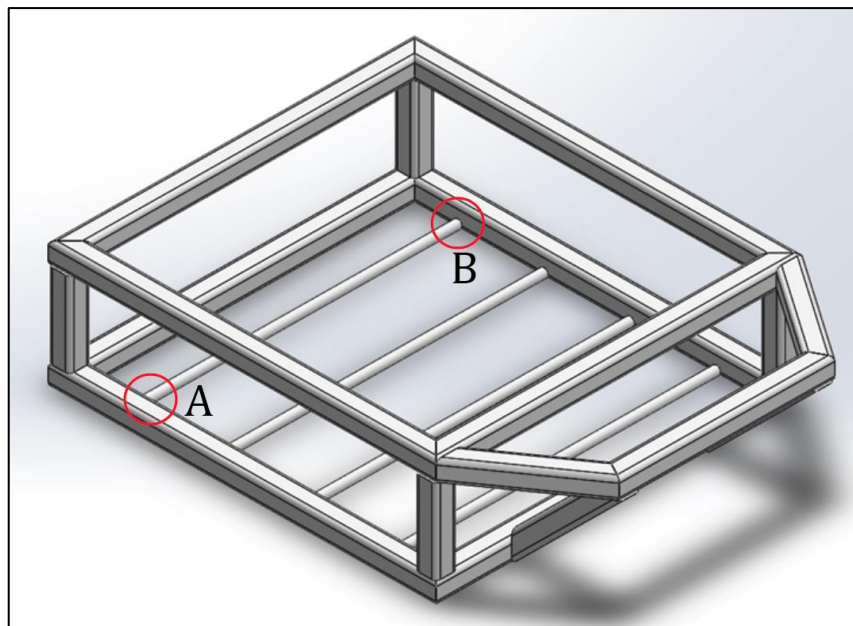


Figura 4.7. Estructura para el soporte de las baterías.

Fuente: Elaboración Propia.

Además, debe ser capaz de soportar los siguientes componentes:

Tabla 4.17.

Lista de componentes a colocar sobre el soporte de las baterías.

Componente	Masa [Kg]
Baterías	25
Controlador, convertidor y accesorios eléctricos	5
Total	30

Fuente: Elaboración Propia.

4.4.5.2. Diagrama de cuerpo libre para el soporte de las baterías.

Para lograr colocar las barras en esa posición y sujetarlas, es necesario soldarla en sus extremos contra el chasis, por tal motivo sus apoyos se los considera como fijos o empotramientos [69]; las fuerzas que tendrá que soportar se representan como una carga uniformemente distribuida a lo largo de la barra, quedando el diagrama de cuerpo libre como se representa en la Figura 4.8.

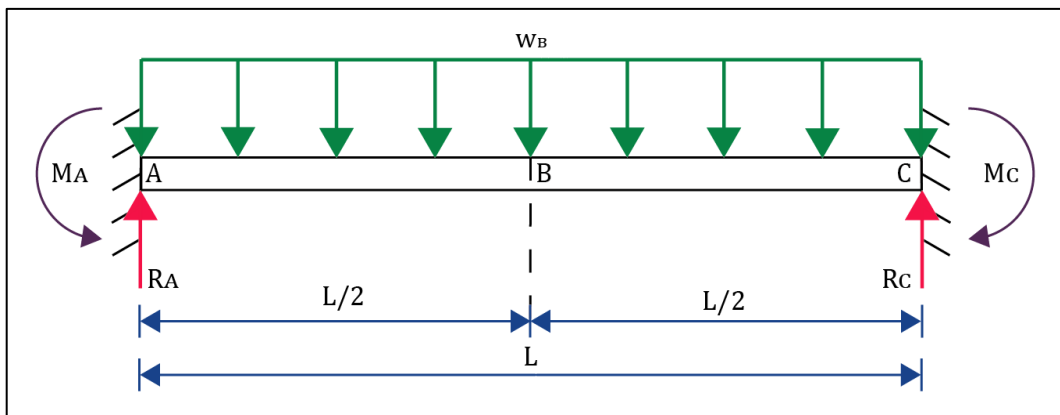


Figura 4.8. Diagrama de cuerpo libre, para el soporte de las baterías.

Fuente: Elaboración Propia.

El diagrama de cuerpo libre representa a una viga biempotrada con carga uniformemente distribuida, por lo tanto, para el cálculo de las reacciones, diagrama de cortes, momentos flectores y demás incógnitas, utilizaremos el formulario representado en la Figura 4.9.

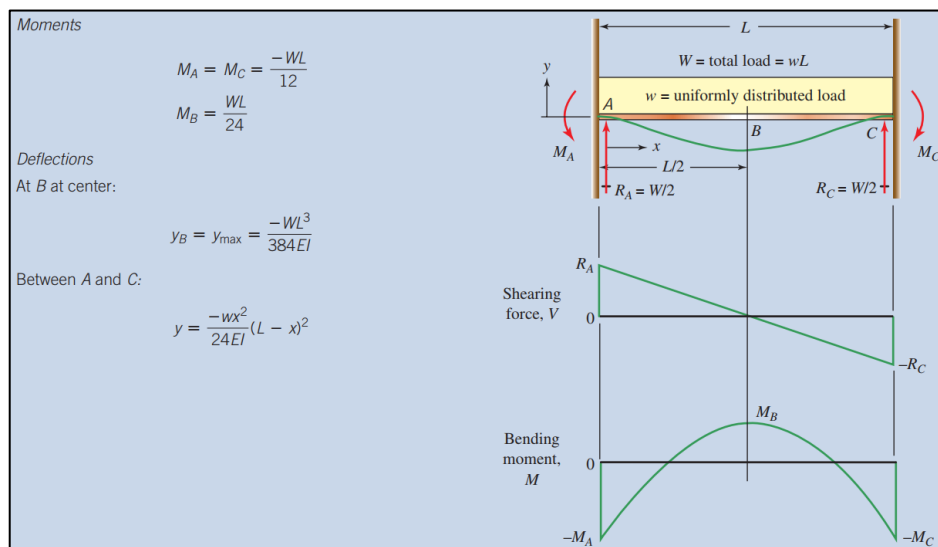


Figura 4.9. Formulario para una viga biempotrada con carga uniformemente distribuida.

Fuente: [68].

De acuerdo al formulario y al diagrama de cuerpo libre se necesita conocer la carga uniformemente distribuida a la cual está sometida la barra, para lo cual se hace uso de la Tabla 4.17, donde se enlista los componentes que irán ubicados sobre el soporte para las baterías con sus respectivas masas, con éste valor, se encuentra la carga a soportar, utilizando la Ecuación 4.9.

Ecuación 4.9. Carga total de los elementos a colocar sobre el soporte de las baterías.

$$P_B = m \cdot g \quad (4.9.)$$

Fuente: [68], [70], [71].

Donde:

- P_B : Carga total, de los elementos a soportar.
- m : Masa total de los componentes a colocar sobre el soporte de las baterías.
- g : Aceleración de la gravedad, igual a 9.81 m/s^2 .

Remplazando los respectivos valores y realizando los cálculos, se obtiene:

$$P_B = (30 \text{ Kg}) \cdot (9.81 \text{ m/s}^2) = 294.3 \text{ N}$$

Para distribuir la carga a lo largo de la barra utilizaremos la Ecuación 4.10.

Ecuación 4.10. Carga uniformemente distribuida a lo largo de un elemento estructural.

$$w_B = \frac{P_B}{L} \quad (4.10.)$$

Fuente: [72].

Donde:

- w_B : Carga uniformemente distribuida a lo largo de un elemento estructural.
- P_B : Carga total, de los elementos a soportar.
- L : Longitud del elemento estructural. Igual a 0.30 m que representa la longitud de la viga (dato obtenido por la medida de la estructura interna del chasis).

Reemplazando los valores respectivos, se obtiene:

$$w_B = \frac{294.3 \text{ N}}{0.30 \text{ m}} = 981 \text{ N/m}$$

Con el valor de carga uniformemente distribuida a lo largo de la barra, se procede a calcular la reacción en el primer extremo (A) de la barra, para lo cual se utiliza la Ecuación 4.11.

Ecuación 4.11. Primera reacción, para una viga biempotrada con carga uniformemente distribuida.

$$R_A = \frac{P_B}{2} \quad (4.11.)$$

Fuente: [68].

Donde:

- R_A : Primera reacción, para una viga biempotrada con carga uniformemente distribuida.
- P_B : Carga total de los elementos a soportar.

Reemplazando los valores respectivos se obtiene:

$$R_A = \frac{294.3 \text{ N}}{2} = 147.15 \text{ N}$$

El siguiente paso es encontrar la reacción en el segundo extremo (C), para lo cual utilizamos la Ecuación 4.12.

Ecuación 4.12. Segunda reacción, para una viga biempotrada con carga uniformemente distribuida.

$$R_C = \frac{P_B}{2} \quad (4.12.)$$

Fuente: [68], [71].

Donde:

- R_B : Segunda reacción, para una viga biempotrada con carga uniformemente distribuida.
- P_B : Carga total de los elementos a soportar.

Remplazando lo valores respectivo se obtiene:

$$R_C = \frac{294.3 \text{ N}}{2} = 147.15 \text{ N}$$

Conocidas las reacciones en los extremos, podemos obtener el diagrama de cortes, representado en la Figura 4.10.

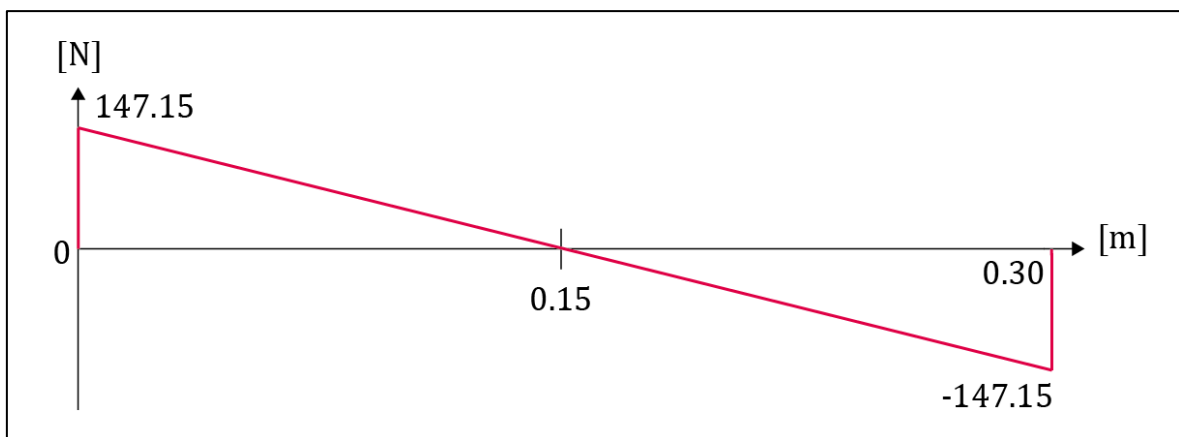


Figura 4.10. Diagrama de cortes, para el soporte de las baterías.

Fuente: Elaboración Propia.

El siguiente paso es calcular el primer momento flector, generado en el primer extremo (A), para lo cual se utiliza la Ecuación 4.13.

Ecuación 4.13. Momento flector, generado en el primer extremo, para una viga biempotrada con carga uniformemente distribuida.

$$M_A = -\frac{P_B \cdot L}{12} \quad (4.13.)$$

Fuente: [68], [71].

Donde:

- M_A : Momento flector generado en el primer extremo, para una viga biempotrada con uniformemente distribuida.
- P_B : Carga total de los elementos a soportar.
- L : Longitud de la viga, igual a 0.30 m (dato obtenido por la medida de la estructura interna del chasis).

Reemplazando los valores respectivos, se obtiene:

$$M_A = -\frac{(294.3\text{ N})(0.30\text{ m})}{12} = -7.36\text{ Nm}$$

Para el cálculo del momento flector generado en el punto medio (B) de la barra, se utiliza la Ecuación 4.14

Ecuación 4.14. Momento flector generado en el punto medio, para una viga biempotrada con carga uniformemente distribuida.

$$M_B = \frac{P_B \cdot L}{24} \quad (4.14.)$$

Fuente: [68], [71].

Donde:

- M_B : Momento flector generado en el punto medio, para una viga biempotrada con carga uniformemente distribuida.
- P_B : Carga total de los elementos a soportar.
- L : Longitud de la viga, igual a 0.30 m (dato obtenido por la medida de la estructura interna del chasis).

Realizando los cálculos respectivos se obtiene:

$$M_B = \frac{(294.3\text{ N})(0.30\text{ m})}{24} = 3.68\text{ Nm}$$

Para el cálculo del momento flector producido por la reacción en segundo extremo de la barra (C), se utiliza la Ecuación 4.15.

Ecuación 4.15. Momento flector generado en el segundo extremo, para una viga biempotrada con carga uniformemente distribuida.

$$M_C = \frac{P_B \cdot L}{12} \quad (4.15.)$$

Fuente: [68], [71].

Donde:

- M_C : Momento flector generado en el segundo extremo, para una viga biempotrada con carga uniformemente distribuida.
- P_B : Carga total de los elementos a soportar.
- L : Longitud de la viga, igual a 0.30 m (dato obtenido por la medida de la estructura interna del chasis).

Remplazando los valores respectivos y realizando los cálculos respectivos se obtiene:

$$M_C = -\frac{(294.3 \text{ N})(0.30 \text{ m})}{12} = -7.36 \text{ Nm}$$

Con los valores de cada uno de los momentos flectores, se realiza el diagrama respectivo, el cual se representa en la Figura 4.11

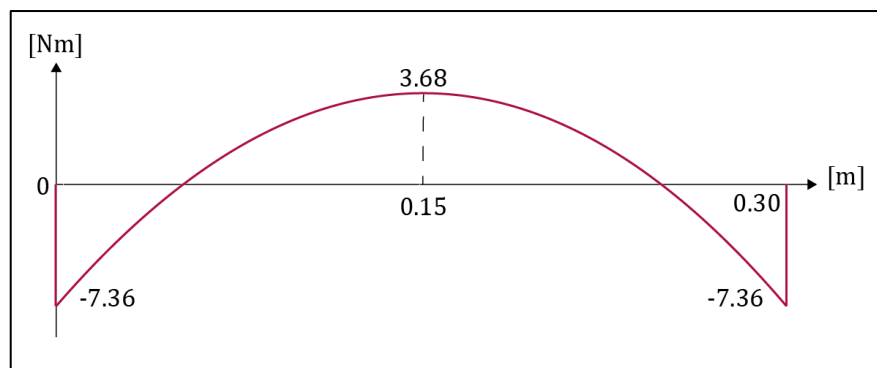


Figura 4.11. Diagrama momento flector, para el soporte de las baterías.

Fuente: Elaboración Propia.

De acuerdo a la gráfica, el momento de mayor interés a analizar, es el generados en los extremos de la barra (*A*) y (*C*); y al ser iguales, se toma uno de ellos, para el cálculo del módulo de sección requerido, que permitirá a su vez encontrar el espesor que la barra deberá tener así seleccionarla para su utilización, por lo cual se utiliza la Ecuación 4.16

Ecuación 4.16. Módulo de sección requerido.

$$S = \frac{M}{\sigma_d} \quad (4.16.)$$

Fuente: [68].

Donde:

- **S**: Módulo de sección requerido.
- **M**: Momento de flexión.
- σ_d : Esfuerzo de diseño.

Como indica la Ecuación 4.16, para su desarrollo, se necesita conocer el esfuerzo de diseño σ_d , por lo que se hace uso de la Ecuación 4.17.

Ecuación 4.17. Esfuerzo de diseño.

$$\sigma_d = \frac{S_y}{N} \quad (4.17.)$$

Fuente: [68].

Donde:

- σ_d : Esfuerzo de diseño.
- S_y : Resistencia a la fluencia del material.
- **N**: Factor de diseño. Igual a 2, para elementos bajo cargas dinámicas [68].

4.4.5.3. Selección del material.

En este punto para conocer la resistencia a la fluencia del material (S_y) es esencial elegir el material a utilizar, para este estudio se ha elegido una barra soldable de acero de la serie ASTM A706 distribuido por la empresa ADELCA [63], sus características se pueden ver en la Tabla 4.18:

Tabla 4.18.*Propiedades del acero con serie ASTM A706.*

Parámetro	Detalle
Resistencia a la tensión [MPa]	550
Resistencia a la fluencia [MPa]	420
Módulo de elasticidad [GPa]	210

Fuente: [63], [73], [64].

Reemplazando los valores respectivos en la Ecuación 4.17, se tiene:

$$\sigma_d = \frac{420 \text{ MPa}}{2} = 210 \text{ MPa}$$

Reemplazando el valor del esfuerzo de diseño encontrado y el momento flector generado (en el primer extremo (A) de la barra) en la Ecuación 4.16, se obtiene:

$$S = \frac{7.36 \text{ Nm}}{210 \text{ MPa}} = \frac{11.04 \text{ Nm}}{210000000 \text{ N/m}^2} = 0.00000003504 \text{ m}^3$$

Con el valor del módulo de sección podemos calcular el diámetro de la barra requerida, para ello utilizaremos la Ecuación 4.18

Ecuación 4.18. Diámetro para una sección circular.

$$D = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot S}{\pi}} \quad (4.18.)$$

Fuente: [68].

Donde:

- **D:** Diámetro de la sección.
- **S:** Módulo de sección.

Reemplazando los valores respectivos se obtiene:

$$D = \sqrt[3]{\frac{(32)(0.00000003504 \text{ m}^3)}{\pi}} = 0.00709 \text{ m} = 7.09 \text{ mm}$$

Con valor calculado, se puede decir que el diámetro mínimo que deben tener las barras para el soporte de las baterías es de 7.09 *milímetros*, por lo cual se acude al catálogo de ADELCA [63] y seleccionar la barra adecuada; resultando que la barilla de 8 *milímetros* de diámetro con serie ASTM A706 es la adecuada, por tal motivo se la selecciona para su utilización.

4.4.5.4. Cálculo del esfuerzo flexionante máximo.

Para encontrar el esfuerzo flexionante máximo, se utiliza la Ecuación 4.19.

Ecuación 4.19. *Esfuerzo flexionante máximo.*

$$\sigma_{max} = \frac{M \cdot c}{I} \quad (4.19.)$$

Fuente: [60].

Donde:

- σ_{max} : Esfuerzo flexionante máximo.
- M : Momento flexionante aplicado en la sección.
- c : Distancia del plano neutro a la fibra externa, para este caso será igual al radio de la sección circular igual 0.004 *m* (radio de la barra seleccionada).
- I : Segundo momento del área (momento de inercia del área) de la sección transversal de la viga con respecto al plano neutro.

Para el cálculo del segundo momento del área (I), se utiliza el formulario para una sección circular, mostrado en la Figura 4.12, el cual proporciona la Ecuación 4.20.

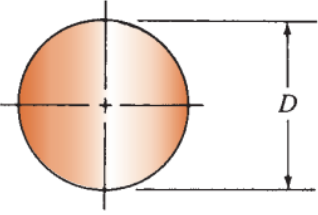
	$A = \pi D^2/4$ $I = \pi D^4/64$ $S = \pi D^3/32$	$r = D/4$ $J = \pi D^4/32$ $Z_p = \pi D^3/16$
---	---	---

Figura 4.12. Formulario de áreas para secciones circulares.

Fuente: [68].

Ecuación 4.20. Segundo momento del área para una sección circular.

$$I = \frac{\pi \cdot D^4}{64} \quad (4.20.)$$

Fuente: [68].

Donde:

- I : Segundo momento del área para una sección circular.
- D : Diámetro de la sección circular, para este caso es igual a 0.008 m (diámetro de la barra seleccionada).

Remplazando los valores correspondientes se obtiene:

$$I = \frac{\pi \cdot (0.008 \text{ m})^4}{64} = 0.000000000201062 \text{ m}^4$$

Cada uno de los valores correspondientes se remplaza en la Ecuación 4.19, se obtiene:

$$\sigma_{max} = \frac{(7.36 \text{ Nm})(0.004 \text{ m})}{0.000000000201062 \text{ m}^4} = 146372811.7 \text{ Pa} = 146.37 \text{ MPa}$$

4.4.5.5. Cálculo de la deflexión máxima.

El siguiente paso es encontrar la deflexión máxima que la barra seleccionada realizará, cuando se aplique la carga sobre ella, para ello se utiliza la Ecuación 4.21, obtenida del formulario de la Figura 4.9.

Ecuación 4.21. Deflexión máxima, en el centro, para una viga biempotrada con carga uniformemente distribuida.

$$Y_{max} = Y_B = \frac{-P_B \cdot L^3}{384 \cdot E \cdot I} \quad (4.21.)$$

Fuente: [68].

Donde:

- Y_{max} : Deflexión máxima, para una viga biempotrada con carga uniformemente distribuida.
- Y_B : Deflexión en el punto central, para una viga biempotrada con carga uniformemente distribuida.
- P_B : Carga total de los elementos a soportar.
- Longitud de la viga, igual a 0.30 m (dato obtenido por la medida de la estructura interna del chasis).
- E : Módulo de elasticidad o de Young del material. Igual a 210 GPa para el acero de serie ASTM A706 (Tabla 4.18.).
- I : Segundo momento del área.

Sustituyendo los valores respectivos y realizando los cálculos, se obtiene:

$$Y_{max} = \frac{-(294.3 \text{ N})(0.3 \text{ m})^3}{(384)((210)(10)^9 \text{ N/m}^2)(0.00000000201062 \text{ m}^4)} = -0,000490088 \text{ m}$$

$$Y_{max} = -0.49 \text{ mm}$$

Lo que equivale en valor absoluto a:

$$|Y_{max}| = 0.49 \text{ mm}$$

Como se puede ver la deflexión máxima que sufrirá la barra al aplicarle la carga será de aproximadamente 0.49 mm , lo cual podemos considerarlo aceptable, para nuestro diseño.

4.4.5.6. Cálculo del factor de seguridad.

Finalmente se calcula el factor de seguridad, para el soporte de las baterías, por lo cual se utiliza la Ecuación 4.22.

Ecuación 4.22. Factor de seguridad.

$$n = \frac{S_y}{\sigma_{max}} \quad (4.22.)$$

Fuente: [68], [60], [74], [75], [76].

Donde:

- n : Factor de seguridad.
- S_y : Resistencia a la fluencia del material. Igual a 420 MPa para el acero con serie ASTM 420 (Tabla 4.18).
- σ_{max} : Esfuerzo flexionante máximo.

Reemplazando los valores correspondientes en la Ecuación 4.22 y realizando los cálculos respectivos, se obtiene:

$$n = \frac{420 \text{ MP}}{146.37 \text{ MPa}} = 2.87$$

Como se puede apreciar, el valor del factor de seguridad para la barra que servirá como soporte para las baterías tendría un factor de seguridad igual a 2.87, por lo tanto, se puede considerar válido para elementos bajo cargas dinámicas [68].

4.4.5.7. Análisis por el método de elementos finitos, para el soporte de las baterías.

Para comprobar y confirmar la validez del diseño teórico, se procede a realizar el análisis estático por el método de elementos finitos, para el soporte de las baterías; se utiliza el software SolidWorks, en su versión 2019, con sus herramientas para piezas soldadas, el cual proporciona un mallado predeterminado para vigas; logrando obtener como resultados las gráficas y los valores de la tensión axial y de flexión en el límite superior, deformación y el factor de seguridad.

4.4.5.7.1. Esfuerzo flexionante máximo.

La Figura 4.13, permite observar que el esfuerzo flexionante máximo (tensión axial y de flexión en el límite superior), se produce en los extremos de la barra y tienen un valor de 146.37 MPa , siendo menor al del material (420 MPa), por lo cual se lo considera válido.

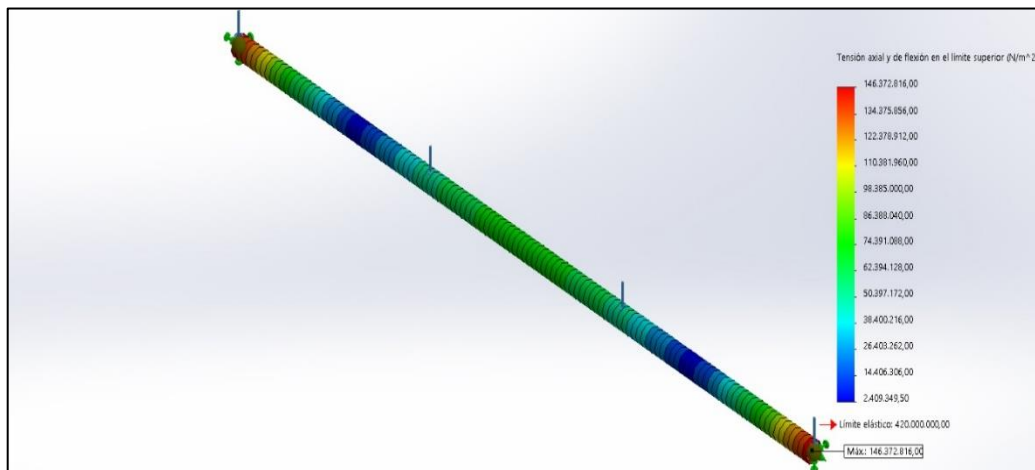


Figura 4.13. Límite elástico, por análisis de elementos finitos, para el soporte de las baterías.

Fuente: Elaboración Propia.

4.4.5.7.2. Deflexión máxima.

En la Figura 4.14, se puede observar que la deflexión máxima (deformación), se produce en el centro de la barra, con un valor igual a 0.52 mm , el cual se lo considera despreciable.

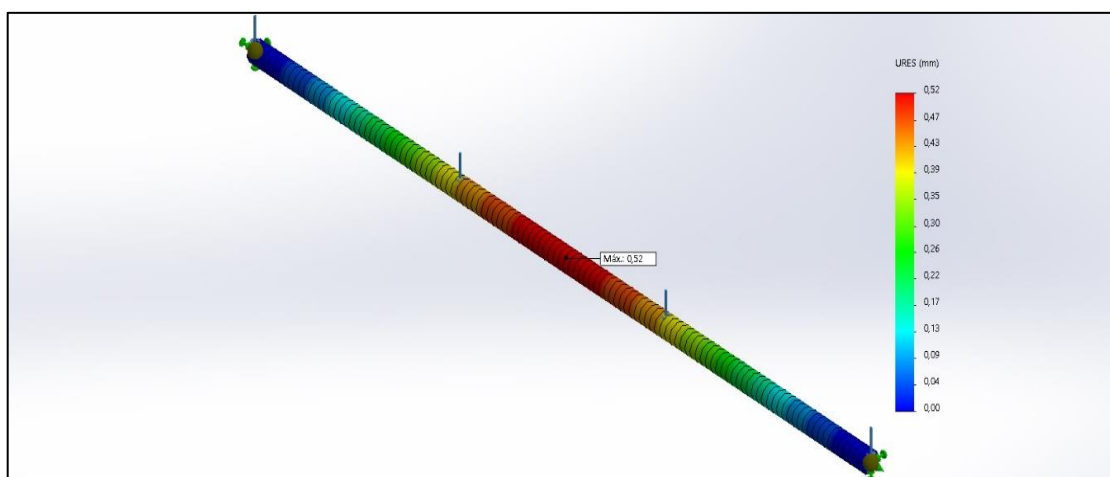


Figura 4.14. Deformación, por análisis de elementos finitos, para el soporte de las baterías.

Fuente: Elaboración Propia.

4.4.5.7.3. Factor de seguridad.

La Figura 4.15, permite observar que el factor de seguridad mínimo, se produce en los extremos de la barra y tienen un valor igual a 2.87, considerado como válido para el diseño de estructuras o elementos de máquinas, bajo cargas dinámicas [68].

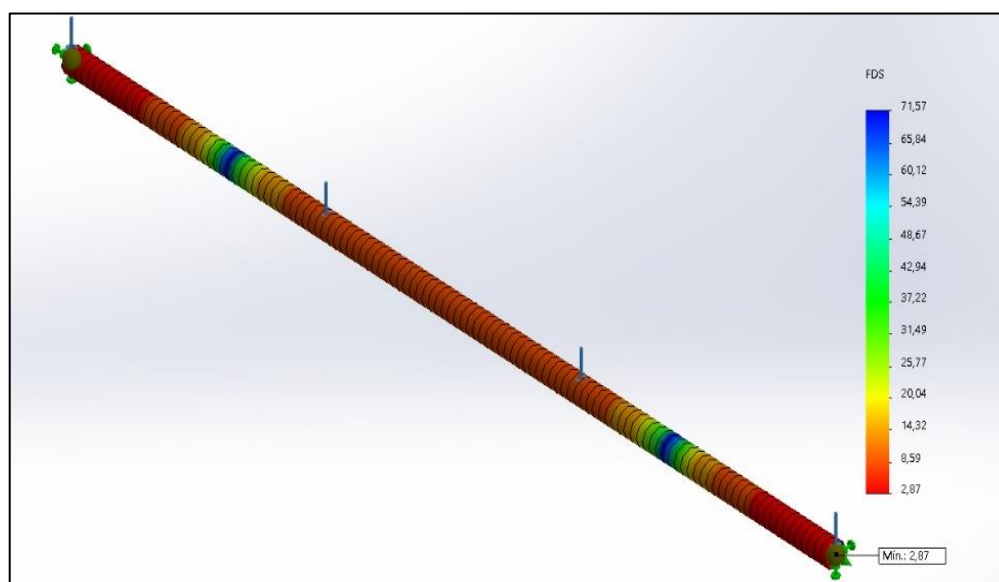


Figura 4.15. Factor de seguridad, por análisis de elementos finitos, para el soporte de las baterías.

Fuente: Elaboración Propia.

4.4.5.8. Comparación de los valores teórico y las simulaciones

La comparación entre los datos obtenidos de manera teórica, con el análisis utilizando el método de elementos finitos exponen en la Tabla 4.19.

Tabla 4.19.

Comparación entre los valores obtenidos de manera teórica y el análisis de elementos finitos, para el soporte de las baterías

Parámetro	Cálculo Teórico	Simulación	Error [%]
Esfuerzo flexionante máximo [MPa]	146.37	146.37	0
Deflexión máxima [mm]	0.49	0.52	5.77
Factor de seguridad	2.87	2.87	0

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Tabla 4.19, los datos obtenidos al utilizar el análisis por el método de elementos finitos, no varía de una manera considerable a los calculados de manera teórica, por tal motivo, se tomará como válido el diseño realizado, esto a su vez da paso al proceso de fabricación.

4.4.6. Fabricación del chasis.



Figura 4.16. Construcción del chasis, soldado de estructura.

Fuente: Elaboración Propia.



Figura 4.17. Construcción del chasis, soldado de láminas.

Fuente: Elaboración Propia.



Figura 4.18. Pintado del chasis.

Fuente: Elaboración Propia.

4.5. Diseño y Selección de Componentes para el Sistema Eléctrico del Scooter.

4.5.1. Selección del motor.

Para seleccionar el motor es necesario conocer el torque, potencia y velocidad [5], parámetros que permitirán que el scooter funcione con las condiciones de la Tabla 4.1.

4.5.1.1. Torque.

El torque necesario del motor se calcula con la Ecuación 4.23.

Ecuación 4.23. Torque del motor.

$$\mathbf{Tn} = r \cdot F_E \quad (4.23.)$$

Fuente: [5].

Donde:

- Tn : Torque necesario.
- r : Radio de la rueda. La rueda seleccionada es de 15 in de diámetro, es decir 0.19 m.
- F_E : Fuerza de empuje. Igual a 58.86 N.

$$\mathbf{Tn} = (0.19 \text{ m})(58.86 \text{ N}) = 11.21 \text{ Nm}$$

4.5.1.2. Cálculo de la potencia requerida.

Para el cálculo de la potencia del motor, se debe tomar en cuenta la velocidad máxima a la cual es scooter debe llegar [5], por lo tanto, se utiliza la Ecuación 4.24

Ecuación 4.24. Potencia requerida por el motor.

$$Pv_{max} = F_E \cdot V_{max} \quad (4.24.)$$

Fuente: [5].

Donde:

- Pv_{max} : Potencia requerida por el motor.
- F_E : Fuerza de empuje. Igual a 58.86 N.
- V_{max} : Velocidad máxima. Igual a 40 Km/h, es decir 11.11 m/s (Tabla 4.1).

Realizando las operaciones correspondientes se obtiene:

$$Pv_{max} = (58.86 N)(11.11 \text{ m/s}) = 654 W$$

4.5.1.3. Cálculo de la velocidad angular.

Para el cálculo de la velocidad angular se utiliza la Ecuación 4.25.

Ecuación 4.25. Velocidad angular.

$$\omega = \frac{V_{max}}{R} \quad (4.25.)$$

Fuente: [5].

Donde:

- ω : Velocidad angular.
- V_{max} : Velocidad máxima.
- R : radio del neumático.

Sustituyendo los valores, se obtiene:

$$\omega = \frac{11.11 \text{ m/s}}{0.19 \text{ m}} = 58.33 \text{ rad/s}$$

Debido a que la velocidad angular en las fichas de especificaciones técnicas de los motores está dada en ***rpm***, es conveniente realizar la conversión de unidades [5], para ello se utiliza la Ecuación 4.26.

Ecuación 4.26. Velocidad angular en ***rpm***.

$$\omega_{RPM} = \frac{\omega(60)}{2\pi} \quad (4.26.)$$

Fuente: [5].

Donde:

- ω_{RPM} : Velocidad angular en ***rpm***.
- ω : Velocidad angular en *rad/s*. Igual a 58.33 *rad/s*.

Remplazando los datos correspondientes se obtiene:

$$\omega_{RPM} = \frac{58.33 \frac{\text{rad}}{\text{s}} (60)}{2\pi} = 556.97 \text{ rpm}$$

4.5.1.4. Parámetros para la selección del motor eléctrico.

Para elegir el motor eléctrico se tiene que buscar en el mercado uno que cumpla con los cálculos realizados, los cuales se resumen en la Tabla 4.20:

Tabla 4.20.

Parámetros mínimos de funcionamiento para la selección del motor eléctrico.




Parámetro	Valor
Potencia [W]	654
Velocidad angular [rpm]	557
Torque [Nm]	11.21
Velocidad máxima [Km/h]	40

Fuente: Elaboración Propia.

Una vez establecidos los parámetros mínimos de funcionamiento, se procede a seleccionar el modelo del motor, para lo cual se realiza la Tabla 4.21, y se compara los distintos tipos de motores existentes en el mercado en base a sus principales características.

Tabla 4.21.

Comparación de los tipos de motores para scooters eléctricos.

Tipo de motor	Con Escobillas	Brushless	Hub Motor
Características			
Modelo referencial			
Mantenimiento	0.5	1	1
Durabilidad	0.5	1	0.5
Eficiencia	0.5	1	1
Disponibilidad de repuestos	1	1	0
Potencia	0.5	1	1
Adaptación al basculante	1	1	1
Requiere sistema de transmisión de movimiento	0	0	1
Incluye driver y accesorios	1	1	1
Precio	1	1	0.5
Total	6	8	7

Fuente: [77].

Nota: La puntuación se maneja en un rango de valores de 0 a 1, siendo 1 la mejor opción.

Con los resultados obtenidos en la Tabla 4.21, se decide seleccionar el motor brushless mostrado en la Figura 4.19; sus características técnicas se detallan en la Tabla 4.22.



Figura 4.19. Motor brushless de la marca Boma Motor modelos MB4 48V 1500W.

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 4.22.

Características técnicas del motor brushless de la marca Boma Motor modelos MB4 48V 1500W.

Variable	Descripción
Marca	Boma Motor
Modelo	BM4 48V 1500W 0151101529
Potencia de salida [W]	1500
Potencia nominal [KW]	1.5
Voltaje nominal [V]	48 ± 0.5
Corriente nominal [A]	35 ± 0.5
Velocidad nominal [rpm]	5600
Torque nominal [Nm]	3.5
Velocidad sugerida (Km/h)	≤45
Velocidad máxima (Km/h)	45
Recorrido máximo [Km/h] (a 15 Km/h)	40 – 80
Batería sugerida	Plomo ácido o gel / Ion de litio
Capacidad de la batería [Ah]	12/14/17/20
Capacidad de subida en pendiente	20°
Eje con piñón de cadena	T8F 11T
Diámetro exterior del piñón [mm]	30
Peso [Kg]	3.65
Dimensiones [m] (Longitud/Diámetro)	0.125/0.108

Fuente: Elaboración Propia, [78], [79].

4.5.1.5. Selección del controlador para motor.

La ventaja de haber seleccionado el motor tipo brushless (Tabla 4.21), es que, al adquirirlo, viene con su respectivo driver o controlador y a la vez éste viene con sus respectivos accesorios, su modelo referencial se puede observar en la Figura 4.20 y las características técnicas en la Tabla 4.23. Las distribuciones de los cables para sus respectivas conexiones se encuentran indicados en el Anexo H.



Figura 4.20. Controlador para el motor seleccionado, **48 V a 1500 W.**

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 4.23.

Características técnicas del controlador para motor brushless de 48V a 1500W.

Variable	Descripción
Modelo	20151106
Potencia [W]	1500
Voltaje [V]	48
Ángulo de fase [°]	120/60
Protección bajo voltaje [V]	42
Límite de corriente [A]	45
Regulación de torque	Si, dos estados
Freno	Si
Accesorios (acelerador, maniguetas para frenos, luces delanteras y traseras)	Si

Fuente: Elaboración Propia, [80].

4.5.1.6. Selección del sistema de transmisión de movimiento.

Para la selección del sistema de transmisión de movimiento, se tomó en cuenta las recomendaciones de la Tabla 2.6, y considerando como referencia la potencia del motor igual a 1500 *Watts*, se selecciona el sistema de transmisión por cadena tipo T8F (Tabla 4.22). La Distancia entre ejes del motor y la rueda trasera, depende del basculante seleccionado, para este caso va desde los 27 a 31 *centímetros* (longitud tomada manualmente), es decir, existe un juego de 4 *centímetros* para tensar la cadena.

4.5.1.6.1. Selección del piñón para la rueda trasera.

Para la selección del piñón que va en la rueda trasera (Catalina), se tomó en cuenta los puntos de anclaje que el del aro de la rueda tiene para este fin, las medidas respectivas, se exponen en la Figura 4.21.

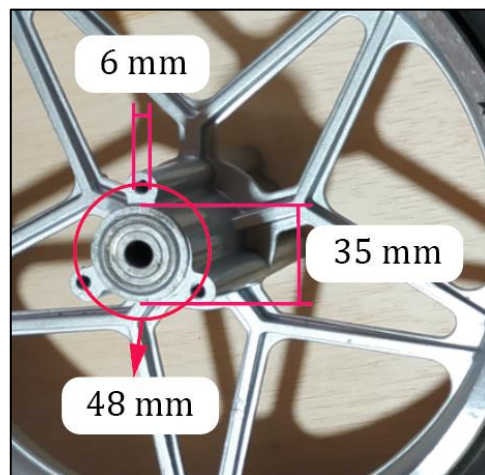


Figura 4.21. Medidas de los puntos de anclaje, para el sistema de transmisión de movimiento en la rueda trasera.

Fuente: Elaboración Propia.

Con las dimensiones establecidas, se recurre al catálogo del distribuidor de piñones CSparT TM (Anexo I) [81] y con la ayuda del Software Relatran en su versión 3.5, se realiza simulaciones con cada uno, obteniendo como resultado que el piñón que más satisface los requerimientos (Tabla 4.20) es el modelo T8f 64T como se puede ver en la Figura 4.22, por tanto se decide seleccionarlo.

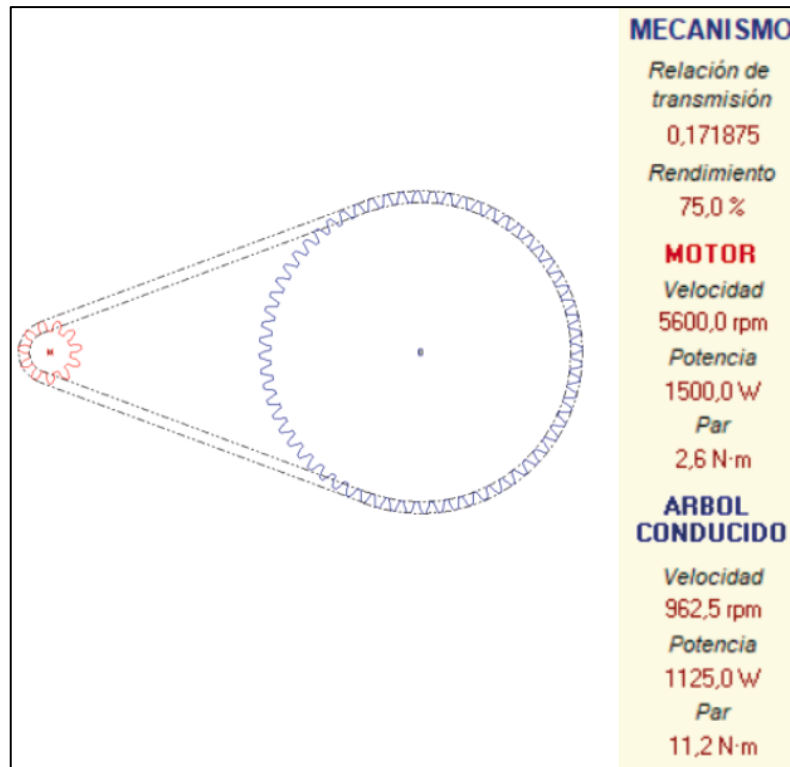


Figura 4.22. Simulación para el piñón T8F 64T.

Fuente: Elaboración Propia.

En resumen, una vez que se conecte el sistema de transmisión de movimiento al motor, el piñón de seleccionado entregará los parámetros mostrados Tabla 4.24

Tabla 4.24.

Parámetros entregados por el sistema de transmisión de movimiento.

Parámetro	Valor
Potencia [W]	1125
Velocidad angular [rpm]	962.5
Torque [Nm]	11.2

Fuente: Elaboración Propia.

Comparando la Tabla 4.24, con la Tabla 4.20, se concluye que el sistema de transmisión de movimiento, cumple con los requerimiento que el scooter necesita para moverse, por lo cual se procede a realizar la adquisición respectiva, en la Figura 4.23, se muestra el modelo referencia del piñón seleccionado.



Figura 4.23. Piñón T8f 64T.

Fuente: Elaboración Propia.

4.5.2. Diseño del sistema de almacenamiento de energía.

4.5.2.1. Selección del tipo de batería.

Para la selección del tipo de batería, se realiza la Tabla 4.25. y Tabla 4.26, donde se exponen y comparan, las principales características de cada tipo de acumulador, en base a los requerimientos más importantes que el scooter eléctrico necesita.

Tabla 4.25.




Características de los diferentes tipos de baterías para scooters eléctricos.

Tipo de batería	Ciclo de carga y descarga	Eficiencia [%]	Efecto memoria	Costo	Reciclaje
Plomo - Ácido o Gel	500 - 800	70 - 92	Bajo	Bajo	Alto
Níquel – Cadmio	1500	70 – 90	Alto	Alto	Bajo
Ion – Litio	1200	99.9	Bajo	Alto	Medio

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 4.26.

Comparación de tipos de baterías para scooters eléctricos.

Tipo de batería	Pomo-Ácido	Níquel-	Ion-Litio
Características	Selladas	Cadmio	
Modelo referencial			
Peso	0.5	0.5	1
Mantenimiento	1	1	1
Ciclo de carga y descarga	0.5	1	1
Costo*	1	0	0.5
Reciclaje	1	0	0
Total	4	2.5	3.5

Fuente: Elaboración Propia.

Nota: La puntuación se maneja en un rango de valores de 0 a 1, siendo 1 la mejor opción. *Costo referencial en USD para baterías es: plomo-ácido sellada de 12 V a 14 Ah igual 50.00, níquel-cadmio igual a 120.00; ion-litio igual a 100.00

De acuerdo al resultado obtenido en la Tabla 4.26, se selecciona las baterías de plomo-ácido selladas.

4.5.2.2. Asociación de las baterías.

Como se observa en la Tabla 4.22, el motor necesita como mínimo 48 Voltios para funcionar y tomando en cuenta que las baterías de a 12 Voltios son las más más populares en el mercado [82], se decide utilizar la asociación de baterías tipo serie con el objetivo de obtener la tensión deseada [27] y para determinar su número se utiliza la Ecuación 4.27.

Ecuación 4.27. Número de baterías conectadas en serie en cada rama.

$$N_S = \frac{V_{SA}}{V_B} \quad (4.27.)$$

Fuente: [27].

Donde:

- N_S : Número de baterías conectadas en serie en cada rama.

- V_{SA} : Tensión eléctrica del sistema de acumulación. Igual a 48 Voltios requeridos por el motor (Tabla 4.22).
- V_B : Tensión de una batería. Igual a 12 Voltios (más populares en el mercado [82]).

Remplazando los valores y realizando los cálculos respectivos se tiene que el número necesario de baterías conectadas en serie es:

$$N_S = \frac{48}{12} = 4$$

4.5.2.3. Capacidad de las baterías.

La selección de la capacidad de la batería, se la realizó, tomando en cuenta las características del motor (Tabla 4.22), por tal motivo, se adquieren acumuladores con capacidades de 14 *Amperios hora*. La batería elegida se muestra en la Figura 4.24 y sus características técnicas se presentan en la Tabla 4.25.



Figura 4.24. Batería de plomo ácido sellado, marca Jihua de 12 V a 14 Ah.

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 4.27.*Especificaciones técnicas de las baterías.*

Parámetro	Detalle
Marca	Jihua
Modelo	JH12V 14
Voltaje [V]	12
Capacidad de carga [Ah]/20 [h]	14
Voltaje de regulación en stand – byuse [V]	13.6 – 13.8
Voltaje de regulación en ciclos de uso [V]	14.5 – 14.9
Corriente inicial [A]	2.1 máx.
Temperatura AT de funcionamiento [C]	25°
Dimensiones [m] (ancho/profundidad/altura)	0.15/0.1/0.1
Peso [Kg]	4.5

Fuente: Elaboración Propia.

4.5.2.4. Dimensionado del cableado.

La asociación de las baterías, se lo realiza por medio de cable conductor, por tal motivo es necesario dimensionarlo.



4.5.2.4.1. Selección del material del cable conductor.

En primera instancia se selecciona el material del cable, para ello se realiza la Tabla 4.28, donde se compara los conductores eléctricos, que se encuentran comúnmente en el mercado; dando como resultado que el conductor de cobre, es el más adecuado para nuestros requerimientos.

Por lo tanto, se procede a seleccionar el cable de cobre flexible, esto con el fin de facilitar el manejo y la manipulación del mismo.

Tabla 4.28.

Comparación de los conductores más comunes en el mercado.

Tipo de batería	Pomo-Ácido	Níquel-
Características	Selladas	Cadmio
Modelo referencial		
Disponibilidad en el mercado	1	0.5
Precio*	1	0.5
Reciclaje	1	1
Total	3	2

Fuente: Elaboración Propia.

Nota: La puntuación se maneja en un rango de valores de 0 a 1, siendo 1 la mejor opción. *Precio referencial en USD para un rollo de cable flexible #14 de 100 metros; de cobre igual a 21.00 y de aluminio igual a 27.00.

4.5.2.4.2. Cálculo de la sección mínima.

El siguiente paso es encontrar la sección mínima que deberá tener el cable, por lo cual, se utiliza la Ecuación 4.28.

Ecuación 4.28. Sección mínima del conductor de cobre, por criterio de caída de tensión, para líneas de corriente continua.

$$S = \frac{2 \cdot L \cdot I}{56 \cdot e} \quad (4.28.)$$

Fuente: [27], [83].

Donde:

- **S**: Sección mínima del conductor de cobre, por criterio de caída de tensión, para líneas de corriente continua. En *milímetros cuadrados*.
- **L**: Longitud de la línea en *metros*.
- **I**: Corriente que transporta la línea en *Amperios*.
- **e**: Máxima caída de tensión permitida en la línea, en *Voltios*.

4.5.2.4.2.1. Longitud de la línea.

Para determinar la longitud que tendrá el cableado (requerimiento para la utilización de la Ecuación 4.28), se toma en como referencia, las medidas de la caja para baterías (Figura 4.25), siendo igual a $(2(0.36 + 0.34))m = 1.4 m$.

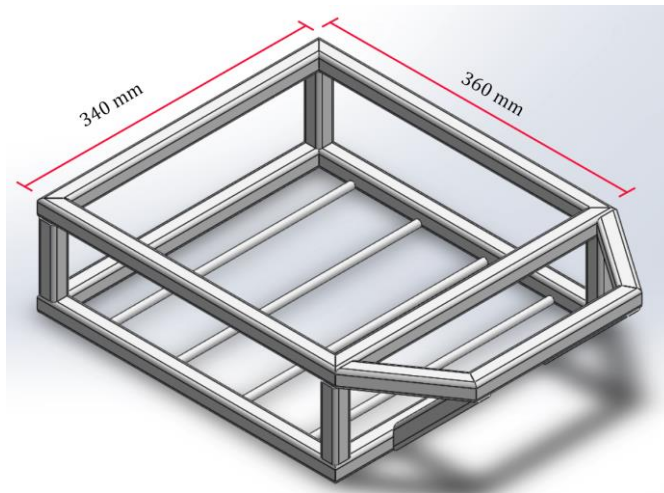


Figura 4.25. Medidas de la caja para baterías.

4.5.2.4.2.2. Corriente que transporta la línea.

El siguiente factor a determinar para utilizar la Ecuación 4.28, es la corriente que la línea va a transportar, para ello se utilizará la corriente máxima de consumo del motor, según la Tabla 4.22, es igual a $(35 + 0.5)A = 35.5 A$. Como en el scooter lleva varios accesorios eléctricos adicionales (luces, bocina, etc.), se decide redondear el valor de la corriente a 36 A.

4.5.2.4.2.3. Máxima caída de tensión permitida en la línea.

De acuerdo a la Ecuación 4.28, se necesita conocer la máxima caída de tensión permitida en la línea, para encontrarla, se utiliza la Ecuación 4.29.

Ecuación 4.29. Máxima caída de tensión permitida en la línea.

$$e = V_o \frac{e(\%)}{100} \quad (4.29.)$$

Fuente: [83].

Donde:

- e : Máxima caída de tensión permitida en la línea, en *Voltios*.
- V_0 : Tensión nominal de la línea susceptible de cálculo. En este caso, es el voltaje del banco de baterías igual a 48 V.
- $e(\%)$: Máxima caída de tensión permitida en la línea, en %. Para una línea principal y equipos igual a 5 % [83].

$$e = (48 V) \frac{5 \%}{100} = 2.4 V$$

Con cada uno de los valores calculados y reemplazándolos respectivamente en la Ecuación 4.28, y se obtiene que la sección mínima del cable conductor deber ser:

$$S = \frac{(2)(1.4 m)(36 A)}{56. (2.4V)} = 0.75 mm^2$$

4.5.2.4.3. Cálculo del diámetro mínimo del cable.

Como se puede observar, la sección es el equivalente al área del cable, por lo tanto, para conocer su diámetro, se utiliza el formulario de la Figura 4.12, obteniendo como resultado la Ecuación 4.30.

Ecuación 4.30. Diámetro para una sección circular.

$$D = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} \quad (4.30.)$$

Fuente: [68].

Donde:

- r : Radio del cable.
- S : Sección del cable.

Reemplazando los valores respectivos se obtiene:

$$D = \sqrt{\frac{(4)(0.74 \text{ mm}^2)}{\pi}} = 0.98 \text{ mm}$$

4.5.2.4.4. Selección del calibre del conductor.

Para la selección del calibre del conductor se ha recurrido al catálogo de ELECTROCABLES C.A. (Anexo J) [84], donde se determina que el cable de cobre para baterías SGR AWG #8, cumple con las condiciones requeridas, por lo cual se decide seleccionarlo.

4.5.2.5. Autonomía teórica.

Para lograr la autonomía deseada, es necesario conocer el tiempo de operación de las baterías, para lo cual se utiliza la Ecuación 4.31.

Ecuación 4.31. Tiempo de operación a corriente continua.

$$t_o = \frac{Q}{I_B} \quad (4.31.)$$

Fuente: [5].

Donde:

- t_o : Tiempo de operación a corriente continua.
- Q : Carga de la batería.
- I_B : Corriente suministrada por la batería.

De acuerdo a la Ecuación 4.31, se requiere conocer el valor de la corriente suministrada por la batería, por lo cual se utiliza la Ecuación 4.32.

Ecuación 4.32. Corriente suministrada por la batería.

$$I_B = \frac{I_O}{n} \quad (4.32.)$$

Fuente: [5].

Donde:

- I_B : Corriente suministrada por la batería.
- I_O : Corriente de operación. Igual 35 A, corriente que consume el motor.
- n : Número de baterías. En nuestro caso se tiene un banco de 4 baterías.

$$I_B = \frac{35 A}{4} = 8.75 A$$

Con el valor de la corriente suministrada por la batería, se reemplaza los valores respectivos en la Ecuación 4.31 y se obtiene:

$$t_o = \frac{14 Ah}{8.75 A} = 1.6 h$$

4.5.3. Selección del cargador de baterías convencional.

4.5.3.1. Parámetros de carga.

Los parámetros máximos de carga, se muestran en la Tabla 4.29, los cuales se establecieron tomando en cuenta las especificaciones técnicas de las baterías seleccionadas (Tabla 4.27).

Tabla 4.29.

Parámetros máximos de carga.

Parámetro	Detalle
Voltaje máximo soportado por el banco de baterías [V]	59.6 ≈ 60
Corriente máxima de carga soportada por el banco de baterías [A]	2.10



Fuente: Elaboración Propia.

4.5.3.2. Selección del tipo de cargador no convencional.

Una vez establecidos los parámetros máximos que las baterías requieren para ser cargadas, se realiza la Tabla 4.30, donde se comparan los diferentes tipos de cargadores de baterías existentes en el mercado.

Tabla 4.30.

Comparación entre los tipos de cargadores de batería convencionales existentes en el mercado.

Tipo de cargador convencional	Lineal	Conmutado
Características		
Modelo referencial		
Tamaño	0	1
Peso	0	1
Eficiencia	0.5	1
Regulación de carga automática	0.5	1
Precio	1	0.5
Total	2	4.5

Fuente: [85], [86].

Nota: La puntuación se maneja en un rango de valores de 0 a 1, siendo 1 la mejor opción.

Con los resultados obtenidos en la Tabla 4.30, se selecciona el cargador convencional tipo conmutado. El modelo referencial se lo puede observar en la Figura 4.25, y sus características técnicas en la Tabla 4.31.

Tabla 4.31.

Características técnicas del cargador de baterías convencional seleccionado.

Variable	Descripción
Modelo	JZX-432200
Voltaje de entrada en AC [V]	100 - 240
Frecuencia de entrada [Hz]	50/60
Voltaje de salida DC [V]	57.6
Corriente de salida [A]	2

Fuente: Elaboración Propia.



Figura 4.26. Cargador de baterías convencional seleccionado.
Fuente: Elaboración Propia.

4.5.4. Diseño del sistema de carga por medio de paneles solares fotovoltaicos.

4.5.4.1. Parámetros iniciales.

4.5.4.1.1. Parámetros iniciales de carga.

Los parámetros de carga, son los mismo que se muestran en la Tabla 4.29.

4.5.4.1.2. Ubicación del panel fotovoltaico.

Como se mencionó en la parte teórica, uno de los factores principales al momento de diseñar el módulo o panel fotovoltaico, es el espacio que va a ocupar, porque entre más potencia se requiere, más grande será el área que necesite. Analizando la estructura del scooter, se pude ver que existen cuatro posibles ubicaciones donde se puede colocar el panel, los cuales se muestran en la Tabla 4.32, además, se realiza una comparación de las principales ventajas que obtiene al ponerlo en uno u otro sitio.

Tabla 4.32.

Comparación de los posibles lugares de ubicación del panel fotovoltaico en el scooter eléctrico.

Lugar de ubicación	Sobre el sistema de dirección	Sobre el basculante	Sobre el chasis	Sobre todo, el scooter
Ventajas				
Peso reducido	0	0	1	0
Soporte adicional	0	0	1	0
Aprovechamiento de espacio	0.5	0.5	1	1
Total	0.5	0.5	3	1

Fuente: Elaboración Propia.

Nota: La puntuación se maneja en un rango de valores de 0 a 1, siendo 1 la mejor opción.

Con el resultado obtenido en la Tabla 4.32, se decide colocar el panel fotovoltaico, en la parte superior del chasis, ya que este espacio únicamente es utilizado para poner los pies del conductor (los cuales no abarcan la totalidad del área) y por tanto se lo puede aprovechar sin dañar la estética del scooter y sin necesidad de agregarle cargas por estructuras adicionales. Cabe mencionar que el panel ubicado en ese sitio, servirá también como tapa para cubrir la caja del banco de baterías.

4.5.4.2. Diseño del panel fotovoltaico.

4.5.4.2.1. Selección del tipo de célula fotovoltaica.

Para la selección del tipo de célula fotovoltaicas, se elaboró la Tabla 4.33, donde se comparan los tipos de celdas existentes en el mercado. Resultando como la más adecuada la de Silicio Policristalinas. Por facilidad de asociación (al igual que las baterías), se utilizarán con capacidades nominales de 12 *Voltios* cada una.

Tabla 4.33.

Comparación de tipos células fotovoltaicas existentes en el mercado.

Tipo de batería	Silicio	Silicio	Silicio	
Características	Monocristalino	Policristalinas	Amorfo	Flexibles
Eficiencia	1	1	0.5	0.5
Disponibilidad en el mercado	0.5	1	0.5	0.5
Precio	0.5	1	1	0
Total	2	3	2	1

Fuente: Elaboración Propia.

Nota: La puntuación se maneja en un rango de valores de 0 a 1, siendo 1 la mejor opción.

4.5.4.2.2. Asociación de las células fotovoltaicas.

Para que el banco de baterías empiece a cargar el voltaje suministrado por el panel, debe superar su voltaje nominal, es decir los 48 *Voltios*, y tomando en cuenta la Tabla 4.29, para alargar la vida útil de las baterías no se debe exceder los 60 *Voltios*. Con las consideraciones antes mencionadas, se procede a calcular el número de células fotovoltaicas que se necesita conectar en serie.

4.5.4.2.2.1. Número de células fotovoltaicas conectadas en serie.

Para calcular el número de células que necesitas conectar en serie para que el banco de baterías cargue, se utiliza la Ecuación 4.33.

Ecuación 4.33. Número de células fotovoltaicas conectadas en serie en cada rama.

$$N_S = \frac{V_{MF}}{V_C} \quad (4.33.)$$

Fuente: [54].

Donde:

- N_S : Número de células fotovoltaicas conectadas en serie en cada rama.
- V_{MF} : Tensión eléctrica del módulo, igual 60 *Voltios* por ser el máximo voltaje soportado por las baterías.

- V_C : Tensión de cada célula fotovoltaica, igual a 12 *Voltios*.

Remplazando los valores y realizando las operaciones respectivas, se obtiene que el número de células conectadas en serie debe ser:

$$N_s = \frac{60 V}{12 V} = 5$$

4.5.4.2.2. Selección de la potencia de cada célula.

La selección de la potencia de cada célula se realiza de acuerdo al área disponible en el cual deben ubicarse, en este caso será en la parte superior del chasis, en la Figura 4.25, se aprecia un boceto con las medidas de dicha área. Buscando en el mercado, se seleccionaron cuatro celdas fotovoltaicas de 12 *Voltios* a 2 *Watts* (sus principales características técnicas se detallan en la Tabla 4.34), que conectadas en serie dan un total de 48 *Voltios*.

Tabla 4.34.

Características técnicas de la célula fotovoltaicas de 12 V a 2 W.

Parámetro	Detalle
Tipo	Silicio Policristalino
Potencia nominal [W]	2
Voltaje nominal [V]	12
Voltaje en circuito abierto [V]	15
Corriente de trabajo [mA]	0 – 167
Corriente en cortocircuito [mA]	200
Dimensiones: Largo x Ancho x Espesor [mm]	136 x 110 x 3

Fuente: Elaboración Propia, [87], [88].

Para completar el número de celdas conectadas (5) en series y aprovechar el área sobre la estructura del panel, se decide seleccionar dos células fotovoltaicas de 12 *Voltios* a 1.5 *Watts*, y asociarlas en paralelo, con el objetivo de aumentar la intensidad, pero manteniendo el valor de la tensión [27], sus principales características técnicas se detallan en la Tabla 4.35.

Tabla 4.35.

Características técnicas de la célula fotovoltaicas de 12 V a 1.5 W.

Parámetro	Detalle
Tipo	Silicio Policristalino
Potencia nominal [W]	1.5
Voltaje nominal [V]	12
Voltaje en circuito abierto [V]	15
Corriente de trabajo [mA]	0 – 125
Corriente en cortocircuito [mA]	165
Dimensiones: Largo x Ancho x Espesor [mm]	115 x 85 x 3

Fuente: Elaboración Propia, [89], [90].

Una vez que se han seleccionador las células fotovoltaicas, se procede a asociarlas, su conexión se puede observar en la Figura 4.27, donde:

- V_{C1} , V_{C2} : Células fotovoltaicas de 12 Voltios a 1.5 Watts.
- V_{C3} , V_{C4} , V_{C5} , V_{C6} : Células fotovoltaicas de 12 Voltios a 2 Watts.

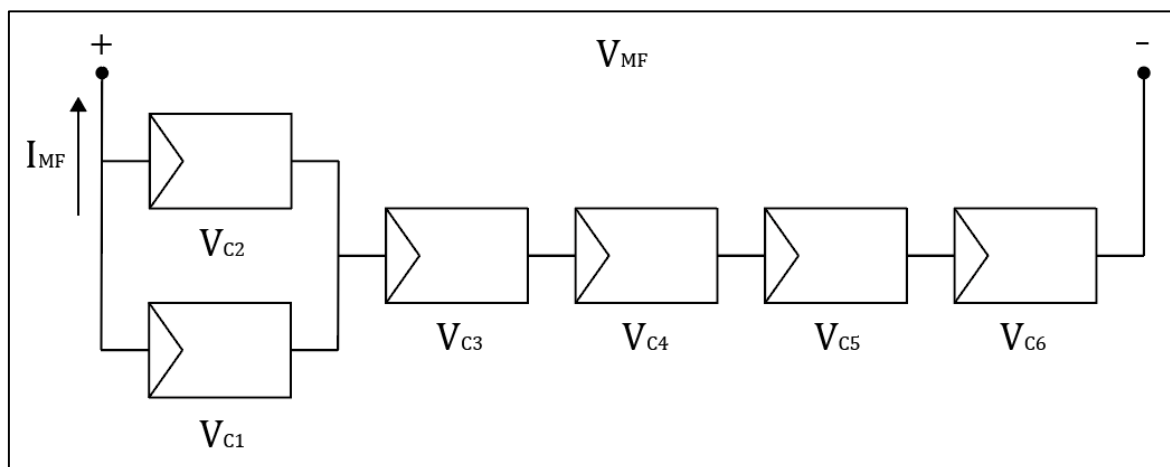


Figura 4.27. Conexión básica de las células fotovoltaicas seleccionadas.

Fuente: Elaboración Propia.

4.5.4.2.2.3. Protección de las células fotovoltaicas contra impactos.

Como las células fotovoltaicas, van a funcionar en un medio de transporte, el cual estará sometido a vibraciones, para evitar algún tipo de daño, se decide colocarlas sobre espuma de absorción de impactos de 5 mm de espesor (muy utilizada en el transporte de objetos).





4.5.4.2.3. Diseño de la estructura del panel fotovoltaico.

4.5.4.2.3.1. Selección del material.

Debido que el panel fotovoltaico servirá como tapa de la caja de las baterías del scooter, para seleccionar el material de su estructura, se elaboró la Tabla 4.36, donde se compara los más utilizados.

Tabla 4.36.

Comparación entre materiales utilizados en las tapas de baterías de scooters eléctricos.

Tipo de material	Contrachapado	Plástico	Fibra de vidrio	Aluminio
Características				
Modelo referencial				
Fácil manufacturación	1	0.5	0.5	0.5
Bajo peso	1	1	1	1
Bajo precio	1	0.5	0.5	0
Alta resistencia mecánica	1	0.5	1	1
Soporta altas temperaturas	1	0.5	1	1
Seguridad para el conductor	1	1	1	1
Total	6	4	5	4.5

Fuente: Elaboración Propia. [59]. [91]

Nota: La puntuación se maneja en un rango de valores de 0 a 1, siendo 1 la mejor opción.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la Tabla 4.36, se decide seleccionar el contrachapado como el material para la elaboración de la estructura del panel fotovoltaico, sus principales propiedades mecánicas se pueden observar en la Tabla 4.37.

Tabla 4.37.

Propiedades del contrachapado.

Parámetro	Detalle
Resistencia a la tensión [MPa]	63.74
Resistencia a la fluencia [MPa]	26.97
Módulo de elasticidad [GPa]	6.67

Fuente: [92].

4.5.4.2.3.2. Cargas a soportar por el panel fotovoltaico.

El panel fotovoltaico, debe ser diseñado de tal forma que sea capaz de soportar tanto el peso del conductor como una carga extra, para lo cual se ha realizado la Tabla 4.38.

Tabla 4.38.

Lista de componentes a soportar por el panel fotovoltaico.

Componente	Masa [Kg]
Persona Promedio	85
Carga Adicional	10
Total	95

Fuente: Elaboración Propia.

Con el resultado obtenido en la Tabla 4.3, se procede a calcular el peso que el panel deberá soportar, por lo cual se utiliza la Ecuación 4.34

Ecuación 4.34. Peso a soportar por el panel.

$$P = m \cdot g \quad (4.34.)$$

Fuente: [54].

Donde:

- P : Peso a soportar por el panel.
- m : Masa total del piloto y carga extra.
- g : aceleración de la gravedad.

$$P = 95 \text{ Kg} \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) = 931.95 \text{ N}$$

4.5.4.2.3.3. Modelo del panel fotovoltaico.

La forma de la estructura del chasis, se diseña de tal manera que cubra toda la parte superior del chasis, dando como resultado el boceto en 3D mostrado en la Figura 4.28. Las medidas y demás características, se las puede observar en los planos, en el Anexo Y.

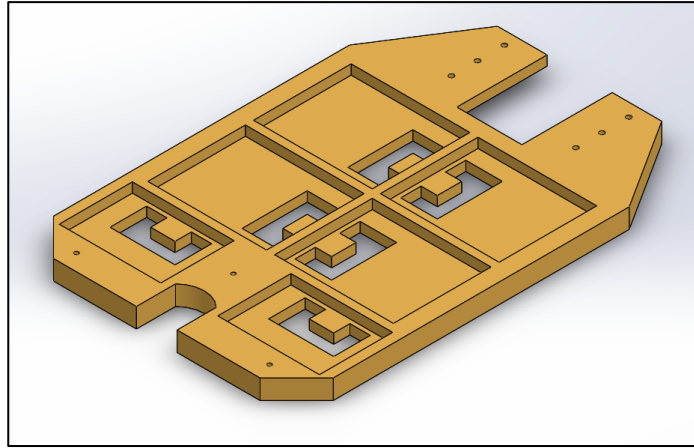


Figura 4.28. Boceto en 3D de la estructura del panel fotovoltaico.

Fuente: Elaboración Propia.

4.5.4.2.3.4. Análisis estático por el método de elementos finitos, para la estructura del panel fotovoltaico.

Debido a la complejidad de forma que tiene la estructura del panel fotovoltaico, para la validación del diseño, se ha decidido realizar el análisis estático, por el método de elementos finitos, con el software Solid Works, en su versión 2019, donde la estructura del panel estará sometida a una carga distribuida de 931.95 N generada por el piloto más un peso extra.

4.5.4.2.3.4.1. Tensión de Von Mises, para la estructura del panel fotovoltaico.

La Figura 4.29, muestra como al someter a la estructura del panel a la carga de 931.95 N se genera la tensión de Von Mises, con un valor máximo de 0.85 MPa , en su parte trasera, el cual está muy por debajo de las propiedades del material (26.97), por lo tanto se considera al diseño como aceptable.

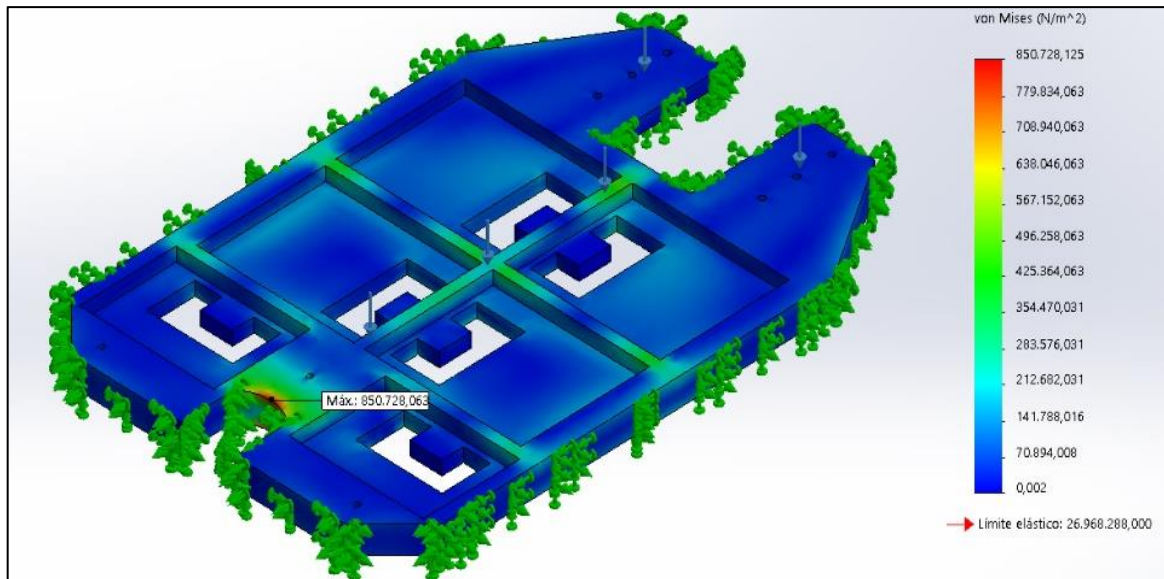


Figura 4.29. Tensión de Von Mises para la estructura del panel fotovoltaico.

Fuente: Elaboración Propia.

4.5.4.2.3.4.2. Deformación máxima, para la estructura del panel fotovoltaico.

La Figura 4.30, muestra como al someter a la estructura del panel, a la carga de 931.95 N, se genera una deformación máxima en su centro, con un valor máximo de 0.02 mm, por lo que podemos considerarlo despreciable.

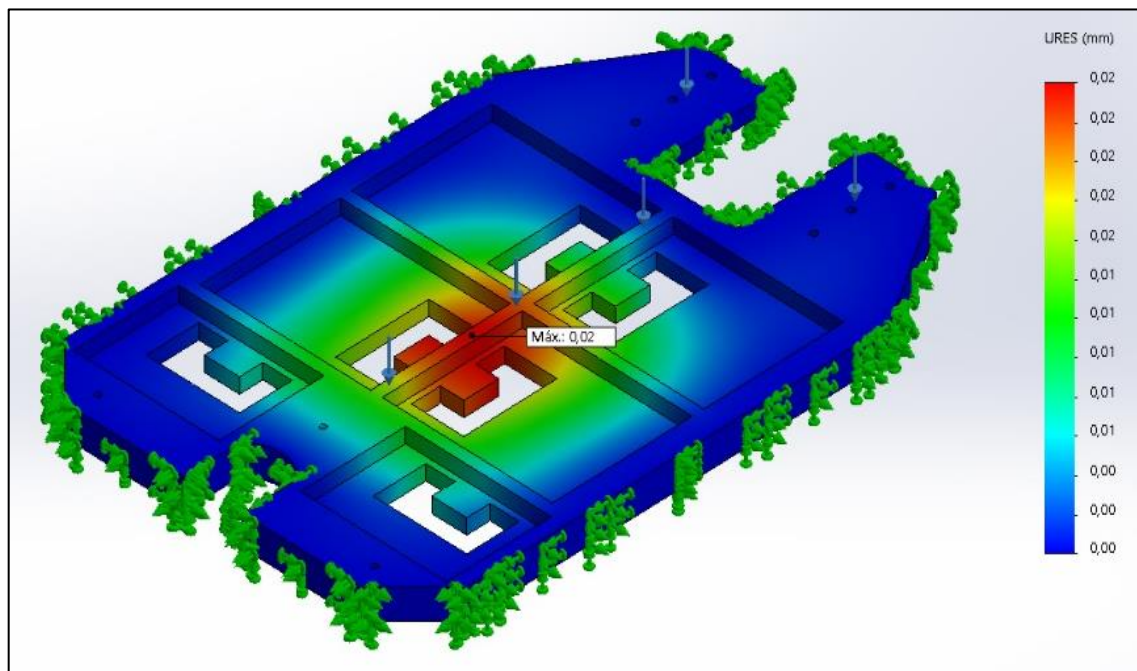


Figura 4.30. Deformación máxima, para la estructura del panel fotovoltaico.

Fuente: Elaboración Propia.

4.5.4.2.3.4.3. Factor de seguridad para la estructura del panel fotovoltaico.

La Figura 4.31, muestra como al someter a la estructura del panel, a la carga de 931.95 N, se genera un factor de seguridad mínimo de 31.7, considerado apto para el diseño de estructuras o elementos de máquinas bajo cargas dinámicas [68].

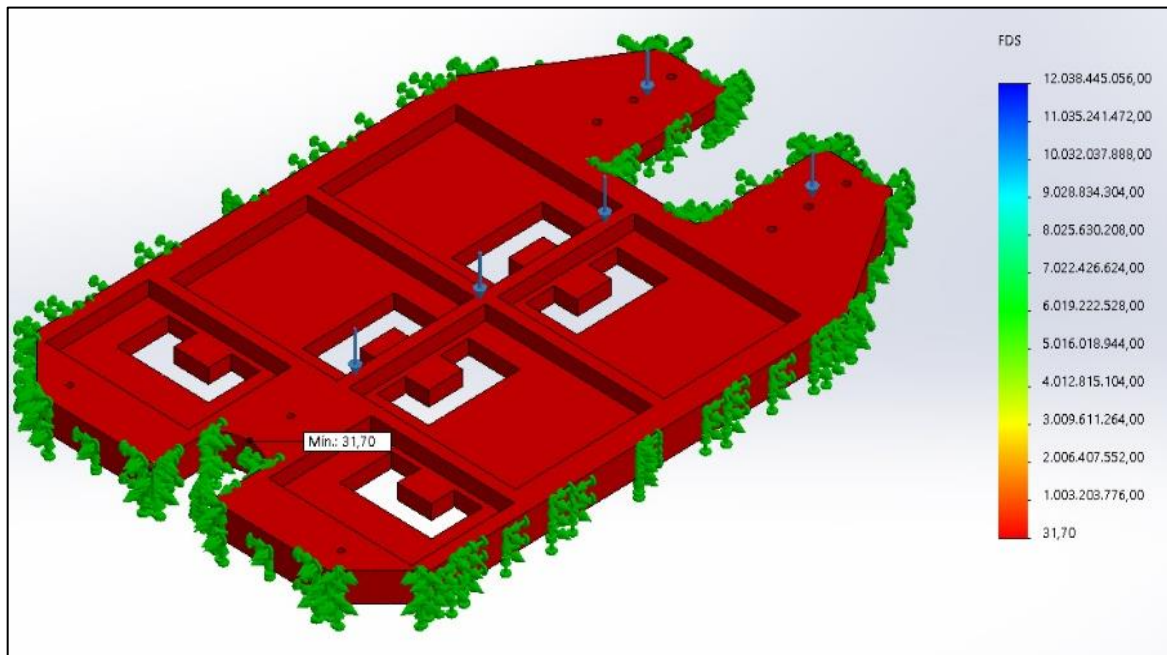


Figura 4.31. Factor de seguridad, para la estructura del panel fotovoltaico.

Fuente: Elaboración Propia.

4.5.4.2.4. Selección de la cubierta frontal, para el panel fotovoltaico.

Para la selección de la cubierta del panel fotovoltaico, se realiza la Tabla 4.39, donde se compara distintos materiales que se pueden utilizar con esta finalidad.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la Tabla 4.39, se selecciona al policarbonato sólido como mejor opción para ser utilizado como cubierta del panel fotovoltaico.

Tabla 4.39.

Comparación entre materiales a utilizarse para la cubierta del panel fotovoltaico.

Tipo de material	Vidrio	Acrílico	Policarbonato
Características	templado		sólido
Fácil manufacturación	0	1	0.5
Bajo peso	0	1	1
Bajo precio	0	0.5	1
Alta resistencia mecánica	0.5	0.5	1
Soporta altas temperaturas	1	0.5	1
Seguridad para el conductor	0	0	1
Total	0.5	3.5	5.5

Fuente: Elaboración Propia. [59]. [91]

Nota: La puntuación se maneja en un rango de valores de 0 a 1, siendo 1 la mejor opción.

Las propiedades más importantes del policarbonato sólido se exponen en la Tabla 4.40.

Tabla 4.40.

Propiedades del policarbonato sólido.

Parámetro	Detalle
Resistencia a la tracción, en rendimiento [MPa]	63.60
Resistencia a la flexión [MPa]	104.7
Resistencia al impacto [J/m²]	850

Fuente: [93].

4.5.4.2.5. Parámetros eléctricos del panel fotovoltaico diseñado.

Luego de haber diseñado y validado el panel fotovoltaico, el siguiente paso es determinar sus respectivos parámetros eléctrico.

4.5.4.2.5.1. Tensión eléctrica del módulo fotovoltaico.

El primer parámetro a determinar es la tensión eléctrica de panel o módulo fotovoltaico, para ello se utiliza la Ecuación 4.35

Ecuación 4.35. Tensión eléctrica del módulo fotovoltaico.

$$V_{MF} = N_S \cdot V_C \quad (4.35.)$$

Fuente: [27].

Donde:

- V_{MF} : Tensión eléctrica del módulo fotovoltaico.
- N_S : Número de células fotovoltaicas conectadas en serie en cada rama. Para este caso se toma a V_{C1} y V_{C2} (Figura 4.27), como una sola célula, como se menciona en la parte de asociación de las mismas.
- V_C : Tensión de cada célula fotovoltaica. Se toma la tensión nominal igual a 12 *Voltios*.

Remplazando los valores correspondientes y realizando las operaciones, se tiene:

$$V_{MF} = (5)(12 V) = 60 V$$

4.5.4.2.5.2. Intensidad del módulo fotovoltaico.

El siguiente parámetro a determinar es la tensión del módulo fotovoltaica, para lo cual se utiliza la Ecuación 4.36.

Ecuación 4.36. Intensidad del módulo fotovoltaico.

$$I_{MF} = N_P \cdot I_C \quad (4.36.)$$

Fuente: [27].

Donde:

- I_{MF} : Intensidad del módulo fotovoltaico.
- N_P : Número de ramas conectadas en paralelo. V_{C1} y V_{C2} (Figura 4.27), se las considera como una sola célula, como se menciona en la parte de asociación de las mismas.

- I_C : Intensidad de cada célula fotovoltaica. Se toma en cuenta los datos de la célula de 12 *Votios* a 2 *Watts* (Tabla 4.34), por facilidad de cálculos y considerando que todas las células trabajan en las mismas condiciones [27].

Reemplazando los valores correspondientes y realizando los respectivos cálculos, se obtiene:

$$I_{MF} = (1)(0.167 A) = 0.167 A = 167 mA$$

4.5.4.2.5.3. Tensión de circuito abierto del módulo fotovoltaico.

El siguiente parámetro a determinar, es la tensión en circuito abierto del panel fotovoltaico, para lo cual se utiliza la Ecuación 4.37.

Ecuación 4.37. Tensión de circuito abierto del módulo fotovoltaico.

$$V_{OC,MF} = N_S \cdot V_{OC,C} \quad (4.37.)$$

Fuente: [27].

Donde:

- $V_{OC,MF}$: Tensión de circuito abierto del módulo fotovoltaico.
- N_S : Número de células fotovoltaicas conectadas en serie en cada rama. V_{C1} y V_{C2} (Figura 4.27), se las considera como una sola célula, como se menciona en la parte de asociación de las mismas.
- $V_{OC,C}$: Tensión de circuito abierto de una célula fotovoltaica. Se toma en cuenta los datos de la célula de 12 *Votios* a 2 *Watts* (Tabla 4.34), por facilidad de cálculos y considerando que todas las células trabajan en las mismas condiciones [27].

Reemplazando los valores correspondientes y realizando los respectivos cálculos, se obtiene:

$$V_{OC,MF} = (5)(15 V) = 75 V$$

4.5.4.2.5.4. Intensidad de cortocircuito del módulo fotovoltaico.

El siguiente parámetro a determinar, es la intensidad de cortocircuito del panel fotovoltaico, para ello se utiliza la Ecuación 4.38.

Ecuación 4.38. Intensidad de cortocircuito del módulo fotovoltaico.

$$I_{SC,MF} = N_P \cdot I_{SC,C} \quad (4.38.)$$

Fuente: [27].

Donde:

- $I_{SC,MF}$: Intensidad de cortocircuito del módulo fotovoltaico.
- N_P : Número de ramas conectadas en paralelo. V_{C1} y V_{C2} (Figura 4.27), se las considera como una sola célula, como se menciona en la parte de asociación de las mismas.
- $I_{SC,C}$: Intensidad en cortocircuito de una célula fotovoltaica. Se toma en cuenta los datos de la célula de 12 *Votios* a 2 *Watts* (Tabla 4.34), por facilidad de cálculos y considerando que todas las células trabajan en las mismas condiciones [27].

Reemplazando los correspondientes valores y realizando las operaciones, se obtiene:

$$I_{SC,MF} = (1)(0.200 A) = 0.200 A = 200 mA$$

4.5.4.2.5.5. Potencia del módulo fotovoltaico.

Finalmente, el último parámetro a determinar es la potencia del panel fotovoltaico, para ello se utiliza la Ecuación 4.39

Ecuación 4.39. Potencia del módulo fotovoltaico.

$$P_{MF} = N_S \cdot N_P \cdot P_C \quad (4.39.)$$

Fuente: [27].

Donde:

- P_{MF} : Potencia del módulo fotovoltaico.
- N_S : Número de células fotovoltaicas conectadas en serie en cada rama. V_{C1} y V_{C2} (Figura 4.27), se las considera como una sola célula, como se menciona en la parte de asociación de las mismas.
- N_P : Número de ramas conectadas en paralelo. V_{C1} y V_{C2} (Figura 4.27), se las considera como una sola célula, como se menciona en la parte de asociación de las mismas.
- P_C : Potencia de cada célula fotovoltaica. Se toma en cuenta los datos de la célula de 12 *Votios* a 2 *Watts* (Tabla 4.34), por facilidad de cálculos y considerando que todas las células trabajan en las mismas condiciones [27].

Reemplazando los valores correspondientes y realizando los respectivos cálculos, se obtiene:

$$I_{SC,MF} = (5)(1)(2 W) = 10 W$$

Para resumir todos los cálculos realizados se ha elaborado la Tabla 4.41, donde se muestran los parámetros eléctricos del panel o módulo fotovoltaico diseñado.

Tabla 4.41.

Parámetros eléctricos del panel fotovoltaico diseñado.

Parámetro	Detalle
Tensión eléctrica [V]	60
Intensidad [mA]	167
Tensión de circuito abierto [V]	75
Intensidad de cortocircuito [A]	200
Potencia [W]	10

Fuente: Elaboración propia.

4.5.4.2.6. Dimensionado del cableado para el panel fotovoltaico.

Debido a que el panel fotovoltaico diseñado tiene características particulares en su estructura y forma, la asociación de las células se las realizó por medio de cables conductores, por tal motivo es necesario dimensionarlo.

4.5.4.2.6.1. Selección del material del cable conductor.

En primera instancia se selecciona el material del cable, para ello se toma en cuenta los resultados de la Tabla 4.28, por lo tanto, se decide utilizar el cable de cobre flexible, esto con el fin de facilitar el manejo y la manipulación del mismo.

4.5.4.2.6.2. Cálculo de la sección mínima.

El siguiente paso es encontrar la sección mínima que deberá tener el cable, por lo cual, se utiliza la Ecuación 4.28.

Donde:

- S : Sección mínima del conductor de cobre, por criterio de caída de tensión, para líneas de corriente continua. En *milímetros cuadrados*.
- L : Longitud de la línea en *metros*.
- I : Corriente que transporta la línea en *Amperios*.
- e : Máxima caída de tensión permitida en la línea, en *Voltios*.

4.5.4.2.6.2.1. Longitud de la línea.

Para determinar la longitud que tendrá el cableado (requerimiento para la utilización de la Ecuación 4.28), se toma en como referencia, las medidas de la caja para baterías (Figura 4.25), siendo igual a $(2(0.36 + 0.34))m = 1.4 m$.

4.5.4.2.6.2.2. Corriente que transporta la línea.

El siguiente factor a determinar para utilizar la Ecuación 4.28, es la corriente que la línea va a transportar, para ello se utilizará la corriente de carga máxima de las baterías, según la Tabla 4.29, es igual a 2.10 A.

4.5.4.2.6.2.3. Máxima caída de tensión permitida en la línea.

De acuerdo a la Ecuación 4.28, se necesita conocer la máxima caída de tensión permitida en la línea, para encontrarla, se utiliza la Ecuación 4.29.

Donde:

- e : Máxima caída de tensión permitida en la línea, en *Voltios*.
- V_0 : Tensión nominal de la línea susceptible de cálculo. En este caso, es el voltaje nominal del panel fotovoltaico diseñado igual a 60 *Voltios* (Tabla 4.41.).
- $e(\%)$: Máxima caída de tensión permitida en la línea, en %. Para una línea principal y equipos igual a 5 % [83].

Reemplazando los valores respectivos en la Ecuación 4.29, se tiene:

$$e = (60 V) \frac{5 \%}{100} = 3 V$$

Con cada uno de los valores calculados y reemplazándolos respectivamente en la Ecuación 4.28, se obtiene que la sección mínima del cable conductor deber ser:

$$S = \frac{(2)(1.4 m)(2 A)}{56. (3 V)} = 0.033 mm^2$$

4.5.4.2.6.3. Cálculo del diámetro mínimo del conductor.

Como se puede observar, la sección es el equivalente al área del cable, por lo tanto, para conocer su diámetro, se utiliza el formulario de la Figura 4.12, obteniendo como resultado la Ecuación 4.30.

Donde:

- r : Radio del cable.
- S : Sección del cable. Igual a 0.033 mm^2

Reemplazando los valores respectivos se obtiene:

$$D = \sqrt{\frac{(4)(0.033 \text{ mm}^2)}{\pi}} = 0.21 \text{ mm}$$

4.5.4.2.6.4. Selección del calibre del conductor.

Para la selección del calibre del conductor se ha recurrido al catálogo de ELECTROCABLES C.A. (Anexo K) [84], donde se determina que los cables de cobre FXT, TFF y TW-F AWG #24, cumple con las condiciones requeridas, por lo cual se decide seleccionarlos para su utilización.

4.5.4.3. Fabricación del panel fotovoltaico.

Una vez que se han definidos el tipo de célula fotovoltaica a utilizar, se han validado los diseños de la estructura, se ha seleccionado el tipo de cubierta y finalmente haber encontrado los parámetros eléctricos del panel, se procede a su fabricación y ensamble, como se muestra en la Figura 4.32.

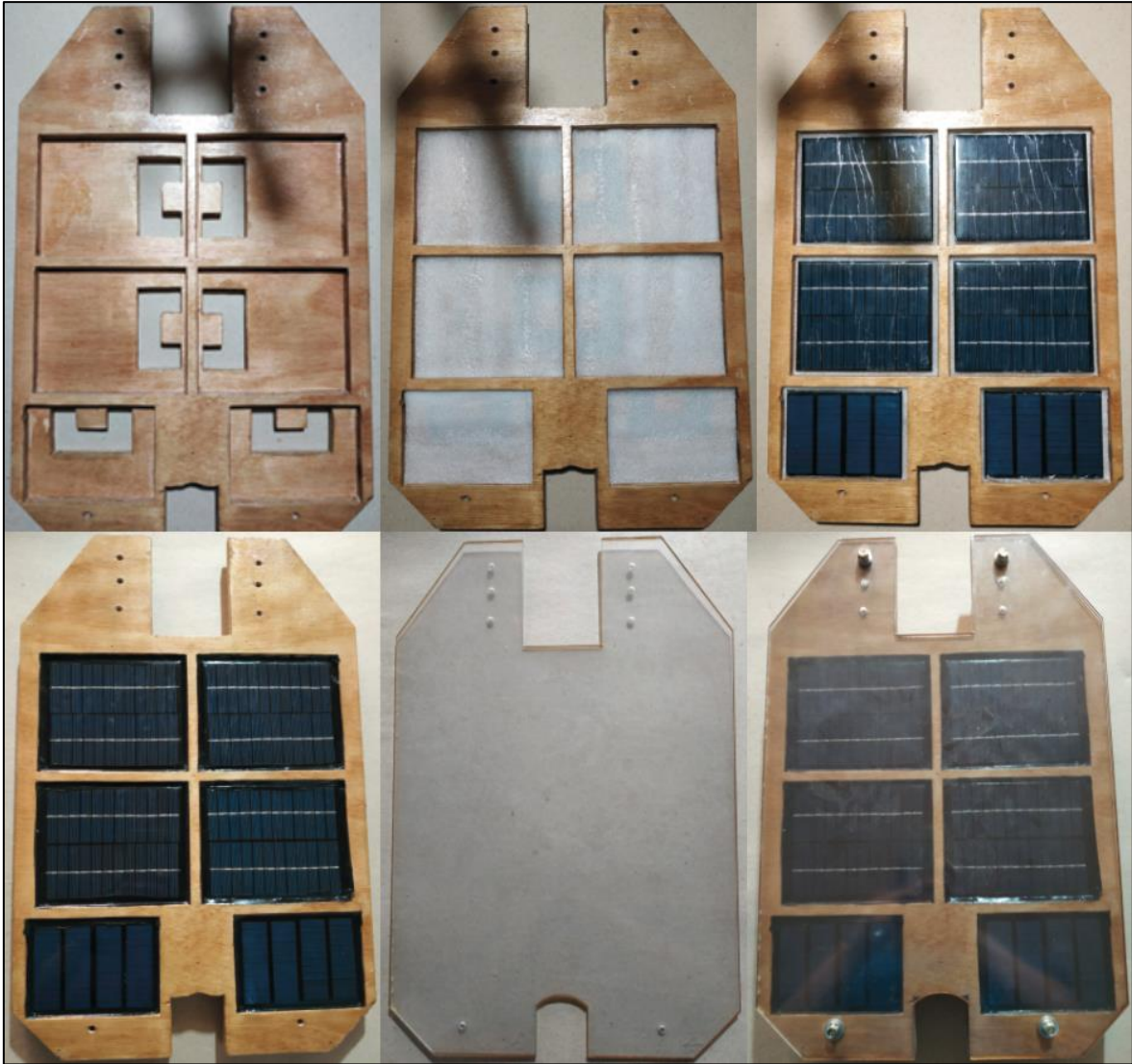


Figura 4.32. Fabricación y ensamble del panel o módulo fotovoltaico diseñado.

Fuente: Elaboración Propia.

4.5.4.4. Diseño del regulador de carga.

4.5.4.4.1. Parámetros eléctricos del regulador de carga.

4.5.4.4.1.1. Tensión máxima de carga.

La tensión de funcionamiento viene impuesta por la batería [27] y de acuerdo a la Tabla 4.29, el banco de baterías soporta un máximo de 60 *Voltios*, valor que será tomado como voltaje máximo que el regulador utilizará.

4.5.4.4.1.2. Intensidad máxima carga

La intensidad máxima de carga será en función de la batería y de acuerdo a la Tabla 4.29, para alargar la vida útil de los acumuladores, se sugiere una corriente máxima de carga de 2.10 Amperios.

4.5.4.4.1.3. Tensiones de Regulación.

Las tensiones de regulación, permiten definir en qué nivel de voltaje del banco de baterías se va a producir la conexión o desconexión de carga con el panel fotovoltaico [27], estos valores se tomaron en base a los datos de las especificaciones técnicas de las baterías (Tabla 4.27), los cuales se muestran en la Tabla 4.42.

Tabla 4.42.

Tensiones de regulación.

Tipo de Tensión	Nivel de Carga del Banco de Baterías [V]
Final de carga (V_{fc})	57.6
De rearme de carga (V_{rc})	54.8
De desconexión de consumo (V_{dc})	Lo define el driver del motor
De conexión o rearme de consumo (V_{dc})	Lo define el driver del motor

Fuente: Elaboración Propia. [27].

Nota: el valor V_{fc} , se toma a partir del voltaje de regulación en ciclos de uso y el valor V_{rc} , se toma a partir del voltaje de regulación en stand-byuse de cada batería. Se sumo y resto 0.1 V a cada valor, con el objetivo de no llegar exactamente a los límites establecidos por el fabricante.

4.5.4.4.2. Selección del tipo de regulador de carga.

Para la selección del tipo de regulador de carga, se realiza la Tabla 4.43, donde se compara los más utilizados en instalaciones solares fotovoltaicas, respectos de sus principales características.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la Tabla 4.43, se selecciona el regulador de carga tipo serie.

Tabla 4.43.

Comparación entre los tipos de reguladores de carga, utilizados en las instalaciones fotovoltaicas.

Tipo de regulador de carga	Shunt o Paralelo	Serie	MPPT
Características			
Complejidad de conexión	0.5	1	0.5
Complejidad de diseño	1	0.5	0
Eficiencia	0	0.5	1
Precio	1	1	0
Total	2.5	2	1.5

Fuente: Elaboración Propia.

Nota: La puntuación se maneja en un rango de valores de 0 a 1, siendo 1 la mejor opción.

4.5.4.4.3. Diagrama de bloques para el diseño del regulador de carga.

Una vez seleccionado el tipo de regulador de carga a diseñar, para seguir un orden y secuencia, se crea el diagrama de bloque mostrado en la Figura 4.33, el cual nos ayudará a seguir de manera ordenada todo el proceso de diseño.

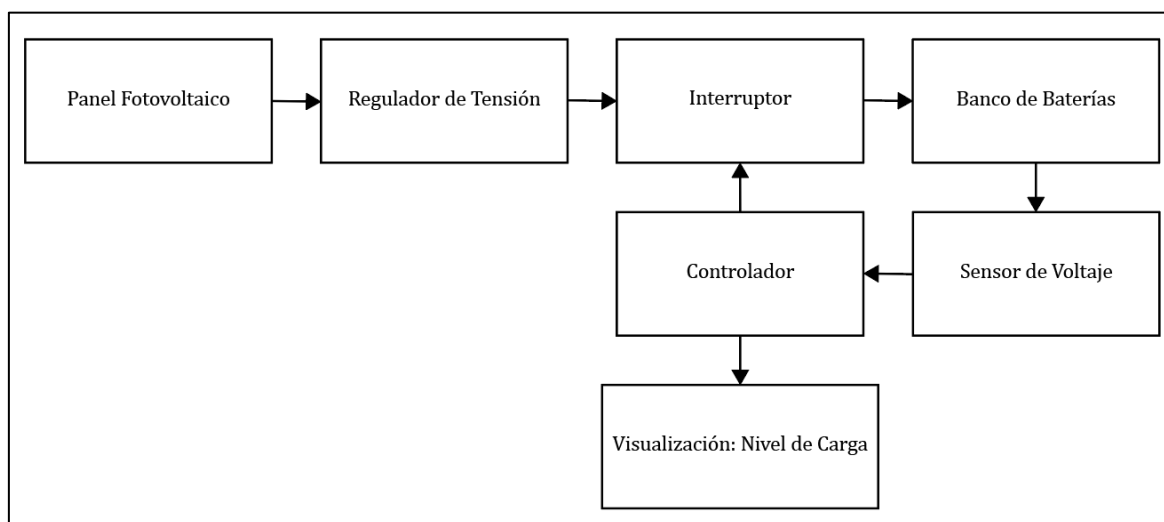


Figura 4.33. Diagrama de bloques para el diseño del regulador de carga.

Fuente: Elaboración Propia.

4.5.4.4. Diseño del regulador de tensión.

Como se estudió en la parte teórica, la tensión de salida de un módulo fotovoltaico, depende de la cantidad de energía solar que receipta, así como de los factores ambientales a los cuales se encuentra sometido (temperatura, sombra, hora del día, etc.), por tal motivo, el voltaje que provee en DC, está en constante cambio, razón por la cual, se hace necesario regularlo con el fin de no deteriorar las baterías por un exceso de tensión.

4.5.4.4.1. Selección del regulador de tensión.

Principalmente existen dos maneras conocidas para regular voltajes en DC, y estas son, por medio de la utilización de reguladores lineales o conmutados [38]; por tal motivo, se realiza la Tabla 4.44, donde se hace una comparación entre cada uno de ellos, para posteriormente seleccionar el más conveniente para nuestro diseño.

Con los resultados obtenidos en la Tabla 4.44, se selecciona el regulador de tensión lineal.

Tabla 4.44.

Comparación entre los reguladores de tensión.

Tipo de regulador	Lineal	Conmutado
Características		
Complejidad de conexión	1	0.5
Complejidad de diseño	1	0
Eficiencia	0.5	1
Precio	1	0
Total	3.5	2

Fuente: Elaboración Propia.

Nota: La puntuación se maneja en un rango de valores de 0 a 1, siendo 1 la mejor opción.

4.5.4.4.1.1. Selección del tipo de regulador lineal.

Luego de haber determinado la utilización del regulador de tensión lineal, es necesario seleccionar el tipo a utilizar, para ello se ha realizado la Tabla 4.45 donde se compara cada uno de ellos.

De la Tabla 4.45, se obtiene como resultado que el regulador lineal básico serie, es el idóneo para utilizarlo nuestro diseño, por lo tanto, se decide utilizarlo.

Tabla

4.45.

Comparación entre los tipos de reguladores lineales de tensión.

Tipo de regulador lineal	Circuito Integrado	Básico Serie
Características		
Complejidad de conexión	1	1
Complejidad de diseño	1	1
Eficiencia	0.5	1
Precio	1	0.5
Resiste altas potencias	0	1
Total	3.5	4.5

Nota: La puntuación se maneja en un rango de valores de 0 a 1, siendo 1 la mejor opción.

4.5.4.4.4.1.1.1. Diseño del regulador de tensión lineal Básico Serie.

Un regulador básico serie, está configurado principalmente por un diodo Zener, una resistencia y un transistor [94], [95], como se puede apreciar en la Figura 4.34.

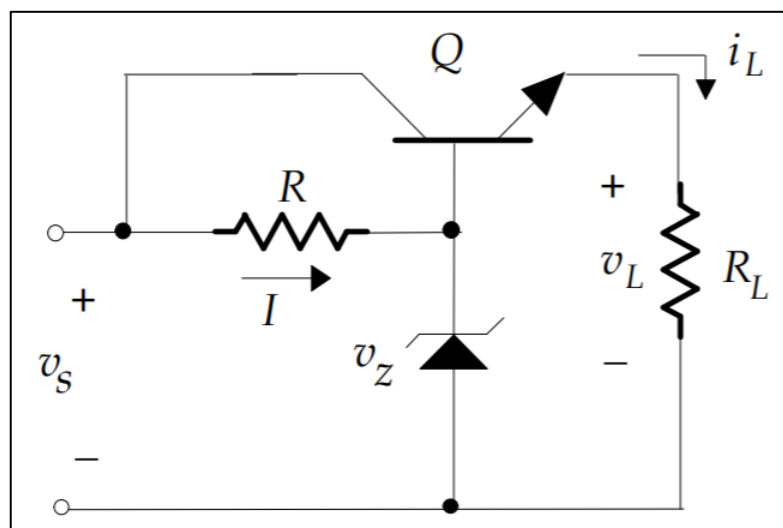


Figura 4.34. Implementación práctica de un regulador de tensión Básico Serie.

Fuente: [94].

4.5.4.4.1.1.1. Selección del transistor.

Para el diseño del regulador de tensión lineal Básico Serie, en primera instancia se debe seleccionar el tipo de transistor que se utilizará, para ello se hace necesario basarse en el voltaje y la corriente máximos a ser regulado, para este caso, es el voltaje máximo que entrega el panel fotovoltaico es igual a 75 *Voltios* (tensión de circuito abierto Tabla 4.41) y la corriente de carga máxima de la batería igual a 2.1 *Amperios* (corriente máxima de carga soportada por el banco de baterías Tabla 4.29)

Se buscó en el mercado un transistor que cumpla con dichas características y lastimosamente no se logró encontrar con facilidad, ya que la tensión a regular no es muy común, razón por la cual se decidió tomar otro tipo de alternativa.

La solución planteada, se muestra en Figura 4.35, la idea es asociar las células fotovoltaicas de tal manera que se las regule en rangos de voltaje menores, y luego de eso sumarlas (como si fueran fuentes de voltaje DC), logrando así obtener la tensión deseada.

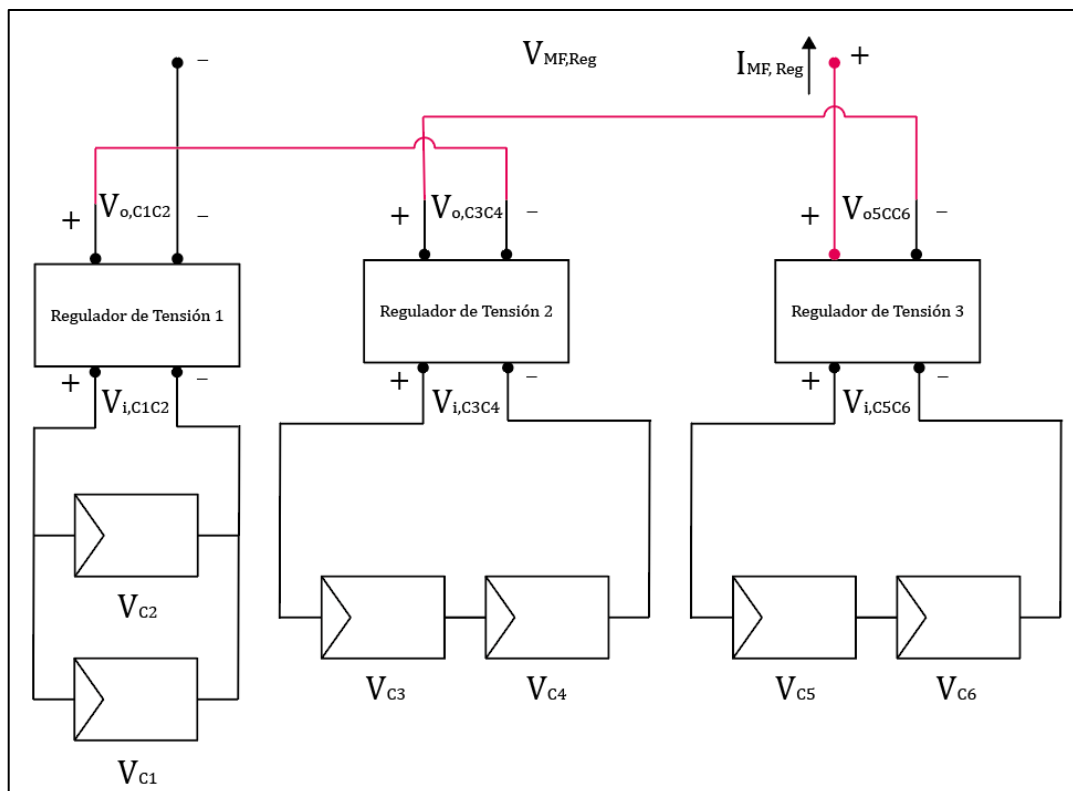


Figura 4.35. Diagrama de conexión de las células fotovoltaicas con los reguladores de tensión.

Fuente: Elaboración propia.

En base la Figura 4.35, se realiza la Tabla 4.46, donde se muestran los voltajes máximos que los reguladores de tensión deben soportar, tomando en cuenta los voltajes máximos de las células fotovoltaicas.

Tabla 4.46.

Voltajes máximos a las entradas de los reguladores de tensión, proporcionados por las células fotovoltaicas.

Símbolo	Voltaje Máximo [V]
$V_{i,C1C2}$	15
$V_{i,C3C4}$	30
$V_{i,C5C6}$	30

Fuente: Elaboración propia, Tabla 4.34, Tabla 4.35.

Tomando en consideración la Tabla 4.46, se puede observar que la mayor tensión se estarán dando en $V_{i,C3C4}$ y $V_{i,C5C6}$, con voltajes iguales a 30 V, por lo tanto, se decide buscar un transistor que soporte como mínimo el doble de dicho voltaje, logrando encontrar en el mercado el transistor TIP3055, sus principales características de funcionamiento, se muestran en su hoja de datos o datasheet expuestos en el Anexo L.

4.5.4.4.4.1.1.2. Selección diodo Zener.

En base a un análisis de la Figura 4.35, se realiza la Tabla 4.47, donde se exponen los voltajes nominales que deben entregar las celdas, luego de pasar por el regulador de tensión, los cuales están relacionados directamente con el voltaje del diodo Zener a utilizar,

Tabla 4.47.

Voltajes nominales que deben entregar las celdas fotovoltaicas, luego de pasar por el regulador de tensión.

Símbolo	Voltaje Regulado [V]
$V_{o,C1C2}$	12
$V_{o,C3C4}$	24
$V_{o,C5C6}$	24

Fuente: Elaboración propia, Tabla 4.34, Tabla 4.35.

Por lo tanto, en base a la Tabla 4.47, es necesario seleccionar un diodo Zener de 12 voltios y dos de 24 voltios, buscando en el mercado se encontraron, los que se enlistan en la Tabla 4.48

Tabla 4.48.

Diodos Zener seleccionados.

Voltaje Zener [V]	Nombre del Diodo Zener	Potencia [W]
12	1N4742	1
24	1N4749	1

Fuente: Elaboración propia, Tabla 4.34, Tabla 4.35.

Nota: La hoja de datos de cada diodo Zener se pueden ver en el Anexo M respectivamente.

4.5.4.4.4.1.1.3. Cálculo de la resistencia Zener.

Una vez que se seleccionado el transistor y los diodos Zener a utilizar, es siguiente paso, es determinar el valor de las resistencias Zener, para ello se utiliza la Ecuación 4.40.

Ecuación 4.40. Resistencia Zener.

$$R_z = \frac{v_S - v_Z}{I_Z} \quad (4.40.)$$

Fuente: [95].

Donde:

- R_z : Resistencia Zener.
- v_S : Voltaje de entrada.
- v_Z : Voltaje del diodo Zener
- I_Z : Corriente que pasa por el diodo Zener.

Como se puede ver para la utilización de la Ecuación 4.40, es necesario conocer la corriente que pasa por el diodo Zener (I_Z), para encontrarla se utiliza la Ecuación 4.41.

Ecuación 4.41. Corriente Zener.

$$I_z = \frac{P_z}{v_z} \quad (4.41.)$$

Fuente: [95].

Donde:

- I_z : Resistencia Zener.
- P_z : Potencia Zener.
- v_z : Voltaje del diodo Zener

Reemplazando los valores respectivos para un el diodo Zener de 12 *Voltios* (Tabla 4.46.) en la Ecuación 4.41, se obtiene:

$$I_z = \frac{1 \text{ W}}{12 \text{ V}} = 0.083 \text{ A} = 83 \text{ mA}$$

Reemplazando los valores respectivos para un el diodo Zener de 24 *Voltios* (Tabla 4.48.) en la Ecuación 4.41, se obtiene:

$$I_z = \frac{1 \text{ W}}{24 \text{ V}} = 0.042 \text{ A} = 42 \text{ mA}$$

Con los valores de las corrientes, se procede a calcular la resistencia Zener, reemplazando los valores respectivos en la Ecuación 4.40, para el diodo de 12 *Voltios* (Tabla 4.48. y Tabla 4.48.), se obtiene:

$$R_z = \frac{15 \text{ V} - 12 \text{ V}}{0.083 \text{ A}} = 36 \Omega$$

Finalmente, reemplazando los valores respectivos en la Ecuación 4.40, para el diodo de 24 *Voltios* (Tabla 4.48, y Tabla 4.48.), se obtiene:

$$R_z = \frac{30 \text{ V} - 24 \text{ V}}{0.042 \text{ A}} = 144 \Omega$$

Como se puede apreciar en los resultados calculados, los valores mínimos de las resistencias están en el orden de los Ohmio, por facilidad de trabajo y sobre todo por disponibilidad de este tipo de componentes en el mercado, se decide utilizar en los reguladores resistencias Zener de $1\text{ K}\Omega$, valor que se encuentra muy por arriba de los mínimos requeridos.

4.5.4.4.1.1.4. Cálculo del voltaje de salida de cada regulador de tensión.

Para determinar el voltaje que se obtendrá a la salida de cada regulador se utiliza la Ecuación 4.42.

Ecuación 4.42. Voltaje de salida de un regulador de tensión Básico Serie.

$$v_L = v_Z - 0.65V \quad (4.42.)$$

Fuente: [95].

Donde:

- v_L : Voltaje de salida del regulador de tensión Básico Serie.
- v_Z : Voltaje Zener.

Reemplazando los valores respectivos para un el diodo Zener de 12 Voltios (Tabla 4.46.) en la Ecuación 4.42, se obtiene:

$$v_L = 12\text{ V} - 0.65\text{V} = 11.35\text{ V}$$

Reemplazando los valores respectivos para un el diodo Zener de 24 Voltios (Tabla 4.46.) en la Ecuación 4.42, se obtiene:

$$v_L = 24\text{ V} - 0.65\text{V} = 23.35\text{ V}$$

4.5.4.4.1.1.5. Cálculo del voltaje nominal de salida del panel fotovoltaico, luego de pasar por los reguladores de tensión.

Tomando como referencia la Figura 4.35, se determina que, una vez las células pasen por los reguladores de tensión, se convierten en fuentes de tensión conectadas en serie, por lo tanto, para determinar el voltaje nominal regulado del módulo fotovoltaico se utiliza la Ecuación 4.43.

Ecuación 4.43. Voltaje nominal regulado del panel fotovoltaico (Sumatoria de fuentes de voltaje conectadas en serie).

$$V_{MF.Reg} = V_{o,C1C2} + V_{o,C3C4} + V_{o,C5C6} \quad (4.43.)$$

Fuente: [96].

Donde:

- $V_{MF.Reg}$: Voltaje nominal del panel fotovoltaico regulado.
- $V_{o,C1C2}$: Voltaje de salida del primer regulador de tensión (Figura 4.35). Igual a 11.35 Voltios.
- $V_{o,C3C4}$: Voltaje de salida del segundo regulador de tensión (Figura 4.35). Igual a 23.35 Voltios.
- $V_{o,C5C6}$: Voltaje de salida del tercer regulador de tensión (Figura 4.35). Igual a 23.35 Voltios.

Reemplazando los valores y realizando los cálculos respectivos en la Ecuación 4.43, se tiene:

$$V_{MF.Reg} = 11.35 V + 23.35 V + 23.35 V = 58.08 V$$

4.5.4.4.1.1.1.6. Cálculo del voltaje nominal real.

Como se vio en la parte teórica, una instalación eléctrica que está compuesta por paneles fotovoltaicos tienen caídas de tensión [27], por tal motivo el voltaje real que se tendrá a la salida del módulo tendrá esta variante, por ello es necesario determinar dicha caída, por lo cual se utiliza la Ecuación 4.29.

Donde:

- e : Máxima caída de tensión permitida en la línea, en *Voltios*.
- V_0 : Tensión nominal de la línea susceptible de cálculo. En este caso, es el voltaje del módulo fotovoltaico regulado a igual a 58.05 *V*.
- $e(\%)$: Máxima caída de tensión permitida en la línea, en %. Para una línea principal y equipos igual a 5 % [83].

Reemplazando los valores y realizando los valores respectivos, se tiene:

$$e = 58.05 \text{ V} \frac{5 \%}{100} = 2.9 \text{ V}$$

Por lo tanto, restando el valor de la caída de tensión al voltaje nominal regulado del panel fotovoltaico, se tiene el voltaje nominal real del panel fotovoltaico:

$$V_{MF.Real} = 58.08 \text{ V} - 2.9 \text{ V} = 55.18 \text{ V}$$

Como se puede apreciar, el voltaje nominal real ($V_{MF.Real}$), del panel fotovoltaico luego de pasar por los reguladores de tensión, es más alto (55.18 *V*) que el voltaje nominal del banco de baterías (48 *V*), lo cual nos garantiza al conectarlo la energía eléctrica fluirá y por lo tanto se realizará el proceso de carga.

4.5.4.4.1.1.2. Simulación del diseño del regulador de tensión.

Con el fin de validar el diseño realizado, se realizan simulaciones con ayuda del software Proteus, en su versión 8.7, para simular la asociación de células se utilizaron fuentes de voltaje DC.

4.5.4.4.1.1.2.1. Simulación del regulador de tensión, sometido a voltaje nominal, de las células fotovoltaicas asociadas.

En primera instancia se sometió al regulador de tensión al voltaje nominal de las células asociadas, como se muestra en la Figura 4.36, donde se obtuvo un voltaje de salida regulado de 59.35 V.

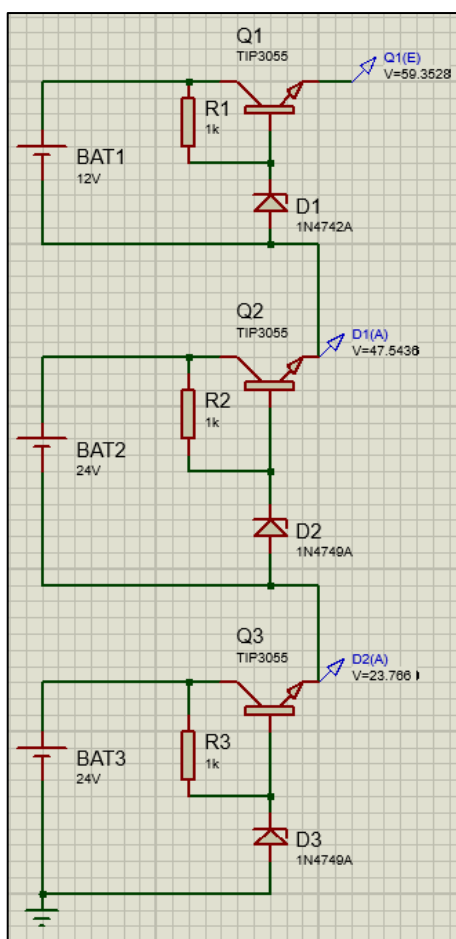


Figura 4.36. Simulación, regulador de tensión diseñado, con el voltaje nominal de las células fotovoltaicas.

Fuente: Elaboración Propia.

4.5.4.4.1.1.2.2. Simulación del regulador de tensión, sometido a voltaje en circuito abierto, de las células fotovoltaicas asociadas.

La segunda validación se realizó utilizando los voltajes en circuito abierto de las células fotovoltaicas asociadas, obteniendo a la salida del regulador, un voltaje de salida de 59.35 V, como se observa en la Figura 4.37.

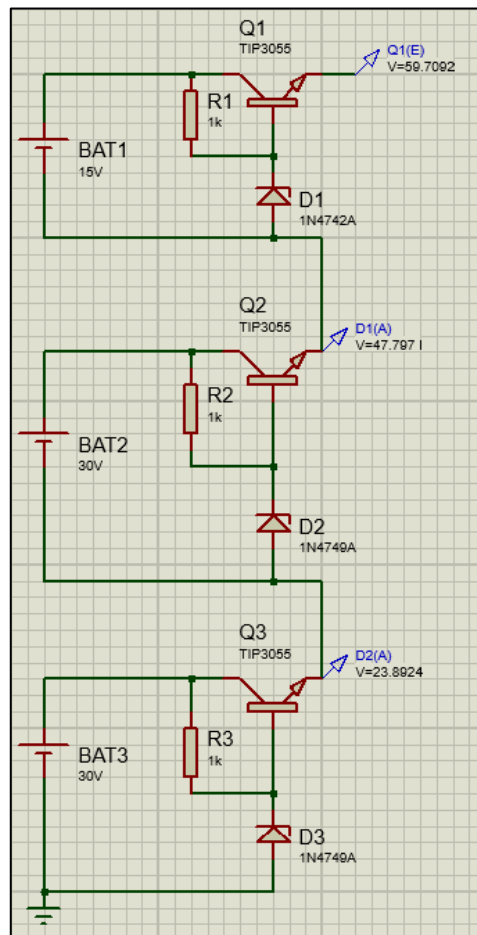


Figura 4.37. Simulación, regulador de tensión diseñado, con el voltaje en circuito abierto de las células fotovoltaicas.

Fuente: Elaboración Propia.

Como se puede observar, en las respectivas simulaciones, el regulador diseñado, trabaja de la manera deseada, por lo cual se considera el diseño como válido. Por lo tanto, se procede a armar el circuito en su respectiva placa, como se muestra en la Figura 4.38.

Para evitar daños en las células fotovoltaicas, por corrientes inversas, se colocaron diodos de protección (Anexo N.) en los terminales de la placa [27].

Los planos eléctricos y el circuito PCB se adjuntan en el

Anexo Z.

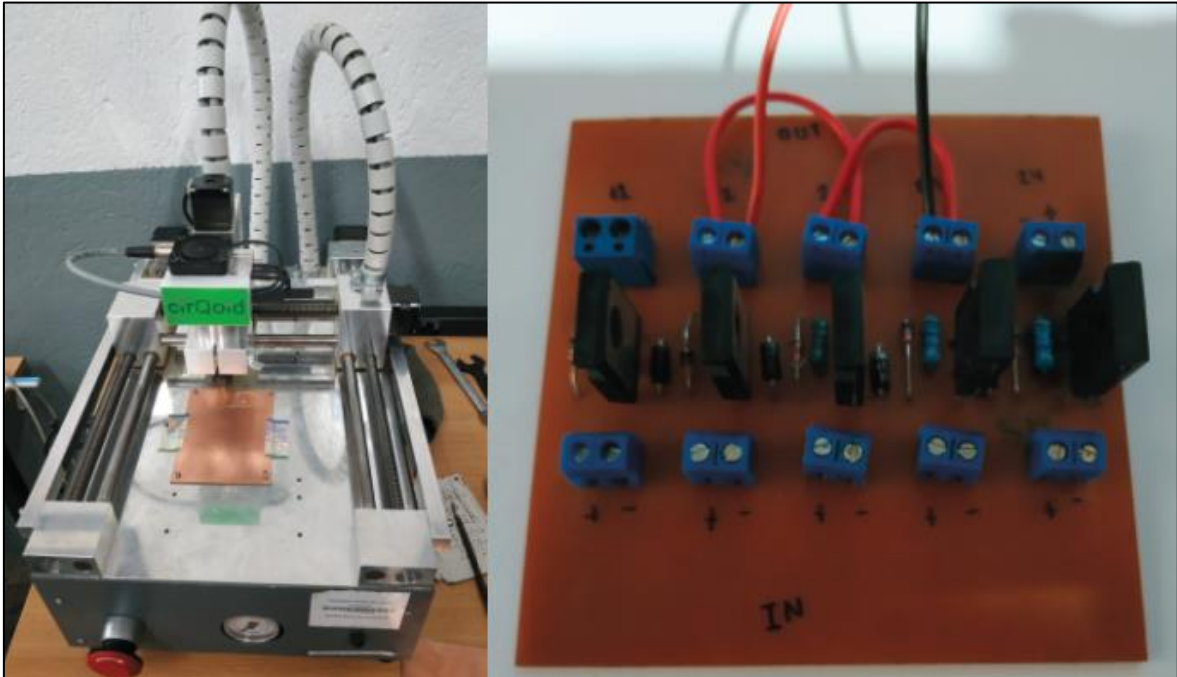


Figura 4.38. Ensamble de la placa reguladora de tensión.

Fuente: Elaboración Propia.

4.5.4.4.5. Selección del dispositivo de visualización para el nivel de carga, del banco de baterías.

Para visualizar el nivel de carga de las baterías, se hace necesario, seleccionar un dispositivo que sirva para este fin, razón por la cual se ha realizado la Tabla 4.49, donde se compara las distintas alternativas a utilizar.



De acuerdo con los resultados obtenidos en la Tabla 4.49, se decide utilizar una LCD de 2x16, como dispositivo de visualización del nivel de carga del banco de baterías.

El diagrama de conexión, así como los dispositivos que permiten el funcionamiento de la LCD, se adjuntan en el Anexo O, y en los planos eléctrico en el

Anexo Z.

Tabla 4.49.

Comparación entre los dispositivos que permiten visualizar el nivel de carga de las baterías.

Dispositivo para supervisión de estado	LCD	Diodos Led
Características		
Modelo referencial		
Fácil visualización	0.5	1
Fácil implementación	0.5	1
Proporciona datos exactos	1	0
Fácil interpretación de datos para el usuario.	1	0
Límite de datos a supervisar	1	0
Precio	0.5	1
Total	4,5	3

Fuente: Elaboración Propia, [97], [98], [99].

Nota: La puntuación se maneja en un rango de valores de 0 a 1, siendo 1 la mejor opción.

4.5.4.4.6. Selección del interruptor.

El interruptor, permitirá dejar pasar o detener la energía del panel fotovoltaico a las baterías, con el fin de cargarlas, para su selección se realiza la Tabla 4.50, donde se compara los dispositivos que se pueden utilizar para este fin.

Con los resultados obtenidos en la Tabla 4.50, se decide utilizar un interruptor de estado sólido, el cual será un relé, que se activará o desactivará, dependiendo de las instrucciones que le envíe el controlador.

Las características técnicas, dependerán del tipo de controlador a utilizar. Su conexión básica, se pueden ver en el Anexo P.

Tabla 4.50.

Comparación entre los interruptores utilizados en los controladores de carga.

Tipo de interruptor	Estado sólido	Electro mecánico	Semiconductor
Características			
Complejidad de conexión	1	1	0
Complejidad de diseño	1	0	0
Eficiencia	0.5	0	1
Automático	1	0	1
Rapidez de conmutación	0.5	0	1
Resiste altas potencias	1	1	0.5
Disponibilidad en el mercado	1	1	0.5
Precio	1	1	0.5
Total	7	4	4.5

Fuente: Elaboración Propia.

Nota: La puntuación se maneja en un rango de valores de 0 a 1, siendo 1 la mejor opción.

4.5.4.4.7. Diseño del controlador de carga.

4.5.4.4.7.1. Selección del dispositivo controlador.

El dispositivo que servirá como controlador, debe ser capaz de manejar el relé y la LCD 16x2, además de leer, los datos obtenido por el sensor de voltaje, tomando en cuenta éstas consideraciones, se decide utilizar un microcontrolador ATmega328P, ya cuenta con entradas y salidas tanto analógicas como digitales, para manejar los dispositivos antes mencionados (ver Anexo Q), cabe recalcar que en el mercado se encuentran innumerables módulos de conexión para este microcontrolador.

4.5.4.4.7.2. Diseño de la fuente de alimentación para el circuito de control.

4.5.4.4.7.2.1. Selección de la fuente de alimentación.

El microcontrolador y la LCD necesitan de una alimentación de 5 Voltios, para su funcionamiento (Anexo Q) [100], y basados en una de las plataformas de desarrollo más populares que utilizan este tipo de microcontroladores como es ARDUINO UNO, se decide seleccionar como fuente de alimentación, el regulador LM7805 (Anexo R. y Anexo S.) [101].

El banco de baterías proporciona un voltaje nominal de 48 V, hasta un máximo de 60 V, valores que el regulador LM7805 no puede soportar (la hoja de datos del regulador se adjunta en el Anexo S.), por tal motivo se hace necesario reducir dicha tensión a una admisible, por lo cual se decide utilizar el regulador lineal Básico Serie (Figura 4.34.).

4.5.4.4.7.2.2. Diseño del regulador de tensión Básico Serie para alimentar la fuente de alimentación del microcontrolador.

4.5.4.4.7.2.2.1. Selección del transistor.

El transistor a utilizar será el Tip3055, según su hoja de datos (Anexo L.) soporta hasta 60 V y como se vio en los calculo anteriores, tanto el panel como la batería no llegaran a superar dicha cantidad de energía. Cabe mencionar que hay que tener mucho cuidado de no excedernos de ese nivel de tensión, porque el transistor podría dañarse.

4.5.4.4.7.2.2.2. Selección del diodo Zener

Una vez establecido el tipo de transistor, se selecciona el diodo Zener, tomando como base, el voltaje nominal de una batería, es decir 12 V, sus principales características se pueden ver en la Tabla 4.48 y en el Anexo M.

4.5.4.4.7.2.2.3. Cálculo de la resistencia Zener.

Una vez que se seleccionado el transistor y los diodos Zener a utilizar, es siguiente paso, es determinar el valor de las resistencias Zener, para ello se utiliza la Ecuación 4.40.

Donde

- R_z : Resistencia Zener.
- v_s : Voltaje de entrada. Igual a 60 V (se toma el voltaje máximo que puede soportar el banco de baterías).
- v_z : Voltaje del diodo Zener. Igual a 12 V (Tabla 4.48).
- I_z : Corriente que pasa por el diodo Zener.

Como se puede ver para la utilización de la Ecuación 4.40, es necesario conocer la corriente que pasa por el diodo Zener (I_z), para encontrarla se utiliza la Ecuación 4.41.

Donde:

- I_z : Resistencia Zener.
- P_z : Potencia Zener. Igual a 1 W (Tabla 4.48).
- v_z : Voltaje del diodo Zener. Igual a 12 V (Tabla 4.48).

Reemplazando los valores respectivos para un el diodo Zener de 12 Voltios, en la Ecuación 4.41, se obtiene:

$$I_z = \frac{1 W}{12 V} = 0.083 A = 83 mA$$

Con este valor de corriente, se procede a calcular la resistencia Zener, reemplazando los valores respectivos en la Ecuación 4.40, se obtiene:

$$R_z = \frac{60 V - 12 V}{0.083 A} = 578.81 \Omega$$

Como se puede apreciar el valor de la resistencia no es comercial, por lo tanto, se busca una que supere dicha cantidad, se decide utilizar una resistencia de $1\text{ K}\Omega$ (doble del valor calculado).

4.5.4.4.7.2.2.4. Cálculo del voltaje de salida de cada regulador de tensión.

Para determinar el voltaje que se obtendrá a la salida de cada regulador se utiliza la Ecuación 4.42.

Donde:

- v_L : Voltaje de salida del regulador de tensión Básico Serie.
- v_Z : Voltaje Zener. Igual a 12 V (Tabla 4.46.).

Reemplazando los valores respectivos para un el diodo Zener de 12 Voltios en la Ecuación 4.42, se obtiene:

$$v_L = 12\text{ V} - 0.65\text{ V} = 11.35\text{ V}$$

Si se analiza la hoja de datos del regulador 7805 (Anexo S.) se puede decir que el valor de 11.35 V , es suficiente para alimentarlo sin que exista ningún tipo de problema por diferencias de potencial, lo que equivale a que no se necesitará utilizar ningún tipo de disipador de calor.

4.5.4.4.7.2.3. Conexión del regulador LM7805.

Para la conexión del regulador LM7805, nos basaremos en el esquema mostrado en la Figura 4.39, además, como recomo protecciones se utilizará las recomendaciones del Anexo R, donde se utiliza un diodo 1N4007 en la entrada y un led indicador de funcionamiento en su salida y condensadores electrolíticos como filtros. Las conexiones finales y todos los implementos utilizados, se muestran en los planos eléctricos, adjuntados en el

Anexo Z.

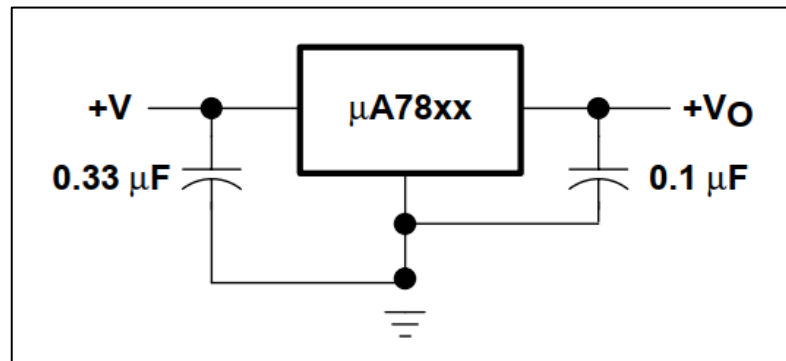


Figura 4.39. Conexión para el regulador LM7805.

Fuente: [102], Anexo S.

4.5.4.4.7.2.4. Simulación de la fuente de alimentación para el circuito de control diseñada.

Para validar el funcionamiento de la fuente diseñada para el circuito de control, se realizaron simulaciones con ayuda del software Proteus, en su versión 8.7. Las baterías fueron representadas con una fuente de tensión DC.

4.5.4.4.7.2.4.1. Simulación de la fuente de alimentación para el circuito de control diseñada, con voltaje máximos de las baterías.

En primer lugar, se realizó la simulación utilizando el voltaje máximo que pueden soportar las baterías (60 V), y como se puede apreciar en la Figura 4.40, a la salida de la fuente diseñada se obtiene 5 V, como se esperaba.

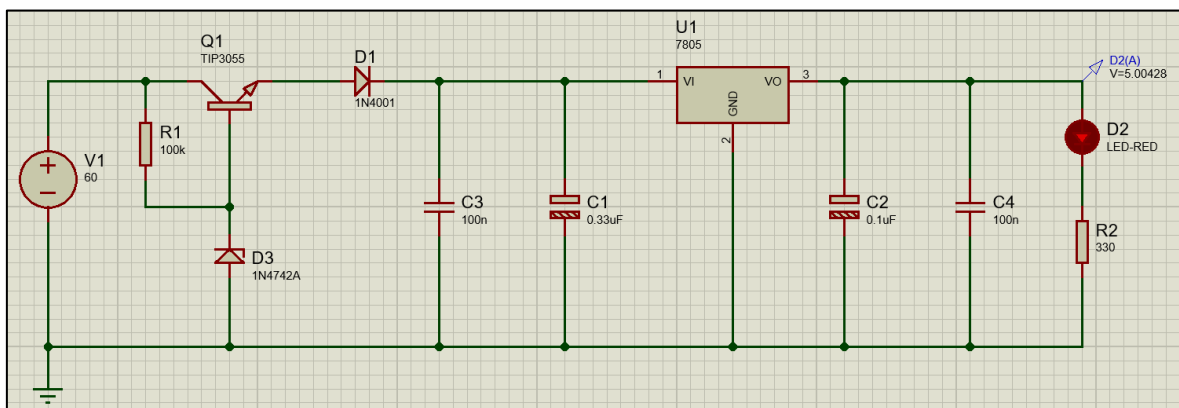


Figura 4.40. Simulación, fuente de alimentación para el circuito de control diseñada, con voltaje máximo de las baterías.

Fuente: Elaboración Propia.

4.5.4.4.7.2.4.2. Simulación de la fuente de alimentación para el circuito de control diseñada, con voltaje nominal de las baterías.

Finalmente, se realizó la simulación utilizando el voltaje nominal de las baterías (48 V), y como se puede apreciar en la Figura 4.41, a la salida de la fuente diseñada se obtiene 5 V, como se esperaba.

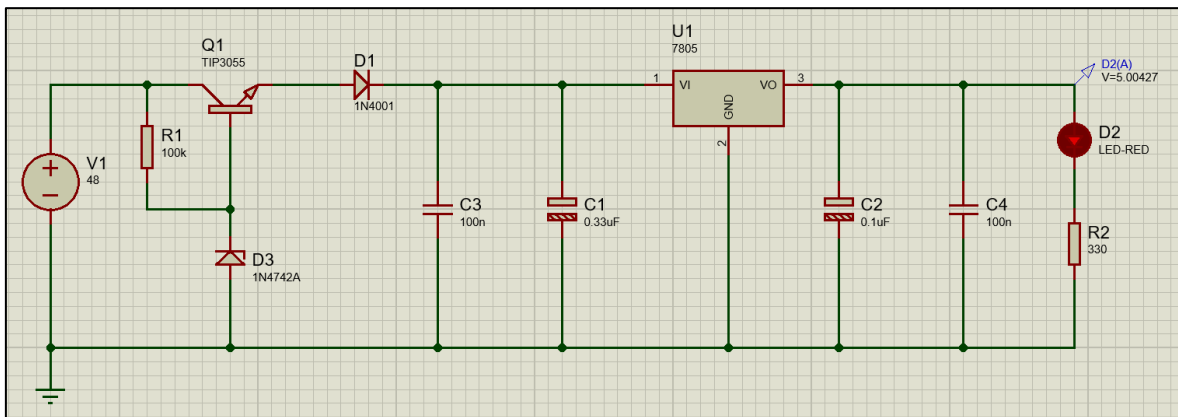


Figura 4.41. Simulación, fuente de alimentación para el circuito de control diseñada, con voltaje nominal de las baterías.

Fuente: Elaboración Propia.

Una vez que se han validado el diseño teórico con las simulaciones, se concluye en que la fuente diseñada es apta para su fabricación y su ensamble.

Las conexiones, así como los dispositivos a utilizarse en la fuente, se encuentran indicados en los planos eléctricos, adjuntados en el

Anexo Z.

4.5.4.4.8. Diseño del Sensor de Voltaje.

Para conocer el estado de carga de las baterías, es necesario irlo midiendo. Como se vio en la parte teórica, la manera más fácil de medir dicho nivel de carga es por medio del voltaje, ya que este va variando, dependiendo del estado de la carga, por esta razón se ha decidido diseñar un sensor de voltaje.

El sensor de voltaje, es diseñado a partir de la idea de un divisor de voltaje mostrado en la Figura 4.42. Asumiendo R_2 a igual a $10\text{ K}\Omega$ (resistencia comercial), el voltaje de entrada del microcontrolador igual a 4 Voltios (de acuerdo a la hoja de datos el microcontrolador puede soportar hasta 5.5 V en una entrada analógica, pero por cuestiones de seguridad se proporcionará únicamente hasta un voltaje de 4 V), y el voltaje de carga máxima del banco de baterías equivalente a 60 V , se realiza los respectivos cálculos utilizando la Ecuación 4.44.

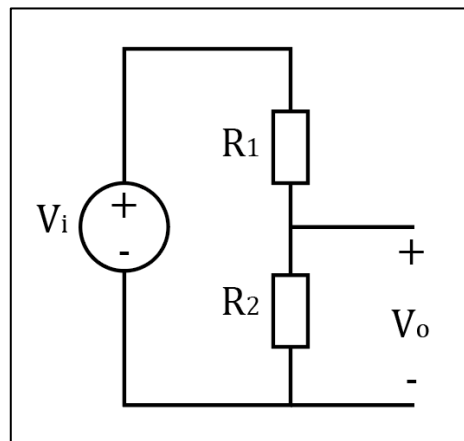


Figura 4.42. Circuito Divisor de Voltaje.

Fuente: Elaboración Propia.

Ecuación 4.44. Primera resistencia de un divisor de voltaje.

$$R_1 = \frac{R_2 \cdot V_i}{V_o} - R_2 \quad (4.44.)$$

Fuente: [96].

Donde:

- R_1 : Primera resistencia del divisor de voltaje.
- R_2 : Segunda resistencia del divisor de voltaje.
- V_i : Voltaje de entrada. Igual a 60 V (Carga máxima soportado por el banco de baterías)
- V_o : Voltaje de salida. Igual a 4 V.

Reemplazando los valores correspondientes y realizando los cálculos respectivos, se tiene:

$$R_1 = \frac{10000 \Omega (60 V)}{4 V} - 10000 \Omega = 140000 \Omega = 140 K\Omega$$

Como en el mercado no existen resistencias de 140 K Ω , se vio la necesidad de colocar una de 120 K Ω y otra de 20 K Ω en serie que sumadas dará el valor de R_1 .

4.5.4.4.8.1. Simulación del sensor de voltaje diseñado.

Para validar el funcionamiento del sensor de voltaje diseñado, se realizaron simulaciones con ayuda del software Proteus, en su versión 8.7. Las baterías fueron representadas con una fuente de tensión DC.

4.5.4.4.8.1.1. Simulación del sensor de voltaje diseñado, con voltaje máximo de las baterías.

La primera simulación, que se realizó, fue con el voltaje máximo que soporta el banco de baterías (60 V), se puede observar en la Figura 4.43, dando como resultado a la salida del sensor, un valor de 4 V, que es igual al calculado.

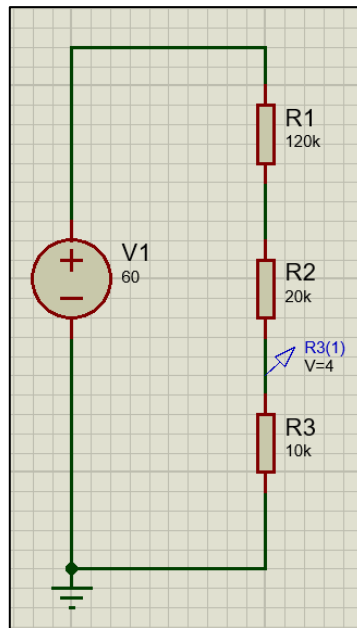


Figura 4.43. Simulación, sensor de voltaje diseñado, con voltaje máximo del banco de baterías.

Fuente: Elaboración Propia.

4.5.4.4.8.1.2. Simulación del sensor de voltaje diseñado.

La segunda simulación realizada (Figura 4.44), fue, utilizando el voltaje nominal del banco de baterías (48 V), dando a la salida del sensor de voltaje, un valor igual a 3.2 V.

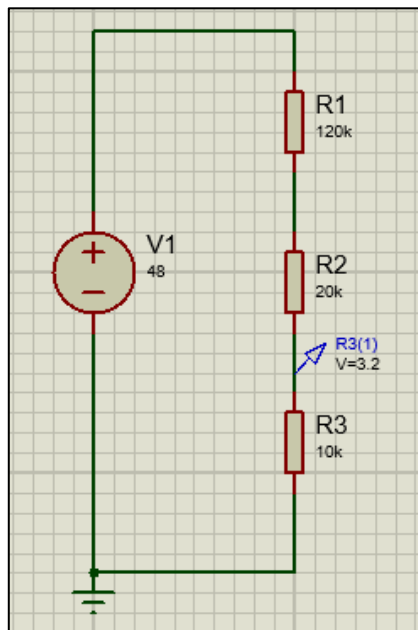


Figura 4.44. Simulación, sensor de voltaje diseñado, con voltaje nominal del banco de baterías.

Fuente: Elaboración Propia.

4.5.4.4.8.1.3. Simulación del sensor de voltaje diseñado.

Finalmente se realizó la simulación, con el voltaje de baterías totalmente descargado (42 V), dando a la salida del sensor diseñado, un valor de 2.8 V.

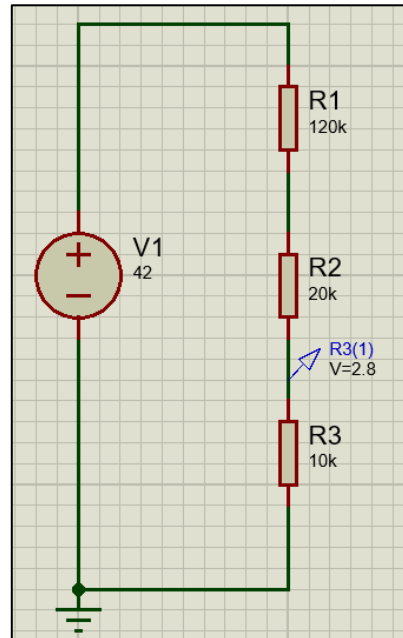


Figura 4.45. Simulación, sensor de voltaje diseñado, con el banco de baterías descargado.
Fuente: Elaboración Propia.

Una vez que se ha comprobado el funcionamiento del sensor de voltaje diseño, con las simulaciones y viendo que los resultados, son los esperados, se concluye en que el diseño es válido y apto para su ensamble y utilización.

4.5.4.4.8.2. Protecciones.

Si en un caso extremo, el sensor falla y excede el voltaje permitido, por el microcontrolador, se implementa un diodo Zener de 5 Voltios en paralelo con la salida del sensor (Anexo R), lo cual garantizará que la entrada analógica no se dañe, además por software leerá este voltaje como carga llena en la batería, por lo tanto, el cargador enviará la menor cantidad de energía hacia las baterías.

Todas las conexiones, así como las protecciones para las entradas del microcontrolador utilizadas, se pueden ver en el Anexo R, y en los planos eléctricos adjuntados en el

Anexo Z.

4.5.4.4.9. Equivalencias de voltajes del banco de baterías con el sensor y su nivel porcentual de carga.

Una vez diseñado el sensor de voltaje, se hace necesario conocer las equivalencias entre el voltaje del banco de baterías con el voltaje que el sensor entrega al microcontrolador, para ello se ha realizado la Tabla 4.51, donde se puede ver estos valores, además se ha agregado el equivalente porcentual correspondiente al estado de carga de las baterías.

Tabla 4.51.

Equivalencias de voltajes del banco de baterías con el sensor y su nivel porcentual de carga.

Voltaje del banco de baterías [V]	Voltaje del sensor [V]	Porcentaje de carga [%]
60	4	100
59	3.93	94.44
58	3.86	88.89
57	3.8	83.33
56	3.73	77.78
55	3.66	72.22
54	3.6	66.67
53	3.53	61.11
52	3.46	55.56
51	3.4	50
50	3.33	44.44
49	3.26	38.89
48	3.2	33.33
47	3.13	27.78
46	3.06	22.22
45	3	16.67
44	2.93	11.11
43	2.86	5.56
42	2.8	0

Fuente: Elaboración Propia.

4.5.4.4.10. Diseño del algoritmo para el regulador de carga.

Una vez que se ha diseñado y validado las parte físicas (hardware) del regulador de carga, se procede a diseñar la parte de software o programa con el cual el microcontrolador va a trabajar, para ello se ha diseñado el algoritmo representado en el diagrama de flujo de la Figura 4.46.

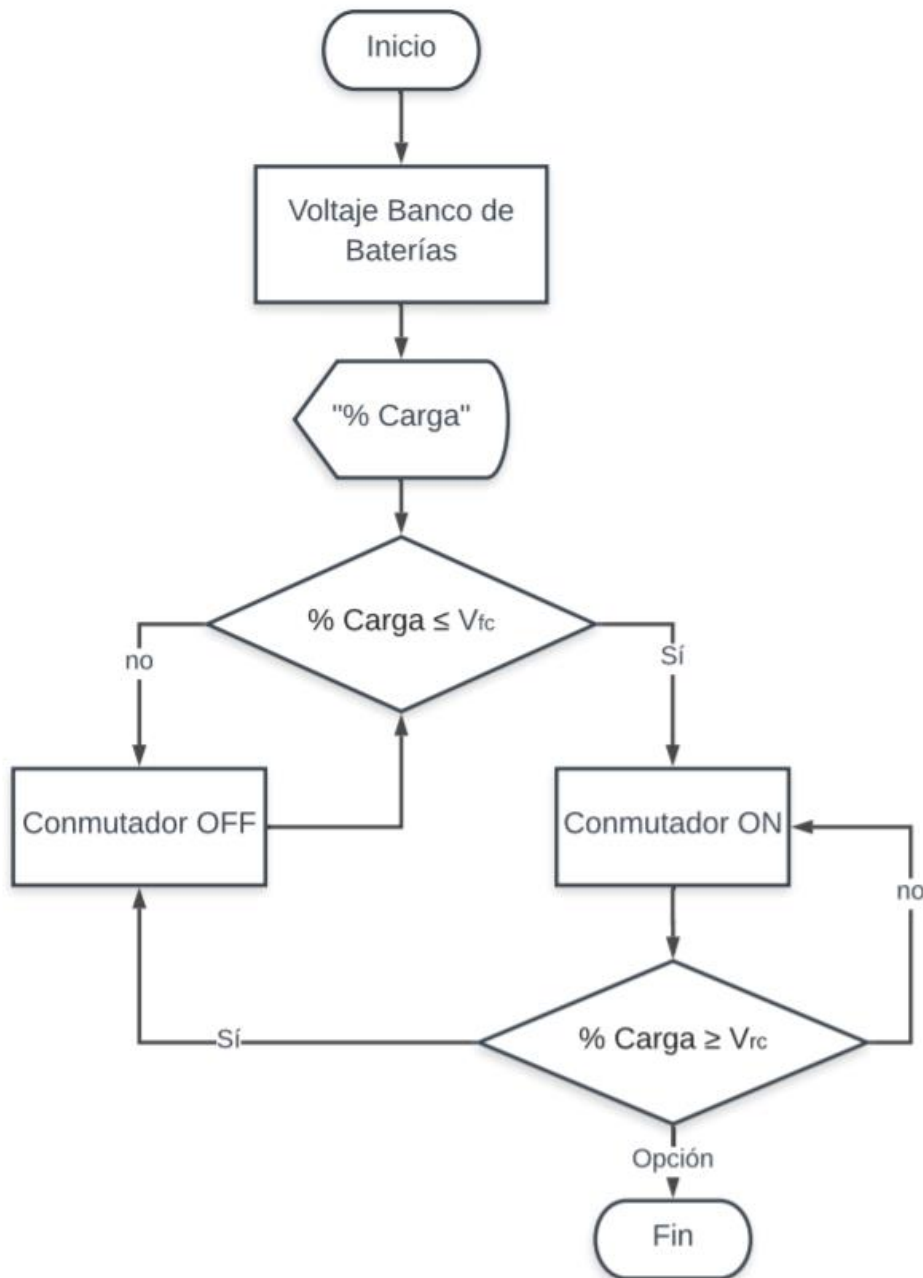


Figura 4.46. Diagrama de flujo para el algoritmo de trabajo a implementar en el microcontrolador.

Fuente: Elaboración Propia.

4.5.4.4.10.1. Tensiones de regulación, con su valor equivalente de censado y representación porcentual de carga.

Los valores de las tensiones de regulación V_{fc} y V_{rc} , expuestas en el algoritmo de la Figura 4.46, se indican en la Tabla 4.52, estos fueron tomados en base a las características técnicas de la batería de la Tabla 4.27 y de los parámetros de tensiones de regulación de la Tabla 4.42.

Tabla 4.52.

Tensiones de regulación, con sus valores equivalentes de censado y su representación porcentual de carga.

Tensión de Regulación	Voltaje del Banco de Baterías [V]	Voltaje en el Sensor [V]	Porcentaje de Carga [%]
(V_{fc})	57.6	3.84	86.67
(V_{rc})	54.8	3.65	71.11

Fuente: Elaboración Propia.

Cabe mencionar que los valores de las tensiones de regulación, pueden ser cambiado vía software. El programa en lenguaje C se adjunta en el Anexo V.

4.5.4.4.11. Simulaciones del controlador de carga diseñado.

Para comprobar el funcionamiento del controlador de carga diseñado, se hace uso del software Proteus, en su versión 8.7. Para representar al sensor de voltaje y sus variaciones, se utiliza una fuente DC de 5 V conectada a un potenciómetro y este a su vez se conecta al pin de lectura del microcontrolador (PC6), para verificar la conmutación, se mide el voltaje a la salida de pin PB1.

4.5.4.4.11.1. Simulaciones del controlador de carga diseñado, con las baterías totalmente descargadas.

Se realizó la simulación del controlador diseñado, cuando el banco de baterías está totalmente descargado (42 V) y como se puede ver en la Figura 4.47, a la salida de pin PB1 se tienen un voltaje de 5 V, lo que encenderá al interruptor y este a su vez hará pasar la energía del panel fotovoltaico a las baterías, por lo tanto, en esta prueba el controlador es considerado válido.

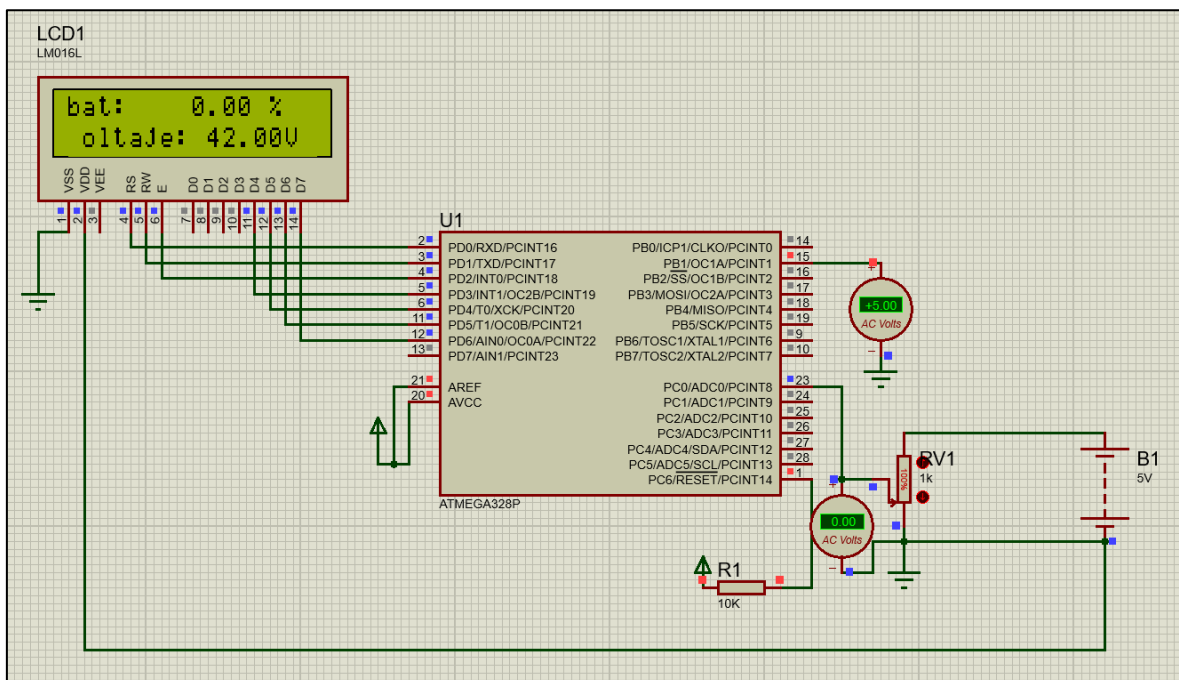


Figura 4.47. Simulación, controlador de carga, con el banco de baterías totalmente descargado.

Fuente: Elaboración Propia.

4.5.4.4.11.2. Simulaciones del controlador de carga diseñado, con la tensión de rearme de carga.

La segunda simulación, se la realizó, tomando en cuenta la tensión de rearme de carga (V_{rc} equivalente a 3.65 V), como se puede ver en la Figura 4.48, a la salida de pin PB1 se tienen un voltaje de 5 V, lo que encenderá al interruptor y este a su vez hará pasar la energía del panel fotovoltaico a las baterías, por lo tanto en esta prueba el controlador es considerado válido.

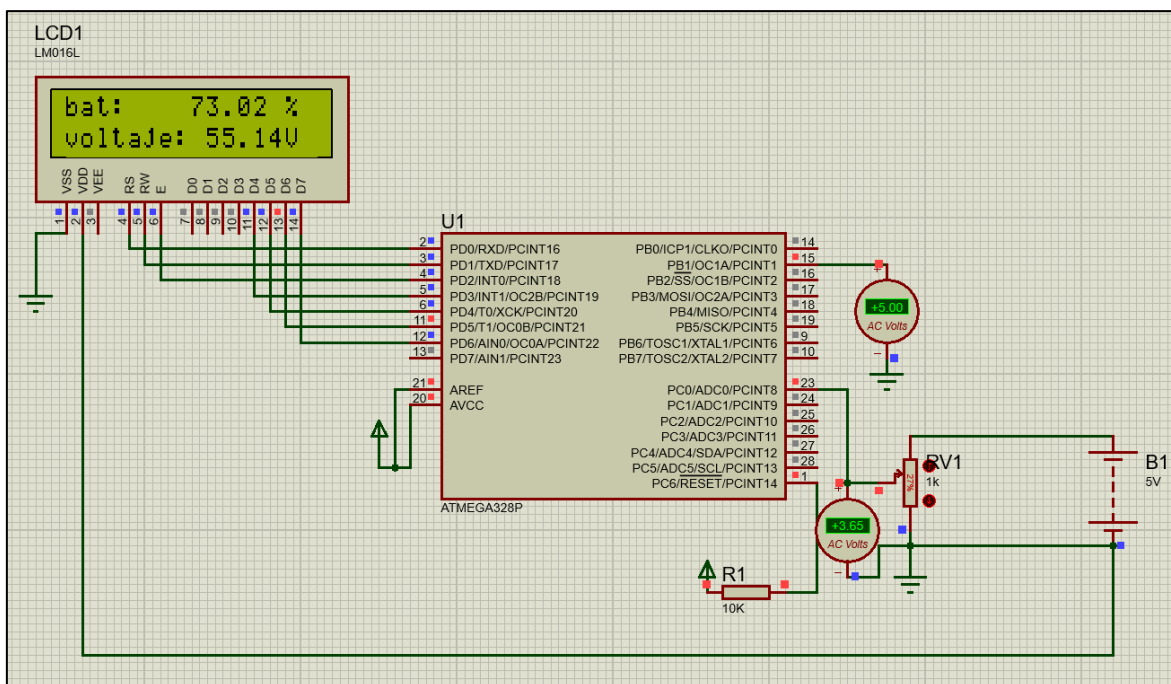


Figura 4.48. Simulación, controlador de carga, con la tensión de rearme de carga.

Fuente: Elaboración Propia.

4.5.4.4.11.3. Simulaciones del controlador de carga diseñado, con el banco de baterías en su máximo nivel de cargada.

La tercera simulación, se la realizó, tomando al banco de baterías en su máximo nivel de carga (60 V), como se puede ver en la Figura 4.49, a la salida de pin PB1 se tienen un voltaje de 0 V, lo que apagar al interruptor y por lo tanto el paso de energía del panel fotovoltaico a las baterías se detendrá, con todo lo mencionado, en esta prueba el controlador es considerado válido.

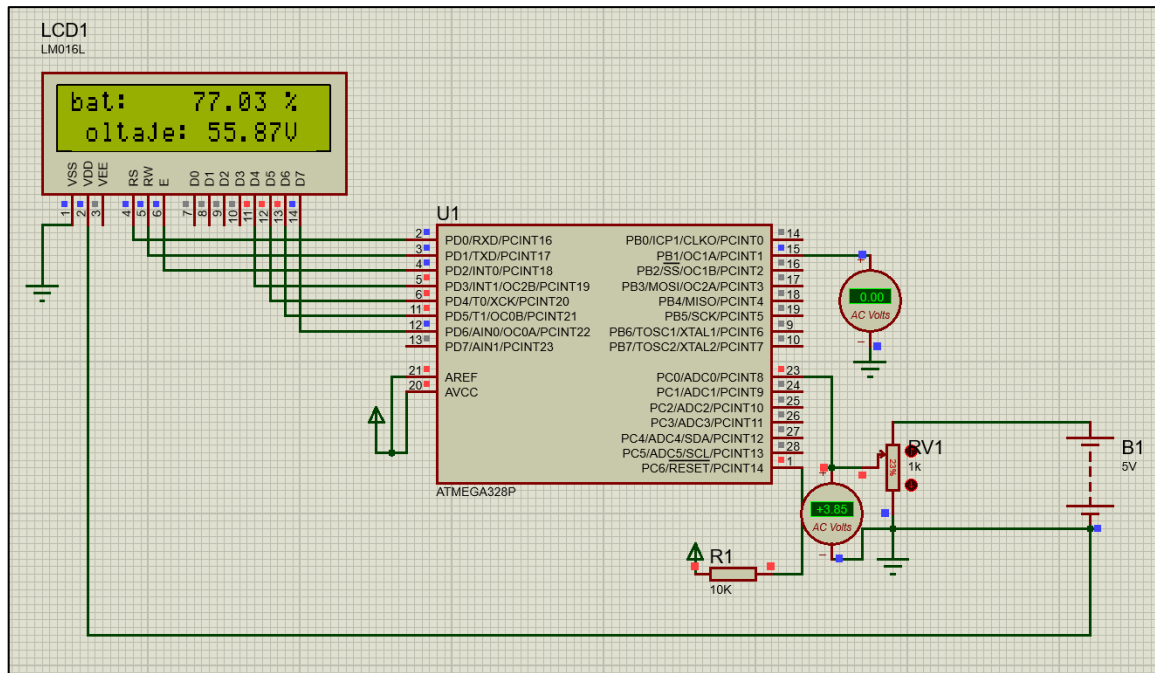


Figura 4.49. Simulación, controlador de carga, con el banco de baterías en su máximo nivel de carga.

Fuente: Elaboración Propia.

4.5.4.4.11.4. Simulaciones del controlador de carga diseñado, con la tensión final de carga.

Finalmente, se realizó la simulación, tomando como referencia la tensión final de carga (V_{fc} equivalente a 3.84 V), como se puede ver en la Figura 4.50, a la salida de pin PB1 se tienen un voltaje de 0 V, lo que apagar al interruptor y por lo tanto el paso de energía del panel fotovoltaico a las baterías se detendrá, con todo lo mencionado, en esta prueba el controlador es considerado válido.

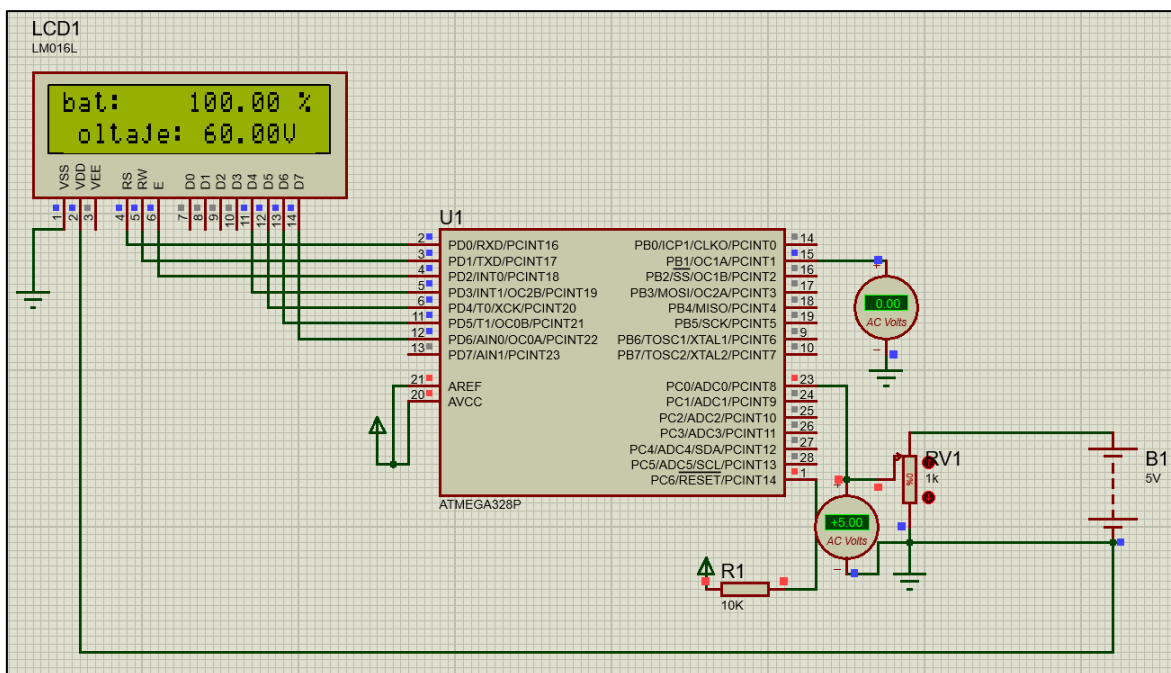


Figura 4.50. Simulación, controlador de carga, con la tensión final de carga.

Fuente: Elaboración Propia.

4.5.4.4.12. Fabricación y ensamble del circuito controlador de carga.

Una vez que se ha validado el funcionamiento del controlador de carga diseñado, se procede a su fabricación y ensamble, obteniendo como resultado la placa mostrada en la Figura 4.51.

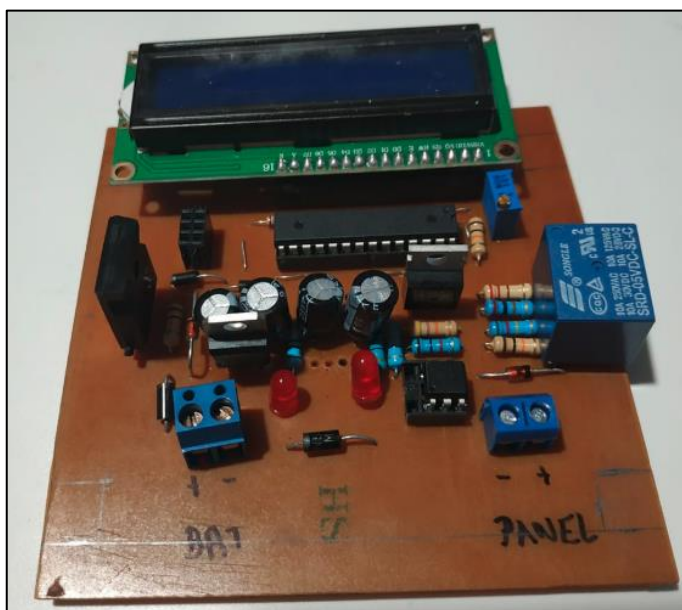


Figura 4.51. Placa controladora de carga fabricada y ensamblada.

Fuente: Elaboración Propia.

Nota: Finalmente se seleccionó un relé de 5V, esto con el fin de utilizar la fuente que alimenta al microcontrolador, y para aislarlo del mismo se utilizó el optoacoplador 4N35 (Anexo W y Anexo X). Cabe mencionar que, durante las pruebas, el transistor TIP3055 utilizado en el regulador para la fuente del microcontrolador, tiende a elevar su temperatura, razón por la cual se tomó la decisión de acoplarle un dissipador de calor. Finalmente se recuerda, que las conexiones, así como cada uno de los dispositivos utilizados en el circuito controlador de carga, se encuentran en los planos eléctricos, adjuntados en el

Anexo Z.

4.6. Pruebas de Funcionamiento.

4.6.1. Pruebas de conducción.

Se realizaron pruebas de conducción con el scooter eléctrico ensamblado, con un conductor de 70 kg (Figura 4.52.); donde se obtuvo los siguientes resultados:



Figura 4.52. Pruebas de conducción.

Fuente: Elaboración Propia.

- **Conducción en línea recta:** El vehículo, se mantiene estable, aun cuando se pasa sobre algún tipo de grieta u pequeño obstáculo del camino.
- **Conducción en curvas:** Tiende a desequilibrar un poco, razón por la cual en futuras experimentaciones se recomienda utilizar ruedas más anchas.
- **Sistema de frenos:** El sistema de frenos tanto delantero como traseros, responden de buena manera, en altas como en bajas velocidades.

- **Suspensión delantera:** La suspensión delantera tiene buen funcionamiento, esto se comprobó pasando por grietas, y se pudo sentir que el volante no sufre desequilibrio alguno.
- **Suspensión trasera:** Tiende a comprimirse con un rango considerable sobre todo en carreteras con grietas, por lo tanto, en futuros ensambles, se recomienda utilizar amortiguadores de mayor capacidad o un modelo diferente.
- **Sistema de transmisión de movimiento:** El sistema de transmisión, se mostró estable, en bajas como en altas velocidades, pero siempre se recomienda supervisar el nivel de tensión de la cadena, para evitar cualquier tipo de daño o inconveniente al momento de conducir.

4.6.2. Pruebas de velocidad.

Se realizaron pruebas de velocidad para el scooter eléctrico en línea recta y en carretera sobre asfalto, logrando alcanzar velocidades de hasta 45 *Km/h*, como se puede ver en la Figura 4.53.



Figura 4.53. Pruebas de velocidad para el scooter eléctrico en línea recta.

Fuente: Elaboración Propia.

4.6.3. Pruebas del panel fotovoltaico.

Para comprobar el funcionamiento del panel fotovoltaico, se realizaron pruebas tanto de voltaje como de corriente.

4.6.3.1. Pruebas de voltaje, para el panel fotovoltaico.

El panel fotovoltaico, luego de pasar por la placa reguladora de voltaje, proporciona un voltaje nominal de 55.9 Voltios , en un día de claridad promedio, como se muestra en la Figura 4.54. Cabe recalcar que estos valores, se asemejan mucho a los calculados en el proceso de diseño.



Figura 4.54. Pruebas de voltaje nominal suministrado por el panel fotovoltaico, luego de pasar por la placa reguladora de voltaje.

Fuente: Elaboración Propia.

4.6.3.2. Pruebas de corriente, para el panel fotovoltaico.

En un día de luz promedio, el panel conectado a la placa reguladora, proporciona una corriente nominal de 160 mA , como se muestra en la Figura 4.55. De igual manera, estos valores se asemejan mucho a los calculados en el proceso de diseño.



Figura 4.55. Pruebas de corriente nominal, suministrado por el panel fotovoltaico, luego de pasar por la placa reguladora de voltaje.

Fuente: Elaboración Propia.

4.6.4. Pruebas del regulador de carga.

Principalmente se realizaron pruebas para el sensor de voltaje, esto debido a que, dependiendo de los valores censados, el regulador de carga enviará o no la energía hacia las baterías.

4.6.4.1. Porcentaje de error del sensor de voltaje.

Para determinar el porcentaje de error de medición que tiene el sensor de voltaje, se realizó una comparación de los mismo, para ellos se midió el voltaje del banco de baterías utilizando un multímetro digital, el cual da un valor de 54.3 Voltios (Figura 4.56), contra 55.0 Voltios, medidos por el sensor diseñado, resultando una diferencia de 0.7 Voltios, equivalente a un error del 1.27 %, por lo cual se lo considera aceptable.



Figura 4.56. Voltaje de las baterías medidas con un multímetro digital.

Fuente: Elaboración Propia.



Figura 4.57. Voltaje de las baterías medidas con el sensor de voltaje diseñado.

Fuente: Elaboración Propia.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones.

- Se ha ensamblado un scooter eléctrico tipo patinete con un 30% de partes fabricadas a nivel nacional.
- El scooter eléctrico ensamblado tiene la capacidad de transportar a una persona de hasta 85 Kg y una carga extra de 10 Kg, logrando alcanzar una velocidad máxima de 45 Km/h en línea recta.
- El soporte para las baterías fue diseñado tomando en cuenta el peso de los acumuladores, logrando obtener un factor de seguridad igual a 2.87, y de acuerdo a la teoría consultada se lo puede considerar apto para ser utilizado en un vehículo.
- El sistema de carga de baterías con energía no convencional, se realizó por medio de la implementación de un panel fotovoltaico y un regulador de carga, los cuales fueron diseñados, tomando en cuenta un área estratégica dentro del scooter y las capacidades de carga de los acumuladores, con el objetivo de no perjudicar su vida útil, obteniendo como resultado un sistema que entrega una tensión nominal de 56 V y una corriente nominal de 160 mA.

5.2. Recomendaciones.

- Para aumentar la potencia de cargar por medio de paneles fotovoltaicos, se recomienda utilizar el área que se encuentra sobre el basculante, que a su vez servirá como protección para el motor, como también se puede fabricar una estructura que sirva como techo para el conductor y sobre ésta, colocar los paneles.
- Al momento de ensamblar un scooter eléctrico, se recomienda adquirir las piezas en conjunto, esto hará que el precio de adquisición de componentes resulte económico.
- En futuros prototipos de scooters eléctrico, se recomienda utilizar ruedas de mayor anchura, con el fin de mejorar la estabilidad del vehículo.
- Se recomienda realizar alianzas con fabricantes de piezas de este tipo de vehículos, para incentivar a producir estos elementos a nivel nacional.
- El prototipo de scooter eléctrico, quedará en los laboratorios de la universidad, para continuar con futuros estudios y mejoras de cada uno de los sistemas que lo componen, así como para la realización de pruebas del sistema de carga por medio de paneles fotovoltaicos y autonomía de las baterías.

REFERENCIAS

- [1] F. R. Grijalva Paredes, *Analizar la Eficiencia de una Moto Eléctrica en la Ciudad de Quito*, Quito - Ecuador: Universidad Tecnológica Equinoccial, 2014.
- [2] E. A. Soto Sepúlveda, *Diseño y Construcción de Tricicleta Solar Impulsada por Motor DC con Freno Regenerativo*, Valparaíso: Universidad Técnica Federico Santa María, 2007.
- [3] P. Roa, *Diseño e Implementación de un Patinete Eléctrico*, Madrid - España: Universidad Pontificia Comillas, 2009.
- [4] J. D. Chandi Pozo, *Implementación de un Sistema Eléctrico Alimentado por Energía Solar, a un Vehículo Monoplaza Propulsado por un Motor Eléctrico*, Ibarra - Ecuador: Universidad Técnica del Norte, 2012.
- [5] C. D. Bastidas Arroyo y D. E. Cabrera Díaz, *Conversión de una Moto de Combustión Interna a Eléctrica con Alimentación de Energía Solar y con Carga de Energía Eléctrica*, Latacunga - Ecuador: Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, 2014.
- [6] D. M. Núñez Fiallos y L. O. Toapanta Heredia, *Diseño e Implementación de un Sistema Motriz en Base a Energía Eléctrica con Apoyo de Energía Solar para un Cuadrón*, Latacunga - Ecuador: Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, 2014.
- [7] C. I. Chiliquinga Mendoza y A. G. Espín Alvear, *Sistema Eléctrico Alimentado por Energía Solar para la Movilización de una Tricicleta Solar que Representará a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE - Extensión Latacunga en la Carrera "Atacama Solar Challenge - Chile"*, Latacunga - Ecuador: Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, 2015.
- [8] L. M. Ramírez Cáceres, *Diseño e Implementación del Sistema Solar Fotovoltaico para una Tricicleta Híbrida Impulsada por Energía Solar*, Latacunga - Ecuador: Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, 2015.
- [9] E. D. Ríos Orozco y M. J. Vivas Ortiz, *Diseño y Construcción de la Estructura de una Tricicleta Impulsada por Energía Solar*, Latacunga - Ecuador: Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, 2014.
- [10] M. Ayllón Escudero, *Rediseño del Chasis de una Motocicleta: Ducati Monster S2R 800*, Madrid - España: Universidad Pontificia Comillas, 2013.
- [11] E. G. Valdecasas Vázquez, *Estudio de la Implantación de una Motocicleta Eléctrica como Vehículo para Agentes de Movilidad Urbana*, Madrid - España: Universidad Pontificia Comillas, 2008.
- [12] Y. Núñez Gamoneda, *Diseño de un Chasis Ligero Monoviga para una Motocicleta Offroad*, Leganés - España: Universidad Carlos III de Madrid, 2016.
- [13] M. Espiell Beyme, *Diseño del Chasis de una Motocicleta*, Barcelona - España: Universidad Politécnica de Catalunya - Barcelonatech, 2011.
- [14] D. Mohankumar, R. Sabarish y M. PremJeyaKumar, «Structural and Modal Analysis of Scooter Frame,» *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, vol. 119, n° 7, pp. 2231 - 2239, 2018.

- [15] T. Foale, *Motorcycle Handling and Chassis Design The Art and Science*, Spain: Tony Foale, 2002.
- [16] D. A. Arroyave Peña, *Diseño de Chasis para Sistema de Transporte Terrestre Monoplaza Útil en Entornos Urbanos Planos y Pavimentados*, Envigado - Colombia: Escuela de Ingeniería de Antioquia, 2013.
- [17] M. Rafael, A. Lozano, J. Cervantes, V. Mucino y C. L. Cajun, «A Method for Powertrain Selection of Heavy - Duty Vehicles with Fuel Savings,» *International Journal of Heavy Vehicle Systems*, vol. 16, n° 1 - 2, pp. 49 - 60, 2009.
- [18] R. A. Losada, «UD1 "Manejo y Conducción de la Bicicleta",» de *Módulo de "Conducción de Grupos en Bicicleta"*, La Pola - España, Instituto de Educación Secundaria IES "Benedicto Nieto", pp. 30 - 38.
- [19] M. A. Ríos Zorrilla, *Análisis, Desarrollo y Evaluación de un Plan de Entrenamiento Sobre Bicicletas Estáticas "E.S.B.E."*, La Plata - Argentina: Universidad Nacional de La Plata, 2013.
- [20] Zhejiang Geely Ming Industrial CO, LTD, S., *Scooter Repair and Service Manual*.
- [21] R. Álvarez Colmenero, *Diseño de un Nuevo Modelo para el Bicing*, Barcelona - Cataluña - España: Universitat Politècnica de Catalunya, 2014.
- [22] L. S. Mosher y L. George, *Motorcycle Mechanics*, New Jersey - United States of America: Prentice-Hall, Inc., 1977.
- [23] A. Jareño Núñez, *Diseño del Basculante de una Motocicleta de Competición y Análisis de Fatiga*, Leganés - España: Universidad Carlos III de Madrid, 2013.
- [24] A. Larrauri García, *Diseño y Estudio de Modificación de Chasis y Basculante de una Motocicleta*, Pamplona - España: Universidad Pública de Navarra, 2012.
- [25] J. Torres Pastor, *Diseño de una Suspensión de Paralelogramo*, Pamplona - España: Universidad Pública de Navarra, 2013.
- [26] Master Ingenieros S.A., *Motor Brushless (Sin Escobillas) Características Fundamentales*, Master Ingenieros S.A..
- [27] V. Máscaros Mateo, *Instalaciones Generadoras Fotovoltaicas*, Madrid - España: Ediciones Paraninfo, SA, 2015.
- [28] N. Casañ Pastor y P. Gómez Romero, «Baterías de Litio. La Alternativa al Plomo y al Cadmio,» *Investigación y Ciencia (Ciencia y Empresa)*, pp. 1-4, 1996.
- [29] J. A. Robles Aguilera y M. Robles Cruz, «Baterías de Litio,» *Universidad Nacional Autónoma de México*, pp. 1-2.
- [30] Universidad Técnica Federico Santa María, Departamento de Electrónica, «Departamento de Electrónica, Universidad Técnica Federico Santa María,» [En línea]. Available: <http://www2.elo.utfsm.cl/~elo383/apuntes/PresentacionBaterias.pdf>. [Último acceso: 15 05 2019].
- [31] S. Amalfa, *Reparando Fuentes Conmutadas*, Buenos Aires, Argentina: Editorial Hispano Americana S.A. - H.A.S.A., 2004.
- [32] P. Alcalde San Miguel, *Electrónica*, Madrid, España: Paraninfo, S.A., 2009.
- [33] R. Ponce, «mailxmail,» 10 05 2019. [En línea]. Available: <http://imagenes.mailxmail.com/cursos/pdf/6/principios-funcionamiento-fuentes-alimentacion-conmutadas-28076.pdf>. [Último acceso: 10 05 2019].

- [34] D. P. Peñafiel Cáceres y P. F. Ramón Flores, Diseño y Montaje de Fuente Conmutada para Alimentación de Convertidor Multinivel, Cuenca, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana, Sede Cuenca, 2013.
- [35] R. I. Boylestad y N. Louis, Electrónica: Teoría de Circuitos y Dispositivos Electrónicos, Décima ed., Naucalpan de Juárez - México: Pearson, 2009.
- [36] R. Mijarez Castro, Electrónica, México, D.F., México: Grupo Editorial Patria, S.A. de C.V., 2014.
- [37] P. Alcalde San Miguel, Electrónica Aplicada, Madrid, España: Ediciones Paraninfo, SA, 2016.
- [38] N. Mohan, T. M. Undeland y W. P. Robbins, Electrónica de Potencia: Convertidores, Aplicaciones y Diseño, México, D.F., México: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V., 2009.
- [39] D. Martínez Hernández, Control digital para convertidor multinivel alimentado con energía solar, Cholula - Puebla - México: Universidad de las Américas Puebla, 2006.
- [40] G. M. Masters, Renewable and Efficient Electric Power System, New Jersey, USA: John Wiley & Sons, Inc, 2013.
- [41] V. Mascarós Mateo, Gestión del Montaje de Instalaciones Solares Fotovoltaicas, Madrid, España: Ediciones Paraninfo, SA, 2016.
- [42] M. C. Tobajas Vázquez, Instalaciones Solares Fotovoltaicas, Bogotá, Colombia: Ediciones de la U para Colombia, 2015.
- [43] M. Moro Vallina, Instalaciones Solares Fotovoltaicas, Madrid - España: Ediciones Paraninfo, SA, 2010.
- [44] C. D. Galarza Arévalo y S. J. Ó. José, Creación de la Normativa para la Gestión Comercial de Generación Distribuida Fotovoltaica por Empresas Eléctricas del Ecuador, Quito, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito, 2013.
- [45] J. Roldán Vitoria, Instalaciones Solares Fotovoltaicas, Madrid, España: Ediciones Paraninfo, S.A., 2010.
- [46] J. M. Fernández Salgado, Compendio de Energía Solar: Fotovoltaica, Térmica y Termoeléctrica, Madrid, España: A. Madrid Vicente, Ediciones; Ediciones Mundi-Prensa, 2010.
- [47] R. Guerrero Pérez, UF0150: Replanteo y funcionamiento de las instalaciones solares fotovoltaicas, Andalucía, España: IC Editorial, 2017.
- [48] Gassattack Academy, «Geometrías de una Motocicleta,» *Gassattack*, pp. 1 - 4.
- [49] H.-C. Lai, D. Lee, J.-S. Liu y L.-S. Wang, «Design Parameters Study on the Stability and Perception of Riding Comfort of the Electrical Motorcycles Under Rider Leaning,» *Mechatronics*, vol. 13, pp. 49 - 76, 2001.
- [50] J. Gilabert, «Consideraciones Generales,» de *Estudio Dinámico de un Modelo de Motocicleta*, vol. 2, Sevilla - España, Universidad de Sevilla, 2005, pp. 14 - 35.
- [51] T. Folguera Fernández, Estudio de las Vibraciones Autoexcitadas en el Tren Delantero de una Motocicleta, Leganés - España: Universidad Carlos III de Madrid, 2011.
- [52] A. B. Del Buono González, Diseño Conceptual y Preliminar de una Motocicleta Deportiva con Sistema de Suspensión de Doble Basculante (Dual - Link), Madrid - España: Universidad Politécnica de Madrid, 2018.

- [53] M. Arias-Paz Guitian, *Motocicletas*, 32 ed., Madrid - España: CIE Inversiones Editoriales Dossata 2000 S.L., 2003.
- [54] T. F. Godlewski y W. Pawlak, «Design of Supporting Frame for Light Electric Motorcycle,» pp. 1 - 10 , 2018.
- [55] Grupo Oponeo, «Oponeo,» Grupo Oponeo, 2019. [En línea]. Available: <https://www.oponeo.es/neumaticos-moto/2-50-10>. [Último acceso: 14 05 2019].
- [56] Servimotor, «Servimotor,» Servimotor, 2017. [En línea]. Available: <https://www.sevimotor.com/es/recambio-neumaticos-y-ruedas-patinetes>. [Último acceso: 14 05 2019].
- [57] Razor USA LLC, «Razor,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.razor.com/products/electric-scooters/ecosmart-metro-electric-scooter/>. [Último acceso: 2019 05 16].
- [58] A. Pérez Medina, *Diseño de una Suspensión Delantera para una Bicicleta de Montaña*, Valencia - España: Universidad Politécnica de Valencia, 2016.
- [59] Hangzhou High Per Corporation Limited, «High Per,» Hangzhou High Per Corporation Limited, 2017. [En línea]. Available: http://www.high-per.com/sdp/844324/4/pd-4394867/20523196-1733793/1600W_Electric_Scooter_with_12_Off_Road_Wheels.html. [Último acceso: 16 05 2019].
- [60] R. L. Norton, *Diseño de Máquinas un Enfoque Integrado*, Naucalpan de Juárez - México: Pearson Educación de México, S.A. de C.V., 2011.
- [61] D. F. Carvajal Flores, *Diseño de una Camilla para Movilización y Bipedestación de Pacientes*, Ibarra, Ecuador: Universidad Técnica del Norte, 2016.
- [62] Servicio Ecuatoriano de Normalización, *Norma Técnica Ecuatoriana. NTE INEN 2415. Tubos de Acero al Carbono Soldados para Aplicaciones Estructurales y Usos Generales. Requisitos.*, Quito, Ecuador: Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2016.
- [63] ADELCA, «ADELCA,» 22 04 2019. [En línea]. Available: https://www.adelca.com/descargar_catalogo.php. [Último acceso: 22 04 2019].
- [64] F. Stefani, «Determinación del módulo de Young,» Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires - Argentina, 2014.
- [65] GERDAU S.A. , «GERDAU,» 2015. [En línea]. Available: <https://www.gerdau.com/gerdaucorsa/es/productservices/products/Document%20Gallery/eleccion-tipo-de-acero.pdf>. [Último acceso: 02 01 2019].
- [66] DIPAC® MANTA S.A., «DIPAC® Productos de Acero,» DIPAC® MANTA S.A., 2016. [En línea]. Available: <http://www.dipacmanta.com/tubos/tubos-estructurales>. [Último acceso: 07 01 2019].
- [67] DIPAC® MANTA S.A., «DIPAC® Productos de Acero,» 2016. [En línea]. Available: <http://www.dipacmanta.com/descargas/03-tubos/estructural-cuadrado.pdf>. [Último acceso: 07 01 2019].
- [68] R. L. Mott, E. M. Vavrek y J. Wang, *Machine Elements in Mechanical Design*, Nueva York - USA: Pearson Education, Inc., 2018.
- [69] K. J. Villavicencio Chico, *Diseño y Construcción de una Máquina Selladora Semiautomática de Vasos para Mejorar el Procesos de Envasado de Yogur*, Ibarra, Ecuador: Universidad Técnica del Norte, 2016.

- [70] P. Vallejo Ayala y J. Zambrano Orejuela, Física Vectorial - Libro 1, Quito - Ecuador: Ediciones RODIN , 2007.
- [71] M. Tejerizo Fernández, Elaboración de fórmulas analíticas y tablas de cálculo para las estructuras metálicas de acero según la normativa Eurocódigo 3, Cataluña - España: Universidad Politécnica de Cataluña, 2015.
- [72] J. E. Salazar Trujillo, Mecánica Básica para Estudiantes de Ingeniería, Manizales - Colombia: Universidad Nacional de Colombia, 2007.
- [73] Instituto Ecuatoriano de Normalización, (INEN), *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 167:2003 Primera Revisión*, Quito - Ecuador: Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), 2003.
- [74] R. Budynas G. y J. K. Nisbett, Shigley's Mechanical Engineering Design, New York - USA: McGraw-Hill Education, 2015.
- [75] R. Aulestia Rueda, Construcción de una Plataforma Base Estabilizadora Móvil, Ibarra - Ecuador: Universidad Técnica del Norte, 2017.
- [76] O. G. Tambaco Suarez, Construcción de una Silla de Ruedas Eléctrica para Bipedestación, Ibarra - Ecuador: Universidad Técnica del Norte, 2017.
- [77] L. UU Motor Technology Co., «UU Motor WebStores,» UU Motor Technology Co., Limited, [En línea]. Available: <https://www.uumotor.com/ws/p/48-60v-1500w-2000w-small-motor-bike-brushless-dc-motor/>. [Último acceso: 16 05 2019].
- [78] CHIHUI, «AliExpress,» Law Enforcement Compliance Guide ©, 2019. [En línea]. Available: <https://es.aliexpress.com/item/32620049151.html>. [Último acceso: 01 01 2019].
- [79] DHgate.com, «DHgate,» DHgate.com, [En línea]. Available: <https://es.dhgate.com/product/1500w-48v-dc-brushless-motor-electric-scooter/405618268.html>. [Último acceso: 01 01 2019].
- [80] AliExpress, «AliExpress,» AliExpress, 2019. [En línea]. Available: <https://es.aliexpress.com/item/32896218101.html?spm=a2g0o.detail.1000016.1.dbdf17edXozK6g&isOrigTitle=true>. [Último acceso: 01 01 2019].
- [81] Hangzhou Luckamp Technology CO., LTD, «CSPart,» ChinaScootertParts, 2019. [En línea]. Available: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/64-Tooth-64T-T8F-35MM-Rear-60592118774.html?spm=a2700.galleryofferlist.normalList.1.5a4b6dfco5Q5NK>. [Último acceso: 01 01 2019].
- [82] C. Vogel, Build Your Own Electric Motorcycle, New York, USA: The McGraw-Hill Companies, Inc, 2009.
- [83] A. Martínez Jiménez, Dimensionamiento de Instalaciones Solares Fotovoltaicas, España: Ediciones Paraninfo, SA, 2012.
- [84] ELECTROCABLES C.A., «ELECTRO CABLES,» 2018. [En línea]. Available: <http://www.electrocable.com/uploads/catficha/cata-logo-electrocables-2018.pdf>. [Último acceso: 01 05 2019].
- [85] © ABRATOOLS, S.A., «ABRATOOLS, S.A.,» ABRATOOLS, S.A., [En línea]. Available: <http://www.abrtools.es/CARGADOR-START-UP-200-CARGADOR-ARRANCADOR>. [Último acceso: 01 05 2019].
- [86] Wenzhou ChuHan Technology Co., Ltd, «Direct Industry,» Direct Industry, 2019. [En línea]. Available: <http://www.directindustry.es/prod/wenzhou-chuhan-technology-co-ltd/product-156106-1617265.html>. [Último acceso: 01 05 2019].

- [87] NUZAMAS, «Amazon,» Amazon.com, Inc. o afiliados., 2019. [En línea]. Available: https://www.amazon.es/NUZAMAS-Sistema-Celular-Cargador-Baterías/dp/B073CBLGJX/ref=sr_1_17?keywords=Mini+Panel+solar&qid=1560181891&s=electronics&sr=1-17. [Último acceso: 01 01 2019].
- [88] Decdeal, «Amazon.com, Inc. o sus filiales,» Decdeal, 2019. [En línea]. Available: <https://www.amazon.com/Decdeal-Polycrystalline-Silicon-Solar-Charger/dp/B0748CKB38>. [Último acceso: 01 01 2019].
- [89] Docooler, «Amazon.in,» Amazon.com, Inc. or its affiliates, 2019. [En línea]. Available: <https://www.amazon.in/Docooler-Polycrystalline-Silicon-Solar-Charger/dp/B07RDQLVZ2>. [Último acceso: 01 01 2019].
- [90] SIA Joom (Latvia), «JOOM,» SIA Joom (Latvia), 2019. [En línea]. Available: <https://www.joom.com/es/products/1510568218127728568-216-1-26193-2053107486>. [Último acceso: 01 05 2019].
- [91] Hangzhou High Per Corporation Limited, «High Per,» Hangzhou High Per Corporation Limited, 2017. [En línea]. Available: http://www.high-per.com/sdp/844324/4/pd-4394867/20523193-1733793/1000W_1600W_Electric_Scooter_with_Off_Road_Wheels.html. [Último acceso: 2019 05 16].
- [92] MaderasFG, «Maderas FG,» 08 02 2013. [En línea]. Available: <http://www.maderasfg.com/finsa4.htm>. [Último acceso: 15 05 2019].
- [93] Importadora Batallas, *Características Técnica del Policarbonato Sólido de 3 mm*, Quito, Ecuador, 2019.
- [94] J. I. Huircan, «Reguladores de Voltaje,» *Universidad de La Frontera*, pp. 1-16, 2012.
- [95] T. Pavlic, «tedpavlic.com,» 12 02 2019. [En línea]. Available: http://www.tedpavlic.com/teaching/osu/ece327/lab3_vreg/lab3_vreg_procedure.pdf. [Último acceso: 01 05 2019].
- [96] J. Edminister y M. Nahvi, *Circuitos Eléctricos*, Madrid, España: McGraw-HILL / Interamericana de España, S.A.U., 1997.
- [97] PotentialLabs, «PotentialLabs,» PotentialLabs, 2019. [En línea]. Available: <https://potentiallabs.com/cart/i2c-16X2-lcd-display-module>. [Último acceso: 01 05 2019].
- [98] Teslael Ectronics, «Teslael Ectronics,» Teslael Ectronics, [En línea]. Available: <http://www.teslaelectronics.cl/inicio/36-diodo-led-3mm.html>. [Último acceso: 01 01 05].
- [99] Laniakea: Prototyping Store, «Laniakea: Prototyping Store,» Laniakea: Prototyping Store, 2017. [En línea]. Available: https://laniakea.mx/index.php?route=product/product&product_id=122. [Último acceso: 01 05 2019].
- [10] Microchip Technology Inc., «MICROCHIP,» 2019. [En línea]. Available: http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf. [Último acceso: 03 05 2019].
- [10] TALLERELECTRONICA, «TALLERELECTRONICA.COM,» 2019. [En línea]. Available: https://tallerelectronica.files.wordpress.com/2015/09/arduino_basico_atmega328.jpg. [Último acceso: 05 05 2019].

- [10 SparkFun Electronics®, «SPARKFUN,» [En línea]. Available: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/LM7805.pdf>. [Último acceso: 05 05 2019].
- [10 DIPAC® MANTA S.A., «DIPAC® Productos de Acero,» 2016. [En línea]. Available: <http://www.dipacmanta.com/descargas/03-tubos/estructural-redondo.pdf>. [Último acceso: 07 01 2019].
- [10 DIPAC® MANTA S.A., «DIPAC® Productos de Acero,» 2016. [En línea]. Available: <http://www.dipacmanta.com/descargas/02-planchas/galvanizadas.pdf>. [Último acceso: 07 01 2019].
- [10 DIPAC® MANTA S.A., «DIPAC® Productos de Acero,» 2016. [En línea]. Available: <http://www.dipacmanta.com/descargas/02-planchas/laminadas-calientes.pdf>. [Último acceso: 07 01 2019].
- [10 ON Semiconductor, «ON Semiconductor®,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/TIP3055-D.PDF>. [Último acceso: 01 01 05].
- [10 Futurlec, «Futurlec,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.futurlec.com/Diodes/1N4742.shtml>. [Último acceso: 01 05 2019].
- [10 VISHAY, «VISHAY,» [En línea]. Available: <https://www.vishay.com/docs/88514/1n5391.pdf>. [Último acceso: 02 05 2019].
- [10 LCD Interface, «LCDInterface,» 17 10 2013. [En línea]. Available: <http://lcdinterface.blogspot.com/2013/08/lcd-interface.html>. [Último acceso: 05 05 2019].
- [11 INVENTABLE, «INVENTABLE.eu,» INVENTABLE, 2018. [En línea]. Available: <https://www.inventable.eu/controlar-rele-con-transistor/>. [Último acceso: 06 05 2019].
- [11 Diodes Incorporated, «Diodes Incorporated,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.diodes.com/assets/Datasheets/ds28002.pdf>. [Último acceso: 05 05 2019].
- [11 ON Semiconductor®, «ON Semiconductor®,» ON Semiconductor, 2019. [En línea]. Available: <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/2N3903-D.PDF>. [Último acceso: 01 04 2019].
- [11 Vishay, «WISHAY,» WISHAY, [En línea]. Available: <https://www.vishay.com/docs/81181/4n35.pdf>. [Último acceso: 07 05 2019].
- [11 L. Luis, «LUIS LLAMAS,» LUIS LLAMAS, 08 01 2017. [En línea]. Available: <https://www.luisllamas.es/arduino-optoacoplador/>. [Último acceso: 08 05 2019].
- [11 J. C. San Miguel Caballa, Diseño de un Cargador de Baterías de 12 Voltios Haciendo Uso de un Panel Fotovoltaico Aplicado en Zonas Rurales, Lima - Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2019.
- [11 F. Miyara, Rectificación, Rosario - Argentina: Universidad Nacional de Rosario, 2002.

- [11 D. P. Peñafiel Cáceres y P. F. Ramón Flores, Diseño y Montaje de Fuente Conmutada para Alimentación de Convertidor Multinivel, Cuenca - Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana , 2013.
- [11 H. M. Basri, S. Che Mat, N. I. Ismail, M. M. Mahadzir y A. H. Zulkifli, «Analysis of Concurrent Brake Application for Underbone Motorcycle,» *Advanced Materials Research*, vol. 980, pp. 107-111, 2014.
- [11 M. O. Guanoluisa Taco y D. C. Pazmiño Estrella, Cargador de Baterías de Plomo - Ácido de 48 Voltios, Quito - Ecuador: Escuela Politécnica Nacional, 2008.

ANEXOS

Anexo A. Pruebas celdas fotovoltaicas.



Figura 0.1. Pruebas de tensión de cada célula fotovoltaica.
Fuente: Elaboración Propia.



Figura 0.2. Pruebas de tensión de las células fotovoltaicas asociadas.
Fuente: Elaboración Propia.

Anexo B. Catálogo de DIPAC® MANTA S.A. para Tubo Estructural Cuadrado.

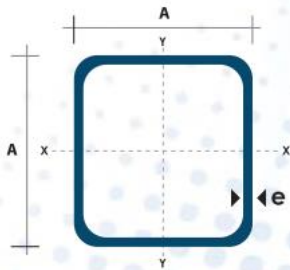
TUBO ESTRUCTURAL CUADRADO



Especificaciones Generales

Calidad	ASTM A-500
Recubrimiento	Negro o Galvanizado
Largo Normal	6.00 m
Otros Largos	Previa Consulta
Dimensiones	Desde 20.00 mm a 100.00 mm
Espesor	Desde 1.20 mm a 5.00 mm

TUBERÍA




Dimensiones			Área	Ejes X-Xe Y-Y		
A mm	Espesor mm (e)	Peso Kg/m	Área cm ²	I cm ⁴	W cm ³	i cm ³
20	1.2	0.72	0.90	0.53	0.53	0.77
20	1.5	0.88	1.05	0.58	0.58	0.74
20	2.0	1.15	1.34	0.69	0.69	0.72
25	1.2	0.90	1.14	1.08	0.87	0.97
25	1.5	1.12	1.35	1.21	0.97	0.95
25	2.0	1.47	1.74	1.48	1.18	0.92
30	1.2	1.09	1.38	1.91	1.28	1.18
30	1.5	1.35	1.65	2.19	1.46	1.15
30	2.0	1.78	2.14	2.71	1.81	1.13
40	1.2	1.47	1.80	4.38	2.19	1.25
40	1.5	1.82	2.25	5.48	2.74	1.56
40	2.0	2.41	2.94	6.93	3.46	1.54
40	3.0	3.54	4.44	10.20	5.10	1.52
50	1.5	2.29	2.85	11.06	4.42	1.97
50	2.0	3.03	3.74	14.13	5.65	1.94
50	3.0	4.48	5.61	21.20	4.48	1.91
60	2.0	3.66	3.74	21.26	7.09	2.39
60	3.0	5.42	6.61	35.06	11.69	2.34
75	2.0	4.52	5.74	50.47	13.46	2.97
75	3.0	6.71	8.41	71.54	19.08	2.92
75	4.0	8.59	10.95	89.98	24.00	2.87
100	2.0	6.17	7.74	122.99	24.60	3.99
100	3.0	9.17	11.41	176.95	35.39	3.94
100	4.0	12.13	14.95	226.09	45.22	3.89
100	5.0	14.40	18.36	270.57	54.11	3.84

Anexo C. Catálogo de DIPAC® MANTA S.A. para Tubo Estructural Redondo.

DIPAC®
PRODUCTOS DE ACERO

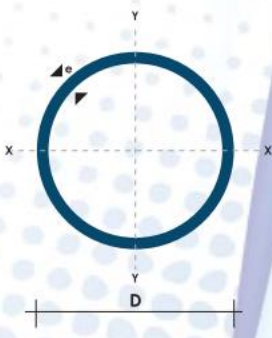
TUBO ESTRUCTURAL REDONDO



Especificaciones Generales

Calidad: ASTM A-500
 Recubrimiento: Negro o Galvanizado
 Largo Normal: 6.00 m
 Otros Largos: Previa Consulta
 Dimensiones: Desde 7/8" hasta 3"
 Espesor: Desde 1.50 mm a 3.00 mm

TUBERÍA



(D) Diámetro	Espesor	Peso	Área	I	W	i
Pulgadas	mm	Kg/m	cm ²	cm ⁴	cm ³	cm ³
7/8"	1.50	0.77	0.98	0.53	0.47	0.73
1"	1.50	0.88	1.13	0.81	0.64	0.85
1 1/4"	1.50	1.12	1.43	1.63	1.03	1.07
1 1/2"	1.50	1.35	1.72	2.89	1.52	1.30
1 3/4"	1.50	1.59	2.02	4.67	2.10	1.52
2"	1.50	1.82	2.32	7.06	2.78	1.74
2 1/2"	1.50	2.29	2.92	14.05	4.42	2.19
3"	1.50	2.76	3.52	24.56	6.45	2.64
1"	2.00	1.15	1.47	1.01	0.80	0.83
1 1/4"	2.00	1.47	1.87	2.08	1.31	1.05
1 1/2"	2.00	1.78	2.27	3.71	1.95	1.29
1 3/4"	2.00	2.09	2.67	6.02	2.71	1.50
2"	2.00	2.41	3.07	9.14	3.60	1.73
2 1/2"	2.00	3.03	3.86	18.29	5.76	2.18
3"	2.00	3.66	4.66	32.11	8.43	2.62
2"	3.00	3.54	4.51	12.92	5.09	1.69
2 1/2"	3.00	4.48	5.70	26.15	8.24	2.14
3"	3.00	5.42	6.90	46.29	12.15	2.59

www.dipacmanta.com

Fuente: [103].

Anexo D. Catálogo de DIPAC® MANTA S.A. para Planchas Galvanizadas.



PLANCHAS GALVANIZADAS



Especificaciones Generales

Acero base	Calidad Comercial o según tabla de Laminado al Frío
Norma	ASTM A653 (Norma de recubrimiento)
Espesores	0,30mm a 2,90mm
Rollos	X 1219mm y por flejes
Planchas	4 X 8 pies y medidas especiales
Flor	Regular Mínima Zero

Recubrimiento	(Total ambas caras)	
Tipo	oz / pie ²	gr / m ²
G-40	40	120
G-60	60	180
G-90	90	270

Producto / Mercado	Comercial, Construcción y Edificios	Industrial	Línea Blanca	Automotriz
Lámina Galvanizada	Techos y paredes, perfiles y tubería en general, polines, soportes de cielo falso, ductos de aire, silos para almacenar granos, accesorios para construcción, cortinas metálicas, señalizaciones de carretera, estructuras, techos y soportes de establecimientos.	Aire acondicionado, ventiladores de techo y ventana, tapas, extractores de humo, casas móviles, ductos, bisagras, recipientes, cajas eléctricas, pizarrones electrónicos, motores, laines, etc.	Respaldo de refrigeradores, estufas y lavadoras, soportes, bases, uniones, esquineros y accesorios de fijación y otras partes no expuestas, etc.	Mofers, uniones, soportes, pisos, carter, guantera, portaestéreos, cinchos y otras partes no expuestas, etc.

www.dipacmanta.com

PLANCHAS

Anexo E. Catálogo de DIPAC® MANTA S.A. para Planchas Laminadas al Caliente.



PLANCHAS LAMINADAS AL CALIENTE



Especificaciones Generales

Espesores 1.20mm a 150.00mm
Rollos Ancho 1000mm, 1220mm, 1500mm
Planchas 4 x 8 pies y a medida

Calidad Comercial

Calidad	Composición Química							Propiedades Mecánicas			
	% C	%MN	%P	%S	%SI	%AL	%CU	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Alargamiento %	Doblado 180°	Norma Equivalente
JIS G3131 SPHC	0,08 0,13	0,3 0,6	0,02 max	0,025 max	0,05 max	0,02 0,08	0,2 max	270 min	29 min	0= Oe	SAE 1010 ASTM A-569
SAE 1008	0,03 0,1	0,25 0,5	0,02 max	0,025 max	0,04 max	0,02 0,08	0,2 max				JIS G3132 SPHT1
SAE 1012	0,1 0,15	0,3 0,6	0,02 max	0,025 max	0,03 max	0,02 0,08	0,2 max				ASTM A-635 ASTM A-570 GRADO 33

Calidad Estructural

Norma	Composición Química							Propiedades Mecánicas				
	% C	%MN	%P	%S	%SI	%CU	OTROS	Fluencia (Mpa)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Alargamiento %	Doblado 180°	Norma Equivalente
ASTM A-588M Grado A	0,19 max	0,8 1,25	0,04 max	0,05 max	0,3 0,6	0,25 0,40	Ni 0,15-0,35 Cr 0,40-0,65 V 0,02-0,10	345 min	485 min	18 min		
ASTM A-283 Grado C	0,12 0,18	0,3 0,6	0,025 max	0,03 max	0,04 max	0,2 max		205 min	380 516 max	25 min	0=1,5e	SAE 1015
JIS G-3101 5541 M	0,17 0,23	0,3 0,6	0,025 max	0,025 max	0,04 max	0,25 max		250 min	400 min 550 max	21 min		SAE 1020 ASTM A-36 ASTM A-570 GRADO 36
A 36	0,25 0,29	0,80 1,2	0,04 max	0,05 max	0,4 max	0,20 max		250 min	400 min 550 max	20 min		
A570-GR50	0,25	1,35 max	0,035 max	0,04 max				340 min	450 min 550 max	17 min	1-1/2e	

www.dipacmanta.com

Anexo F. Catálogo de ADELCA para Varillas Rectas.



VARILLA RECTA

SISMORESISTENTE PARA HORMIGÓN ARMADO

TABLA DE VARILLA

Diámetro mm	kg/m	12 m		9 m		6 m		Tolerancia en Longitud
		kg	Var x qq	kg	Var x qq	kg	Var x qq	
8	0,395	4,740	9,568	3,555	12,757	2,370	19,136	± 50mm
10	0,617	7,404	6,125	5,553	8,367	3,702	12,251	
12	0,888	10,656	4,256	7,992	5,675	5,328	8,512	
14	1,208	14,496	3,129	10,872	4,171	7,248	6,257	
16	1,578	18,936	2,395	14,202	3,193	9,468	4,790	
18	1,998	23,976	1,892	17,982	2,522	11,988	3,783	
20	2,466	29,592	1,533	22,194	2,043	14,796	3,065	
22	2,984	35,808	1,267	26,856	1,689	17,904	2,533	
25	3,853	46,236	0,981	34,677	1,308	23,118	1,962	
28	4,834	58,008	0,782	43,506	1,042	29,004	1,564	
32	6,313	75,756	0,599	56,817	0,798	37,878	1,197	
36	7,990	95,880	0,473	71,910	0,631	47,940	0,946	
40	9,865	118,38	0,383	88,785	0,511	59,190	0,766	

DESCRIPCIÓN

Es una varilla de acero de sección circular, con resaltes transversales que asegura una alta adherencia con el concreto; laminada en caliente y termotratada que garantiza mayor flexibilidad y seguridad que el acero común. Soldable, cumpliendo la norma AWS D1.4, según lo especificado en la **Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC)**.

USOS

Principalmente como refuerzo en estructuras de hormigón armado.

NORMAS TÉCNICAS

NTE INEN 2167 (Ecuatoriana)

Varillas corrugadas y lisas de acero al carbono laminadas en caliente, soldables, termotratadas, para hormigón armado. Requisitos.

ASTM A706 (Americana)

Standard Specification for Deformed and Plain Low-Alloy Steel Bars for Concrete Reinforcement.

PROPIEDADES MECÁNICAS	MPa	kgf/mm ²
Límite de fluencia mínimo	420	42
Límite de fluencia máximo	540	55
Resistencia a la tracción mínima	550	56

ALARGAMIENTO (%) MÍNIMO CON PROBETA L ₀ =200mm	%
d ≤ 20	14
22 ≤ d ≤ 36	12
d > 36	10

DOBLADO A 180°	
Diámetro nominal (d) mm	Diámetro del mandril (D) mm
d < 18	D=3d
18 ≤ d ≤ 25	D=4d
25 < d ≤ 36	D=6d
d > 36	D=8d

► Varillas Rectas de longitudes estándar de 6, 9 y 12 m. Longitudes especiales bajo pedido.

Anexo G. Catálogo de ADELCA para Varillas Lisas.



► DESCRIPCIÓN

Es una varilla recta de sección circular, lisa; laminada en caliente y termotratada para garantizar mayor flexibilidad y seguridad que el acero común. Soldable, cumpliendo la norma AWS D1.4, según lo especificado en la **Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC)**.

► USOS

Principalmente como componente de los Dowells o pasajuntas para pavimentación rígida con hormigón.

► NORMAS TÉCNICAS

NTE INEN 2167 (Ecuatoriana)

Varillas corrugadas y lisas de acero al carbono laminadas en caliente, soldables, termotratadas, para hormigón armado. Requisitos.

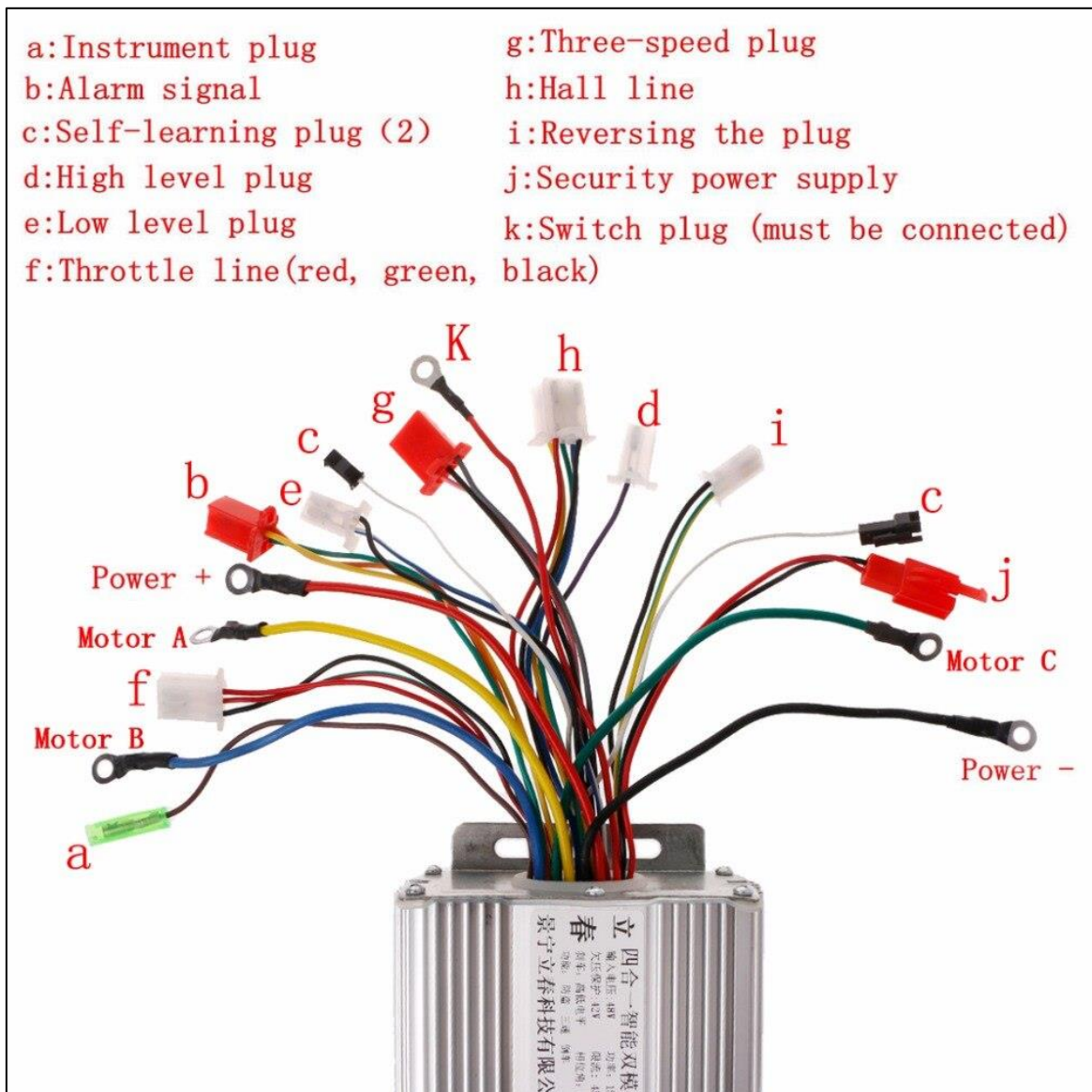
ASTM A706 (Americana)

Standard Specification for Deformed and Plain Low-Alloy Steel Bars for Concrete Reinforcement.

Diámetro mm	kg/m	TABLA DE VARILLA						Tolerancia en Longitud
		12 m		9 m		6 m		
		kg	Var x qq	kg	Var x qq	kg	Var x qq	
25	3,853	46,236	0,981	34,677	1,308	23,118	1,962	± 50mm
28	4,834	58,008	0,782	43,506	1,042	29,004	1,564	
32	6,313	75,756	0,599	56,817	0,798	37,878	1,197	
36	7,990	95,880	0,473	71,910	0,631	47,940	0,946	

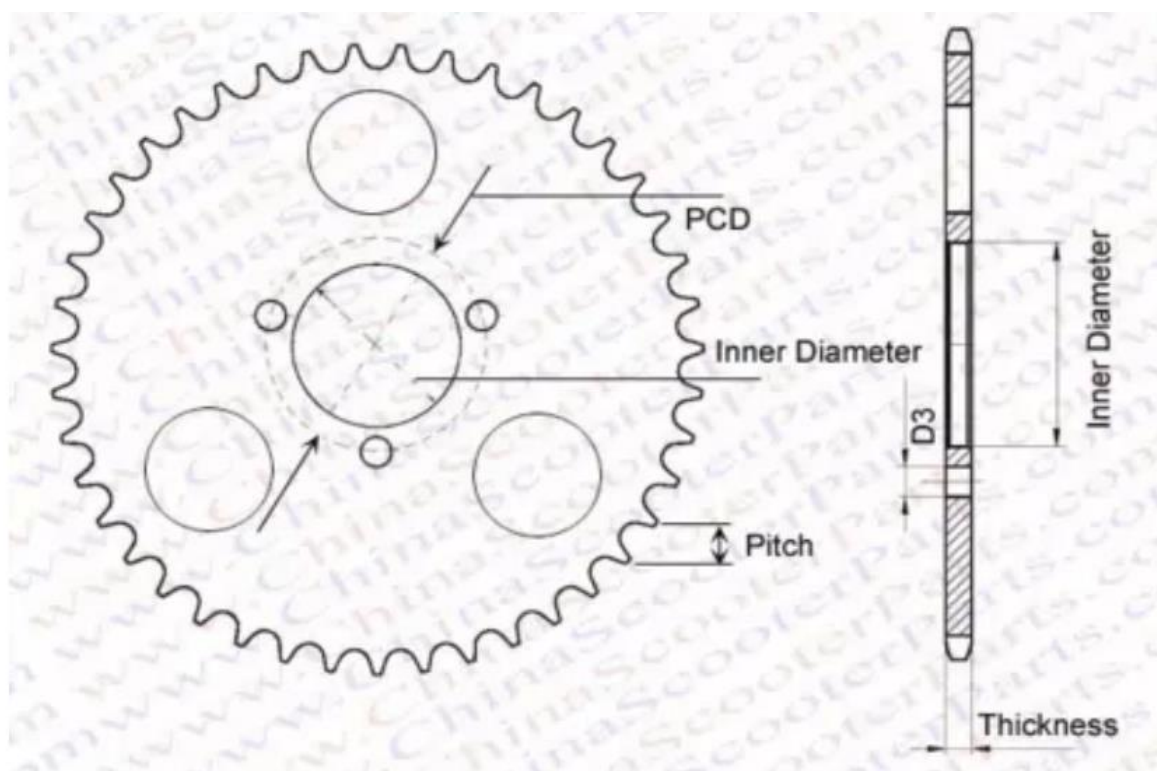


Anexo H. Distribución de cables, para controlador de motor brushless de 48 Voltios a 1500 Watts.



Fuente: [80].

Anexo I. Catálogo de CSpaRt TM, para piñones de ruedas traseras.



Número de artículo	Diente	Paso	Agujero interior PCD		De espesor	Diámetro exterior
T442-35-48	44	8mm	35mm	48mm	3,6mm	117mm
T542-35-48	54	8mm	35mm	48mm	3,6mm	141mm
T642-35-48	64	8mm	35mm	48mm	3,6mm	166mm
T742-35-48	74	8mm	35mm	48mm	3,6mm	192mm

Fuente: [81].

Anexo J. Catálogo de ELECTROCABLES C.A. para Conductores de Cobre para Baterías.

CONDUCTORES DE COBRE

SGR



Conductor de cobre extraflexible para 600 V. aislado con caucho termoplástico (TPE) resistente a la humedad, calor elevado y luz solar.

CONSTRUCCIÓN

Los conductores tipo SGR son cableados extraflexibles y están contruidos con cobre de temple suave, están además aislados con una capa uniforme de caucho termoplástico elastomérico (TPE) resistente a la humedad. Pueden ser suministrados en colores variados según su calibre y con distintas formas de embalaje.

APLICACIONES

Los conductores extraflexibles de cobre tipo SGR son utilizados para baterías de vehículos, en instalaciones industriales y de minería donde se requiera de gran flexibilidad debido a las dificultades de trabajo y en general como cables sometidos a continuo movimiento. Este tipo de conductor puede ser usado en lugares secos y húmedos, su temperatura máxima de operación es 105 °C y su tensión de servicio para todas las aplicaciones es 600 V.

ESPECIFICACIONES

Los conductores de cobre tipo SGR fabricados por ELECTROCABLES C.A., cumplen con las siguientes especificaciones y normas:

- › **ASTM B172:** Cables extraflexibles de cobre formados por manojos de cables trenzados, para conductores eléctricos.
- › **ASTM B174:** Cables flexibles de cobre trenzados, para conductores eléctricos.
- › **ANSI/NEMA WC-58** : Cables portátiles de potencia para uso en minería y similares aplicaciones.
ICEA S-75-381
- › **SAE J1127:** Cables vehiculares flexibles.

Además de todos los requerimientos del National Electrical Code.

CONDUCTORES DE COBRE

SGR

CABLE DE BATERÍA (SGR)

CALIBRE (AWG)	CONDUCTOR			Espesor de Aislamiento (mm)	Diámetro Externo Aprox (mm)	Peso total Aprox (kg / km)
	Sección Transversal (mm ²)	Construcción				
		No. Hilos	Diámetro de Hilos (mm)			
8	8,367	67	0,4	1,52	7,20	101,40
6	13,3	106	0,4	1,52	8,41	152,28
4	21,15	168	0,4	1,65	10,09	233,79
3	26,62	212	0,4	1,65	10,89	267,52
2	33,62	268	0,4	1,65	11,84	355,94
1	42,4	338	0,4	2,03	13,66	455,39

Anexo K. Catálogo de ELECTROCABLES C.A. para Conductores de Cobre FXT, TFF Y TW-F

CONDUCTORES DE COBRE

FXT, TFF, TW-F



Conductor de cobre flexible para 600 V. (Aislado con policloruro de vinilo PVC), resistente al calor y humedad.

CONSTRUCCIÓN

Los conductores tipo FXT, TFF y TW-F son cableados y están contruídos con cobre de temple suave, están además aislados con una capa uniforme de material termoplástico policloruro de vinilo (PVC) resistente a la humedad. Pueden ser suministrados en colores variados según su calibre y con distintas formas de embalaje.

APLICACIONES

Los conductores flexibles de cobre tipo FXT, TFF y TW-F son utilizados para alambrado de aparatos, cableado de tableros eléctricos de control, baterías de vehículos, instalaciones generales industriales y comerciales donde se requiera de gran flexibilidad debido a las dificultades de trabajo y en general como cables sometidos a continuo movimiento, tal como se especifica en el National Electrical Code. Este tipo de conductor puede ser usado en lugares secos y húmedos, su temperatura máxima de operación puede ser 60 °C, 75 °C o 90 °C y su tensión de servicio para todas las aplicaciones es 600 V.

ESPECIFICACIONES

Los conductores de cobre tipo FXT, TFF y TW-F fabricados por ELECTROCABLES C.A., cumplen con las siguientes especificaciones y normas:

- ▶ **ASTM B172:** Cables extraflexibles de cobre formados por manojos de cables trenzados, para conductores eléctricos.
- ▶ **ASTM B174:** Cables flexibles de cobre trenzados, para conductores eléctricos.
- ▶ **UL 62:** Cordas flexibles y alambres, para uso eléctrico.
- ▶ **UL 83:** Alambres y cables aislados con material termoplástico.
- ▶ **ANSI/NEMA WC/70, ICEA S-95-658:** Cables de potencia nominal 2000 V o menos, para distribución de energía eléctrica.
- ▶ **NTE INEN 2 305:** Cordones flexibles y alambres para instalaciones domésticas.
- ▶ **NTE INEN 2 345:** Conductores y alambres aislados con material termoplástico.

Además de todos los requerimientos del National Electrical Code.

CONDUCTORES DE COBRE

FXT, TFF, TW-F

Conductor de cobre flexible para 600 V. (Aislado con policloruro de vinilo PVC), resistente al calor y humedad.

CONDUCTOR			Espesor de Aislamiento (mm)	Diámetro Externo Aprox (mm)	Peso total Aprox (kg / km)	*Capacidad de Corriente (A)
CALIBRE (AWG o kcmil)	Sección Transversal (mm ²)	No. Hilos				
24	0.205	0.254	0.51	1.68	4.54
22	0.324	0.254	0.51	1.80	5.88
20	0.519	0.254	0.76	2.45	10.49
18	0.823	0.3	0.76	2.72	14.04	6
16	1.31	0.3	0.76	3.03	19.47	8
14	2.08	0.3	0.76	3.42	27.72	20
12	3.31	0.3	0.76	3.90	40.43	25
10	5.261	0.4	0.76	4.51	60.26	30
8	8.367	0.4	1.52	6.81	112.19	40
6	13.30	0.4	1.52	7.79	169.56	55
4	21.15	0.4	1.52	9.05	250.89	70
2	33.62	0.4	1.52	10.60	376.78	95
1	42.4	0.4	2.03	12.55	495.07	110
1/0	53.49	0.4	2.03	13.60	607.07	125
2/0	67.44	0.4	2.03	14.77	746.52	145
3/0	85.02	0.4	2.03	16.08	920.62	165
4/0	107.2	0.4	2.03	17.56	1138.46	195
250	127	0.4	2.41	19.50	1365.02	215
300	152	0.4	2.41	20.89	1613.49	240
350	177	0.4	2.41	22.18	1860.67	260
400	203	0.4	2.41	23.37	2106.71	280
500	253	0.4	2.41	25.55	2593.01	320
600	304	0.4	2.79	28.31	3136.74	355
750	380	0.4	2.79	30.99	3868.93	400
1000	507	0.4	2.79	34.93	5084.94	455

*Capacidad máxima de corriente, para no más de 3 conductores en tensión en ducto, cable o tierra (directamente enterrados), para temperatura ambiente de 30°C. Ref NEC (Tabla 310.16)

Anexo L. Transistor TIP3055 - Datasheet.

TIP3055 (NPN), TIP2955 (PNP)

Complementary Silicon Power Transistors

Designed for general-purpose switching and amplifier applications.

Features

- DC Current Gain –
 $h_{FE} = 20-70 @ I_C$
 $= 4.0 A_{dc}$
- Collector–Emitter Saturation Voltage –
 $V_{CE(sat)} = 1.1 V_{dc} (Max) @ I_C$
 $= 4.0 A_{dc}$
- Excellent Safe Operating Area
- These are Pb–Free Devices*

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Collector – Emitter Voltage	V_{CEO}	60	Vdc
Collector – Emitter Voltage	V_{CER}	70	Vdc
Collector – Base Voltage	V_{CB}	100	Vdc
Emitter – Base Voltage	V_{EB}	7.0	Vdc
Collector Current – Continuous	I_C	1.5	A _{dc}
Base Current	I_B	7.0	A _{dc}
Total Power Dissipation @ $T_C = 25^\circ C$ Derate above $25^\circ C$	P_D	90 0.72	W W/ $^\circ C$
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	–65 to +150	$^\circ C$

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction–to–Case	$R_{\theta JC}$	1.39	$^\circ C/W$
Thermal Resistance, Junction–to–Ambient	$R_{\theta JA}$	35.7	$^\circ C/W$

Stresses exceeding Maximum Ratings may damage the device. Maximum Ratings are stress ratings only. Functional operation above the Recommended Operating Conditions is not implied. Extended exposure to stresses above the Recommended Operating Conditions may affect device reliability.

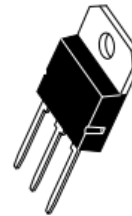
*For additional information on our Pb–Free strategy and soldering details, please download the ON Semiconductor Soldering and Mounting Techniques Reference Manual, SOLDERRM/D.



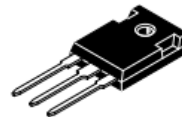
ON Semiconductor®

<http://onsemi.com>

**15 AMPERE
POWER TRANSISTORS
COMPLEMENTARY SILICON
60 VOLTS, 90 WATTS**



SOT-93 (TO-218)
CASE 340D
STYLE 1



TO-247
CASE 340L
STYLE 3

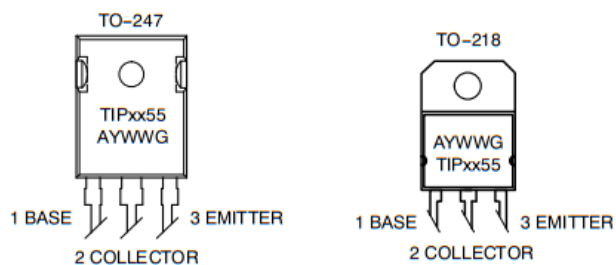
NOTE: Effective June 2012 this device will be available only in the TO-247 package. Reference FPCN# 16827.

ORDERING INFORMATION

See detailed ordering and shipping information in the package dimensions section on page 2 of this data sheet.

TIP3055 (NPN), TIP2955 (PNP)

MARKING DIAGRAMS



TIPxx55 = Device Code
 A = Assembly Location
 Y = Year
 WW = Work Week
 G = Pb-Free Package

ORDERING INFORMATION

Device	Package	Shipping
TIP3055G	SOT-93 (TO-218) (Pb-Free)	30 Units / Rail
TIP2955G	SOT-93 (TO-218) (Pb-Free)	30 Units / Rail
TIP3055G	TO-247 (Pb-Free)	30 Units / Rail
TIP2955G	TO-247 (Pb-Free)	30 Units / Rail

TIP3055 (NPN), TIP2955 (PNP)

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_C = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit
OFF CHARACTERISTICS				
Collector–Emitter Sustaining Voltage (Note 1) ($I_C = 30\text{ mAdc}$, $I_B = 0$)	$V_{CEO(sus)}$	60	–	Vdc
Collector Cutoff Current ($V_{CE} = 70\text{ Vdc}$, $R_{BE} = 100\text{ Ohms}$)	I_{CER}	–	1.0	mAdc
Collector Cutoff Current ($V_{CE} = 30\text{ Vdc}$, $I_B = 0$)	I_{CEO}	–	0.7	mAdc
Collector Cutoff Current ($V_{CE} = 100\text{ Vdc}$, $V_{BE(off)} = 1.5\text{ Vdc}$)	I_{CEV}	–	5.0	mAdc
Emitter Cutoff Current ($V_{BE} = 7.0\text{ Vdc}$, $I_C = 0$)	I_{EBO}	–	5.0	mAdc
ON CHARACTERISTICS (Note 1)				
DC Current Gain ($I_C = 4.0\text{ Adc}$, $V_{CE} = 4.0\text{ Vdc}$) ($I_C = 10\text{ Adc}$, $V_{CE} = 4.0\text{ Vdc}$)	h_{FE}	20 5.0	70 –	–
Collector–Emitter Saturation Voltage ($I_C = 4.0\text{ Adc}$, $I_B = 400\text{ mAAdc}$) ($I_C = 10\text{ Adc}$, $I_B = 3.3\text{ Adc}$)	$V_{CE(sat)}$	– –	1.1 3.0	Vdc
Base–Emitter On Voltage ($I_C = 4.0\text{ Adc}$, $V_{CE} = 4.0\text{ Vdc}$)	$V_{BE(on)}$	–	1.8	Vdc
SECOND BREAKDOWN				
Second Breakdown Collector Current with Base Forward Biased ($V_{CE} = 30\text{ Vdc}$, $t = 1.0\text{ s}$; Nonrepetitive)	$I_{s/b}$	3.0	–	Adc
DYNAMIC CHARACTERISTICS				
Current Gain — Bandwidth Product ($I_C = 0.5\text{ Adc}$, $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$, $f = 1.0\text{ MHz}$)	f_T	2.5	–	MHz
Small–Signal Current Gain ($V_{CE} = 4.0\text{ Vdc}$, $I_C = 1.0\text{ Adc}$, $f = 1.0\text{ kHz}$)	h_{fe}	15	–	kHz

NOTE: For additional design curves, refer to electrical characteristics curves of 2N3055.

1. Pulse Test: Pulse Width = 300 μs , Duty Cycle $\leq 2.0\%$.

TIP3055 (NPN), TIP2955 (PNP)

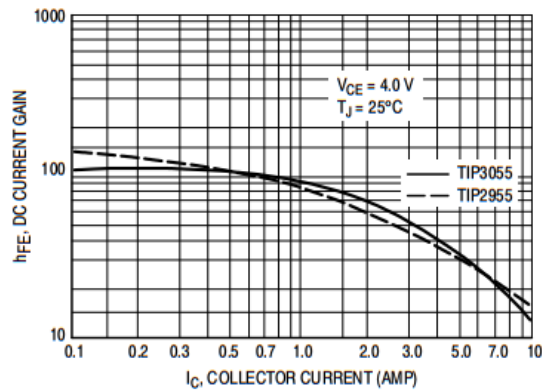


Figure 1. DC Current Gain

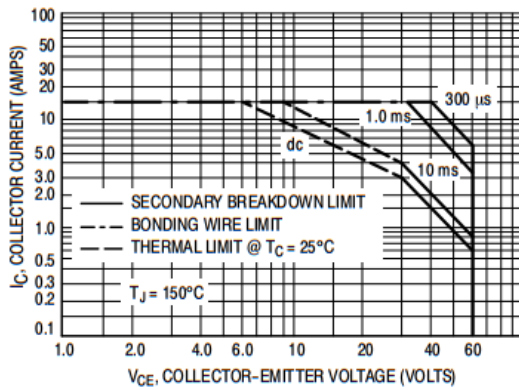
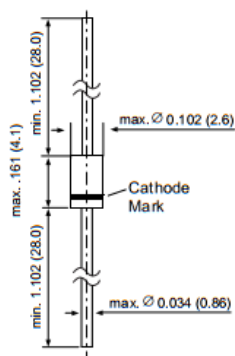


Figure 2. Maximum Rated Forward Bias Safe Operating Area

There are two limitations on the power handling ability of a transistor: average junction temperature and second breakdown. Safe operating area curves indicate $I_C - V_{CE}$ limits of the transistor that must be observed for reliable operation; i.e., the transistor must not be subjected to greater dissipation than the curves indicate.

The data of Figure 2 is based on $T_C = 25^\circ C$; $T_{J(pk)}$ is variable depending on power level. Second breakdown pulse limits are valid for duty cycles to 10% but must be derated for temperature.

Anexo M. Dido Zener 1N4728 a 1N4764 - Data Sheet .

1N4728 THRU 1N4764**ZENER DIODES****DO-41 Glass**

Dimensions in inches and (millimeters)

FEATURES

- ◆ Silicon Planar Power Zener Diodes
- ◆ For use in stabilizing and clipping circuits with high power rating.
- ◆ Standard Zener voltage tolerance is $\pm 10\%$. Add suffix "A" for $\pm 5\%$ tolerance. Other Zener voltages and tolerances are available upon request.
- ◆ These diodes are also available in the MELF case with type designation ZM4728 thru ZM4764

**MECHANICAL DATA**

Case: DO-41 Glass Case

Weight: approx. 0.35 g

MAXIMUM RATINGS

Ratings at 25°C ambient temperature unless otherwise specified.

	SYMBOL	VALUE	UNIT
Zener Current (see Table "Characteristics")			
Power Dissipation at $T_{amb} = 25^\circ\text{C}$	P_{tot}	1.0 ⁽¹⁾	Watts
Junction Temperature	T_j	175	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range	T_s	- 65 to +175	$^\circ\text{C}$

Characteristics at $T_{amb} = 25^\circ\text{C}$

	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Thermal Resistance Junction to Ambient Air	R_{thJA}	-	-	170 ⁽¹⁾	$^\circ\text{C/W}$
Forward Voltage at $I_F = 200\text{ mA}$	V_F	-	-	1.2	Volts

NOTES:

(1) Valid provided that electrodes at a distance of 10mm from case are kept at ambient temperature

12/3/98

Fuente: [107].

1N4728 THRU 1N4764

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Ratings at 25°C ambient temperature unless otherwise specified.

Type	Nominal Zener voltage ⁽³⁾ at I_{zT} Vz V	Test current I_{zT} mA	Maximum Zener impedance ⁽¹⁾			Maximum reverse leakage current		Surge current at $T_A = 25^\circ\text{C}$ I_{RSM} mA	Maximum regulator current ⁽²⁾ I_{zM} mA
			ZzT at I_{zT} Ω	Zzk Ω	at I_{zK} mA	I_R μA	at V_R V		
1N4728	3.3	76	10	400	1.0	100	1	1380	276
1N4729	3.6	69	10	400	1.0	100	1	1260	252
1N4730	3.9	64	9	400	1.0	50	1	1190	234
1N4731	4.3	58	9	400	1.0	10	1	1070	217
1N4732	4.7	53	8	500	1.0	10	1	970	193
1N4733	5.1	49	7	550	1.0	10	1	890	178
1N4734	5.6	45	5	600	1.0	10	2	810	162
1N4735	6.2	41	2	700	1.0	10	3	730	146
1N4736	6.8	37	3.5	700	1.0	10	4	660	133
1N4737	7.5	34	4.0	700	0.5	10	5	605	121
1N4738	8.2	31	4.5	700	0.5	10	6	550	110
1N4739	9.1	28	5.0	700	0.5	10	7	500	100
1N4740	10	25	7	700	0.25	10	7.6	454	91
1N4741	11	23	8	700	0.25	5	8.4	414	83
1N4742	12	21	9	700	0.25	5	9.1	380	76
1N4743	13	19	10	700	0.25	5	9.9	344	69
1N4744	15	17	14	700	0.25	5	11.4	304	61
1N4745	16	15.5	16	700	0.25	5	12.2	285	57
1N4746	18	14	20	750	0.25	5	13.7	250	50
1N4747	20	12.5	22	750	0.25	5	15.2	225	45
1N4748	22	11.5	23	750	0.25	5	16.7	205	41
1N4749	24	10.5	25	750	0.25	5	18.2	190	38
1N4750	27	9.5	35	750	0.25	5	20.6	170	34
1N4751	30	8.5	40	1000	0.25	5	22.8	150	30
1N4752	33	7.5	45	1000	0.25	5	25.1	135	27
1N4753	36	7.0	50	1000	0.25	5	27.4	125	25
1N4754	39	6.5	60	1000	0.25	5	29.7	115	23
1N4755	43	6.0	70	1500	0.25	5	32.7	110	22
1N4756	47	5.5	80	1500	0.25	5	35.8	95	19
1N4757	51	5.0	95	1500	0.25	5	38.8	90	18
1N4758	56	4.5	110	2000	0.25	5	42.6	80	16
1N4759	62	4.0	125	2000	0.25	5	47.1	70	14
1N4760	68	3.7	150	2000	0.25	5	51.7	65	13
1N4761	75	3.3	175	2000	0.25	5	56.0	60	12
1N4762	82	3.0	200	3000	0.25	5	62.2	55	11
1N4763	91	2.8	250	3000	0.25	5	69.2	50	10
1N4764	100	2.5	350	3000	0.25	5	76.0	45	9

NOTES:

- (1) The Zener impedance is derived from the 1KHz AC voltage which results when an AC current having an RMS value equal to 10% of the Zener current (I_{zT} or I_{zK}) is superimposed on I_{zT} or I_{zK} . Zener impedance is measured at two points to insure a sharp knee on the breakdown curve and to eliminate unstable units
- (2) Valid provided that electrodes at a distance of 10mm from case are kept at ambient temperature
- (3) Measured under thermal equilibrium and DC test conditions

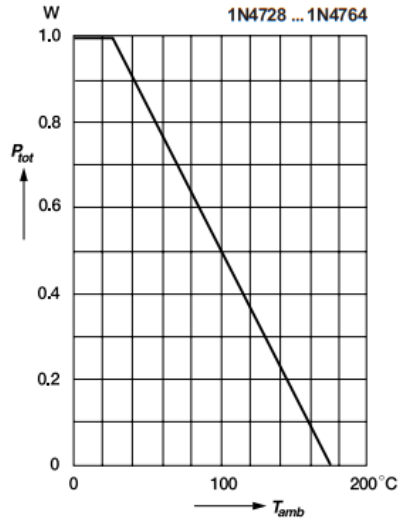


Fuente: [107].

RATINGS AND CHARACTERISTIC CURVES 1N4728 THRU 1N4764

**Admissible power dissipation
versus ambient temperature**

Valid provided that leads are kept at ambient
temperature at a distance of 10 mm from case



Anexo N. Dido 1N5399 - Datasheet.



1N5391, 1N5392, 1N5393, 1N5394, 1N5395, 1N5396, 1N5397, 1N5398, 1N5399

www.vishay.com

Vishay General Semiconductor

General Purpose Plastic Rectifier



DO-204AL (DO-41)

FEATURES

- Low forward voltage drop
- Low leakage current
- High forward surge capability
- Solder dip 275 °C max. 10 s, per JESD 22-B106
- Material categorization: For definitions of compliance please see www.vishay.com/doc?99912

RoHS
COMPLIANT

TYPICAL APPLICATIONS

For use in general purpose rectification of power supplies, inverters, converters, and freewheeling diodes application.

Note

- These devices are not AEC-Q101 qualified.

MECHANICAL DATA

Case: DO-204AL, molded epoxy body

Molding compound meets UL 94 V-0 flammability rating

Base P/N-E3 - RoHS-compliant, commercial grade

Terminals: Matte tin plated leads, solderable per J-STD-002 and JESD 22-B102

E3 suffix meets JESD 201 class 1A whisker test

Polarity: Color band denotes cathode end

PRIMARY CHARACTERISTICS	
$I_{F(AV)}$	1.5 A
V_{RRM}	50 V, 100 V, 200 V, 300 V, 400 V, 500 V, 600 V, 800 V, 1000 V
I_{FSM}	50 A
V_F	1.4 V
I_R	5.0 μ A
T_J max.	150 °C
Package	DO-204AL (DO-41)
Diode variations	Single die

MAXIMUM RATINGS ($T_A = 25$ °C unless otherwise noted)											
PARAMETER	SYMBOL	1N5391	1N5392	1N5393	1N5394	1N5395	1N5396	1N5397	1N5398	1N5399	UNIT
Maximum repetitive peak reverse voltage	V_{RRM}	50	100	200	300	400	500	600	800	1000	V
Maximum RMS voltage	V_{RMS}	35	70	140	210	280	350	420	560	700	V
Maximum DC blocking voltage	V_{DC}	50	100	200	300	400	500	600	800	1000	V
Maximum average forward rectified current 0.500" (12.7 mm) lead length at $T_L = 70$ °C	$I_{F(AV)}$	1.5									A
Peak forward surge current 8.3 ms single half sine-wave superimposed on rated load	I_{FSM}	50									A
Maximum full load reverse current, full cycle average 0.375" (9.5 mm) lead length at $T_L = 70$ °C	$I_{R(AV)}$	300									μ A
Operation junction and storage temperature range	T_J, T_{STG}	- 50 to + 150									°C



1N5391, 1N5392, 1N5393, 1N5394, 1N5395, 1N5396, 1N5397, 1N5398, 1N5399

www.vishay.com

Vishay General Semiconductor

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T _A = 25 °C unless otherwise noted)													
PARAMETER	TEST CONDITIONS		SYMBOL	1N5391	1N5392	1N5393	1N5394	1N5395	1N5396	1N5397	1N5398	1N5399	UNIT
Maximum instantaneous forward voltage	1.5 A	T _A = 70 °C	V _F	1.4								V	
Maximum DC reverse current at rated DC blocking voltage	T _A = 25 °C		I _R	5.0								μA	
	T _A = 150 °C			300									
Typical reverse recovery time	I _F = 0.5 A, I _R = 1.0 A, I _{rr} = 0.25 A		t _{rr}	2.0								μs	
Typical junction capacitance	4.0 V, 1 MHz		C _J	15								pF	

THERMAL CHARACTERISTICS (T _A = 25 °C unless otherwise noted)											
PARAMETER	SYMBOL	1N5391	1N5392	1N5393	1N5394	1N5395	1N5396	1N5397	1N5398	1N5399	UNIT
Typical thermal resistance	R _{θJA} ⁽¹⁾	55								°C/W	
	R _{θJL} ⁽¹⁾	25									

Note

⁽¹⁾ Thermal resistance from junction to ambient at 0.375" (9.5 mm) lead length, P.C.B. mounted

ORDERING INFORMATION (Example)				
PREFERRED P/N	UNIT WEIGHT (g)	PREFERRED PACKAGE CODE	BASE QUANTITY	DELIVERY MODE
1N5391-E3/54	0.336	54	5500	13" diameter paper tape and reel
1N5391-E3/73	0.336	73	3000	Ammo pack packaging

RATINGS AND CHARACTERISTICS CURVES (T_A = 25 °C unless otherwise noted)

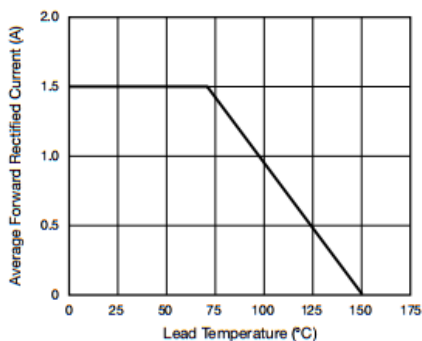


Fig. 1 - Forward Current Derating Curve

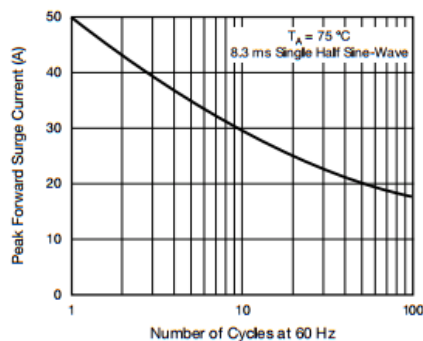


Fig. 2 - Maximum Non-repetitive Peak Forward Surge Current

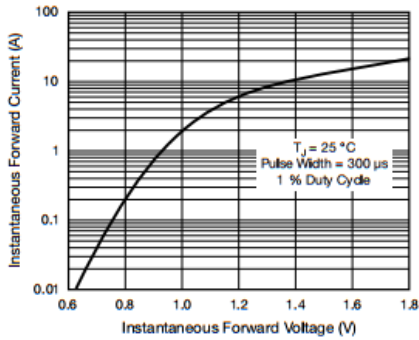


Fig. 3 - Typical Instantaneous Forward Characteristics

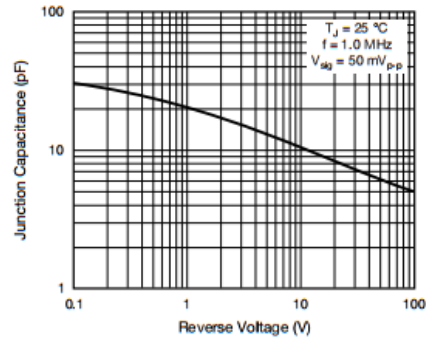


Fig. 5 - Typical Junction Capacitance

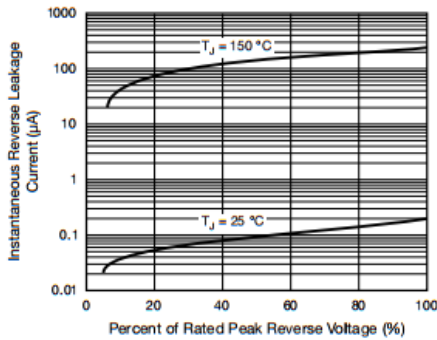


Fig. 4 - Typical Reverse Characteristics

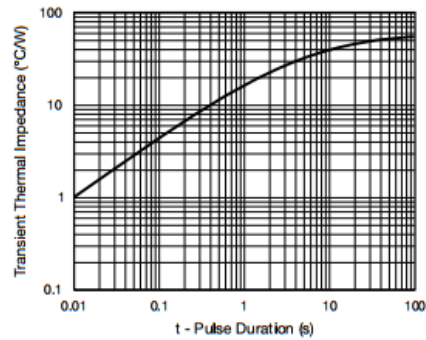
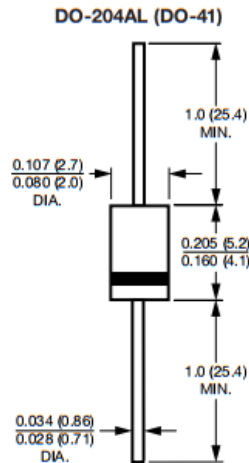
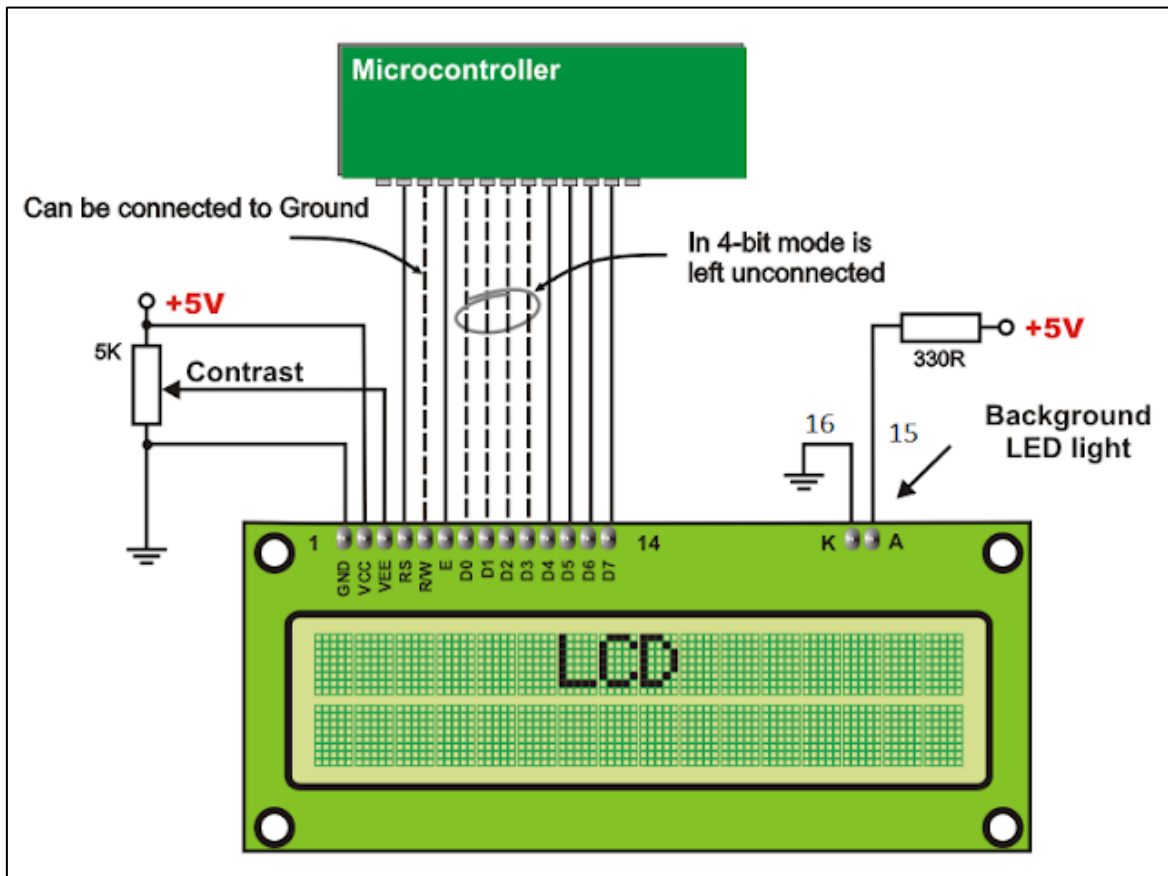


Fig. 6 - Transient Thermal Impedance

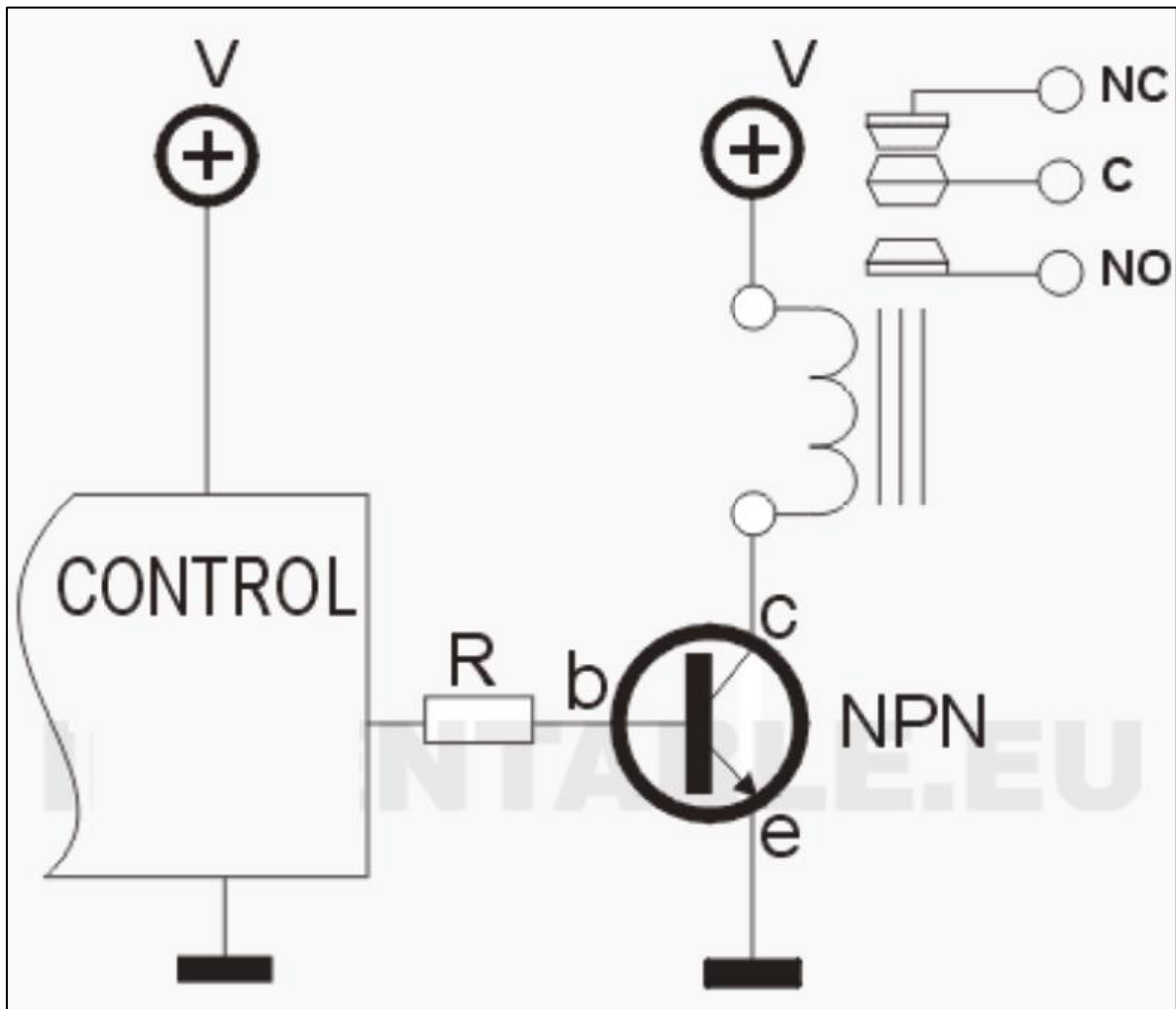
PACKAGE OUTLINE DIMENSIONS in inches (millimeters)



Anexo O. Conexión LCD 2x16.



Fuente: [109].

Anexo P. Conexión básica de un relé.

Fuente: [110].

Anexo Q. ATmega328P – Datasheet.



ATmega328P

8-bit AVR Microcontroller with 32K Bytes In-System Programmable Flash

DATASHEET

Features

- High performance, low power AVR[®] 8-bit microcontroller
- Advanced RISC architecture
 - 131 powerful instructions – most single clock cycle execution
 - 32 × 8 general purpose working registers
 - Fully static operation
 - Up to 16MIPS throughput at 16MHz
 - On-chip 2-cycle multiplier
- High endurance non-volatile memory segments
 - 32K bytes of in-system self-programmable flash program memory
 - 1Kbytes EEPROM
 - 2Kbytes internal SRAM
 - Write/erase cycles: 10,000 flash/100,000 EEPROM
 - Optional boot code section with independent lock bits
 - In-system programming by on-chip boot program
 - True read-while-write operation
 - Programming lock for software security
- Peripheral features
 - Two 8-bit Timer/Counters with separate prescaler and compare mode
 - One 16-bit Timer/Counter with separate prescaler, compare mode, and capture mode
 - Real time counter with separate oscillator
 - Six PWM channels
 - 8-channel 10-bit ADC in TQFP and QFN/MLF package
 - Temperature measurement
 - Programmable serial USART
 - Master/slave SPI serial interface
 - Byte-oriented 2-wire serial interface (Phillips I²C compatible)
 - Programmable watchdog timer with separate on-chip oscillator
 - On-chip analog comparator
 - Interrupt and wake-up on pin change
- Special microcontroller features
 - Power-on reset and programmable brown-out detection
 - Internal calibrated oscillator
 - External and internal interrupt sources
 - Six sleep modes: Idle, ADC noise reduction, power-save, power-down, standby, and extended standby

7810D-AVR-01/15

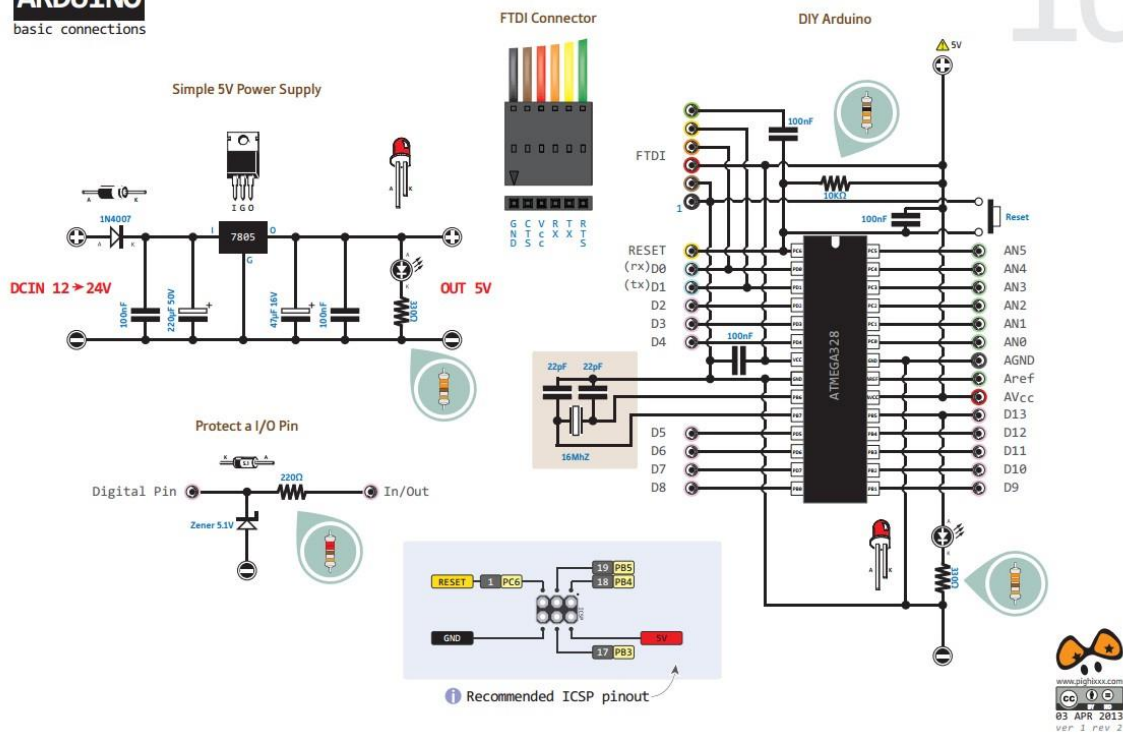
Fuente: [100].

- I/O and packages
 - 23 programmable I/O lines
 - 32-lead TQFP, and 32-pad QFN/MLF
- Operating voltage:
 - 2.7V to 5.5V for ATmega328P
- Temperature range:
 - Automotive temperature range: -40°C to $+125^{\circ}\text{C}$
- Speed grade:
 - 0 to 8MHz at 2.7 to 5.5V (automotive temperature range: -40°C to $+125^{\circ}\text{C}$)
 - 0 to 16MHz at 4.5 to 5.5V (automotive temperature range: -40°C to $+125^{\circ}\text{C}$)
- Low power consumption
 - Active mode: 1.5mA at 3V - 4MHz
 - Power-down mode: 1 μA at 3V

Anexo R. Componentes básicos de un Arduino UNO.

THE UNOFFICIAL ARDUINO basic connections

16



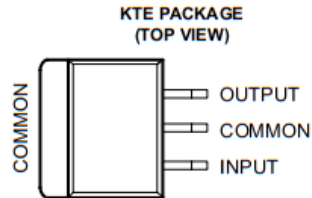
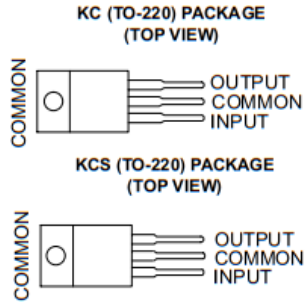
Fuente: [101].

Anexo S. LM7805 - Datasheet .

**μA7800 SERIES
POSITIVE-VOLTAGE REGULATORS**

SLVS056J – MAY 1976 – REVISED MAY 2003

- 3-Terminal Regulators
- Output Current up to 1.5 A
- Internal Thermal-Overload Protection
- High Power-Dissipation Capability
- Internal Short-Circuit Current Limiting
- Output Transistor Safe-Area Compensation



description/ordering information

This series of fixed-voltage integrated-circuit voltage regulators is designed for a wide range of applications. These applications include on-card regulation for elimination of noise and distribution problems associated with single-point regulation. Each of these regulators can deliver up to 1.5 A of output current. The internal current-limiting and thermal-shutdown features of these regulators essentially make them immune to overload. In addition to use as fixed-voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable output voltages and currents, and also can be used as the power-pass element in precision regulators.

ORDERING INFORMATION

T _J	V _{O(NOM)} (V)	PACKAGE†		ORDERABLE PART NUMBER	TOP-SIDE MARKING
0°C to 125°C	5	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	μA7805CKTER	μA7805C
		TO-220 (KC)	Tube of 50	μA7805CKC	μA7805C
		TO-220, short shoulder (KCS)	Tube of 20	μA7805CKCS	
	8	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	μA7808CKTER	μA7808C
		TO-220 (KC)	Tube of 50	μA7808CKC	μA7808C
		TO-220, short shoulder (KCS)	Tube of 20	μA7808CKCS	
	10	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	μA7810CKTER	μA7810C
		TO-220 (KC)	Tube of 50	μA7810CKC	μA7810C
	12	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	μA7812CKTER	μA7812C
		TO-220 (KC)	Tube of 50	μA7812CKC	μA7812C
		TO-220, short shoulder (KCS)	Tube of 20	μA7812CKCS	
	15	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	μA7815CKTER	μA7815C
TO-220 (KC)		Tube of 50	μA7815CKC	μA7815C	
TO-220, short shoulder (KCS)		Tube of 20	μA7815CKCS		
24	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	μA7824CKTER	μA7824C	
	TO-220 (KC)	Tube of 50	μA7824CKC	μA7824C	

† Package drawings, standard packing quantities, thermal data, symbolization, and PCB design guidelines are available at www.ti.com/sc/package.



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

PRODUCTION DATA Information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.



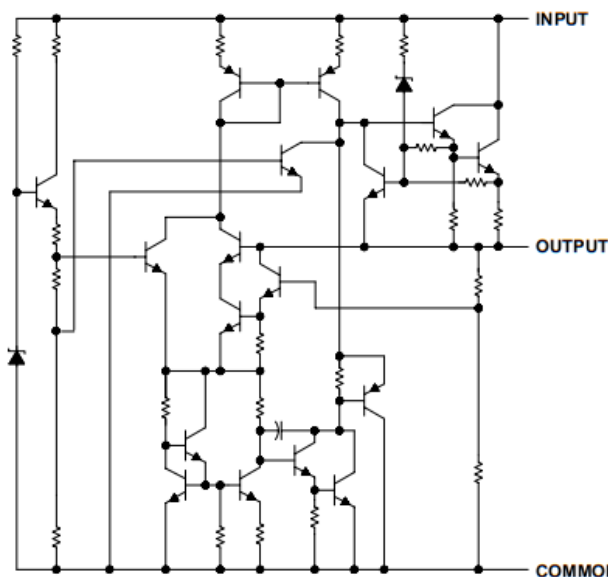
POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

Copyright © 2003, Texas Instruments Incorporated

**μA7800 SERIES
POSITIVE-VOLTAGE REGULATORS**

SLVS056J – MAY 1976 – REVISED MAY 2003

schematic



absolute maximum ratings over virtual junction temperature range (unless otherwise noted)†

Input voltage, V_I : μA7824C	40 V
All others	35 V
Operating virtual junction temperature, T_J	150°C
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds	260°C
Storage temperature range, T_{stg}	-65°C to 150°C

† Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

package thermal data (see Note 1)

PACKAGE	BOARD	θ_{JC}	θ_{JA}
POWER-FLEX (KTE)	High K, JESD 51-5	3°C/W	23°C/W
TO-220 (KC/KCS)	High K, JESD 51-5	3°C/W	19°C/W

NOTE 1: Maximum power dissipation is a function of $T_J(\text{max})$, θ_{JA} , and T_A . The maximum allowable power dissipation at any allowable ambient temperature is $P_D = (T_J(\text{max}) - T_A)/\theta_{JA}$. Operating at the absolute maximum T_J of 150°C can affect reliability.

μA7800 SERIES POSITIVE-VOLTAGE REGULATORS

SLVS056J – MAY 1976 – REVISED MAY 2003

recommended operating conditions

		MIN	MAX	UNIT	
V_I	Input voltage	μA7805C	7	25	V
		μA7808C	10.5	25	
		μA7810C	12.5	28	
		μA7812C	14.5	30	
		μA7815C	17.5	30	
		μA7824C	27	38	
I_O	Output current		1.5	A	
T_J	Operating virtual junction temperature	μA7800C series	0	125	°C

electrical characteristics at specified virtual junction temperature, $V_I = 10\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	T_J †	μA7805C			UNIT
			MIN	TYP	MAX	
Output voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$, $P_D \leq 15\text{ W}$, $V_I = 7\text{ V to }20\text{ V}$	25°C	4.8	5	5.2	V
		0°C to 125°C	4.75		5.25	
Input voltage regulation	$V_I = 7\text{ V to }25\text{ V}$	25°C		3	100	mV
	$V_I = 8\text{ V to }12\text{ V}$			1	50	
Ripple rejection	$V_I = 8\text{ V to }18\text{ V}$, $f = 120\text{ Hz}$	0°C to 125°C	62	78		dB
Output voltage regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$	25°C		15	100	mV
	$I_O = 250\text{ mA to }750\text{ mA}$			5	50	
Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$	0°C to 125°C	0.017			Ω
Temperature coefficient of output voltage	$I_O = 5\text{ mA}$	0°C to 125°C	-1.1			mV/°C
Output noise voltage	$f = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$	25°C	40			μV
Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$	25°C	2			V
Bias current		25°C	4.2	8		mA
Bias current change	$V_I = 7\text{ V to }25\text{ V}$	0°C to 125°C			1.3	mA
	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$				0.5	
Short-circuit output current		25°C	750			mA
Peak output current		25°C	2.2			A

† Pulse-testing techniques maintain the junction temperature as close to the ambient temperature as possible. Thermal effects must be taken into account separately. All characteristics are measured with a 0.33-μF capacitor across the input and a 0.1-μF capacitor across the output.

**μA7800 SERIES
POSITIVE-VOLTAGE REGULATORS**

SLVS056J – MAY 1976 – REVISED MAY 2003

electrical characteristics at specified virtual junction temperature, $V_I = 14\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	T_J †	μA7808C			UNIT	
			MIN	TYP	MAX		
Output voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$, $P_D \leq 15\text{ W}$	25°C	7.7	8	8.3	V	
		0°C to 125°C	7.6		8.4		
Input voltage regulation	$V_I = 10.5\text{ V to }25\text{ V}$	25°C			6	160	mV
	$V_I = 11\text{ V to }17\text{ V}$				2	80	
Ripple rejection	$V_I = 11.5\text{ V to }21.5\text{ V}$, $f = 120\text{ Hz}$	0°C to 125°C	55	72		dB	
Output voltage regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$	25°C			12	160	mV
	$I_O = 250\text{ mA to }750\text{ mA}$				4	80	
Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$	0°C to 125°C			0.016	Ω	
Temperature coefficient of output voltage	$I_O = 5\text{ mA}$	0°C to 125°C			-0.8	mV/°C	
Output noise voltage	$f = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$	25°C			52	μV	
Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$	25°C			2	V	
Bias current		25°C			4.3	8	mA
Bias current change	$V_I = 10.5\text{ V to }25\text{ V}$	0°C to 125°C			1		mA
	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$				0.5		
Short-circuit output current		25°C			450	mA	
Peak output current		25°C			2.2	A	

† Pulse-testing techniques maintain the junction temperature as close to the ambient temperature as possible. Thermal effects must be taken into account separately. All characteristics are measured with a 0.33-μF capacitor across the input and a 0.1-μF capacitor across the output.

electrical characteristics at specified virtual junction temperature, $V_I = 17\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	T_J †	μA7810C			UNIT	
			MIN	TYP	MAX		
Output voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$, $P_D \leq 15\text{ W}$	25°C	9.6	10	10.4	V	
		0°C to 125°C	9.5	10	10.5		
Input voltage regulation	$V_I = 12.5\text{ V to }28\text{ V}$	25°C			7	200	mV
	$V_I = 14\text{ V to }20\text{ V}$				2	100	
Ripple rejection	$V_I = 13\text{ V to }23\text{ V}$, $f = 120\text{ Hz}$	0°C to 125°C	55	71		dB	
Output voltage regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$	25°C			12	200	mV
	$I_O = 250\text{ mA to }750\text{ mA}$				4	100	
Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$	0°C to 125°C			0.018	Ω	
Temperature coefficient of output voltage	$I_O = 5\text{ mA}$	0°C to 125°C			-1	mV/°C	
Output noise voltage	$f = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$	25°C			70	μV	
Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$	25°C			2	V	
Bias current		25°C			4.3	8	mA
Bias current change	$V_I = 12.5\text{ V to }28\text{ V}$	0°C to 125°C			1		mA
	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$				0.5		
Short-circuit output current		25°C			400	mA	
Peak output current		25°C			2.2	A	

† Pulse-testing techniques maintain the junction temperature as close to the ambient temperature as possible. Thermal effects must be taken into account separately. All characteristics are measured with a 0.33-μF capacitor across the input and a 0.1-μF capacitor across the output.

μA7800 SERIES POSITIVE-VOLTAGE REGULATORS

SLVS056J – MAY 1976 – REVISED MAY 2003

electrical characteristics at specified virtual junction temperature, $V_I = 19\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	T_J †	μA7812C			UNIT
			MIN	TYP	MAX	
Output voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$, $P_D \leq 15\text{ W}$	$V_I = 14.5\text{ V to }27\text{ V}$	11.5	12	12.5	V
		$0^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$	11.4		12.6	
Input voltage regulation	$V_I = 14.5\text{ V to }30\text{ V}$	25°C		10	240	mV
	$V_I = 16\text{ V to }22\text{ V}$			3	120	
Ripple rejection	$V_I = 15\text{ V to }25\text{ V}$, $f = 120\text{ Hz}$	$0^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$	55	71		dB
Output voltage regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$	25°C		12	240	mV
	$I_O = 250\text{ mA to }750\text{ mA}$			4	120	
Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$	$0^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$	0.018			Ω
Temperature coefficient of output voltage	$I_O = 5\text{ mA}$	$0^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$	-1			mV/°C
Output noise voltage	$f = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$	25°C	75			μV
Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$	25°C	2			V
Bias current		25°C	4.3	8		mA
Bias current change	$V_I = 14.5\text{ V to }30\text{ V}$	$0^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$	1		mA	
	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$		0.5			
Short-circuit output current		25°C	350			mA
Peak output current		25°C	2.2			A

† Pulse-testing techniques maintain the junction temperature as close to the ambient temperature as possible. Thermal effects must be taken into account separately. All characteristics are measured with a 0.33- μF capacitor across the input and a 0.1- μF capacitor across the output.

electrical characteristics at specified virtual junction temperature, $V_I = 23\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	T_J †	μA7815C			UNIT
			MIN	TYP	MAX	
Output voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$, $P_D \leq 15\text{ W}$	$V_I = 17.5\text{ V to }30\text{ V}$	14.4	15	15.6	V
		$0^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$	14.25		15.75	
Input voltage regulation	$V_I = 17.5\text{ V to }30\text{ V}$	25°C		11	300	mV
	$V_I = 20\text{ V to }26\text{ V}$			3	150	
Ripple rejection	$V_I = 18.5\text{ V to }28.5\text{ V}$, $f = 120\text{ Hz}$	$0^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$	54	70		dB
Output voltage regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$	25°C		12	300	mV
	$I_O = 250\text{ mA to }750\text{ mA}$			4	150	
Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$	$0^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$	0.019			Ω
Temperature coefficient of output voltage	$I_O = 5\text{ mA}$	$0^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$	-1			mV/°C
Output noise voltage	$f = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$	25°C	90			μV
Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$	25°C	2			V
Bias current		25°C	4.4	8		mA
Bias current change	$V_I = 17.5\text{ V to }30\text{ V}$	$0^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$	1		mA	
	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$		0.5			
Short-circuit output current		25°C	230			mA
Peak output current		25°C	2.1			A

† Pulse-testing techniques maintain the junction temperature as close to the ambient temperature as possible. Thermal effects must be taken into account separately. All characteristics are measured with a 0.33- μF capacitor across the input and a 0.1- μF capacitor across the output.

μA7800 SERIES POSITIVE-VOLTAGE REGULATORS

SLVS056J – MAY 1976 – REVISED MAY 2003

electrical characteristics at specified virtual junction temperature, $V_I = 33\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	T_J †	μA7824C			UNIT
			MIN	TYP	MAX	
Output voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$, $P_D \leq 15\text{ W}$	$V_I = 27\text{ V to }38\text{ V}$	23	24	25	V
		$0^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$	22.8		25.2	
Input voltage regulation	$V_I = 27\text{ V to }38\text{ V}$	25°C		18	480	mV
	$V_I = 30\text{ V to }36\text{ V}$			6	240	
Ripple rejection	$V_I = 28\text{ V to }38\text{ V}$, $f = 120\text{ Hz}$	$0^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$	50	66		dB
Output voltage regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$	25°C		12	480	mV
	$I_O = 250\text{ mA to }750\text{ mA}$			4	240	
Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$	$0^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$	0.028			Ω
Temperature coefficient of output voltage	$I_O = 5\text{ mA}$	$0^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$	-1.5			mV/°C
Output noise voltage	$f = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$	25°C		170		μV
Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$	25°C		2		V
Bias current		25°C		4.6	8	mA
Bias current change	$V_I = 27\text{ V to }38\text{ V}$	$0^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$			1	mA
	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$				0.5	
Short-circuit output current		25°C		150		mA
Peak output current		25°C		2.1		A

† Pulse-testing techniques maintain the junction temperature as close to the ambient temperature as possible. Thermal effects must be taken into account separately. All characteristics are measured with a 0.33-μF capacitor across the input and a 0.1-μF capacitor across the output.



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

APPLICATION INFORMATION

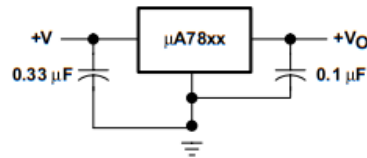


Figure 1. Fixed-Output Regulator

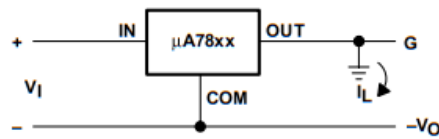
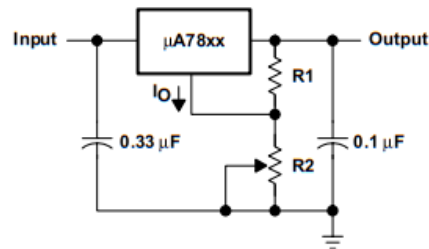


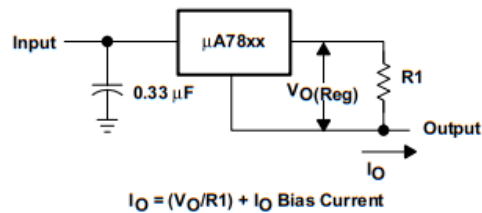
Figure 2. Positive Regulator in Negative Configuration (V_I Must Float)



NOTE A: The following formula is used when V_{xx} is the nominal output voltage (output to common) of the fixed regulator:

$$V_O = V_{xx} + \left(\frac{V_{xx}}{R1} + I_O \right) R2$$

Figure 3. Adjustable-Output Regulator



$$I_O = (V_O/R1) + I_O \text{ Bias Current}$$

Figure 4. Current Regulator

μ A7800 SERIES POSITIVE-VOLTAGE REGULATORS

SLVS056J – MAY 1976 – REVISED MAY 2003

APPLICATION INFORMATION

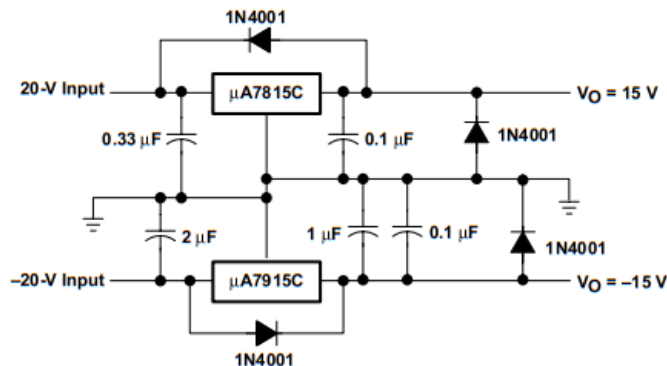


Figure 5. Regulated Dual Supply

operation with a load common to a voltage of opposite polarity

In many cases, a regulator powers a load that is not connected to ground but, instead, is connected to a voltage source of opposite polarity (e.g., operational amplifiers, level-shifting circuits, etc.). In these cases, a clamp diode should be connected to the regulator output as shown in Figure 6. This protects the regulator from output polarity reversals during startup and short-circuit operation.

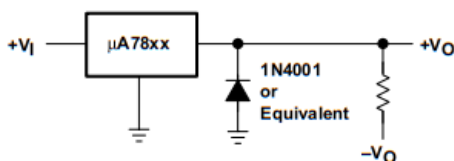


Figure 6. Output Polarity-Reversal-Protection Circuit

reverse-bias protection

Occasionally, the input voltage to the regulator can collapse faster than the output voltage. This can occur, for example, when the input supply is crowbarred during an output overvoltage condition. If the output voltage is greater than approximately 7 V, the emitter-base junction of the series-pass element (internal or external) could break down and be damaged. To prevent this, a diode shunt can be used as shown in Figure 7.

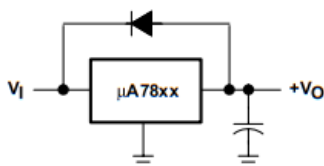


Figure 7. Reverse-Bias-Protection Circuit

Anexo T. Diodo 1N4004 – Datasheet.

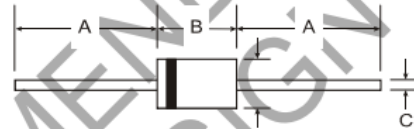


NOT RECOMMENDED FOR NEW DESIGN
USE S1A-S1M series

1N4001 - 1N4007
1.0A RECTIFIER

Features

- Diffused Junction
- High Current Capability and Low Forward Voltage Drop
- Surge Overload Rating to 30A Peak
- Low Reverse Leakage Current
- Lead Free Finish, RoHS Compliant (Note 3)



Mechanical Data

- Case: DO-41
- Case Material: Molded Plastic. UL Flammability Classification Rating 94V-0
- Moisture Sensitivity: Level 1 per J-STD-020D
- Terminals: Finish - Bright Tin. Plated Leads Solderable per MIL-STD-202, Method 208
- Polarity: Cathode Band
- Ordering Information: See Page 2
- Marking: Type Number
- Weight: 0.30 grams (Approximate)

Dim	DO-41 Plastic	
	Min	Max
A	25.40	—
B	4.06	5.21
C	0.71	0.864
D	2.00	2.72
All Dimensions in mm		

Maximum Ratings and Electrical Characteristics (@T_A = +25°C unless otherwise specified.)

Single phase, half wave, 60Hz, resistive or inductive load.
For capacitive load, derate current by 20%.

Characteristic	Symbol	1N4001	1N4002	1N4003	1N4004	1N4005	1N4006	1N4007	Unit	
Peak Repetitive Reverse Voltage	V _{RRM}	50	100	200	400	600	800	1000	V	
Working Peak Reverse Voltage	V _{RWM}									
DC Blocking Voltage	V _R									
RMS Reverse Voltage	V _{R(RMS)}	35	70	140	280	420	560	700	V	
Average Rectified Output Current (Note 1) @ T _A = +75°C	I _O	1.0								A
Non-Repetitive Peak Forward Surge Current 8.3ms	I _{FSM}	30								A
Single Half Sine-Wave Superimposed on Rated Load										
Forward Voltage @ I _F = 1.0A	V _{FM}	1.0								V
Peak Reverse Current @ T _A = +25°C	I _{RM}	5.0								µA
at Rated DC Blocking Voltage @ T _A = +100°C		50								
Typical Junction Capacitance (Note 2)	C _J	15				8				pF
Typical Thermal Resistance Junction to Ambient	R _{θJA}	100								K/W
Maximum DC Blocking Voltage Temperature	T _A	+150								°C
Operating and Storage Temperature Range	T _J , T _{STG}	-65 to +150								°C

- Notes:
1. Leads maintained at ambient temperature at a distance of 9.5mm from the case.
 2. Measured at 1.0 MHz and applied reverse voltage of 4.0V DC.
 3. EU Directive 2002/95/EC (RoHS). All applicable RoHS exemptions applied, see EU Directive 2002/95/EC Annex Notes.



NOT RECOMMENDED FOR NEW DESIGN
USE S1A-S1M series

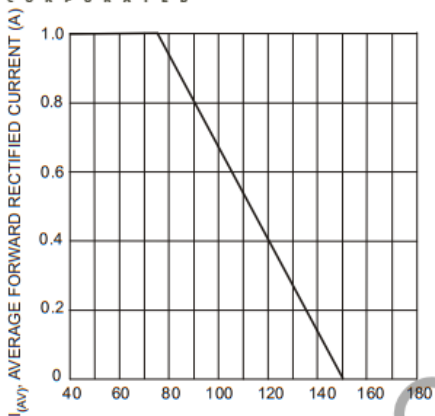


Fig. 1 Forward Current Derating Curve

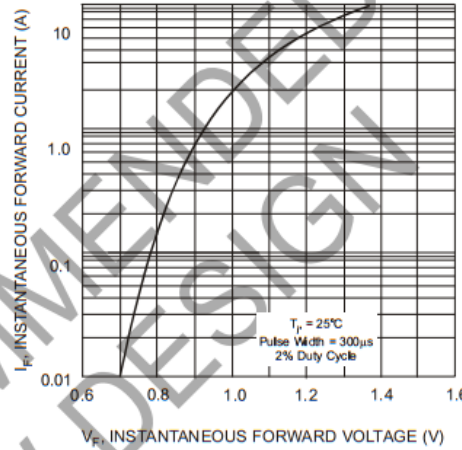


Fig. 2 Typical Forward Characteristics

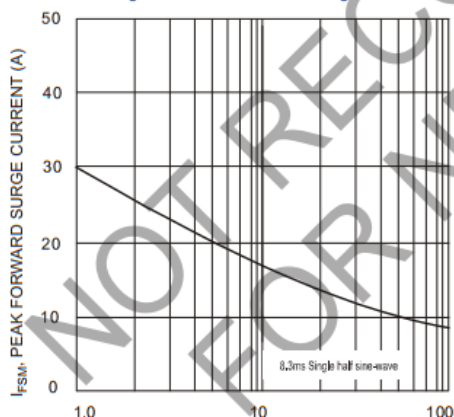


Fig. 3 Max Non-Repetitive Peak Fwd Surge Current

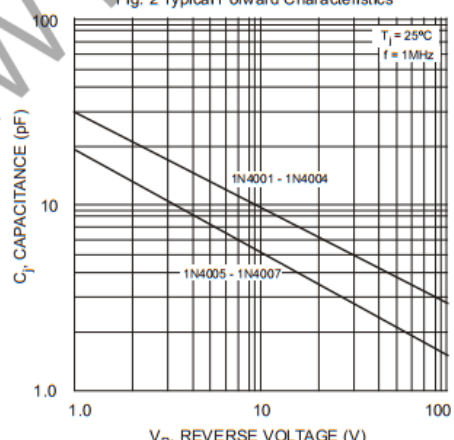


Fig. 4 Typical Junction Capacitance

Ordering Information (Note 4)

Device	Packaging	Shipping
1N4001-B	DO-41 Plastic	1K/Bulk
1N4001-T	DO-41 Plastic	5K/Tape & Reel, 13-inch
1N4002-B	DO-41 Plastic	1K/Bulk
1N4002-T	DO-41 Plastic	5K/Tape & Reel, 13-inch
1N4003-B	DO-41 Plastic	1K/Bulk
1N4003-T	DO-41 Plastic	5K/Tape & Reel, 13-inch
1N4004-B	DO-41 Plastic	1K/Bulk
1N4004-T	DO-41 Plastic	5K/Tape & Reel, 13-inch
1N4005-B	DO-41 Plastic	1K/Bulk
1N4005-T	DO-41 Plastic	5K/Tape & Reel, 13-inch
1N4006-B	DO-41 Plastic	1K/Bulk
1N4006-T	DO-41 Plastic	5K/Tape & Reel, 13-inch
1N4007-B	DO-41 Plastic	1K/Bulk
1N4007-T	DO-41 Plastic	5K/Tape & Reel, 13-inch

Note: 4. For packaging details, visit our website at <http://www.diodes.com/datasheets/ap02008.pdf>.

Fuente: [111].

Anexo U. Transistor 2N3904 - Datasheet .

2N3903, 2N3904

General Purpose Transistors

NPN Silicon

Features

- Pb-Free Packages are Available*

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Collector- Emitter Voltage	V_{CEO}	40	Vdc
Collector-Base Voltage	V_{CBO}	60	Vdc
Emitter-Base Voltage	V_{EBO}	6.0	Vdc
Collector Current - Continuous	I_C	200	mAdc
Total Device Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	625 5.0	mW mW/ $^\circ\text{C}$
Total Device Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	1.5 12	W mW/ $^\circ\text{C}$
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	-55 to +150	$^\circ\text{C}$

THERMAL CHARACTERISTICS (Note 1)

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction-to-Ambient	$R_{\theta JA}$	200	$^\circ\text{C/W}$
Thermal Resistance, Junction-to-Case	$R_{\theta JC}$	83.3	$^\circ\text{C/W}$

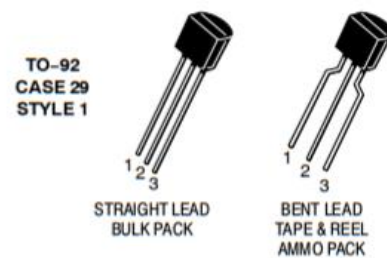
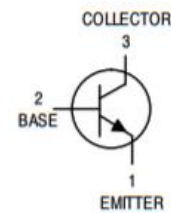
Stresses exceeding Maximum Ratings may damage the device. Maximum Ratings are stress ratings only. Functional operation above the Recommended Operating Conditions is not implied. Extended exposure to stresses above the Recommended Operating Conditions may affect device reliability.

1. Indicates Data in addition to JEDEC Requirements.

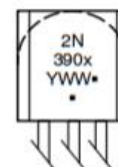


ON Semiconductor®

<http://onsemi.com>



MARKING DIAGRAMS



- x = 3 or 4
- Y = Year
- WW = Work Week
- = Pb-Free Package

(Note: Microdot may be in either location)

ORDERING INFORMATION

See detailed ordering and shipping information in the package dimensions section on page 3 of this data sheet.

*For additional information on our Pb-Free strategy and soldering details, please download the ON Semiconductor Soldering and Mounting Techniques Reference Manual, SOLDERRM/D.

Anexo V. Código en lenguaje C para el controlador de carga fotovoltaico.

```

#include <mega328p.h>
#include <math.h> //funciones matematicas
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <delay.h>
#include <alcd.h>

#define ADC_VREF_TYPE ((0<<REFS1) | (0<<REFS0) | (0<<ADLAR))
const float minima_posicion=0,maxima_posicion=10000;
//calibraciones hechas por experimentación 240=ocri y 1140 para calibrar
float posicion,factor;
int valor_ad;
float voltaje;
unsigned char lcd_buffer[20];
float acumulador,bateria;

// Read the AD conversion result
unsigned int read_adc(unsigned char adc_input)
{
    ADMUX=adc_input | ADC_VREF_TYPE;
    // Delay needed for the stabilization of the ADC input voltage
    delay_us(10);
    // Start the AD conversion
    ADCSRA=(1<<ADSC);
    // Wait for the AD conversion to complete
    while ((ADCSRA & (1<<ADIF))==0);
    ADCSRA=(1<<ADIF);
    return ADCW;
}

float map(float x, float in_min, float in_max, float out_min, float out_max)
{
    return (x - in_min) * (out_max - out_min) / (in_max - in_min) + out_min;
}

void main(void)
{
    // Declare your local variables here

    // Input/Output Ports initialization
    // Port B initialization
    // Function: Bit7=In Bit6=In Bit5=In Bit4=In Bit3=In Bit2=In Bit1=Out Bit0=In
    DDRB=(0<<DDB7) | (0<<DDB6) | (0<<DDB5) | (0<<DDB4) | (0<<DDB3) | (0<<DDB2) | (1<<DDB1) | (0<<DDB0);
    // State: Bit7=T Bit6=T Bit5=T Bit4=T Bit3=T Bit2=T Bit1=0 Bit0=T
    PORTB=(0<<PORTB7) | (0<<PORTB6) | (0<<PORTB5) | (0<<PORTB4) | (0<<PORTB3) | (0<<PORTB2) | (0<<PORTB1) | (0<<PORTB0);

    // Port C initialization
    // Function: Bit6=In Bit5=In Bit4=In Bit3=In Bit2=In Bit1=In Bit0=In
    DDRC=(0<<DDC6) | (0<<DDC5) | (0<<DDC4) | (0<<DDC3) | (0<<DDC2) | (0<<DDC1) | (0<<DDC0);
    // State: Bit6=T Bit5=T Bit4=T Bit3=T Bit2=T Bit1=T Bit0=T
    PORTC=(0<<PORTC6) | (0<<PORTC5) | (0<<PORTC4) | (0<<PORTC3) | (0<<PORTC2) | (0<<PORTC1) | (0<<PORTC0);

    // Port D initialization
    // Function: Bit7=In Bit6=In Bit5=In Bit4=In Bit3=In Bit2=In Bit1=In Bit0=In
    DDRD=(0<<DDD7) | (0<<DDD6) | (0<<DDD5) | (0<<DDD4) | (0<<DDD3) | (0<<DDD2) | (0<<DDD1) | (0<<DDD0);
    // State: Bit7=T Bit6=T Bit5=T Bit4=T Bit3=T Bit2=T Bit1=T Bit0=T
    PORTD=(0<<PORTD7) | (0<<PORTD6) | (0<<PORTD5) | (0<<PORTD4) | (0<<PORTD3) | (0<<PORTD2) | (0<<PORTD1) | (0<<PORTD0);

    /*

    // ADC initialization
    // ADC Clock frequency: 125.000 kHz
    // ADC Voltage Reference: AREF pin
    // ADC Auto Trigger Source: Free Running
    // Digital input buffers on ADC0: Off, ADC1: On, ADC2: On, ADC3: On
    // ADC4: On, ADC5: On
    DIDR0=(0<<ADC5D) | (0<<ADC4D) | (0<<ADC3D) | (0<<ADC2D) | (0<<ADC1D) | (1<<ADC0D);
    ADMUX=ADC_VREF_TYPE;
    ADCSRA=(1<<ADEN) | (0<<ADSC) | (1<<ADATE) | (0<<ADIF) | (0<<ADIE) | (1<<ADPS2) | (1<<ADPS1) | (0<<ADPS0);
    ADCSRB=(0<<ADTS2) | (0<<ADTS1) | (0<<ADTS0);

```

Fuente: Elaboración Propia.

```

// Alphanumeric LCD initialization
// Connections are specified in the
// Project|Configure|C Compiler|Libraries|Alphanumeric LCD menu:
// RS - PORTD Bit 0
// RD - PORTD Bit 1
// EN - PORTD Bit 2
// D4 - PORTD Bit 3
// D5 - PORTD Bit 4
// D6 - PORTD Bit 5
// D7 - PORTD Bit 6
// Characters/line: 8
lcd_init(16);
lcd_clear(); //borra pantalla
lcd_gotoxy(0,0); //nos ubicamos en donde nos vamos a poner primera linea arriba
lcd_putsf("bat:"); //escribe el mensaje en la lcd en la posicion anterior declarada
lcd_gotoxy(0,1); // coloca n la primera linea de abajo
lcd_putsf("voltaje:");
lcd_gotoxy(14,1);
lcd_putsf("V");

PORTB.1=1;
delay_ms(500);
PORTB.1=0;
delay_ms(100);

factor=maxima_posicion-minima_posicion; //es el factor de converscion
factor/=180.0;
posicion=10;

factor=maxima_posicion-minima_posicion; //es el factor de converscion
factor/=180.0;
posicion=10;
while (1)
{
    //acumulador=factor*posicion; // se gaurda en
    //acumulador+=minima_posicion; //

    //OCR1AH=((unsigned char)((unsigned int)acumulador)>>8);
    //transformo a un entero de 16 bits y lo desplazo 8 posiciones a la izquierda
    //OCR1AL=(unsigned char)acumulador; // transforma de valor flotante a char....y cargo en acumulador

    valor_ad=read_adc(0);
    voltaje = map(valor_ad, 0.0, 1023.0, 42, 60);

    bateria = map(voltaje, 42, 60, 0, 100);
    posicion = map(bateria, 0.0, 100.0, 180, 0);

    lcd_gotoxy(8,0);
    ftoa(bateria,2,lcd_buffer); // valor entero a ascci
    lcd_puts(lcd_buffer); // imprime un tren de caracteres
    lcd_putsf(" ");
    lcd_putsf("% ");

    lcd_gotoxy(9,1);
    ftoa(voltaje,2,lcd_buffer); // de valor flotante a ascci y el 2 es l numero
    lcd_puts(lcd_buffer); //visualización de voltaje almacenado
    delay_ms(100);

    if(bateria<10)
    {
        PORTB.1=1;
    }
    if(bateria>90)
    {
        PORTB.1=0;
    }
}
}

```

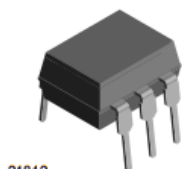
Fuente: Elaboración Propia.

Anexo W. Optoacoplador 4N35 – Datasheet.

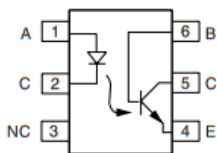


4N35, 4N36, 4N37
Vishay Semiconductors

Optocoupler, Phototransistor Output, with Base Connection



21842



11 70004-6

FEATURES

- Isolation test voltage 5000 V_{RMS}
- Interfaces with common logic families
- Input-output coupling capacitance < 0.5 pF
- Industry standard dual-in-line 6 pin package
- Compliant to RoHS directive 2002/95/EC and in accordance to WEEE 2002/96/EC



RoHS
COMPLIANT

APPLICATIONS

- AC mains detection
- Reed relay driving
- Switch mode power supply feedback
- Telephone ring detection
- Logic ground isolation
- Logic coupling with high frequency noise rejection

DESCRIPTION

Each optocoupler consists of gallium arsenide infrared LED and a silicon NPN phototransistor.

AGENCY APPROVALS

- Underwriters laboratory file no. E52744
- BSI: EN 60065:2002, EN 60950:2000
- FIMKO; EN 60065, EN 60335, EN 60950 certificate no. 25156

ORDER INFORMATION	
PART	REMARKS
4N35	CTR > 100 %, DIP-6
4N36	CTR > 100 %, DIP-6
4N37	CTR > 100 %, DIP-6

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (1)				
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	VALUE	UNIT
INPUT				
Reverse voltage		V_R	6	V
Forward current		I_F	50	mA
Surge current	$t \leq 10 \mu s$	I_{FSM}	1	A
Power dissipation		P_{diss}	70	mW
OUTPUT				
Collector emitter breakdown voltage		V_{CEO}	70	V
Emitter base breakdown voltage		V_{EBO}	7	V
Collector current		I_C	50	mA
	$t \leq 1 ms$	I_C	100	mA
Power dissipation		P_{diss}	70	mW
COUPLER				
Isolation test voltage		V_{ISO}	5000	V_{RMS}
Creepage			≥ 7	mm
Clearance			≥ 7	mm
Isolation thickness between emitter and detector			≥ 0.4	mm

4N35, 4N36, 4N37

Vishay Semiconductors Optocoupler, Phototransistor Output,
with Base Connection

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (1)				
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	VALUE	UNIT
COUPLER				
Comparative tracking index	DIN IEC 112/VDE 0303, part 1		175	
Isolation resistance	$V_{IO} = 500 \text{ V}, T_{amb} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$	R_{IO}	10^{12}	Ω
	$V_{IO} = 500 \text{ V}, T_{amb} = 100 \text{ }^\circ\text{C}$	R_{IO}	10^{11}	Ω
Storage temperature		T_{stg}	- 55 to + 150	$^\circ\text{C}$
Operating temperature		T_{amb}	- 55 to + 100	$^\circ\text{C}$
Junction temperature		T_j	100	$^\circ\text{C}$
Soldering temperature (2)	max.10 s dip soldering: distance to seating plane $\geq 1.5 \text{ mm}$	T_{skd}	260	$^\circ\text{C}$

Notes

(1) $T_{amb} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$, unless otherwise specified.

Stresses in excess of the absolute maximum ratings can cause permanent damage to the device. Functional operation of the device is not implied at these or any other conditions in excess of those given in the operational sections of this document. Exposure to absolute maximum ratings for extended periods of the time can adversely affect reliability.

(2) Refer to wave profile for soldering conditions for through hole devices (DIP).

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (1)							
PARAMETER	TEST CONDITION	PART	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
INPUT							
Junction capacitance	$V_R = 0 \text{ V}, f = 1 \text{ MHz}$		C_j		50		pF
Forward voltage (2)	$I_F = 10 \text{ mA}$		V_F		1.3	1.5	V
	$I_F = 10 \text{ mA}, T_{amb} = - 55 \text{ }^\circ\text{C}$		V_F	0.9	1.3	1.7	V
Reverse current (2)	$V_R = 6 \text{ V}$		I_R		0.1	10	μA
Capacitance	$V_R = 0 \text{ V}, f = 1 \text{ MHz}$		C_O		25		pF
OUTPUT							
Collector emitter breakdown voltage(2)	$I_C = 1 \text{ mA}$	4N35	BV_{CEO}	30			V
		4N36	BV_{CEO}	30			V
		4N37	BV_{CEO}	30			V
Emitter collector breakdown voltage(2)	$I_E = 100 \text{ } \mu\text{A}$		BV_{ECO}	7			V
OUTPUT							
Collector base breakdown voltage (2)	$I_C = 100 \text{ } \mu\text{A}, I_B = 1 \text{ } \mu\text{A}$	4N35	BV_{CBO}	70			V
		4N36	BV_{CBO}	70			V
		4N37	BV_{CBO}	70			V
Collector emitter leakage current (2)	$V_{CE} = 10 \text{ V}, I_F = 0$	4N35	I_{CEO}		5	50	nA
		4N36	I_{CEO}		5	50	nA
	$V_{CE} = 10 \text{ V}, I_F = 0$	4N37	I_{CEO}		5	50	nA
		4N35	I_{CEO}			500	μA
	$V_{CE} = 30 \text{ V}, I_F = 0,$ $T_{amb} = 100 \text{ }^\circ\text{C}$	4N36	I_{CEO}			500	μA
		4N37	I_{CEO}			500	μA
Collector emitter capacitance	$V_{CE} = 0$		C_{CE}		6		pF
COUPLER							
Resistance, input output (2)	$V_{IO} = 500 \text{ V}$		R_{IO}	10^{11}			Ω
Capacitance, input output	$f = 1 \text{ MHz}$		C_{IO}		0.6		pF

Notes

(1) $T_{amb} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$, unless otherwise specified.

Minimum and maximum values are testing requirements. Typical values are characteristics of the device and are the result of engineering evaluation. Typical values are for information only and are not part of the testing requirements.

(2) Indicates JEDEC registered value.



4N35, 4N36, 4N37

Optocoupler, Phototransistor Output, Vishay Semiconductors with Base Connection

CURRENT TRANSFER RATIO							
PARAMETER	TEST CONDITION	PART	SYMBOL	MIN	TYP.	MAX	UNIT
DC current transfer ratio ⁽¹⁾	$V_{CE} = 10\text{ V}, I_F = 10\text{ mA}$	4N35	CTR_{DC}	100			%
		4N36	CTR_{DC}	100			%
		4N37	CTR_{DC}	100			%
	$V_{CE} = 10\text{ V}, I_F = 10\text{ mA}, T_A = -55\text{ }^\circ\text{C to } +100\text{ }^\circ\text{C}$	4N35	CTR_{DC}	40	50		%
		4N36	CTR_{DC}	40	50		%
		4N37	CTR_{DC}	40	50		%

Note

⁽¹⁾ Indicates JEDEC registered values.

SWITCHING CHARACTERISTICS							
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT	
Switching time ⁽¹⁾	$V_{CC} = 10\text{ V}, I_C = 2\text{ mA}, R_L = 100\text{ }\Omega$	t_{on}, t_{off}		10		μs	

Note

⁽¹⁾ Indicates JEDEC registered values.

TYPICAL CHARACTERISTICS

$T_{amb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$, unless otherwise specified

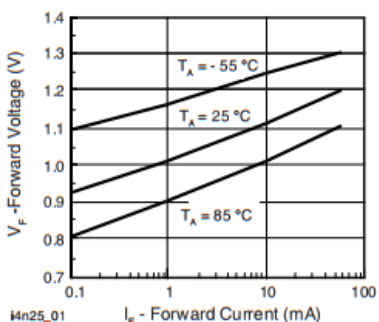


Fig. 1 - Forward Voltage vs. Forward Current

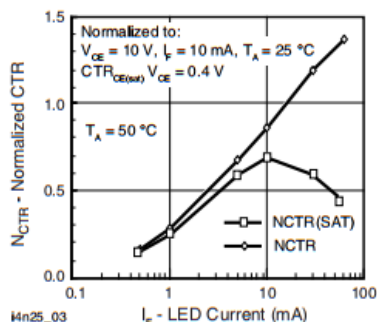


Fig. 3 - Normalized Non-Saturated and Saturated CTR vs. LED Current

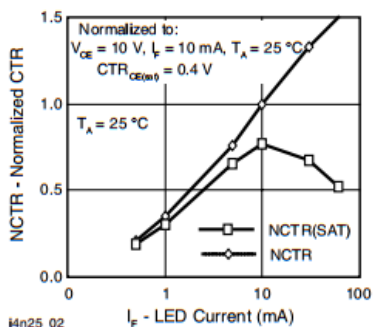


Fig. 2 - Normalized Non-Saturated and Saturated CTR vs. LED Current

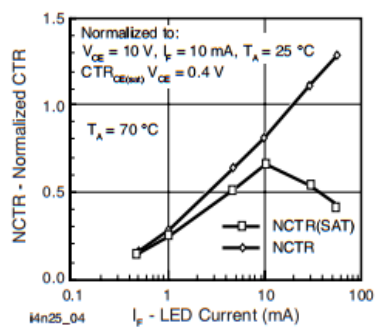


Fig. 4 - Normalized Non-Saturated and Saturated CTR vs. LED Current

4N35, 4N36, 4N37

Vishay Semiconductors Optocoupler, Phototransistor Output, with Base Connection

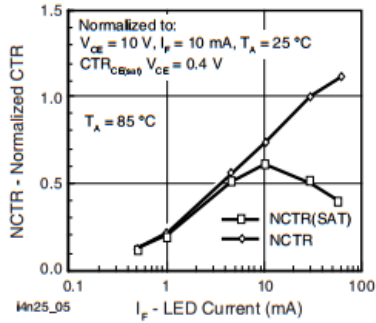


Fig. 5 - Normalized Non-Saturated and Saturated CTR vs. LED Current

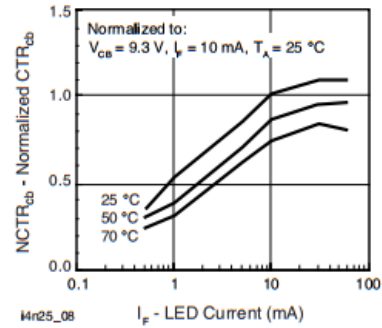


Fig. 8 - Normalized CTR_{cb} vs. LED Current and Temperature

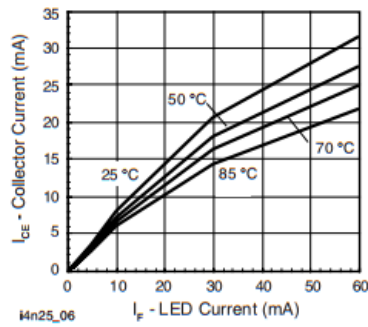


Fig. 6 - Collector Emitter Current vs. Temperature and LED Current

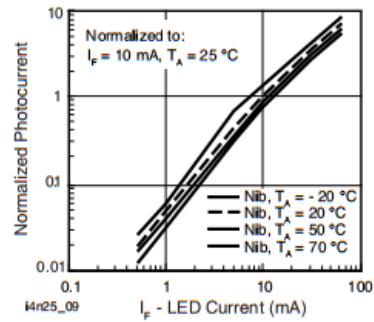


Fig. 9 - Normalized Photocurrent vs. I_F and Temperature

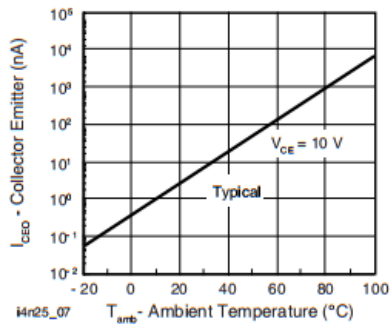


Fig. 7 - Collector Emitter Leakage Current vs. Temperature

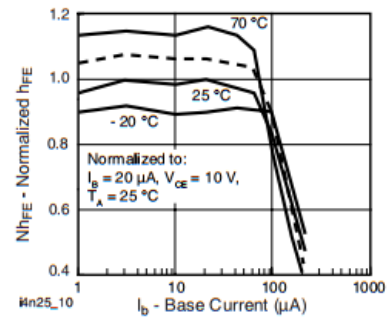


Fig. 10 - Normalized Non-Saturated h_{FE} vs. Base Current and Temperature



4N35, 4N36, 4N37

Optocoupler, Phototransistor Output, Vishay Semiconductors with Base Connection

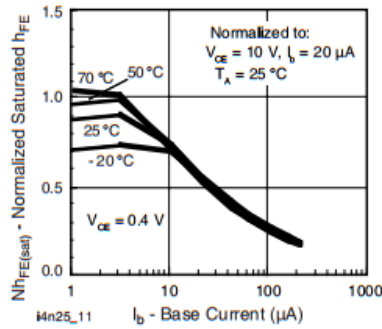
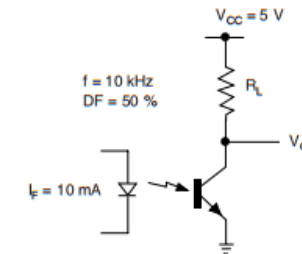


Fig. 11 - Normalized h_{FE} vs. Base Current and Temperature



Mn25_14

Fig. 14 - Switching Schematic

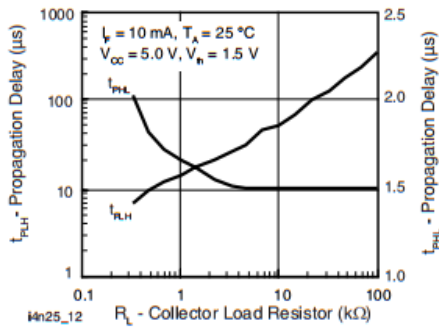
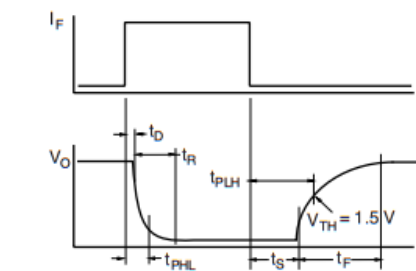
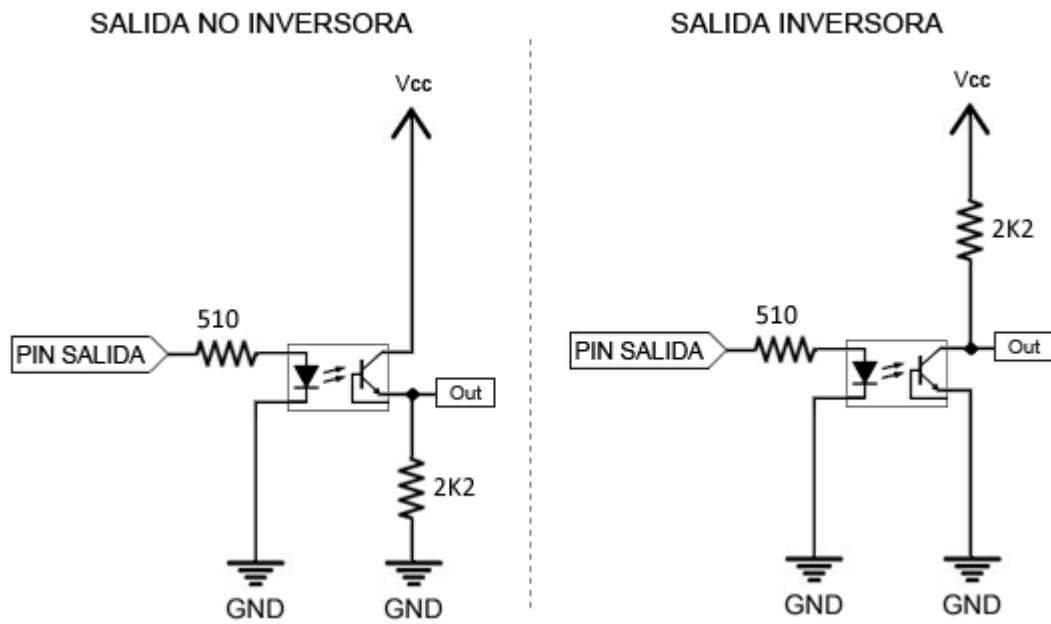


Fig. 12 - Propagation Delay vs. Collector Load Resistor



Mn25_13

Fig. 13 - Switching Timing

Anexo X. Conexión de un optoacoplador.

Fuente: [114].

Anexo Y. Planos Mecánicos.

Anexo Z. Planos Eléctricos.