

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA DE PROPULSIÓN Y CONTROL
PARA SILLA DE RUEDAS**

JORGE EDUARDO MORA PATIÑO
DIEGO FERNANDO SALAZAR TABARES

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA MECATRÓNICA
PEREIRA
2014

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA DE PROPULSIÓN Y CONTROL
PARA SILLA DE RUEDAS**

JORGE EDUARDO MORA PATIÑO
DIEGO FERNANDO SALAZAR TABARES

Proyecto para optar al título de Ingeniero Mecatrónico

Director
Jimmy Alexander Cortes Osorio
Ingeniero Eléctrico M.Sc.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA MECATRÓNICA
PEREIRA
2014

Nota de aceptación:

Presidente del jurado

Firma del jurado

Pereira (26 de Febrero 2014)

DEDICATORIA

A Dios. Por haberme permitido llegar hasta este punto y dado salud y fuerza en esta etapa de mi vida para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mis padres por su sacrificio y constante motivación que me permitieron salir adelante.

A mis familiares que participaron directa o indirectamente en la elaboración de este proyecto y que me brindaron su compañía y apoyo en todo momento.
A nuestros profesores, asesores, director de proyecto y todos los que de alguna manera nos colaboraron para la culminación de este proyecto.

Jorge Eduardo Mora Patiño

A DIOS, por brindarme salud, por hacer todo posible, por escuchar mis oraciones y hacer de este proyecto una realidad.

A mi madre Dora Nelly Tabares, quien con innumerables sacrificios me educo para ser una persona de bien y dedicada, quien me enseñó el verdadero valor de las cosas y quien me enseñó a nunca rendirme sin importar las adversidades.

A mi novia Luisa Marcela López, quien con su incondicional apoyo me acompañó muchas tardes, noches y días enteros siendo esa ancla que necesitaba para aterrizar ideas y lograr de este proyecto una investigación coherente y aplicable para ayudar a los demás.

Diego Fernando Salazar Tabares

AGRADECIMIENTOS

A lo largo del desarrollo de este proyecto tuvimos muchos baches que de una forma u otra retrasaron el proceso del mismo, pero también contamos con el apoyo de muchas personas quienes nos impulsaron a seguir adelante y a no rendirnos en la última etapa de este sueño de convertirnos en ingenieros, es por eso que queremos dar gracias a todas esas personas que de una forma u otra hicieron parte de este proyecto, en especial al señor Hernán López quien nos asesoro de muchas maneras y nos brindo un espacio y equipos para la elaboración de la parte mecánica del sistema.

Agradecemos al M.Sc. Jimmy Alexander Cortes quien nos brindo su apoyo en un momento más que oportuno sacrificando mucho de su tiempo libre para tener un proyecto con bases razonables y bien elaborado, por destacarse en su labor de docente y director del proyecto; hizo un valioso aporte en conocimiento y equipos a lo largo de todo el proyecto; a las entidades que nos permitieron disponer de espacios, información y equipos que facilitaron el desarrollo de este proyecto específicamente a la Universidad Tecnológica de Pereira por permitirnos dentro de su campus universitario desarrollar aptitudes de investigación.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	19
1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	20
2. OBJETIVOS PLANTEADOS	21
3. METODOLOGÍA	22
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN	22
3.2 CONTENIDO DE LA RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN	22
3.3 PLAN DE ANALISIS	23
4. MARCO TEORICO	25
4.1 ESTUDIO DE LA DISCAPACIDAD.....	25
4.1.1 Discapacidad física	25
4.1.1.1 Cuadriplejía.....	25
4.1.1.2 Paraplejía.....	25
4.1.1.3 Triplejía	25
4.2 DISCAPACIDAD EN COLOMBIA	26
4.2.1 Censo nacional 2005	26
4.3 TECNOLOGÍAS DE APOYO	27
4.3.1 La silla de ruedas.....	27
4.3.1.1 Historia de la silla de ruedas.....	28
4.3.1.2 Importancia de la silla de ruedas	28
4.3.1.3 Clases de sillas de ruedas	28
4.4 CONSIDERACIONES BIOMEDICAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UNA SILLA DE RUEDAS	34
4.4.1 Factores que afectan a la movilidad - rozamiento	34
4.4.1.1 Distribución del peso entre las ruedas delanteras y traseras.....	34
4.4.1.2 Terreno sobre el que la silla va a ser utilizada	34
4.4.1.3 Tamaño y composición de las ruedas	35

4.4.1.4	Tamaño de las ruedas delanteras	35
4.4.1.5	Centro de gravedad de la silla	35
4.4.1.6	Distancia entre ejes de ruedas delanteras y traseras	35
4.4.1.7	Angulo de las ruedas traseras	35
4.4.1.8	Angulo de las ruedas delanteras	35
4.4.2	Factores que afectan la propulsión.....	35
4.4.2.1	Posición de las ruedas.....	36
4.4.2.2	Tamaño de la rueda.....	36
4.4.2.3	Distancia entre ejes	36
4.4.3	La postura en la silla de ruedas	36
4.4.3.1	Tamaño del asiento	36
4.4.3.2	Forma y ángulo del asiento.....	38
4.4.3.3	Soporte para los pies.....	39
4.4.3.4	Altura y respaldo.....	41
4.4.3.5	Forma del respaldo y ángulo	41
4.4.3.6	Soporte de los brazos	43
4.5	MEDIDAS NECESARIAS PARA LA CORRECTA PRESCRIPCIÓN DE LA SILLA DE RUEDAS	43
4.5.1	Anchura pélvica	43
4.5.2	Longitud del muslo.....	44
4.5.3	Longitud de la pantorrilla	45
4.5.4	Altura inferior de la escapula	46
4.5.5	Altura del hombro	47
4.6	PROPUESTA DE DISEÑO	48
4.6.1	Diseño estructural de la silla de ruedas	48
4.6.1.1	Chasis.....	48
4.6.1.2	Asiento y espaldar	50
4.6.1.3	Base.....	50
4.6.1.4	Ruedas	50
4.6.1.5	Tracción.....	50
4.6.1.6	Motores.....	51
4.6.1.7	Baterías	51
4.6.1.8	Control	51

4.6.2	Medidas de prescripción para diseño de la silla de ruedas.....	51
4.6.3	Diseño electrónico de la silla	53
4.6.3.1	Movimientos.....	54
5.	DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL HARDWARE DE CONTROL.....	55
5.1	ANALISIS DE LA SILLA DE RUEDAS.....	55
5.1.1	Determinación de la fuerza máxima requerida en una superficie plana ..	56
5.1.2	Determinación de la fuerza máxima requerida en una superficie ascendente	57
5.1.3	Determinación de la fuerza máxima requerida en una superficie descendente	60
5.1.4	Determinación de la potencia de los motores.....	61
5.2	DISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO	62
5.3	SELECCIÓN DE LA BATERÍA	66
5.4	SELECCIÓN DE LA PLACA DE DESARROLLO ARDUINO AT MEGA.....	67
5.4.1	Diseño del circuito detector de dirección y estado de la silla de ruedas ..	67
5.4.2	Diseño del circuito del teclado y LCD	68
5.4.3	Circuito selector del modo de operación de la silla de ruedas	71
5.4.4	Circuito de control de los motores DC	72
5.4.5	Circuito de control de relés para el sentido de giro de los motores	77
5.4.6	Circuito detector de batería baja y batería cargada	81
5.5	DISEÑO DE LAS FUENTES DE PODER.....	87
5.5.1	Diseño de las fuentes reguladas de 7,5 Voltios	87
5.5.2	Diseño de las fuentes reguladas de 5 Voltios	90
6.	DISEÑO DEL SOFTWARE DE CONTROL.....	93
6.1	PLACA DE DESARROLLO ARDUINO AT MEGA 2560	93
6.1.1	Características.....	93
6.2	PLACA JOYSTICK ARDUINO	94
6.3	RAMPA TIPO “ESCALERA”	94
6.4	ACTIVACIÓN DE LOS MOTORES.....	98
6.5	PROGRAMACIÓN GENERAL.....	98
6.5.1	Lógica de funcionamiento del Arduino AT Mega 2560	98
6.5.1.1	Subrutinas de apoyo.....	106

6.5.1.2 Configuración de registros y pines de control	108
7. PRUEBAS Y RESULTADOS	111
7.1 PRUEBAS DE LA RAMPA TIPO “ESCALERA”	111
7.2 PRUEBAS EN LOS MOTORES	120
7.3 RESULTADOS OBTENIDOS	121
8. ESTUDIO DE COSTOS	123
8.1 COSTOS.....	123
9. CONCLUSIONES.....	128
10. RECOMENDACIONES.....	130
BIBLIOGRAFÍA.....	132
ANEXOS.....	134

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Velocidades a diferentes pesos	122
Tabla 2. Silla de ruedas	123
Tabla 3. Fuentes de alimentación	123
Tabla 4. Tarjeta electrónica de control principal.....	124
Tabla 5. Tarjeta electrónica sistema auxiliar	124
Tabla 6. Tarjeta electrónica de potencia	125
Tabla 7. Tarjeta de detección de batería baja y batería cargada	125
Tabla 8. Tarjeta cargador de batería.....	126
Tabla 9. Elementos de potencia.....	126
Tabla 10. Accesorios varios	126
Tabla 11. Costo total sistema electrónico	127
Tabla 12. Costo total proyecto	127

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Armazón	30
Figura 2. Asiento estrecho	37
Figura 3. Asiento corto	37
Figura 4. Asiento largo	37
Figura 5. Ajuste optimo del asiento.....	38
Figura 6. Cojín con deformidad.....	38
Figura 7. Ángulo correcto entre cojines	39
Figura 8. Ángulo de las rodillas.....	39
Figura 9. Plataformas bajas	40
Figura 10. Plataformas altas	40
Figura 11. Respaldo muy bajo	41
Figura 12. Ángulo optimo del respaldo	41
Figura 13. Respaldo recto.....	42
Figura 14. Respaldo demasiado inclinado	42
Figura 15. Soporte de los brazos	43
Figura 16. Anchura pélvica	44
Figura 17. Posición pélvica y estabilidad	44

Figura 18. Longitud de muslo.....	45
Figura 19. Medida optima del reposapiés	45
Figura 20. Medida muy larga del reposapiés	46
Figura 21. Medida muy corta del reposapiés	46
Figura 22. Altura inferior de la escapula	47
Figura 23. Altura del hombro.....	47
Figura 24. Estructura base de la silla.....	49
Figura 25. Silla de ruedas en PVC terminada	52
Figura 26. Diagrama de control.....	54
Figura 27. Silla de ruedas	55
Figura 28. Superficie plana	56
Figura 29. Porcentajes de pendientes	58
Figura 30. Superficie pendiente ascendente.....	59
Figura 31. Superficie pendiente descendente.....	60
Figura 32. Batería	62
Figura 33. Esquema eléctrico	63
Figura 34. Esquema general del motor	64
Figura 35. Motor 12V, 10 A... ..	64
Figura 36. Formas de onda del troceador reductor.....	65

Figura 37. Circuito detector de dirección y estado diseñado	68
Figura 38. Diseño teclado	69
Figura 39. Diseño del circuito del LCD.....	70
Figura 40. Modulo teclado LCD	71
Figura 41. Circuito modo de operación	72
Figura 42. Esquema general de control	73
Figura 43. Circuito de control	74
Figura 44. Circuito de control diseñado	77
Figura 45. Puente H de relés motores	78
Figura 46. Circuito de control de relés	79
Figura 47. Circuito de control de relés diseñados	81
Figura 48. Comparador de voltaje.....	82
Figura 49. Detector de batería baja	83
Figura 50. Detector de batería baja diseñado	84
Figura 51. Cargador de batería.....	85
Figura 52. Detector de batería cargada	85
Figura 53. Detector carga de batería diseñado.....	87
Figura 54. Fuentes reguladas a 7.5V.....	88
Figura 55. Fuentes reguladas a 7.5V diseñadas.....	90

Figura 56. Fuente regulada a 5V	91
Figura 57. Fuente regulada a 5v diseñada	92
Figura 58. Rampa de aceleración tipo escalera.....	95
Figura 59. Rampa de voltaje promedio	96
Figura 60. Voltaje vs. PWM.....	97
Figura 61. Control de giro de los motores.....	98
Figura 62. Secuencia general del programa de control	99
Figura 63. Modo semiautomático.....	101
Figura 64. Modo parar	103
Figura 65. Modo selección de parámetros de funcionamiento.....	104
Figura 66. Subrutina PWM.....	105
Figura 67. Pendiente máxima	111
Figura 68. Pendiente mínima.....	112
Figura 69. Pendiente mínima.....	112
Figura 70. Rampa de aceleración PWM	113
Figura 71. Rampa de desaceleración PWM	114
Figura 72. Rampa de aceleración del motor	115
Figura 73. Rampa de desaceleración del motor	116
Figura 74. Rampa de aceleración Arduino.....	117

Figura 75. Rampa de desaceleración Arduino118

Figura 76. Rampas de aceleración119

Figura 77. Rampas de desaceleración120

Figura 78. Desviación de la silla de ruedas121

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Hoja de seguridad compuesto rígido PVC grado industrial	134
Anexo B. Ficha técnica PVC	140
Anexo C. Arduino AT Mega 2560	152
Anexo D. Opto transistor 4N25	160
Anexo E. IGBT G4PC50UD	166
Anexo F. Transistor TIP122	176
Anexo G. Diodo P600M	182
Anexo H. Transistor 2N3904.....	186
Anexo I. Relé JQC-3F	192
Anexo J. Amplificador operacional LM324.....	194
Anexo K. Regulador ajustable LM317.....	201
Anexo L. Regulador de voltaje LM7805	212

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo el diseño y desarrollo de un prototipo basado en una placa de desarrollo Arduino AT Mega 2560, que permita por medio de un joystick controlar el desplazamiento y giro de una silla de ruedas ultraliviana de bajo costo fabricada con tubería de PVC.

La silla de ruedas está construida con materia prima plástica, lo que permite que el peso final de la silla sea mínimo y permita transportar usuarios de mayor peso sin sobrepasar los límites de peso total del sistema, superar la carga máxima de de traslado puede comprometer la movilidad de la silla, la vida útil de los motores y la estabilidad del sistema de control.

La tubería PVC es un material de fácil manejo, su corte y empalme se puede realizar sin herramientas especiales, lo que hace a la silla un dispositivo de fácil fabricación y de fácil adquisición para cualquier persona, ya que puede utilizarse tubería reciclada porque los tramos requeridos son cortos y sus accesorios de empalme como tees y codos son económicos, por lo que puede fabricarse rápidamente y su mantenimiento es mínimo.

Para el arranque y frenado de los motores se utilizan rampas de aceleración y desaceleración de tipo "ESCALERA" variables en el tiempo de 1 a 9 segundos. Además se tiene velocidad de crucero variable de 0 a 1 m/s.

Para el control de desplazamiento se utilizó un joystick con pulsadores para dar los movimientos: adelante, atrás, giro a izquierda y giro a derecha.

El confort para el usuario en una ayuda técnica es un parámetro de vital importancia para esto el sistema debe realizar arranques y frenados suaves que eviten movimientos bruscos, por eso se desarrollo una sentencia FOR en la programación de la placa Arduino con incrementos constantes de una cincuentava parte del mayor valor binario que controla el PWM de los motores, así al frenar o arrancar el movimiento será suave hasta que se vuelva estable.

Se determinó que con el tiempo de 5 segundos en la función FOR de las rampas de aceleración y desaceleración el funcionamiento de la silla es el más adecuado, debido a que si la silla se encuentra en espacios reducidos y con tiempos mayores en la generación de las rampas puede ocurrir algún tipo de choque ya que durante este tiempo no se permite cambiar la dirección de desplazamiento de la silla. Al realizar la rampa en forma de "ESCALERA" se consigue un incremento y decremento suave de velocidad que no se obtiene en otros tipos de arranques dado a que los escalones ascendentes y descendentes no son inmediatos y

presentan cierta inclinación que evita el cambio inmediato del pulso que activa el ciclo útil del motor.

El peso de los usuarios influye mínimamente en la velocidad de final de la silla, ya que con esto aumentara la carga de los motores pero los ciclos del PWM no varían, el cambio de carga en la silla de ruedas compromete el torque de los motores por lo que puede aumentar o disminuir la velocidad.

INTRODUCCION

El proyecto de Titulación “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA DE PROPULSIÓN Y CONTROL PARA SILLA DE RUEDAS**” fue realizado para optar al título de Ingeniero Mecatrónico de la Universidad Tecnológica de Pereira y realizar un estudio e investigación en temas médicos a beneficio de la sociedad utilizando tecnologías de respaldo, a la par con otros países que realizan este tipo de proyectos.

En este documento se pretende presentar el potencial que ofrecen estas tecnologías para mejorar la calidad de vida de las personas en cuyo marco es muy importante el desarrollo de procesos comunicativos que cobran vital importancia en el mundo de la discapacidad, dado que la población con limitaciones físicas, sensoriales o cognitivas, se ha enfrentado a múltiples obstáculos para participar de la vida comunitaria en igualdad de condiciones y derechos con respecto al resto de los ciudadanos y este campo brinda posibilidades concretas para facilitar la interacción de las personas que no tienen acceso a tecnologías de alto costo para el apoyo ante las discapacidades, por lo que este proyecto se concibe con la intención de desarrollar un sistema mecatrónico de control modular y de bajo costo que permita el movimiento de una silla de ruedas en diferentes entornos y direcciones de forma semiautónoma. Este trabajo está orientado a favorecer la calidad de vida de personas con distintas incapacidades motrices, hasta el grado de personas cuadripléjicas.

1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Cualquier persona puede tener algún familiar con alguna complicación de movilidad, ya sea causado por enfermedad genética, accidente, o por efecto del paso de los años. Mejorar la calidad de vida en la actualidad es prioridad en situaciones como las descritas anteriormente.

¿Cómo mejorar la calidad de vida de un semejante ya sea un familiar, amistad o algún vecino cercano?

En la actualidad existe una gran gama de ayudas tecnológicas que sirven en la movilidad de personas con discapacidad motora inferior, lamentablemente este tipo de ayudas no son muy económicas y por esto mismo no están al alcance de todos los estratos sociales.

A través de este proyecto “diseño e implementación de sistema de propulsión y control para silla de ruedas”, se pretende realizar una aplicación económica que posibilite a una persona con severas discapacidades motrices que le impiden manejar una silla de ruedas motorizada convencional, moverse en un determinado entorno por sus propios medios.

El campo de interés del proyecto radica en el ámbito medico y social debido al alto porcentaje de discapacidad motora a nivel nacional y mundial.

2. OBJETIVOS PLANTEADOS

Como objetivo general de este trabajo se propone Diseñar e implementar un sistema de propulsión y control para silla de ruedas convencional aplicando principios físicos de cinemática, robótica y control electrónico; adicionalmente a esto se proponen como objetivos específicos:

- Determinar el porcentaje y los tipos de discapacidad motora en el país.
- Diseñar y construir una silla de ruedas liviana, resistente y económica.
- Precisar un modelo matemático que describa la cinemática de un dispositivo motriz de propulsión.
- Utilizar una placa de desarrollo Arduino para el manejo de procesos de control y potencia para el desplazamiento de un sistema motorizado.
- Diseñar e implementar un sistema de propulsión y control para silla de ruedas dirigido por joystick.
- Validar el sistema a través de pruebas.

3. METODOLOGIA

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

El campo de investigación es aplicado, es decir, se utilizan tecnologías en el campo de la electrónica, la robótica y la mecánica con el fin de resolver un problema específico en la movilidad de una persona con discapacidades motrices en un entorno.

Con base en lo anterior, la investigación queda limitada al campo de asistencia motriz para personas discapacitadas.

Para el desarrollo del proyecto se utilizarán las teorías desarrolladas en:

- Programación digital.
- Control digital.
- Electrónica de Potencia.
- Ingeniería de Software.
- Instrumentación digital.
- Modelado de sistemas cinemáticos.

3.2 CONTENIDO DE LA RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

- 1 Investigar el porcentaje y los tipos de discapacidad motora en el país.
- 2 Investigar los dispositivos autónomos existentes para la asistencia motora.
- 3 Realizar un modelo matemático que describa la cinemática de un sistema motriz de propulsión.
- 4 Diseñar un sistema motriz de propulsión para silla de ruedas dirigido por un sistema de control electrónico.
 - 4.1 Simular, en el computador, la implementación de un sistema motriz de propulsión para silla de ruedas.
 - 4.2 Simular, en el computador, el control electrónico de un sistema motriz de propulsión para silla de ruedas.
- 5 Implementar un sistema motriz de propulsión para silla de ruedas dirigido por un sistema de control electrónico.

6 Realizar pruebas a un sistema motriz de propulsión para silla de ruedas dirigido por un sistema de control electrónico.

6.1 Obtención los resultados

6.2 Análisis de los resultados

3.3 PLAN DE ANÁLISIS

El plan de análisis para este proyecto comprendió:

- Estudio y análisis del diseño estructural y electrónico, planos, catálogos, tarjetas electrónicas.
- Estudio y análisis de condiciones biomédicas.
- Análisis de la información.
- Planteamiento de tarjeta de control y de potencia.
- Validación.
- Pruebas.
- Conclusiones y recomendaciones.

Para dar desarrollo a la investigación, al diseño, cálculos y pruebas realizadas que permiten dar cumplimiento a los objetivos propuestos, el trabajo se dividió en seis (6) capítulos, de un total de nueve (9).

En el **Capítulo 4** se presenta el marco teórico que fundamenta el proyecto, allí se describen algunas de las discapacidades físicas como cuadriplejía, paraplejía y Triplejía. Se hace un análisis de las discapacidades en Colombia y se describen las necesidades y requisitos ergonómicos de una silla de ruedas. Se muestran los parámetros de diseño y construcción de la silla ultraliviana de bajo costo, además se da a conocer sobre la rampa tipo “ESCALERA” y la propuesta de diseño.

En el **Capítulo 5** se dan a conocer los aspectos que se deben tomar en cuenta para el dimensionamiento de los elementos que integran la parte de control como son las fuentes de alimentación y la parte de potencia así como también la implementación y programación del sistema de control.

En el **Capítulo 6** se describe el programa de control de la placa Arduino AT Mega 2560 en lenguaje estructurado.

En el **Capítulo 7** se indican los ajustes realizados en cada una de las partes que conforman la silla de ruedas como motores, llantas, acople entre la banda el motor y la llanta, así como también ajustes en el software de control como velocidad de cruce, tiempos de las rampas de aceleración y desaceleración.

En el **Capítulo 8** se dan a conocer los costos que representa la construcción de la silla de ruedas, los elementos que integran el sistema de control y potencia y el costo que implica los conocimientos de ingeniería.

En el **Capítulo 9** se tienen conclusiones y recomendaciones relacionadas con lo anteriormente descrito.

4. MARCO TEORICO

4.1 ESTUDIO DE LA DISCAPACIDAD

El presente trabajo pretende controlar el desplazamiento de una silla de ruedas liviana de bajo costo mediante un joystick, además controlar la velocidad en los procesos de arranque y frenado con el fin de proporcionar mayor seguridad y confort al usuario. El objetivo es mejorar las condiciones de vida de una persona con discapacidad motora mediante una ayuda técnica de bajo costo. Para conocer un poco de esta discapacidad y así establecer los requerimientos de la potencial población destino, a continuación se hace un estudio sobre discapacidades físicas.

4.1.1 Discapacidad física Se puede definir como la incapacidad de realizar actividades comunes sin la asistencia de otra persona o un dispositivo específico que facilite la labor. La discapacidad motora normalmente se produce por poseer afectaciones en los brazos o piernas impidiendo su desplazamiento o limitando la interacción que el medio que le rodea.

Existen varios tipos de discapacidades físicas que resultan bastante comunes en la actualidad, se analizarán algunas de ellas debido a su relación con el desarrollo de este trabajo.

4.1.1.1 Cuadriplejía Se puede definir como una lesión de tipo medular que compromete la movilidad de las cuatro extremidades. Normalmente genera una parálisis total en la parte inferior del sistema motor y según la altura de la lesión en la medula espinal compromete la movilidad total o parcial de las extremidades superiores, la recuperación de esta discapacidad depende del nivel neurológico afectado.

4.1.1.2 Paraplejía Se puede definir como una lesión de tipo medular causada en la región lumbar, genera la pérdida total o parcial de la movilidad en las piernas e insensibilidad de la cintura hacia abajo. La parte superior del tronco mantiene su integridad en movilidad y sensibilidad.

4.1.1.3 Triplejía Se puede definir como una lesión medular incompleta, la cual produce una afectación neurológica parcializada, se caracteriza por afectar la movilidad de forma total de los miembros inferiores y de forma parcial en los miembros superiores, en algunas ocasiones uno de los dos brazos no se ve afectado y mantiene su movilidad en cuanto el otro se torna inmóvil, mientras que en otros casos ambos brazos se ven afectados pero no de forma profunda.

4.2 DISCAPACIDAD EN COLOMBIA

Según el Censo Nacional realizado en el año 2005, del total de la población existente en Colombia, el 6.3 % poseen algún tipo de discapacidad. Según este análisis se concluyo que en Colombia existen aproximadamente [1]:

- “1.224.720 personas con limitaciones permanentes para ver”. [1]
- “836.325 personas con limitaciones permanentes para moverse o caminar”. [1]
- “493.290 personas con limitaciones permanentes para oír”. [1]
- “422.415 personas con limitaciones permanentes para mover brazos/manos”. [1]
- “374.220 personas con limitaciones permanentes para hablar”. [1]
- “348.705 personas con limitaciones permanentes para entender o aprender”. [1]
- “277.830 personas con limitaciones permanentes para su auto cuidado”. [1]
- “286.335 personas con limitaciones permanentes para relacionarse”. [1]

4.2.1 Censo nacional 2005 El Censo Nacional realizado en el año 2005 busco establecer un estándar que permitiera estudiar de forma más específica la discapacidad en Colombia, con esta premisa incluyo un pregunta en el formulario de encuesta la cual fue asesorada por la Clasificación Internacional del Funcionamiento de la Salud y la Discapacidad, CIF, con la cual logro establecer con certeza el porcentaje de discapacidad en el país y la afectación socio-económica que poseen los discapacitados en el país. [1]

A partir del año 2000 en diferentes países de Latinoamérica se ha adjuntado en los censos nacionales una pregunta correspondiente a la discapacidad con el fin de establecer el porcentaje de población discapacitada y los tipos de afectaciones que poseen los discapacitados. Tras realizar un análisis regional, Brasil cuenta con el mayor porcentaje de población discapacitada con un 14,5% y Chile posee el menor porcentaje de población discapacitada con un 2,2%, Colombia se ubica dentro del promedio porcentual con un 6,3%, pero en cantidad de población ocupa el segundo lugar con 2.701.981 discapacitados, los cuales poseen una o más limitaciones. [1]

“Teniendo en cuenta el número de limitaciones por persona, el 71,2% presentan una limitación, el 14,5% dos limitaciones, el 5,7% tres limitaciones y el 8,7% tres o más limitaciones permanentes. Del total de personas que reportaron alguna limitación, el 29,3% poseen limitaciones para moverse o caminar, el 14,6% para usar brazos y manos, el 43,4% para ver a pesar de usar lentes o gafas, el 17,3% para oír aun con aparatos especiales, el 13,0% para hablar, el 11,7% para entender o aprender, 9,4% para relacionarse con los demás por problemas mentales o emocionales, el 9,9% para bañarse, vestirse o alimentarse por sí mismo y el 18,8% presentan otra limitación”. [2]

El Censo de 2005 indica que el mayor porcentaje de discapacitados permanentes se encuentra dentro de la población adulta, respecto a género la mayor cantidad de discapacitados son de sexo masculino en casi todos los rangos de edades excepto en las poblaciones de más de 85 años de edad. En lo correspondiente a nivel departamental Tolima, Quindío, Nariño, Huila, Boyacá, Cauca y Putumayo reportan un promedio sobre la media nacional cercano al 9,5% de población discapacitada. Mientras tanto los departamentos de La Guajira, Bogotá, Atlántico Amazonas, Guaviare, Guainía y Vichada presentan un promedio de personas discapacitadas inferior al promedio nacional con tan solo un 4,4%. [2]

4.3 TECNOLOGIAS DE APOYO

Es casi una constante que la población discapacitada presente inconvenientes a nivel económico, debido a sus inconvenientes para ejercer una actividad laboral que les represente una remuneración estable, debido a estas limitantes económicas se creó un campo de acción llamado tecnología de apoyo. Las tecnologías de apoyo están conformadas por todos los equipos o dispositivos utilizados por personas discapacitadas para ejercer actividades cotidianas que sus limitantes les impiden realizar, generando de esta manera una mayor calidad de vida. [3]

El concepto de tecnología de apoyo es permitir la implementación de un equipo o dispositivo para realizar una actividad específica, que le permita al usuario aproximarse a la normalidad lo máximo posible, transformando el entorno de tal manera que la persona con discapacidad pueda integrarse a él con el menor grado de imposibilidad, la tecnología aplicada convierte el dispositivo en un puente entre la dependencia y la independencia denominado ayuda técnica. [3]

Las ayudas técnicas cumplen con características específicas de construcción tales como resistencia, durabilidad, estética, costo, higiene y sencillez, lo cual le permite ser implementada por cualquier persona con elementos básicos para cumplir funciones en entornos en donde no existe otro medio para solucionar el problema; estas ayudas también deben ser seguras y evitar riesgos adicionales, fáciles de usar y no imposibilitar más al usuario. [3]

4.3.1 La silla de ruedas Es una de las ayudas técnicas más comunes dentro de la sociedad discapacitada, corresponde a un equipo que permite el desplazamiento del usuario dentro de determinados entornos, sobre sus tres o cuatro ruedas mediante una propulsión manual, mecánica o eléctrica, ofreciendo un cómodo descanso mientras se moviliza. Normalmente son usadas por personas con discapacidad motora inferior causada por una lesión o enfermedad

física o psicológica, en algunos casos en donde la silla no requiere de propulsión manual, puede ser usada por pacientes con triplejía o cuadriplejía. [4]

4.3.1.1 Historia de las sillas de ruedas La primera silla de ruedas patentada data de los años 1869, en este modelo la silla no poseía ruedas delanteras y la propulsión se generaba impulsando sus tres ruedas traseras. Poco a poco debido a la gran ayuda que representaba para las personas con discapacidad motora, fueron apareciendo nuevos diseños con incorporaciones que buscaban llegar a un modelo sencillo pero eficiente y que brindara un buen nivel de confort a sus usuarios. En el año de 1924 se creó el primer modelo de propulsión eléctrica, la cual resulto muy costosa, complicada de almacenar y manejar debido a su gran tamaño. El modelo de silla de ruedas estándar que se conoce hoy en día fue desarrollada en el año 1932 por el ingeniero mecánico Harry Jennings como un regalo para su mejor amigo, juntos conformaron la compañía Everest & Jennings, la cual domino el mercado por varias décadas y aun se considera como una de las marcas más conocidas en el ámbito de la ortopedia. [5]

4.3.1.2 Importancia de las sillas de ruedas La población con problemas de movilidad va en aumento a nivel mundial, cada día hay una gran cantidad de personas que por un accidente, el paso de los años o una enfermedad presentan problemas de movilidad parcial o total, el desarrollo de nuevos equipos a nivel medico buscan mejorar las condiciones de vida para aquellas personas que requieren asistencia durante el proceso de recuperación, pero es prioridad mejorar las condiciones de vida de aquellas personas que deberán depender de algún equipo o dispositivo el resto de su vida. El ideal es mejorar la calidad de vida de nuestros semejantes ya sea un familiar, amistad o algún vecino cercano mediante varias alternativas en relación a la locomoción limitada que presente, por ejemplo un caminador, un bastón o una silla de ruedas, siendo esta última opción la más utilizada ya que evita la movilidad forzada de aéreas afectadas por la lesión o enfermedad que causa la discapacidad, además en la actualidad se comercializa una gran cantidad de tipos de sillas de ruedas lo cual las hace versátiles aplicables a cualquier necesidad.

En el momento de elegir una silla de ruedas se deben considerar las diferentes opciones de uso o traslado para realizar la opción más acertada, como por ejemplo si se requiere trasladar en un determinado momento la silla en un automóvil, esta debe tener la particularidad de ser plegable y de bajo costo, sin embargo en algunas ocasiones la enfermedad del paciente requerirá una silla fija la cual le de mayor estabilidad y comodidad; otro factor importante es el costo el cual depende de las características de la silla entre ellas el material de fabricación del chasis, tipo de acolchado, ruedas entre otras. [6]

4.3.1.3 Clases de sillas de ruedas Básicamente existen dos clases de sillas de ruedas:

Manuales, las cuales deben contar con propulsión de origen humano, ya sea una persona que la impulse desde la parte de atrás o que el mismo usuario haga girar las ruedas traseras aplicando fuerza mediante sus brazos a los discos de desplazamiento con los que cuenta cada rueda. Las sillas manuales se dividen en dos tipos: plegables, las cuales ofrecen mayor comodidad de traslado y almacenamiento cuando el usuario no la está usando, generalmente son mucho más livianas ya que vienen diseñadas para ser levantadas por su propio usuario para generar mayor autonomía; y las rígidas las cuales poseen una posición única y según el material de fabricación del chasis varía su peso.

Eléctricas, la propulsión es realizada por motores de corriente directa que son alimentados por baterías recargables. Estas sillas cuentan con un mando adherido a uno de los reposabrazos el cual permite modificar la velocidad de avance y su dirección, en algunas sillas más especializadas desde el mismo mando se puede variar la inclinación del espaldar, el asiento, los reposapiés y otras partes de la misma. Estas sillas pueden ser utilizadas por personas discapacidad motora inferior y superior, debido a que los joysticks de movimiento son muy sensibles y no requieren esfuerzo para su manipulación, en casos en donde no se tiene ningún tipo de movilidad en los brazos, la silla puede ser controlada por la boca, el movimiento de los ojos, un casco receptor neuronal o por la voz.

Todas las sillas comerciales certificadas por la norma ISO 9999:2002, deben ser altamente adaptables y poseer la capacidad de adecuar la posición y el tamaño del espaldar y el asiento, además de poder graduar la altura del reposapiés y el apoyabrazos, ya que la silla debe adaptarse al usuario y no el a la silla. [5]

- **Sillas de ruedas eléctricas** Las sillas de propulsión eléctrica son ideales para personas que no poseen movilidad en todo su tronco o no pueden realizar esfuerzo en la parte superior del mismo, con el fin de proteger los hombros y los brazos en un desplazamiento. Como se comentaba anteriormente la silla debe adecuarse al paciente y no el a ella, pero la silla también debe adecuarse al entorno en donde deberá movilizarse, ya que algunas condiciones como por ejemplo la superficie de desplazamiento afectara la elección del tamaño y diseño de las ruedas, la inclinación del espaldar, la amortiguación del asiento entre otros factores. [7]

- **Componentes de la silla de ruedas eléctrica** Para ajustar correctamente la silla a las necesidades del usuario, es necesario conocer las variaciones que pueden sufrir cada uno de sus componentes, con el fin de elegir la opción que más se adapte al usuario y al entorno para poseer la mayor funcionalidad de la silla. Las partes más relevantes de una silla de ruedas son el chasis o armazón, las ruedas, los frenos, el reposapiés y el apoyabrazos, a continuación se analizaran estas partes para determinar sus variaciones y ventajas de uso. [8]

- **El chasis o armazón** Es la estructura que soporta las demás partes de la silla, comúnmente su material de fabricación es el acero, pero para obtener modelos más livianos se han venido implementando otros materiales como el aluminio, el carbono y el titanio entre otros. [8]

En la Figura 1. se muestra el armazón implementado en la realización del proyecto.

Figura 1. Armazón.



Fuente: Los autores.

Las sillas eléctricas pueden ser de chasis rígido, plegable o desmontable, el aprovechamiento de la energía al propulsarse es del doble en una silla con armazón rígido (se aprovecha 15-20% del impulso), que en una plegable (aprovecha 5 - 8% del impulso), obviamente los chasis fijos son más robustos, los chasis plegables no presentan la misma fortaleza que uno rígido, pero son más versátiles y se adecuan fácilmente a terrenos irregulares debido a sus articulaciones y pliegues que cumplen una función de amortiguamiento, lo que obliga a los chasis rígidos a implementar amortiguadores que soporten los movimientos bruscos generados por el terreno. [8]

Un chasis rígido aprovecha mejor la energía de propulsión debido a que no posee articulaciones que consuman la energía, como si ocurre en un chasis plegable, otra ventaja que ofrece un chasis rígido es que puede ser más liviano debido a que su fortaleza la da la combinación de la resistencia del material de fabricación y la estructura que esta posee, a diferencia de un chasis plegable en donde la fortaleza la da cada parte de la estructura ya que no hay un soporte entre piezas si no una articulación escualizable. La mayor ventaja que ofrece un chasis plegable es almacenamiento y traslado, ya que su tamaño se reduce considerablemente y dependiendo de su material puede manejarse fácilmente.

- **La base** Corresponde a la parte inferior de la silla en donde se ubican las baterías, motores de propulsión, electrónica del sistema y las ruedas de direccionamiento también denominadas casters.

- **Ruedas delanteras** Son las ruedas de menor tamaño dedicadas al direccionamiento de la silla, entre menor tamaño mejor radio de giro para la silla, esta disposición es utilizada para interiores, mientras que en exteriores se recomienda una rueda de mayor tamaño lo cual permita sortear baches y obstáculos con mayor seguridad y ofrecer un mayor amortiguamiento. Las ruedas delanteras poseen medidas que van desde 75 mm hasta 200 mm de diámetro. [8]

Si la silla de ruedas debe maniobrarse en ambientes interiores tanto como en exteriores se recomienda una rueda intermedia de 150 mm de diámetro.

- **Cubiertas de las ruedas delanteras**

Neumáticas: presentan mayor amortiguación frente a terrenos irregulares pero requieren mayor mantenimiento, contando con la posibilidad de que pueden pincharse y requieren calibración neumática de forma constante. [8]

Macizas: no ofrecen tanto confort como las neumáticas ya que transmiten la vibración que genere el terreno al usuario, pero no requieren de un mantenimiento periódico. [8]

- **Ruedas traseras** Las ruedas traseras o ruedas de propulsión son las encargadas de transformar la potencia de torque en desplazamiento, debido a esto son mucho más grandes, su tamaño varía entre 12" y 26" de diámetro, las ruedas de menor diámetro son utilizadas en sillas de ruedas para infantes y las más grandes son utilizadas en sillas deportivas o de alta velocidad, entre menor sea el tamaño de la rueda requerirá menor torque para hacerla girar pero requerirá mayor rpm para alcanzar una velocidad aceptable lo que termina por desgastar rápidamente la caja turbo reductora. [8]

- **Cubiertas ruedas traseras** Al igual que en las ruedas delanteras, existen dos tipos de cubiertas: las macizas y las neumáticas, en este caso las ventajas y desventajas se acentúan debido a que las ruedas traseras son de mayor tamaño y son las encargadas de soportar el peso total de la silla. Respecto a la propulsión las cubiertas macizas generan menor pérdida de energía en su desplazamiento pero no poseen el mismo agarre en toda superficie como las neumáticas. [8]

- **Tracción trasera** En este sistema las ruedas de propulsión se encuentran ubicadas detrás del centro de gravedad del usuario y las ruedas de dirección adelante, ofrecen mayor estabilidad con un manejo predecible, pero se tornan

complicadas de maniobrar en ambientes interiores debido a que requieren un mayor radio de giro. [7]

- **Tracción delantera** En este sistema las ruedas de propulsión se encuentran ubicadas delante del centro de gravedad del usuario y las ruedas de dirección atrás, ofrecen una excelente maniobrabilidad ya que su radio de giro es ajustado, pero se tornan inseguras al aumentar la velocidad debido a que tienden a derrapar y a no mantener su línea de movimiento recto en terrenos irregulares. [7]

- **Tracción central** En este sistema las ruedas de propulsión se encuentran ubicadas justo bajo el centro de gravedad del usuario, ofrece una excelente maniobrabilidad en interiores pero pésima en exteriores, normalmente este tipo de tracción se utiliza en sillas de ruedas convencionales a las cuales se les agrega un sistema de propulsión eléctrico, convirtiendo la silla en un sistema manual de cuatro ruedas a uno eléctrico de seis. [7]

- **Los motores** Normalmente una silla de ruedas eléctrica utiliza dos motores para su propulsión, uno para cada rueda con los cuales puede cambiar la velocidad de desplazamiento y su dirección, dejando las ruedas delanteras libres ejerciendo una tarea de estabilidad del sistema. Normalmente cada motor cuenta con un sistema de embrague que permita cambiar el tipo de propulsión de eléctrico a manual en caso de avería o descarga del sistema. [9]

Existen dos tipos de motores aplicables a sistemas de sillas de ruedas tales como: el motor estándar, el cual posee una forma cilíndrica y va acoplado a la rueda mediante una caja turbo reductora la cual convierte una alta rotación en el torque necesario para girar la rueda incluso en pendientes. Motor integrado, este motor se encuentra integrado a la rueda y establece su punto base en el chasis para generar la rotación de la rueda, ofrece grandes ventajas en sillas plegables ya que no requiere espacio más que el de la rueda. [9]

- **Controles** El control de mando es el encargado de definir la velocidad y dirección de avance, en algunos casos específicos permite la variación de la altura y posición de algunas piezas del sistema como el espaldar, el asiento, el reposapiés entre otros. El control de mando también actúa como interfaz de usuario informándole el estado del sistema, si las baterías están cargadas o descargadas mediante una pantalla LCD. El control de direccionamiento normalmente se realiza mediante un joystick pero en casos específicos es reemplazado por un micrófono, un lector de iris, un joystick bucal o un receptor neuronal, ofreciendo una gama diversa de controles adaptables a diferentes usuarios según su discapacidad. [9]

- **Las baterías** Son la fuente de alimentación del sistema, normalmente se utilizan dos, todo dependiendo del voltaje nominal de los motores. Se usan baterías de plomo selladas para reducir peso del sistema y evitar fugas de ácido durante los movimientos de la silla. Se caracterizan por estar diseñadas para descargas continuas ofreciendo una gran cantidad de ciclos de carga y descarga. La capacidad de cada batería se mide en ampere hora (Ah), entre mayor sea su capacidad mayor tiempo de autonomía tendrá el sistema, pero mayor capacidad representa mayor tamaño de batería y por consiguiente mayor peso para el sistema y mayor consumo. [9]
- **El cargador** Es el encargado de cargar las baterías, normalmente son automáticos y permiten dejarlos conectados toda la noche mientras el usuario descansa, cuando las baterías se encuentran cargadas estos se desconectan automáticamente evitando que estas sufran sobre cargas que afecten su vida útil. Se caracterizan por ser de carga lenta para que la batería mantenga la capacidad de un gran número de cargas y descargas, aproximadamente 500 ciclos. [9]
- **Asiento y posicionamiento** El asiento y el posicionamiento se encargan de gran parte del confort del sistema, su diseño es específico para cada usuario a partir de las condiciones biométricas y lesiones que pueda presentar. [7]
- **Cojines y respaldos** Al igual que el asiento estos deben ser recetados según las condiciones y preferencias del usuario, entre algunos materiales usados para su fabricación se encuentran: la espuma, almohadillas de aire y gel; su uso depende del peso del usuario para distribuir las cargas, propiciar una buena circulación del aire que evite temperaturas incómodas y sudoración. Si no se siguen las condiciones médicas de cada paciente para fabricar un cojín, este puede terminar por generar nuevas lesiones como úlceras en la piel. [7]
- **Reposabrazos** La función del reposabrazos es brindar un apoyo a los brazos durante los momentos de traslado o de inactividad del paciente. Existen diferentes tipos de reposabrazos adaptables a las necesidades del usuario entre ellos se encuentran los ajustables en altura, reposabrazos de escritorio y tubulares. [8]
- **Reposapiés y plataformas** La función de los reposapiés es proveer una superficie en donde los pies puedan ser ubicados protegiéndolos de las ruedas delanteras y el terreno, estos pueden ser desmontables o fijos, anatómicamente la posición adecuada de los reposapiés es 90°, pero en algunos casos se implementan de 60° para evitar que los pies se salten de esta superficie ante un bache, estos pueden ser dobles o sencillos, con o sin respaldo, según la necesidad del usuario. [8]

4.4 CONSIDERACIONES BIOMÉDICAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UNA SILLA DE RUEDAS

El objetivo principal de una silla de ruedas es brindarle al usuario máxima comodidad, funcionalidad y movilidad. Con el fin de cumplir esta necesidad, la silla debe ajustarse a las necesidades y condiciones del usuario, ya que si se elige una silla equivocada resultara incomoda y quizás termine por agravar la lesión o potenciar la discapacidad. Generalmente las elecciones de las sillas de ruedas se toman teniendo en cuenta principalmente su maniobrabilidad y se cuestiona el peso y el material de fabricación, pero hay factores que poseen mayor importancia como lo son el asiento y el espaldar, ya que ellos son los que brindan confort y seguridad al usuario, también no se debe olvidar la funcionalidad y movilidad que presente el sistema y para esto se deben analizar las ruedas y las dimensiones de la estructura. [10]

A continuación se analizaran diversos factores que afectan la funcionalidad y movilidad de una silla de ruedas.

4.4.1 Factores que afectan a la movilidad – rozamiento En las sillas de ruedas eléctricas, la autonomía del sistema es vital, para esto se debe tener un excelente control sobre el consumo de energía y evitar que las baterías se descarguen rápidamente, la oposición al movimiento de la silla es el factor que mayor potencia consume, entre mayor sea el rozamiento con la superficie mayor será el consumo.

A continuación se analizaran los factores que afectan la movilidad de una silla de ruedas:

4.4.1.1 Distribución del peso entre las ruedas delanteras y traseras La ubicación del peso en referencia a las ruedas traseras y delanteras afectan directamente la estabilidad del sistema y también el rozamiento, si el peso se ubica en la parte trasera el rozamiento disminuirá pero se comprometerá la estabilidad del sistema y viceversa, es por esto que normalmente se recomienda que el balanceo del peso sobre las ruedas sea 50/50% con el fin de tener una estabilidad respetable y un rozamiento aceptable. [10]

4.4.1.2 Terreno sobre el que la silla va a ser utilizada El terreno juega un papel importante en referencia al rozamiento ya que las superficies duras ofrecen menor rozamiento que una superficie blanca, la cual genera un mayor consumo de potencia. [10]

4.4.1.3 Tamaño y composición de las ruedas Como se vio en apartados anteriores, las ruedas neumáticas generan mayor comodidad debido a su capacidad de amortiguamiento, pero generan mayor resistencia al

desplazamiento, caso contrario a las ruedas macizas. El tamaño de la rueda también afecta a menor tamaño menor rozamiento pero agarre mínimo y un gran tamaño genera un mejor agarre pero mayor rozamiento. Dado a esto se implementan ruedas neumáticas para mayor amortiguamiento en la parte trasera, su tamaño es considerable para tener mejor agarre pero su diseño es tipo tache lo cual disminuye el rozamiento. [10]

4.4.1.4 Tamaño de las ruedas delanteras Las ruedas delanteras generalmente se utilizan pequeñas y maciza para tener mayor maniobrabilidad, menor rozamiento y menor mantenimiento, pero todo lo anterior ocasiona que en terrenos irregulares bloquee la silla ante la incapacidad de sortear baches, no es posible una configuración que satisfaga cada condición, por lo que ante cada necesidad específica se elegirá la configuración más adecuada. [10]

4.4.1.5 Centro de gravedad de la silla El centro de gravedad afecta la maniobrabilidad y la estabilidad del sistema, por lo que se recomienda hacer un balance de cargas 50/50% ajustable a la necesidad de cada usuario, en algunas ocasiones se prefiere la maniobrabilidad sobre la estabilidad, pero esto último se compensa con el uso de ruedas anti-vuelco. [10]

4.4.1.6 Distancia entre ejes de ruedas delanteras y traseras La distancia entre ejes influye en la facilidad de manejo, ya que una gran distancia entre ejes mantiene mejor el rumbo pero su manejo consume más potencia, en cambio una distancia corta hace más suave el manejo pero a grandes distancia requiere corrección de rumbo ya que no mantiene la línea recta. [10]

4.4.1.7 Angulo de las ruedas traseras Lo más común es utilizar un Angulo neutro en donde el ancho de la silla no es afectado y el acceso a diferentes áreas se facilita debido a su medida estándar, si las ruedas poseen un Angulo positivo, su ancho aumenta considerablemente, pero su manejo y estabilidad serán mejores, este tipo de Angulo se maneja en sillas de uso deportivo debido a sus ventajas. Los ángulos negativos no son utilizados ya que no ofrecen ninguna ventaja pero compromete la estabilidad de la silla. [10]

4.4.1.8 Angulo de las ruedas delanteras Lo recomendado es manejar un ángulo de 90°, ya que a ángulos superiores o inferiores la silla cambiara su altura generando incomodidad en el usuario, además cuanto esta se encuentre detenida no será estable ya que tiende a desplazarse por la disposición de las ruedas. [10]

4.4.2 Factores que afectan a la propulsión La implementación de una silla de ruedas busca generar una propulsión eficaz con el mínimo gasto de energía, es por esto que es importante conocer los factores que permiten tener una buena propulsión frente a sus condiciones de consumo de potencia. [11]

4.4.2.1 Posición de las ruedas La transmisión de potencia del motor a la rueda juega un papel importante en la idea de poseer una propulsión eficaz con el menor consumo de potencia, los ejes deben quedar alineados para que el traslado que debe realizar la cadena sea el mínimo posible con el fin de disminuir su peso. [11]

4.4.2.2 Tamaño de la rueda A menor tamaño de la rueda trasera se requiere menor potencia para hacerla girar, pero requeriría mayor rpm para lograr una velocidad aceptable y esto generaría un desgaste prematuro en la caja turbo reductora, lo mas recomendado es utilizar ruedas con un diámetro superior a 22". [11]

4.4.2.3 Distancia entre ejes Una gran distancia entre ejes genera un rumbo más recto, pero aumenta el consumo de potencia al incrementarse el rozamiento. Se recomienda tener una distancia corta entre ejes que brinden un mejor manejo y mayor maniobrabilidad y sobre todo menor consumo de potencia. [11]

4.4.3 La postura en la silla de ruedas La eficiencia de una silla de ruedas se mide por la capacidad de permitirle al usuario movilizarse y realizar actividades cotidianas sin esfuerzos adicionales brindándole una sensación de confort. [12]

Para esto la silla debe ofrecer condiciones estructurales que le permitan al usuario adoptar una posición erguida de forma simétrica, generar sensación de descanso y no de agotamiento o esfuerzo para mantener la posición, reducir la sensación de presión que se genera en las nalgas y muslos, siendo así a continuación se analizaran los factores a tener en cuenta para que el usuario adopte una posición correcta:

4.4.3.1 Tamaño del asiento Fija la estabilidad del usuario estableciendo el área del cuerpo que entra en contacto con la estructura del soporte. También busca distribuir de manera homogénea el peso del usuario para aliviar la presión que se genera en las nalgas y muslos. [12]

En la Figura 2. se muestra un ejemplo de asiento estrecho en donde se genera incomodidad al usuario y en un tiempo prologando se generaran ulceras por la presión, si se presenta el caso contrario y el asiento es demasiado ancho el usuario tiende a no sentarse simétricamente, lo que le acarrearía dolores lumbares. [12]

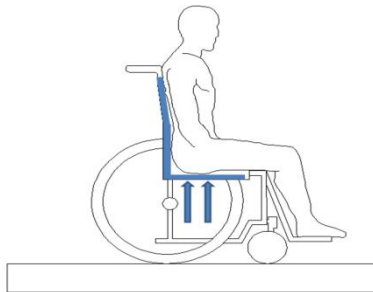
Figura 2. Asiento estrecho.



Fuente: Los autores.

En la Figura 3. se muestra un ejemplo de un asiento demasiado corto, lo que genera una liberación de presión en los muslos y una acumulación de presión en las nalgas. [12]

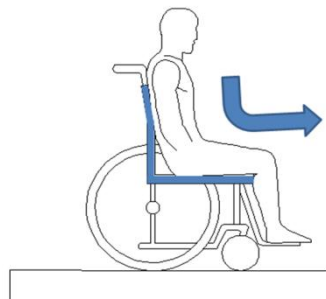
Figura 3. Asiento corto.



Fuente: Los autores.

En la Figura 4 se muestra un ejemplo de un asiento demasiado largo lo cual genera un exceso de presión en la parte anterior de las rodillas, lo que obligara a deslizarse sobre el asiento para liberar la presión, esto generará una flexión en la columna y tras largas jornadas dolores lumbares. [12]

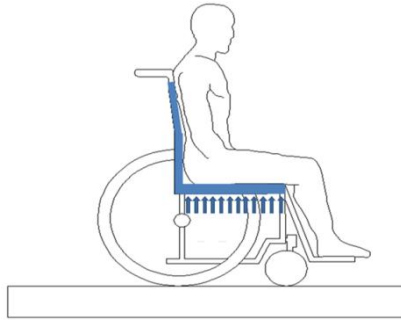
Figura 4. Asiento largo.



Fuente: Los autores.

En la Figura 5. se muestra el ajuste optimo de un asiento, en donde se asegura una posición erguida del usuario dejando una pequeña distancia entre la parte final del asiento y la parte final de los muslos, generando una distribución óptima del peso entre las nalgas y los muslos. [12]

Figura 5. Ajuste optimo del asiento.

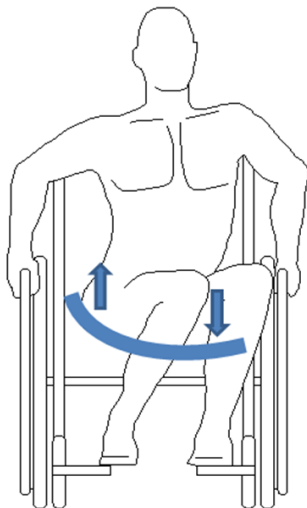


Fuente: Los autores.

4.4.3.2 Forma y ángulo del asiento El asiento debe ser firme y estar nivelado.

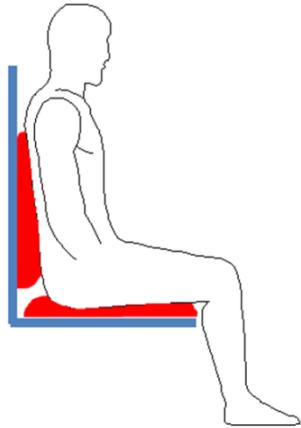
En la Figura 6. se muestra un ejemplo de cojín con deformidad, en donde se tiene un hundimiento sobre un sector mientras que al otro lado sobresale, de esta forma la posición del usuario no será simétrica y genera que los muslos y las rodillas se presionen entre sí. [12]

Figura 6. Cojín con deformidad.



Fuente: Los autores.

Figura 7. Angulo correcto entre cojines.

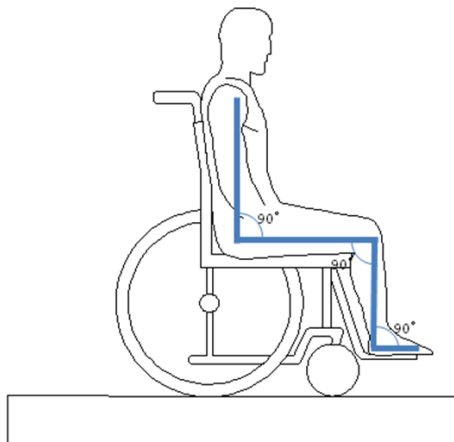


Fuente: Los autores.

En la Figura 7. se muestra el ángulo correcto entre asiento y espaldar, los cuales ofrecen una buena postura generando estabilidad en la pelvis. Se recomienda tener un ángulo de 90° para realizar las actividades cotidianas. [12]

4.4.3.3 Soporte para los pies

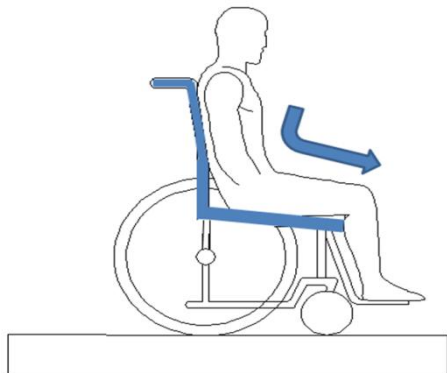
Figura 8. Angulo de las rodillas.



Fuente: Los autores.

En la Figura 8. se muestra el ángulo ideal de las rodillas el cual debe ser de 90° para que se ajuste a la alineación de la cadera y los tobillos en donde la estructura de la silla también debe ser de 90° . [12]

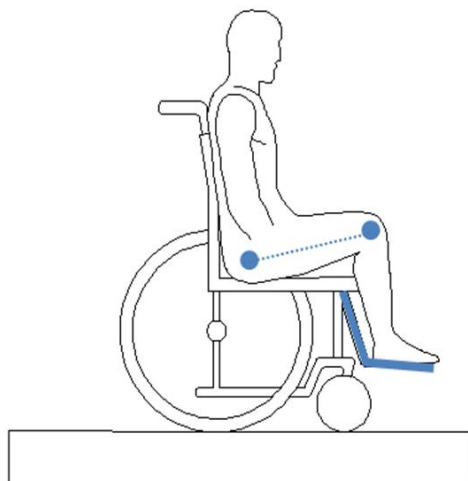
Figura 9. Plataformas bajas.



Fuente: Los autores.

En la Figura 9. se muestra un ejemplo de plataformas bajas lo que genera inestabilidad ósea en el usuario, ya que los 90° recomendados para las rodillas y la cadera se perderán, tendiendo a que el usuario se deslice del asiento aumento el rozamiento en las nalgas. [12]

Figura 10. Plataformas altas.

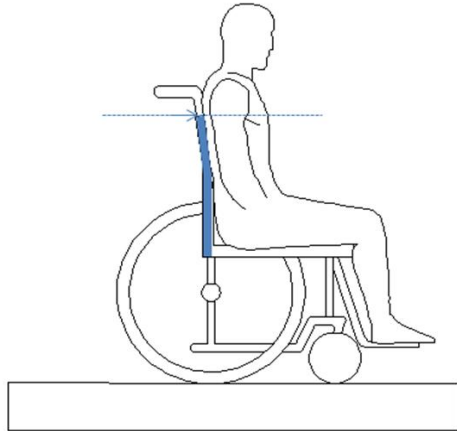


Fuente: Los autores.

En la Figura 10. se muestra un ejemplo de plataformas altas en referencia a un asiento bajo, de esta forma las rodillas quedaran más altas que la cadera generando mayor presión en las nalgas. [12]

4.4.3.4 Altura y respaldo

Figura 11. Respaldo muy bajo.

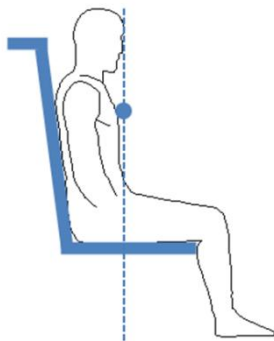


Fuente: Los autores.

En la Figura 11. se muestra un ejemplo de respaldo bajo en donde se genera la sensación de caída por falta de espaldar, se recomienda que la longitud del espaldar sea lo bastante alto como para estabilizar la región lumbar. El espaldar puede ser más alto pero esto depende de las preferencias del usuario o si este requiere mayor respaldo lumbar debido a la incapacidad de mantener la posición. [12]

4.4.3.5 Forma del respaldo y ángulo

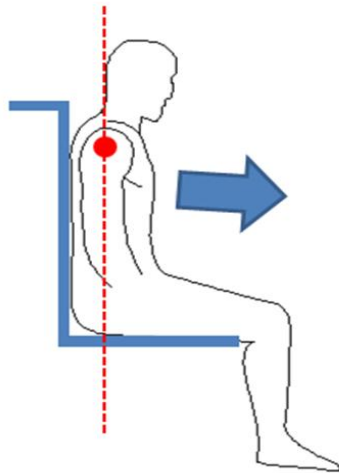
Figura 12. Ángulo óptimo del respaldo.



Fuente: Los autores.

En la Figura 12. se muestra un ejemplo de un ángulo óptimo de respaldo en donde se ofrece un adecuado soporte lumbar, una pequeña inclinación sobre el respaldo generara una posición de descanso y mayor equilibrio a la parte superior del cuerpo haciendo que la presión recaiga en el pecho. [12]

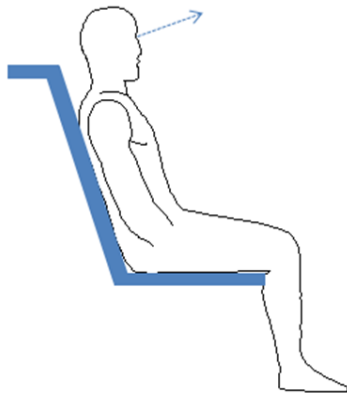
Figura 13. Respaldo recto.



Fuente: Los autores.

En la Figura 13. se muestra un ejemplo de un respaldo recto en donde la presión recaerá en los hombros y el usuario buscando liberar la presión tenderá a inclinarse hacia adelante. [12]

Figura 14. Respaldo demasiado inclinado.

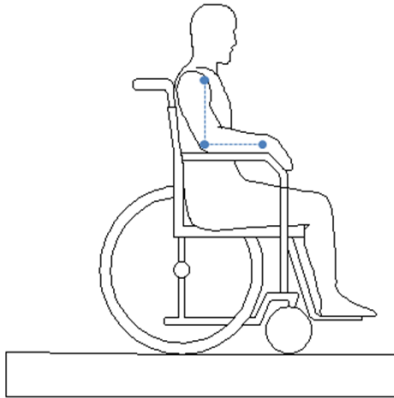


Fuente: Los autores.

En la Figura 14. se muestra un ejemplo de un respaldo demasiado inclinado en donde el usuario descansará la zona lumbar pero limitará su campo visual y maniobrabilidad se reducirá tendiendo a cansarse del cuello. [12]

4.4.3.6 Soporte de los brazos

Figura 15. Soporte de los brazos.



Fuente: Los autores.

En la Figura 15. se muestra el ángulo óptimo de los reposabrazos los cuales sirven de respaldo a los brazos en momentos de traslado o inactividad, se recomienda utilizar un ángulo de 90° respecto al codo. Si los reposabrazos son altos la presión caerá en la zona cervical y si son demasiado bajos el usuario tenderá a dejarse caer hacia un lado afectando la simetría de la posición. [12]

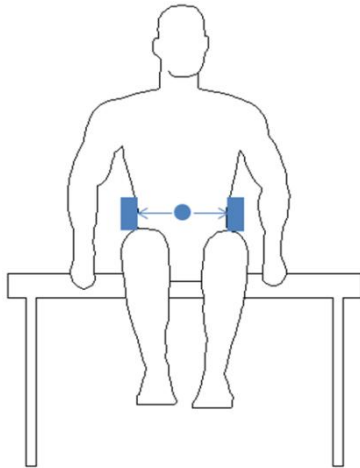
4.5 MEDIDAS NECESARIAS PARA LA CORRECTA PRESCRIPCIÓN DE LA SILLA DE RUEDAS

La eficiencia de una silla de ruedas puede lograrse o afectarse por la toma o no de medidas correctas en la prescripción médica, la silla debe tornarse en una parte más del cuerpo del usuario y para esto cada usuario posee características diferentes que obligaran a que cada silla sea única. Al realizar la toma de medidas al usuario este proceso deberá realizarse en una superficie dura que permita tener certeza de lo medido, además el usuario debe adoptar la posición correcta a cómo debe sentarse en una silla, en algunos casos será necesaria la ayuda de otra persona la cual sirva de respaldo emulando ciertas piezas de la silla para adoptar la posición correcta. [13]

4.5.1 Anchura pélvica Esta medida corresponde al ancho del asiento de la silla.

En la Figura 16. se muestra un ejemplo de la medida de anchura pélvica, la cual es igual a la anchura máxima de las caderas. Se recomienda colocar dos cuerpos sólidos y homogéneos al costado de cada cadera y tomar la medida entre los dos cuerpos. [13]

Figura 16. Anchura pélvica.

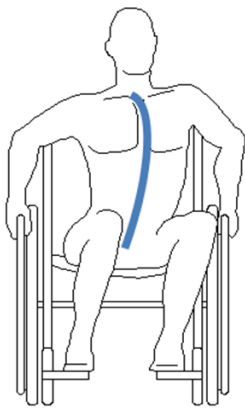


Fuente: Los autores.

Ésta medida determinará los siguientes factores:

- **Acceso a las ruedas** En la Figura 17. se muestra un asiento demasiado ancho lo que aumentara el ancho total de la silla impidiéndole la entrada a recintos cerrados y dificultará la impulsión manual ya que los discos de impulso estarán muy alejados del usuario. [13]

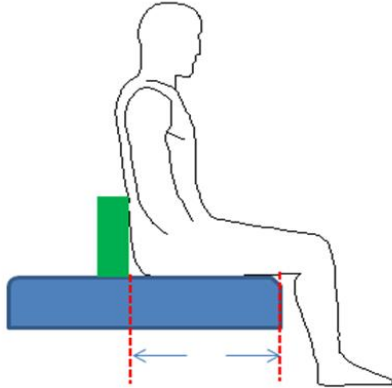
Figura 17. Posición pélvica y estabilidad.



Fuente: Los autores.

4.5.2 Longitud del muslo Esta medida corresponde a la longitud del asiento.

Figura 18. Longitud de muslo.

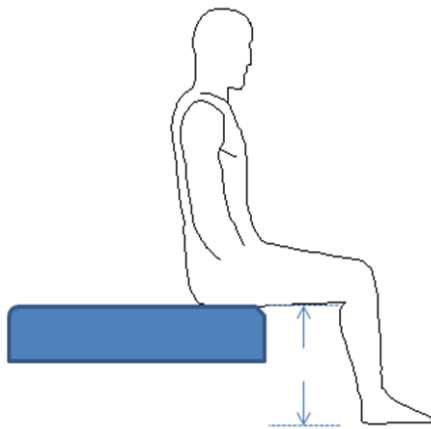


Fuente: Los autores.

En la Figura 18. se muestra un ejemplo de la toma de medida del muslo la cual se puede realizar sentando el usuario en una mesa tomando una distancia de tres dedos de diferencia entre la parte anterior de la rodilla y el final de la mesa, también debe colocarse un cuerpo sólido a la espalda del usuario y tomar la distancia entre el borde de la mesa y el cuerpo. Esta medida debe realizarse para cada muslo para evitar medidas erróneas, a partir de esta medida se logrará una perfecta distribución del peso entre las nalgas y los muslos. [13]

4.5.3 Longitud de la pantorrilla Esta medida permite establecer la longitud del reposapiés.

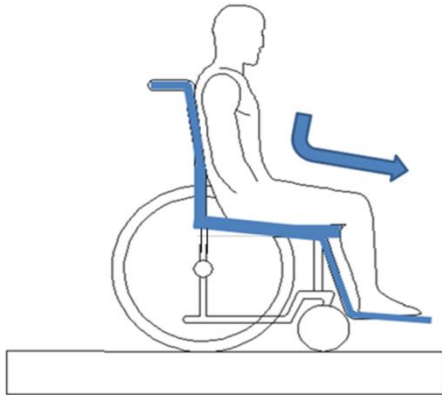
Figura 19. Medida óptima del reposapiés.



Fuente: Los autores.

En la Figura 19. se muestra un ejemplo de cómo tomar la medida de la pantorrilla, la cual corresponde a la distancia entre la parte anterior de la rodilla y el talón, se recomienda tomar la medida de ambos pies para corregir errores [13]

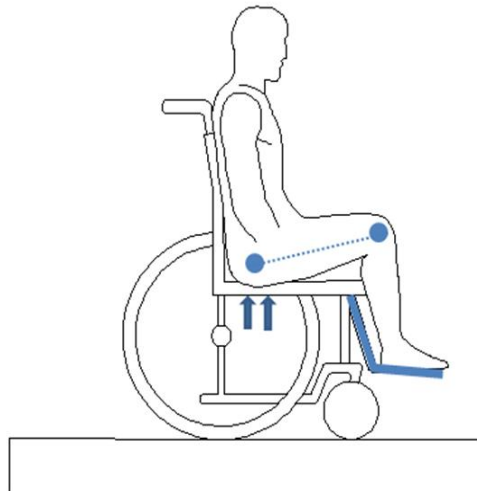
Figura 20. Medida muy larga del reposapiés.



Fuente: Los autores.

En la Figura 20. se muestra un ejemplo de un reposapiés demasiado largo en donde el usuario no tendrá soporte y tenderá a deslizarse sobre el asiento. [13]

Figura 21. Medida muy corta del reposapiés

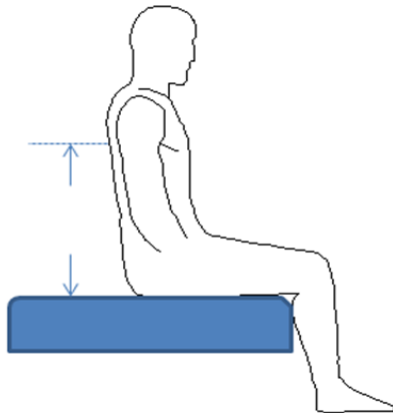


Fuente: Los autores.

En la Figura 21. se muestra un ejemplo de un reposapiés demasiado corto en donde los muslos se liberaran de la presión del peso y todo recaerá en las nalgas y finalmente terminara por causar úlceras en la piel. [13]

4.5.4 Altura inferior de la escápula Esta medida permite establecer la altura del espaldar.

Figura 22. Altura inferior de la escápula.

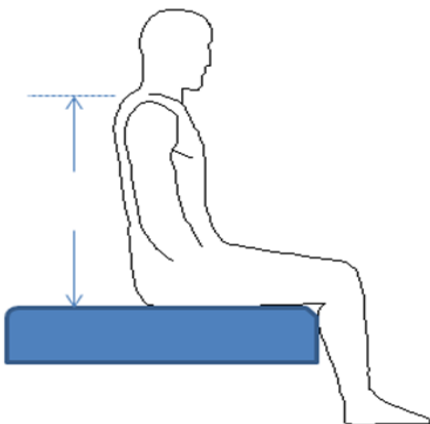


Fuente: Los autores.

En la Figura 22. se muestra un ejemplo de cómo tomar la medida de la altura inferior de la escápula, se puede realizar sentando al usuario en una mesa manteniendo una posición erguida y tomar la medida desde la mesa hasta la parte inferior de la escápula. [13]

4.5.5 Altura del hombro Esta medida permite establecer la altura del espaldar en un paciente que requiere control de tronco.

Figura 23. Altura del hombro.



Fuente: Los autores.

La Figura 23. muestra un ejemplo de cómo tomar la medida de la altura del hombro, al igual que al tomar la medida de la escápula se debe contar con la ayuda de una mesa. Esta medida permitirá asegurar el tronco del usuario a la silla manteniendo siempre un ángulo de 90° en la cadera, rodillas y tobillos, esto dará mayor estabilidad torácica y control de la cabeza. [13]

4.6 PROPUESTA DE DISEÑO

El proyecto se concibe con la intención de desarrollar un sistema de control para aplicarlo en una silla de ruedas económica de fácil construcción. Este trabajo está orientado a favorecer la calidad de vida de personas con distintas incapacidades motrices, hasta el grado de personas cuadripléjicas.

4.6.1 Diseño estructural de la silla La propuesta consiste en diseñar y construir una silla de ruedas liviana, de bajo costo y manutención que esté al alcance de las personas de bajos recursos con problemas de movilidad, teniendo en cuenta las condiciones biomédicas establecidas para evitar la complicación de una enfermedad procurando ser una herramienta de apoyo efectiva, que sirva de ayuda y beneficio en la recuperación del paciente.

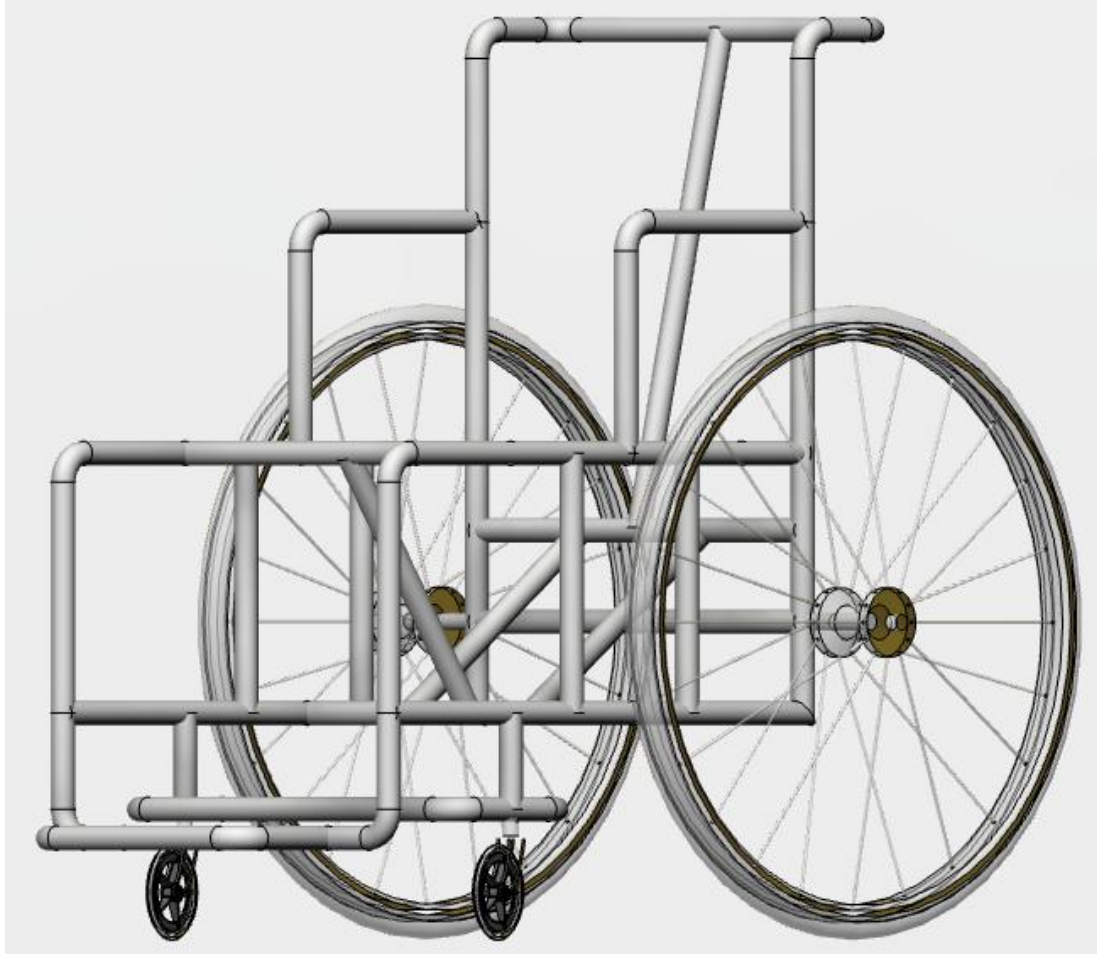
La silla está construida en tubería de PVC reciclada, lo que le otorga menor peso y mucha mayor resistencia, aunque menor autonomía. Los materiales usados a excepción de los motores, el cojín y algunas conexiones plásticas son material reciclado.

Las ruedas traseras, los platos, las cadenas y los piñones son de bicicletas abandonadas en chatarrerías. Las ruedas delanteras son de movimiento libre, extraídas de una vitrina de confites.

4.6.1.1 Chasis El chasis se diseñó y construyó utilizando como materia prima tubería PVC de alta presión para manejo de agua potable a 200 PSI de diámetro de 1" (ver anexo A y B), la cual tomo forma estructural de silla de ruedas mediante el uso de tees y codos del mismo material. Este diseño ofrece un excelente soporte, similar a metales duros de su mismo calibre como el acero y un muy bajo peso, inferior al aluminio el cual se ha establecido como uno de los referentes para estas aplicaciones.

En la Figura 24. se puede observar la estructura base de la silla de ruedas utilizada en el desarrollo de este proyecto.

Figura 24. Estructura base de la silla.



Fuente: Los autores.

Las dimensiones de la silla son:

Alto: 101 cm

Ancho: 72 cm

Largo: 99 cm

Peso: 34 Kg (Sin baterías)

Las dimensiones del prototipo son estándar, diferenciándose solamente en un mayor ancho, definido por el tamaño de las dos baterías de 12 VAC que tiene colocadas bajo el asiento.

El chasis es tipo fijo lo que favorece en el aprovechamiento de la energía y resiste de mejor manera el maltrato en exteriores, de igual manera si una de las piezas sufre algún daño, su reparación es sencilla, basta con retirar los remaches que fijan la piezas con los codos o tees de acopio, retirar la pieza y recortar un pedazo de tubo de la misma longitud al averiado, encajar en la posición e instalar nuevos remaches en las posiciones establecidas.

Este diseño convierte el chasis en un desarrollo económico, resistente, liviano y de fácil mantenimiento, que comparado frente a otros modelos existentes toma la delantera en innovación.

El factor importante en este tipo de materiales es utilizar longitudes cortas para exponer en lo menos posible la integridad de los tubos o que la distribución de peso en un determinado momento se sitúe en un punto blando de la tubería, los soportes o puntos de mayor presión deben ubicarse en tees o codos los cuales son de mayor densidad y calibre, evitar volados o espacios sin soportes, en este punto se deben situar tubos en forma de soporte no en conexión unión, así la carga se distribuirá sobre la estructura cilíndrica del tubo y no sobre una parte longitudinal de él.

4.6.1.2 Asiento y espaldar Están fabricados en espuma moldeada lo que permite amoldarse al cuerpo del usuario sin sufrir graves deformaciones, esta espuma va cubierta de cuero sintético antideslizante lo que permite que el usuario conserve su posición ante el movimiento de la silla. El espaldar posee un grado de inclinación lo que le da mayor confort al usuario ante jornadas extensas de uso.

4.6.1.3 Base La base está igualmente construida en PVC, en esta parte solo están instaladas las ruedas delanteras o casters, las cuales fueron recicladas de una vitrina de confites, la base a diferencia de modelos comerciales es un poco más pequeña y posee un diseño tipo barra estabilizadora, lo que impide que las ruedas se desalineen o se desvíen tanto en línea horizontal como vertical, para dar un mayor soporte a la fijación de la base al chasis, se le incorporo alma de acero a los tubos que unen estas dos piezas, ya que sin este refuerzo existe el riesgo que en un bache estas piezas se fracturen.

4.6.1.4 Ruedas Las ruedas poseen una relación 6:1, ruedas traseras de 26" y ruedas delanteras de 4,5", las ruedas traseras son de tipo neumático para tener mayor amortiguación y poseen diseño de todo terreno para contar con mayor tracción. Las ruedas delanteras son de tipo macizas y al ser más pequeñas poseen mayor maniobrabilidad óptima para manejo en interiores.

4.6.1.5 Tracción La tracción utilizada es trasera, justo detrás del centro de grave de la silla, lo que permitirá tener mayor velocidad al acoplarse a ruedas más grandes y tendrá mayor tracción en planos inclinados. Este diseño genera un manejo predecible y estable, generalmente este tipo de diseño posee restricciones de manejo en lugares estrechos aunque esto se corrige en la etapa de software dándole autonomía a cada motor.

4.6.1.6 Motores Los motores utilizados son tipo estándar de 24 voltios corriente continua con conexión en derivación y con una potencia de 1/3 HP, los cuales se acoplan a cajas turbo reductoras de relación 50:1, recicladas de un carro de

baterías para niño, las cajas toman la alta velocidad de rotación de los motores y la convierten en potencia de torque mediante un sistema de piñones. Cada caja turbo reductora tiene acoplado un piñón metálico de 18 dientes el cual mediante una cadena transmite la velocidad y potencia de rotación a los platos de 48 dientes que posee cada rueda trasera y así generar el movimiento de la silla de ruedas.

4.6.1.7 Baterías Se utilizaron dos baterías de tipo seco para evitar la fuga de ácido y poder posicionarlas en diferentes ubicaciones según espacios de diseño, estas se encuentran ubicadas en la parte posterior de la silla junto con el gabinete de control electrónico. Este tipo de baterías son denominadas de tipo tracción las cuales resisten grandes ciclos de carga y descarga.

4.6.1.8 Control El control de rotación y desplazamiento se realiza mediante un Joystick de control de video juego acoplado a una placa Arduino AT Mega 2560, es allí donde se realiza el control electrónico de la silla de ruedas, junto con el Joystick se encuentra un botón de “paro”, un botón de “marcha adelante”, un botón de “marcha atrás” y un botón de “aviso” o “claxon”. El control de mando también posee un teclado matricial y un display LCD que permiten interactuar con el módulo de control de la silla y realizar la elección de ciertos parámetros de funcionamiento.

El control se ubica en un soporte en PVC delante del reposabrazos para que el usuario pueda usar el teclado y elegir entre una gama de ubicaciones posibles la que más se acomode a sus necesidades.

4.6.2 Medidas de prescripción para diseño de la silla de ruedas Las medidas exactas para la prescripción de la silla fueron tomadas a partir del biotipo de uno de los autores.

Dentro del biotipo del autor se remarcan las siguientes condiciones:

Peso: 85 Kg

Altura: 172 cm

En la Figura 25. se muestra el diseño finalizado de la silla de ruedas que utilizo como materia prima la tubería de PVC.

Figura 25. Silla de ruedas en PVC terminada.



Fuente: Los autores.

Dentro de las medidas necesarias para la correcta prescripción médica de la silla de ruedas se encuentran:

Anchura pélvica: 43 cm
Longitud del muslo: 43 cm
Longitud de la pantorrilla: 43 cm
Altura inferior de la escapula: 43 cm
Altura del hombro: 64 cm

Dada las medidas anteriores, la silla se diseño con los siguientes parámetros:

Peso a soportar: 110 kg
Anchura de asiento: 44 cm interior y 53 cm exterior

Longitud del asiento: 40 cm
Longitud del reposapiés: 43 cm
Altura del espaldar: 45,5 cm

La altura del espaldar se diseño tomando como base la altura de la escapula, tomada para un usuario con control de tronco, si el diseño se hubiera realizado tomando como base un paciente sin control de tronco, la altura del espaldar tendría que haberse diseñado con base a la altura del hombro.

4.6.3 Diseño electrónico de la silla La propuesta consiste en diseñar y construir un sistema basado en una placa de desarrollo Arduino, que permita controlar el desplazamiento y giro de una silla de ruedas liviana de bajo costo por medio de un joystick.

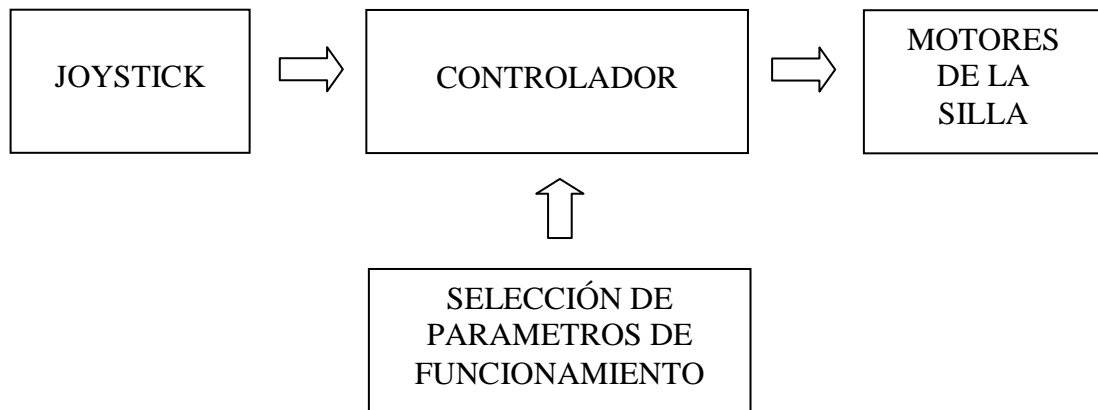
En el diseño del prototipo se plantean tres partes importantes las cuales son: interfaz de usuario, actuadores y control central de procesos. El joystick, el teclado matricial y el display LCD, hacen parte de la línea de interfaz de usuario, mediante ellos el usuario podrá definir la dirección de desplazamiento, la velocidad de avance, el tipo de marcha, dar aviso de proximidad, detener la marcha y visualizar los parámetros de funcionamiento del sistema de control.

En la línea de actuadores se encuentra el juego mecánico de torque y rotación compuesto por los motores acoplados a las cajas turbo reductoras y el kit de piñón y plato acoplados a cada rueda para convertir la rotación de alto torque en desplazamiento.

En la línea de control central de procesos se encuentra la placa base de desarrollo Arduino AT Mega 2560, es allí en donde se realiza el procesamiento de todas las ordenes que ingresa el usuario mediante el joystick y el teclado matricial. Esta placa posee placas auxiliares que le permiten entrar en contacto con los demás componentes del prototipo, entre ellas están las placas de control y potencia las cuales se encargan del manejo de los motores, las placas de alimentación las cuales se encargan de tomar el suministro eléctrico de las baterías y adecuar el voltaje de alimentación para cada placa incluyendo la central, la placa de estado de baterías la cual se encarga de monitorear el estado de carga de las baterías e indicar si requieren ser recargadas y finalmente la placa de carga de baterías la cual se encarga de tomar corriente alterna, convertirla en corriente continua y regular el voltaje a niveles necesarios para la carga de la batería.

A continuación se muestra el diagrama de bloques de la propuesta en la Figura 26.

Figura 26. Diagrama de control.



Fuente: los autores

Dentro del funcionamiento específico de la placa de desarrollo Arduino esta debe proveer una función tipo escalera que forme una onda sinusoidal en la velocidad de los motores, con el fin de eliminar los arranques y paradas bruscas y así evitar posibles accidentes al usuario de la silla.

4.6.3.1 Movimientos La silla de ruedas posee cuatro movimientos, avance, retroceso, giro hacia la izquierda y hacia la derecha.

La silla de ruedas avanza hacia delante, cuando los dos motores giran en sentido horario, estando el observador situado a la derecha de la silla. Al avanzar hacia atrás, los dos motores giran en sentido antihorario.

El control permite girar de dos formas distintas en cada una de ellas un solo motor está activo. Por ello, para girar hacia la derecha se activa el motor izquierdo en sentido horario y para doblar a la izquierda se acciona el motor derecho en sentido horario.

5. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL HARDWARE DE CONTROL

En este capítulo se describe como se realizó el diseño del hardware de control del sistema. Se considera el tipo de control para facilitar el uso del operador de la silla de ruedas como lo es el control por Joystick o trackball. Todos los diseños fueron realizados tomando en cuenta la forma más simple y sencilla para ejecutarlos.

5.1 ANÁLISIS DE LA SILLA DE RUEDAS

Para el análisis se considera el peso de todos los componentes que integran el sistema (Figura 27): silla de ruedas, sistema de control y potencia, usuario, batería. La masa máxima especificada para el usuario es de 110 kg. La masa de la silla está dada por los materiales con los cuales se encuentra construida.

Figura 27. Silla de ruedas.



Fuente: Los autores.

El peso total del sistema es:

$$PTM = PEM + PMU + PF + PSC$$

PEM = Peso de la estructura mecánica de la silla = 333,54 [N] (34 kg)

PMU = Peso máximo del usuario = 1079,1 [N] (110 kg)

PF = Peso de la fuente (Batería) = 147,15 [N] (15 kg)

PSC = Peso sistema de control = 9,81 [N] (1 kg)

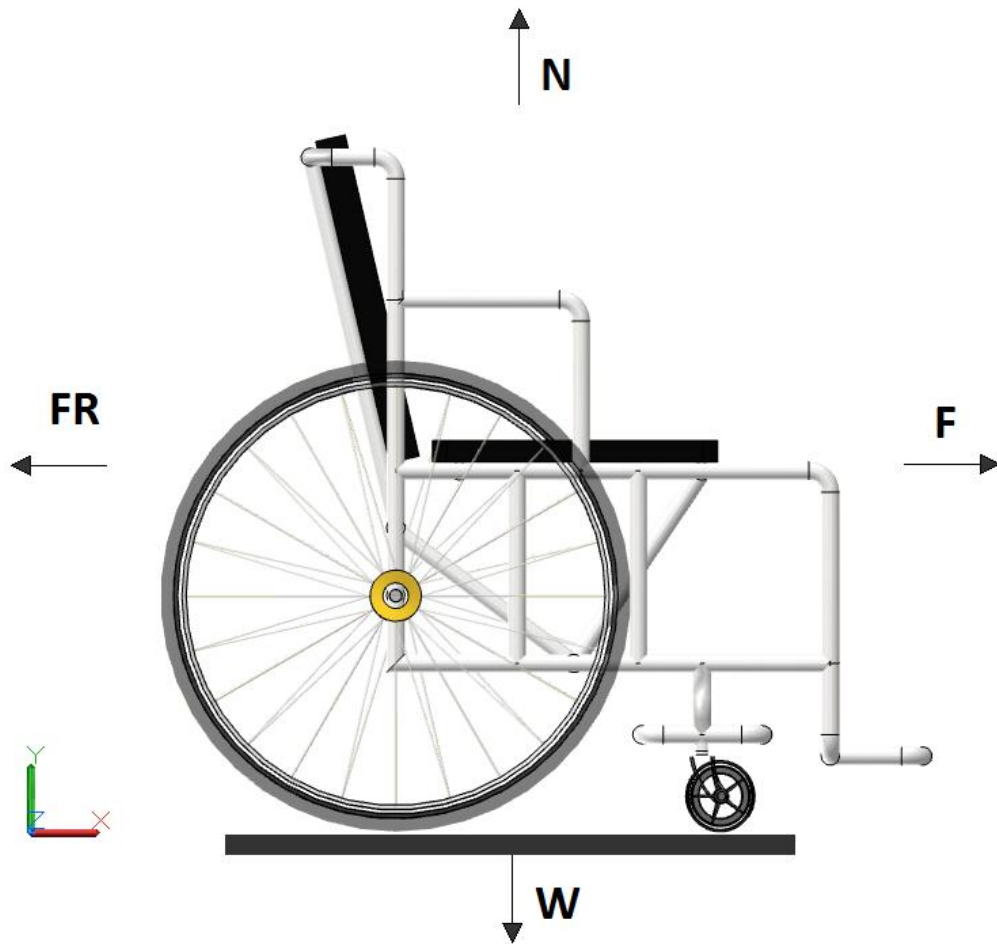
PTM = Peso total a movilizar = 1569,6 [N]

A partir de los valores de carga que debe trasladar el sistema se puede obtener la fuerza máxima del sistema.

5.1.1. Determinación de la fuerza máxima requerida en una superficie plana

El cálculo de la fuerza máxima se realiza mediante el análisis de cuerpo libre del sistema (Figura 28).

Figura 28. Superficie plana.



Fuente: Los autores.

Para materiales de hule sobre concreto se toma un coeficiente de fricción cinético aproximadamente de 0,57. [17]

$$\sum F_x = 0$$

$$F - F_r = 0$$

$$F = F_r$$

$$F = \mu_c * N \rightarrow (ec.1)$$

$$\sum F_y = 0$$

$$N - W = 0$$

$$N = W$$

$$N = m * g \rightarrow (ec.2)$$

$$(ec.1) \rightarrow (ec.2)$$

$$F = \mu_c * m * g$$

$$F = 0.57 * 1569.6 [N]$$

$$F = 894,67 [N]$$

El anterior calculo muestra la fuerza máxima requiere el sistema para rotar en cualquier dirección.

5.1.2 Determinación de la fuerza máxima requerida en una superficie ascendente Según la Norma Técnica Colombiana NTC 4193 del año 1998 (Accesibilidad de las personas al medio físico, edificio, rampas fijas.), la cual establece las dimensiones mínimas y características generales que deben cumplir las rampas para facilitar el acceso de las personas estas no deben superar una inclinación del 12%. [14]

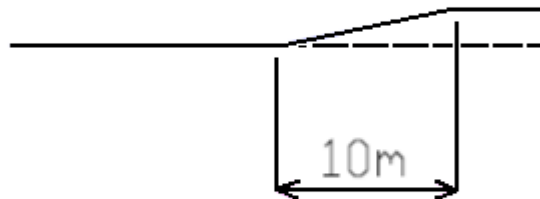
En pendientes longitudinales (Figura 29) los rangos se establecen entre descansos en donde las rampas tampoco pueden superar la pendiente máxima, la cual es medida en su proyección.

Figura 29. Porcentajes de pendientes.

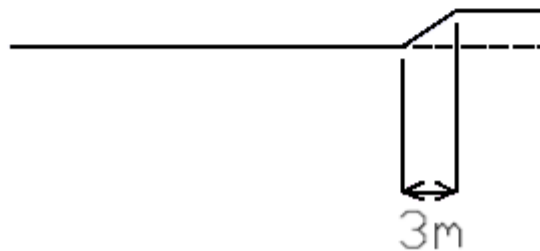
Pendiente 6% a 8%



Pendiente 8% a 10%



Pendiente 10% a 12%

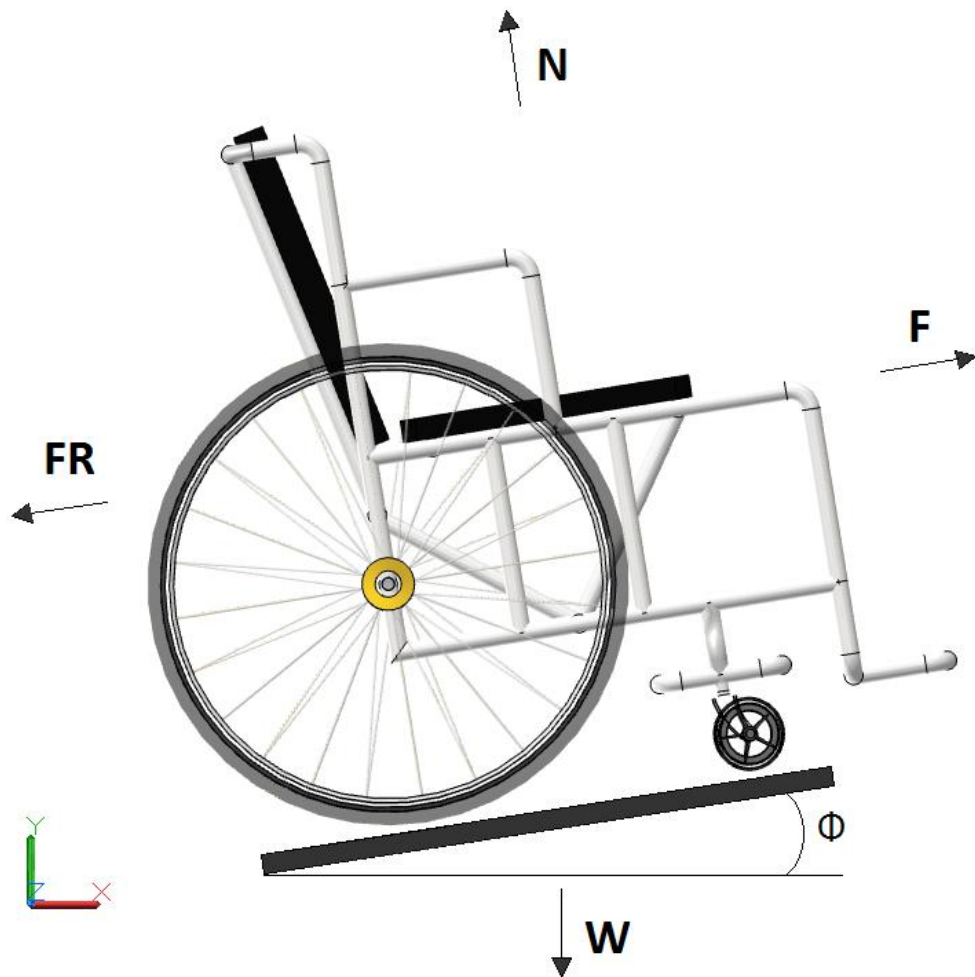


Fuente: Los autores.

- a) Hasta 15 metros: 6% a 8% equivalente a un ángulo de $3,43^\circ$.
- b) Hasta 10 metros: 8% a 10% equivalente a un ángulo de $5,71^\circ$.
- c) Hasta 3 metros: 10% a 12% equivalente a un ángulo de $6,84^\circ$.

Para el diseño se considera el valor más crítico $6,84^\circ$. La Figura 30. muestra el diagrama de cuerpo libre de la superficie con pendiente ascendente.

Figura 30. Superficie pendiente ascendente.



Fuente: Los autores.

$$\sum F_x = 0$$

$$F - (F_r + W_x) = 0$$

$$F = F_r + W_x$$

$$F = \mu_c * N + W * \text{Sen}(\phi)$$

$$F = \mu_c * N + m * g * \text{Sen}(\phi) \rightarrow (\text{ec. 3})$$

$$\sum F_y = 0$$

$$N - W_y = 0$$

$$N = W * \text{Cos}(\phi)$$

$$N = m * g * \text{Cos}(\phi) \rightarrow (\text{ec. 4})$$

$$(\text{ec. 4}) \rightarrow (\text{ec. 3})$$

$$F = \mu_c * m * g * \text{Cos}(\phi) + m * g * \text{Sen}(\phi)$$

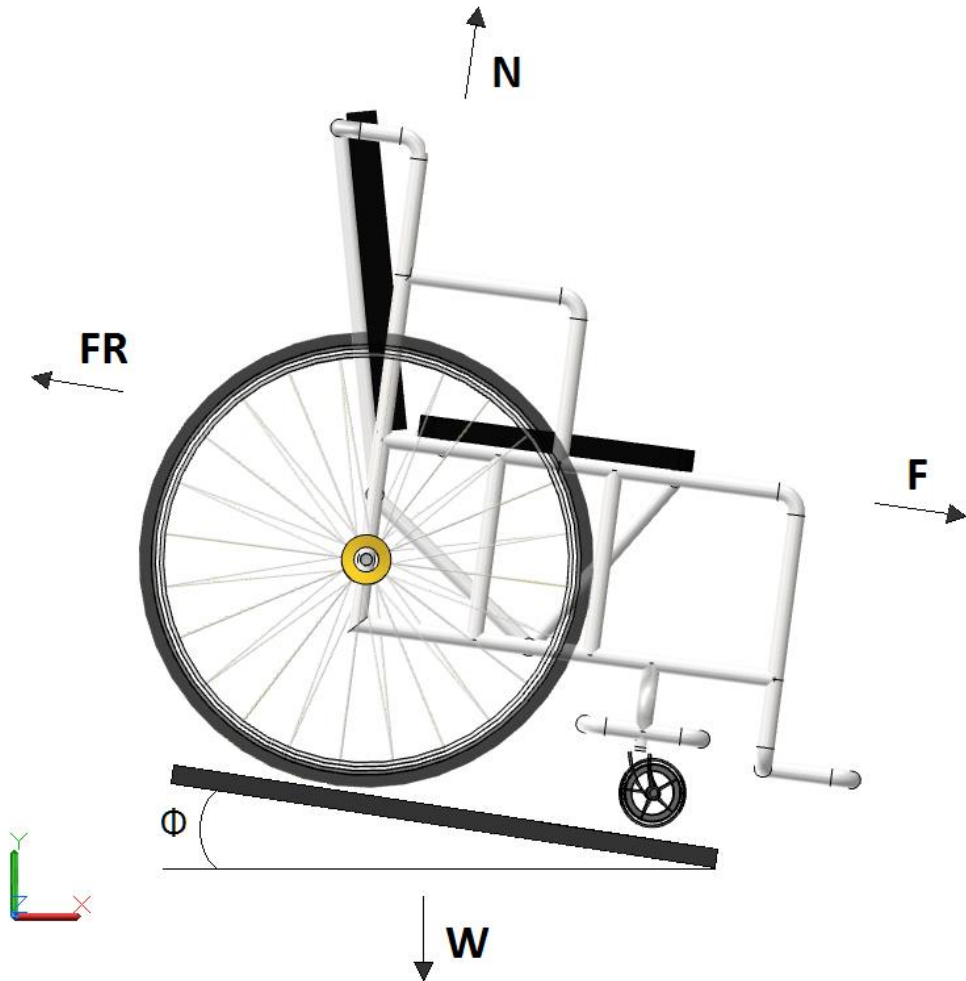
$$F = m * g * (\mu_c * \text{Cos}(\phi) + \text{Sen}(\phi))$$

$$F = 1569,6 * (0,57 * \text{Cos}(6,84^\circ) + \text{Sen}(6,84^\circ))$$

$$F = 1075,23[N]$$

5.1.3 Determinación de la fuerza máxima requerida en una superficie descendente La Figura 31. muestra el diagrama de cuerpo libre de la superficie con pendiente descendente.

Figura 31. Superficie pendiente descendente.



Fuente: Los autores.

$$\sum F_x = 0$$

$$F_r - (F + W_x) = 0$$

$$F_r = F + W_x$$

$$F = \mu_c * N - W * \text{Sen}(\phi)$$

$$F = \mu_c * N - m * g * \text{Sen}(\phi) \rightarrow (\text{ec.3})$$

$$\sum F_y = 0$$

$$N - W_y = 0$$

$$N = W_y$$

$$N = W * \text{Cos}(\phi)$$

$$N = m * g * \text{Cos}(\phi) \rightarrow (\text{ec.4})$$

$$(\text{ec.4}) \rightarrow (\text{ec.3})$$

$$F = \mu_c * m * g * \text{Cos}(\phi) - m * g * \text{Sen}(\phi)$$

$$F = m * g * (\mu_c * \text{Cos}(\phi) - \text{Sen}(\phi))$$

$$F = 1569,6 * (0,57 * \text{Cos}(6,84^\circ) - \text{Sen}(6,84^\circ))$$

$$F = 701,36 \text{ [N]}$$

5.1.4 Determinación de la potencia de los motores Tras el análisis anterior se determino que la peor condición de desplazamiento para el sistema es cuando se encuentra en una pendiente ascendente, en esta condición se tiene que la fuerza máxima es de 1075.03 [N] ó 109.58 kgf, se tiene esta fuerza sin importar el desplazamiento o giro a realizar mediante la activación de uno o de los dos motores.

Según los fabricantes de sillas de ruedas electrónicas el estándar de velocidad máxima se encuentra en 2.45m/s [7].

Los motores implementados para el desplazamiento del sistema son de corriente continua de 24Vdc y 10A.

Potencia máxima = Velocidad máxima x Fuerza máxima.

Potencia máxima = 2.45 m/s x 109.58kgf =268.47 watts.

Potencia del motor = V x I.

Potencia del motor = 24Vdc x 10A =240 watts.

Se debe considerar un 10% de pérdidas que son causados por factores mecánicos de los motores. Por lo tanto, la potencia efectiva máxima de cada motor es 216 watts y con esto se procede a calcular la velocidad máxima de la silla de ruedas.

$$Velocidad\ maxima = \frac{Potencia\ máxima\ del\ motor}{Fuerza\ máxima}$$

$$Velocidad\ maxima = \frac{216\ watts}{109.58\ kgf} = 1,963\ m/s$$

Nota: para evitar que los motores trabajen a su máxima potencia se configura la caja reductora de velocidad para que entregue mayor potencia sacrificando velocidad alcanzando así una velocidad crucero de 1 m/s.

5.2 DISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO

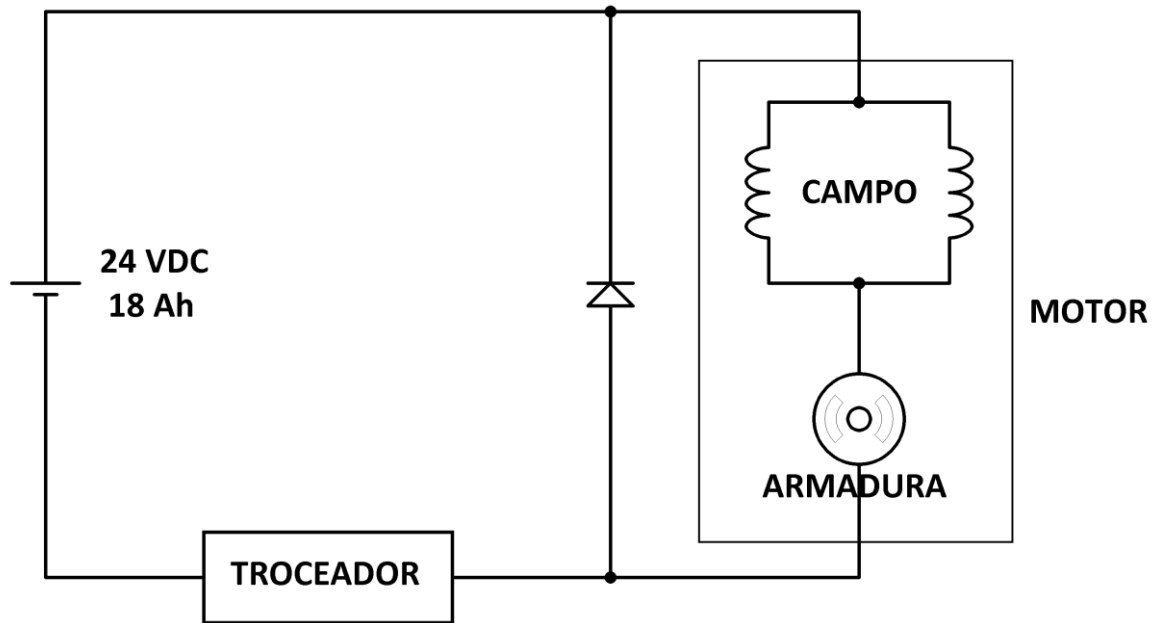
Para la parte de potencia de la silla de ruedas se seleccionaron dos baterías recargables de 12 Vdc 18Ah (Figura 32) y un Circuito troceador (Circuito de control) para los dos motores de corriente continua de 24 Vdc 10A con armadura y campo independientes. El esquema general eléctrico se indica en la Figura 33.

Figura 32. Batería.



Fuente: Los autores.

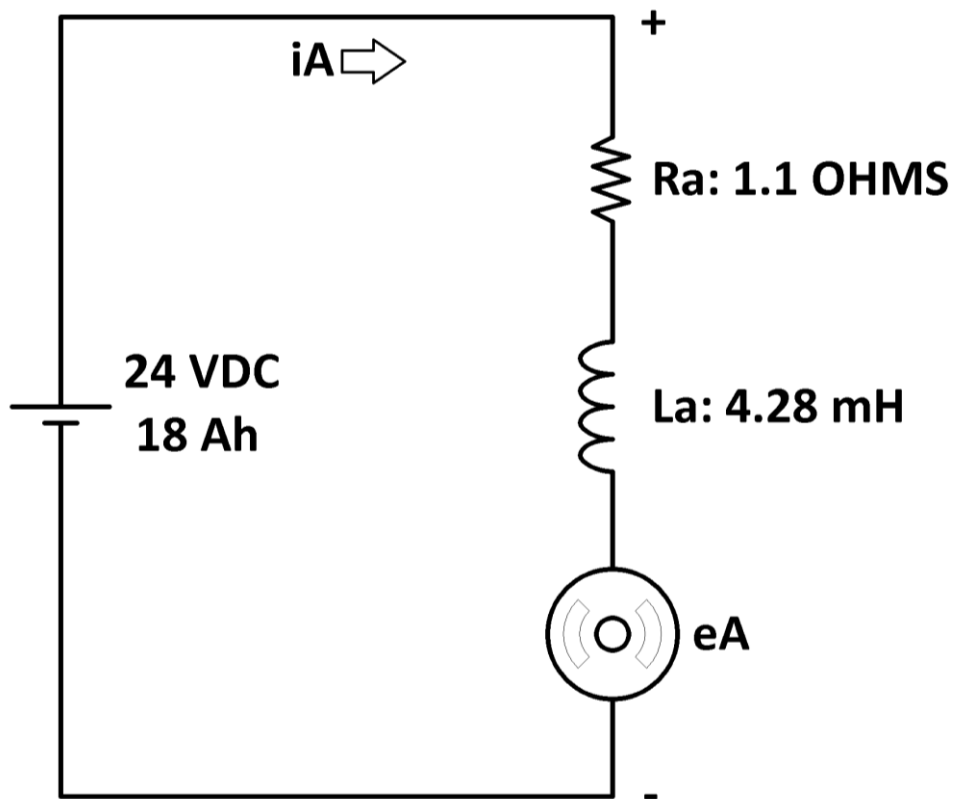
Figura 33. Esquema eléctrico.



Fuente: Los autores.

Para los valores de resistencia e inductancia, se toman los valores de placa de los motores, siendo $R_a=1.1\Omega$ K y $L_a = 4.28$ mH (Figura 34 y Figura 35).

Figura 34. Esquema general del motor.



Fuente: Los autores.

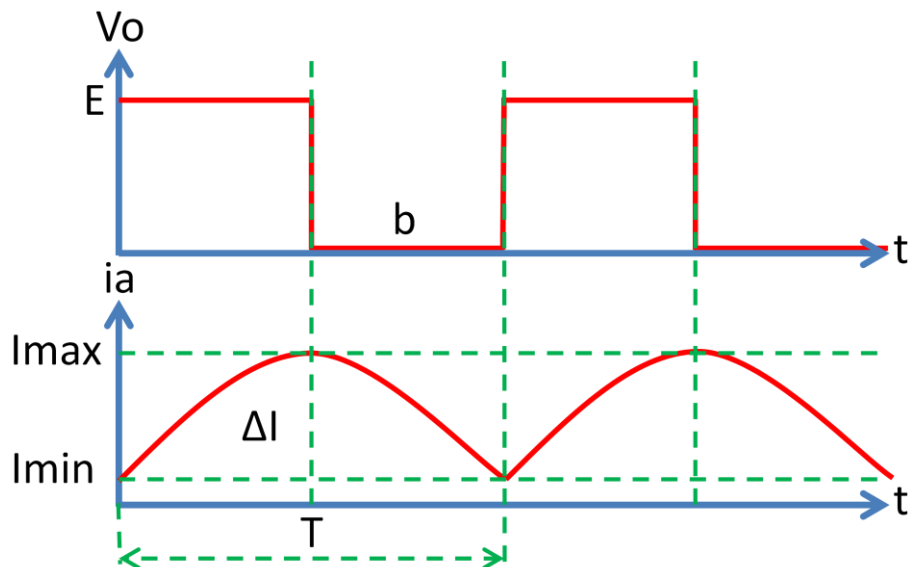
Figura 35. Motor 12V, 10A.



Fuente: Los autores.

El control de los motores se realiza a través de un troceador reductor el cual permite la conversión de voltaje de una fuente constante a otros niveles diferentes de voltaje. Este troceador es de tipo A ya que actúa en el primer cuadrante, su corriente es unidireccional y el voltaje es no reversible. En la Figura 36. se muestra las formas de onda del troceador reductor.

Figura 36. Formas de onda del troceador reductor.



Fuente: Los autores.

La frecuencia de operación, se realiza a $\Delta I < 5\%$, donde el rizado máximo de corriente que se da cuando se llega a la mitad del periodo T ; esto quiere decir que el tiempo en alto (a) es igual al tiempo en bajo (b) con lo cual $a=b$ y se calcula el periodo (a) rizado máximo donde:

- ΔI =Rizado de Corriente.
- E =Voltaje de la fuente.
- R_a =Resistencia del motor.
- L_a = Inductancia del motor.
- T = Periodo.
- a = ciclo útil.

$$a = b$$

$$T = a + b$$

$$a = \frac{T}{2}$$

$$\Delta I = \frac{E}{Ra} \frac{\left(1 - e^{-a \frac{Ra}{La}}\right) \left(1 - e^{-b \frac{Ra}{La}}\right)}{\left(1 - e^{-T \frac{Ra}{La}}\right)}$$

$$\Delta I = \frac{E}{Ra} \frac{\left(1 - e^{-a \frac{Ra}{La}}\right) \left(1 - e^{-(T-a) \frac{Ra}{La}}\right)}{\left(1 - e^{-2a \frac{Ra}{La}}\right)}$$

$$\Delta I = \frac{12V}{1.1\Omega} \frac{\left(1 - e^{-a \frac{1.1\Omega}{4.3 mH}}\right) \left(1 - e^{-(T-a) \frac{1.1\Omega}{4.3 mH}}\right)}{\left(1 - e^{-2a \frac{1.1\Omega}{4.3 mH}}\right)}$$

Para $\Delta I = 5\%$ $a=3.872$ $T=7.744$ ms $f=129$ Hz

5.3 SELECCIÓN DE LA BATERÍA

Con el fin de obtener las características adecuadas de capacidad de carga de la batería debemos obtener primero la potencia efectiva de los actuadores del sistema:

$F_{ma}=1075.03$ [N] ó 109.58 kgf. (Fuerza máxima).

Velocidad máxima=1m/s.

$P_{efmax}=2 \times F_{max}$ Velocidad máxima.

$P_{efmax}=2 \times 109.58$ kgf, x 2m/s.

$P_{efmax}=438.32$ watts.

$P_{efmax}=V \times$ consumo I

Teniendo en cuenta la potencia efectiva se puede determinar el consumo de corriente de los actuadores:

$$I_{consumo} = \frac{P_{efmax}}{V} = \frac{219.16 \text{ watts}}{12V} = 18.26 A$$

Según la Norma Técnica Colombiana NTC 978 (Vehículos automotores, baterías), la batería se considera cargada cuando en sus bornes alcanza 13,4V y se encuentra descargada cuando entre sus bornes alcanza 10.5V. Considerando que el tiempo efectivo de movilización del usuario es de 1 hora por día, de esta forma se puede determinar la capacidad de carga de la batería. [18]

$C = I \times T$ (Norma NTC 978)

C: Capacidad de carga de la batería expresada en Ah.

I: Corriente de descarga expresada en Ampere.

T: Tiempo de descarga de la batería expresada en horas.

I= consumo I

C=18.26Ah.

Las baterías seleccionadas son de 12 V y 18Ah, con la cual se calcula el tiempo de descarga.

$$T = \frac{C}{I} = \frac{60 \text{ Ah}}{18.26 \text{ A}} = 3.28 \text{ horas}$$

Con esta fuente de alimentación el sistema tiene un tiempo de autonomía de una hora continua.

5.4 SELECCIÓN DE LA PLACA DE DESARROLLO ARDUINO AT MEGA 2560

Para el circuito de control se seleccionó una placa de desarrollo Arduino AT Mega 2560 (ver anexo C), el cual es el cerebro total del control y realiza las siguientes funciones: [4]

1. Permite conocer la posición en la que se encuentra la silla de ruedas, adelante, atrás, izquierda o derecha.
2. Permite el modo de funcionamiento: Modo Semiautomático, Modo manual o Modo de Ajustes del Sistema.
3. Ejecuta la Rampa de Aceleración y Desaceleración tipo "ESCALERA" a través de los módulos PWM.
4. Realiza el control de los relés que permiten la inversión de giro de los motores.
5. Detección del estado de la batería, si está cargada o no.
6. Realiza la selección de velocidad y tiempo de la rampa a través del teclado y la LCD.

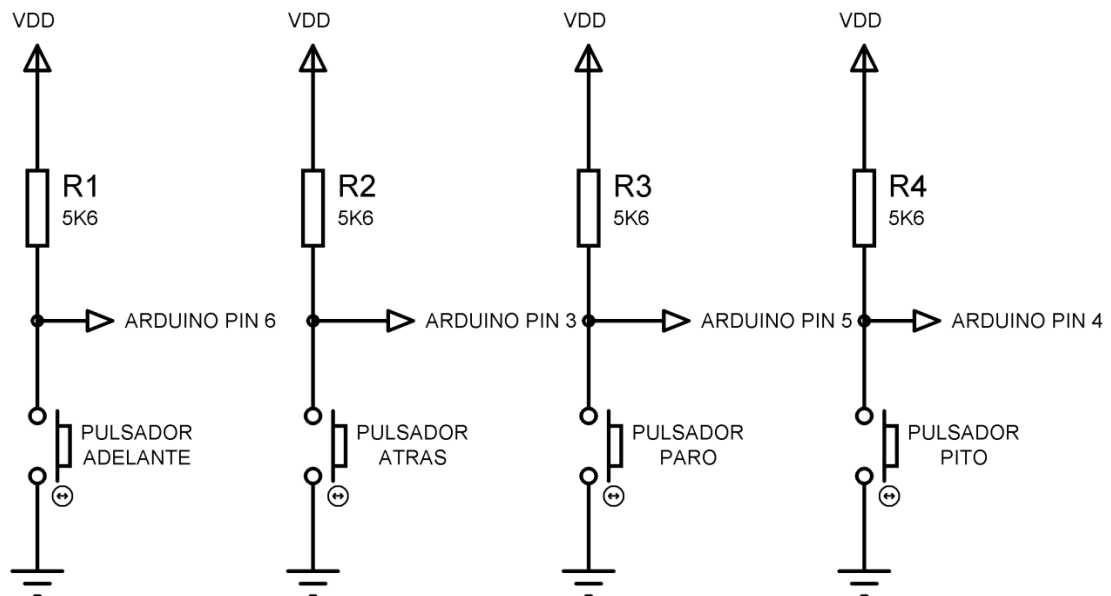
5.4.1 Diseño del circuito detector de dirección y estado de la silla de ruedas

Para determinar la dirección de desplazamiento de la silla de ruedas se utilizan pulsadores (Figura 37) colocados en la placa del joystick junto a los pulsadores de estado paro y llamado de atención, los pulsadores de dirección seleccionan el movimiento de la silla de ruedas: adelante o atrás. Los pulsadores de estado permiten bloquear la silla o emitir un sonido mediante un buzzer en caso de emergencia. La corriente de entrada que soporta la placa Arduino es de 25 mA entonces para un pulsador se tiene:

$$R = \frac{V_{DD4}}{I_{PIC}} = \frac{5V}{25mA} = 200 \Omega$$

Esto quiere decir que la resistencia mínima a colocarse sería de 200Ω para estar al límite de la capacidad que soporta la placa Arduino pero no es aconsejable trabajar con los límites por lo que se recomienda utilizar una resistencia de $1 K \Omega$ a $10K \Omega$ así la placa estaría trabajando con una corriente de entrada de $5mA$ a $0.5mA$ respectivamente. Para el diseño se utiliza una resistencia de $5.6 K \Omega$ en cada pulsador $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 5.6K \Omega$ con lo que se tiene una corriente de $0.89mA$ la cual se encuentra dentro de los límites dados anteriormente.

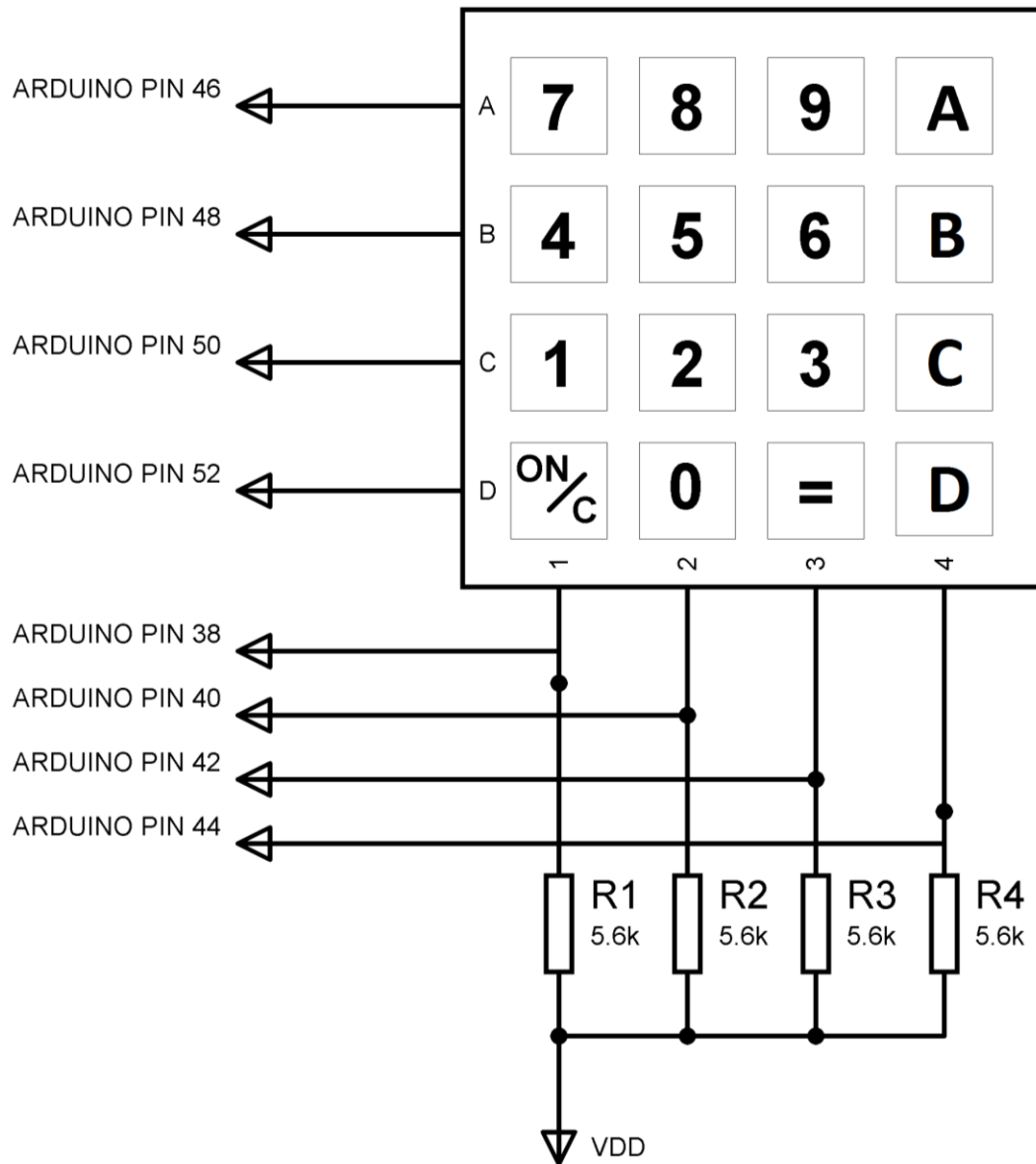
Figura 37. Circuito detector de dirección y estado diseñado.



Fuente: Los autores.

5.4.2 Diseño del circuito del teclado y LCD El circuito del teclado (Figura 38) posee cuatro entradas (columnas) y cuatro salidas (filas) que ingresan y salen de la placa Arduino. Con el teclado se ingresa la velocidad de cruce y se selecciona el tiempo de arranque y frenado de la silla de ruedas. Se utiliza el mismo valor de la resistencia para no sobrepasar los límites de corriente al ingresar a la placa Arduino $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 5.6K \Omega$

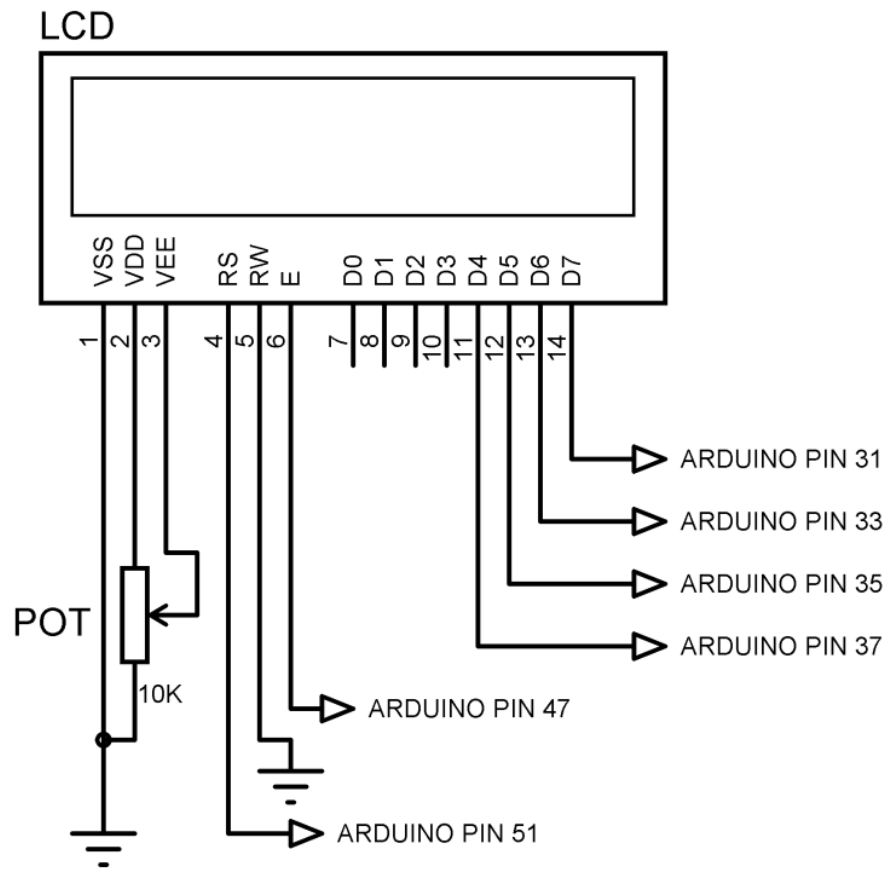
Figura 38. Diseño teclado.



Fuente: Los autores.

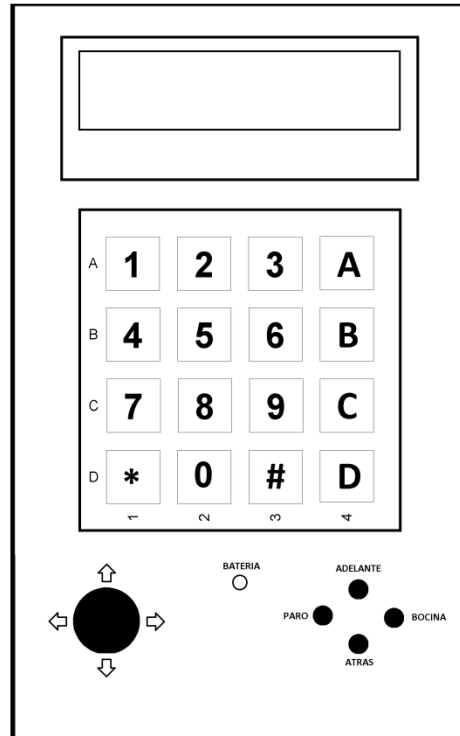
La LCD (Figura 39) funciona en modo de 4 bits y utiliza 6 pines de la placa Arduino para su funcionamiento y sirve para visualizar todos los procesos y ajustes del sistema.

Figura 39. Diseño del circuito del LCD.



Fuente: Los autores.

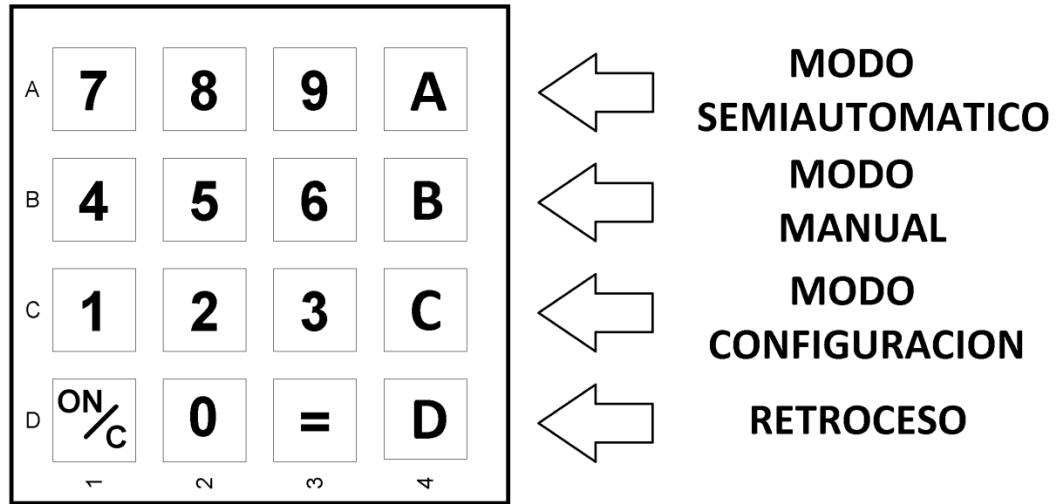
Figura 40. Modulo teclado LCD.



Fuente: Los autores.

5.4.3 Circuito selector del modo de operación de la silla de ruedas La silla de ruedas tiene tres modos de operación: modo Semiautomático, modo manual y modo de selección de parámetros del sistema. Para seleccionar cualquiera de estos modos se utiliza la parte literal del teclado matricial. Por defecto en pantalla se muestra cada uno de los modos de operación y la letra que representan: A modo Semiautomático, B modo Manual, C modo de Selección de Parámetros, C retroceso. Si no se selecciona ningún modo de operación en pantalla se seguirá mostrando el mismo mensaje de selección de modo de forma indefinida. El modo Retroceso permite regresar al menú de selección de modo de operación desde cualquier proceso que se esté ejecutando. En la Figura 41. se indica el teclado matricial y la representación de los modos de operación por cada parte literal.

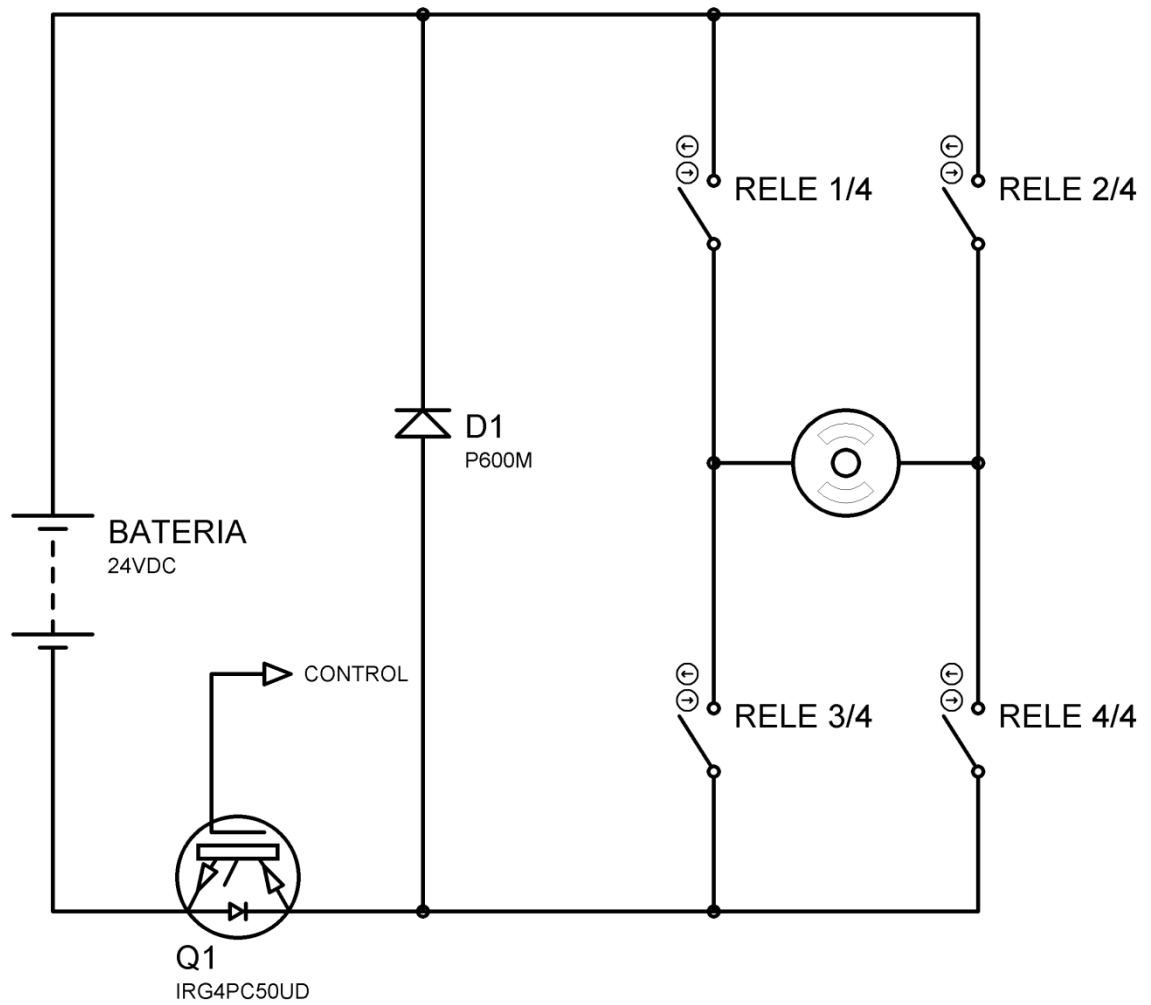
Figura 41. Circuito modo de operación.



Fuente: Los autores.

5.4.4 Circuito de control de los motores de DC El esquema General de Control que se utiliza para el control de los dos motores se indica en la Figura 42.

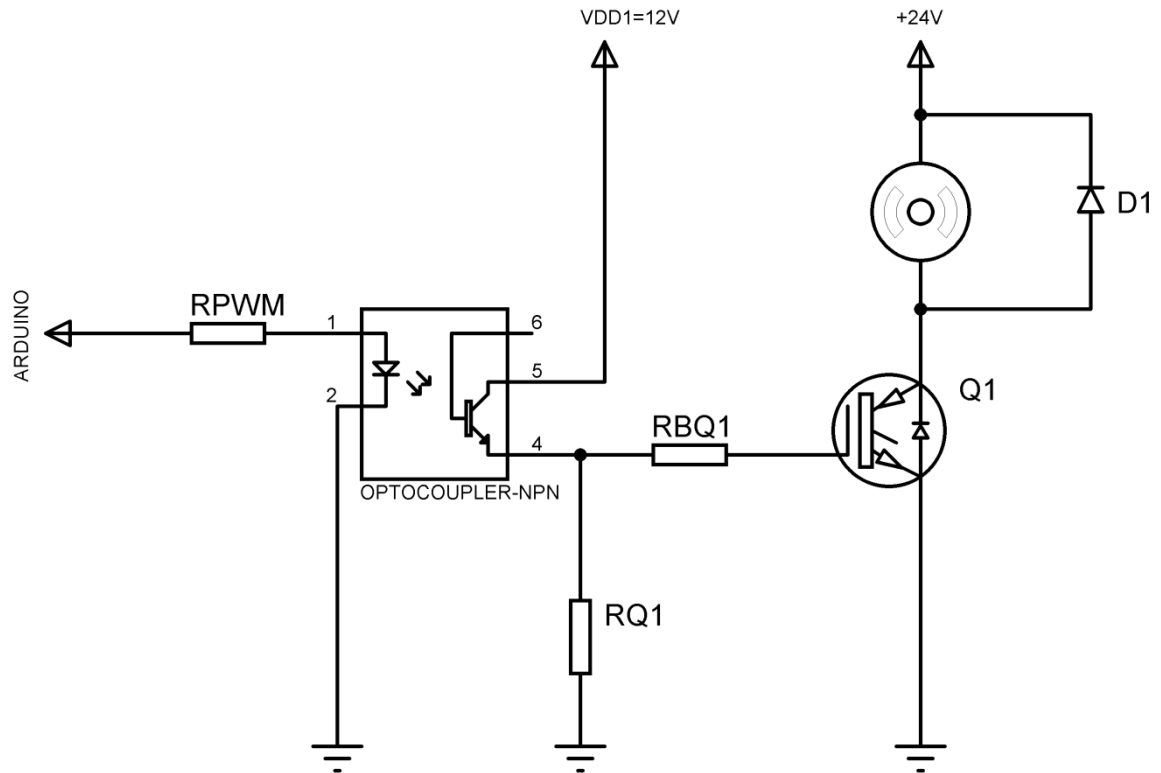
Figura 42. Esquema general de control.



Fuente: Los autores.

Para el control del troceador de los dos motores se diseñó el siguiente circuito (Figura 43):

Figura 43. Circuito de control.



Fuente: Los autores.

Los pines de la placa Arduino que generan los módulos PWM son 9 y 10.

$$R_{PWM} = \frac{V_{out} - V_D}{I_{RPWM}}$$

Siendo $V_{out} = 5V$, $V_D = 1.5V$ y $I_{RPWM} = 15mA$ (corriente menor a 25mA de salida del Arduino AT Mega).

$$R_{PWM} = \frac{5V - 1.5V}{15mA} = 233.33 \Omega$$

$$R_{PWM} = 270 \Omega$$

Por motivos prácticos se utiliza $R_{PWM} = 330K \Omega$.

Para la activación del IGBT se utiliza un opto transistor 4N25 (ver anexo D), para aislar el circuito de potencia del circuito de control. La corriente máxima que circula por Q1 es 10A ya que los motores son de 10A. Se utiliza el IGBT G4PC50UD (ver anexo E) que soporta hasta 27 A y 600V.

Para el cálculo de BQ1 R (resistencia de Gate del IGBT Q1) se toman los mismos valores de corte y saturación para un transistor TIP122 (ver anexo F) por lo tanto se tiene:

$$I_{C_{Q1}} = I_{R_{Q2}} + I_{b_{Q2}}$$

$$I_{C_{Q1}} = 0.066mA + 4A$$

$$I_{C_{Q1}} \approx 4A$$

$$I_{C_{Q1}} = \beta_{Q1} I_{b_{Q1}}$$

$$I_{C_{Q1}} = I_{R_{Q2}} + I_{b_{Q2}}$$

$$I_{b_{Q1}} = \frac{I_{C_{Q1}}}{\beta} = \frac{4A}{500} = 7.98mA$$

$$V_{DD1} = V_{CE_{SAT}opto} + V_{R_{BQ1}} + V_{BE_{Q1}}$$

$$V_{R_{BQ1}} = V_{DD1} - V_{CE_{SAT}opto} - V_{BE_{Q1}}$$

$$I_{R_{BQ1}} \times R_{BQ1} = V_{DD1} - V_{CE_{SAT}opto} - V_{BE_{Q1}}$$

$$I_{R_{BQ1}} = I_{b_{Q1}}$$

$$R_{BQ1} = \frac{V_{DD1} - V_{CE_{SAT}opto} - V_{BE_{Q1}}}{I_{R_{BQ1}}}$$

$$R_{BQ1} = \frac{12V - 0.5V - 2.5V}{7.98mA}$$

$$R_{BQ1} = 1.12K\Omega$$

$$R_{BQ1} \approx 1K\Omega$$

Para la potencia de BQ1 R se tiene:

$$P_{R_{BQ1}} = I_{R_{BQ1}}^2 \times R_{BQ1}$$

$$P_{R_{BQ1}} = 7.98mA^2 \times 1K\Omega$$

$$P_{R_{BQ1}} = 63.68mwatts$$

El criterio para calcular el valor Q1 R (resistencia para reducir el tiempo de apagado del IGBT Q1) es:

$$I_{R_{Q1}} = \frac{V_{E_{opto}}}{R_{Q1}} \leq \frac{I_{b_{Q1}}}{10}$$

$$\frac{R_{Q1}}{VE_{opto}} \geq \frac{10}{Ib_{Q1}}$$

$$R_{Q1} \geq \frac{10 \times VE_{opto}}{Ib_{Q1}}$$

$$VE_{opto} = V_{DD1} - VE_{opto1} = 12V - 0.5V$$

$$VE_{opto} = 11.5V$$

$$R_{Q1} \geq \frac{10 \times 11.5V}{8mA}$$

$$R_{Q1} \geq 14.37K\Omega$$

$$R_{Q1} = 1.2M\Omega$$

Por motivos prácticos se toma $R = 1.2M\Omega$ para reducir la corriente que circula por el opto transistor cuando está activado y así disminuir las pérdidas. Un valor de $14.37K\Omega$ es el límite que garantiza que el IGBT Q1 se apague. Para la potencia de Q1 R se tiene:

$$IR_{Q1} = \frac{VE_{opto}}{R_{Q1}} = \frac{11.5V}{1.2M\Omega}$$

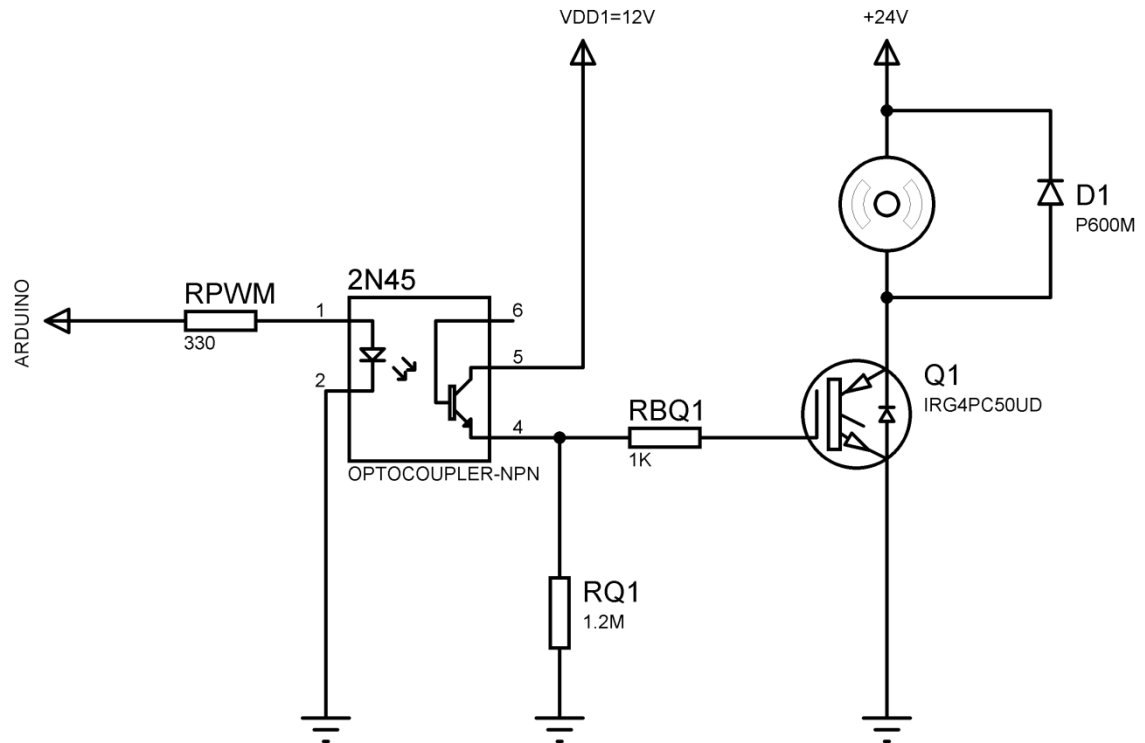
$$IR_{Q1} = 9.58\mu A$$

$$PR_{Q1} = IR_{Q1}^2 \times R_{Q1} = 9.58\mu A^2 \times 1.2M\Omega$$

$$PR_{Q1} = 0.11mwatts$$

En la Figura 44. se indica el circuito de control diseñado.

Figura 44. Circuito de control diseñado.



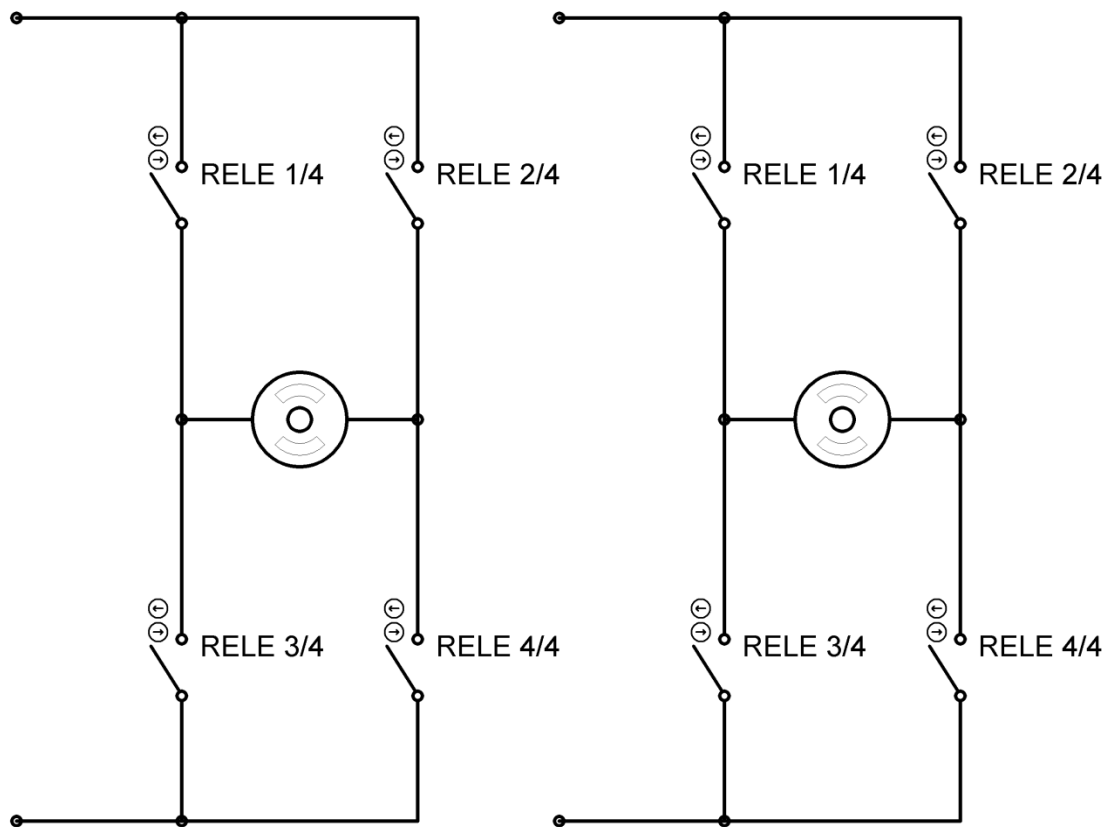
Fuente: Los autores.

El diodo en paralelo al motor es el P600M (ver anexo G) que soporta hasta 6A y sirve para que se disipe la energía de la bobina cuando el IGBT Q1 está apagado.

5.4.5 Circuito de control de relés para el sentido de giro de los motores

Para la inversión del sentido de giro de los motores se utiliza un puente H con relés (Figura 45). No se utilizaron mosfets ya que se utiliza una fuente de 12V y para su activación se necesita elevados voltajes.

Figura 45. Puente H de relés motores.

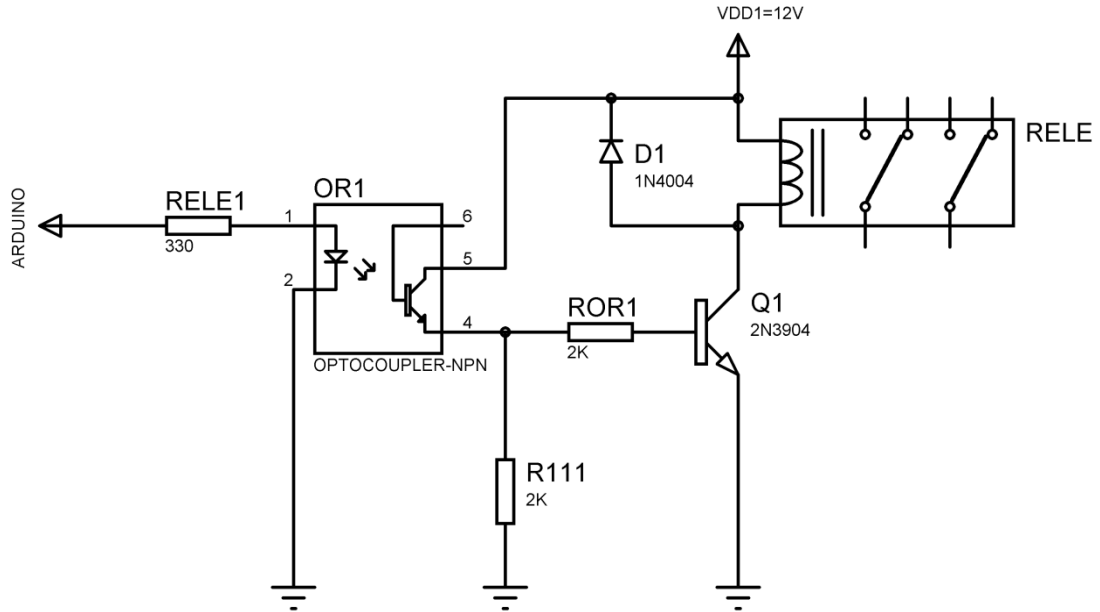


Fuente: Los autores.

El control de cada relé (Figura 46) se realiza a través de los pines de salida del Arduino AT Mega:

Pin 11 =RELE1 y RELE4, Pin 12 = RELE 2 y RELE3.

Figura 46. Circuito de control de relés.



Fuente: Los autores.

Siendo $V_{out} = 5V$, $V_D = 1.5V$ y $I_{RELE} = 15mA$ (corriente menor a 25mA de salida de la placa Arduino)

$$R_{ELE1} = \frac{V_{out} - V_D}{I_{RELE}} = \frac{5V - 1.5V}{15mA} = 233.33\Omega$$

$$R_{ELE1} = 270\Omega$$

Por motivos prácticos se utiliza PWM $R = 330K$.

Para la activación de los relés se utiliza transistores 2N3904 (ver anexo H), opto transistores 4N25 (ver anexo D) y relés JQC-3F (ver anexo I). La corriente que consume la bobina de los relés es 150mA. A partir de esto se comienza el diseño.

$$I_{cQ1} = 150mA$$

$$\beta = 30 \text{ (2N3904)}$$

Para el cálculo de OR1 R (resistencia de corte y saturación del transistor Q1 para activar la bobina del relé) se tiene:

$$I_{cQ1} = \beta \times I_{bQ1}$$

$$I_{bQ1} = \frac{I_{cQ1}}{\beta} = \frac{150mA}{30} = 5mA$$

$$V_{DD1} = V_{CE_{SAT}opto} + V_{R_{OR1}} + V_{BE_{Q1}}$$

$$V_{R_{OR1}} = V_{DD1} - V_{CE_{SAT}opto} + V_{BE_{Q1}}$$

$$I_{b_{Q1}} \times R_{OR1} = V_{DD1} - V_{CE_{SAT}opto} + V_{BE_{Q1}}$$

$$R_{OR1} = \frac{V_{DD1} - V_{CE_{SAT}opto} + V_{BE_{Q1}}}{I_{b_{Q1}}}$$

$$R_{OR1} = \frac{12V - 0.5V + 0.95V}{5mA}$$

$$R_{OR1} = 2.110K\Omega$$

$$R_{OR1} = 2K\Omega$$

Para la potencia de Q1 R se tiene que:

$$P_{R_{OR1}} = I_{b_{Q1}}^2 \times R_{OR1}$$

$$P_{R_{OR1}} = 5mA^2 \times 2K\Omega$$

$$P_{R_{OR1}} = 0.05watts$$

El criterio para calcular el valor 111 R (resistencia para reducir el tiempo de apagado del transistor Q1) es:

$$I_{R_{111}} = \frac{V_{E_{OPTO}}}{R_{111}} \leq \frac{I_{b_{Q1}}}{10}$$

$$\frac{R_{111}}{V_{E_{OPTO}}} \geq \frac{10}{I_{b_{Q1}}}$$

$$R_{111} \geq \frac{10 \times V_{E_{OPTO}}}{I_{b_{Q1}}}$$

$$V_{E_{OPTO}} = V_{DD1} - V_{CE_{OPTO1}} = 12V - 0.5V$$

$$V_{E_{OPTO}} = 11.5V$$

$$R_{111} \geq \frac{10 \times 11.5V}{5mA}$$

$$R_{111} \geq 23K\Omega$$

$$R_1 = 1.2M\Omega$$

Por motivos prácticos se toma $R_{111} = 1.2M\Omega$ para reducir la corriente que circula por el opto transistor cuando está en saturación y así disminuir las pérdidas. Una

resistencia de $23K\ \Omega$ garantiza que el transistor Q1 se apague. Para la potencia de R111 se tiene:

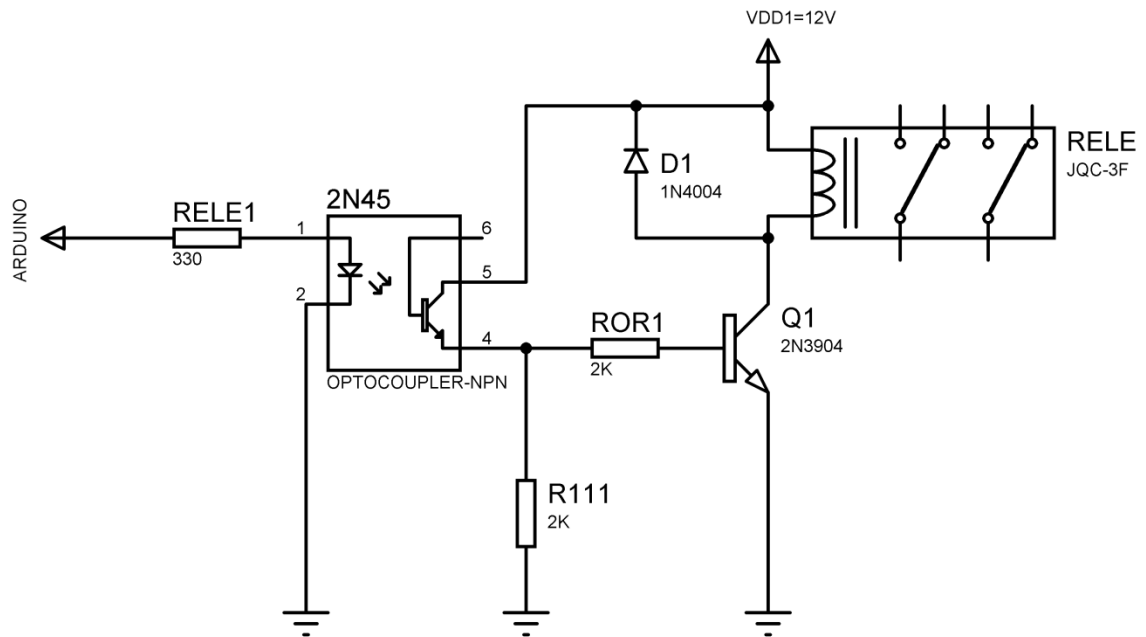
$$IR_{111} = \frac{VE_{OPTO}}{R_{111}} = \frac{11.5V}{1.2M\Omega}$$

$$IR_{111} = 9.58\mu A$$

$$PR_{111} = IR_{111}^2 \times R_{111} = 9.58\mu A^2 \times 1.2M\Omega$$

$$PR_{111} = 0.11mwatts$$

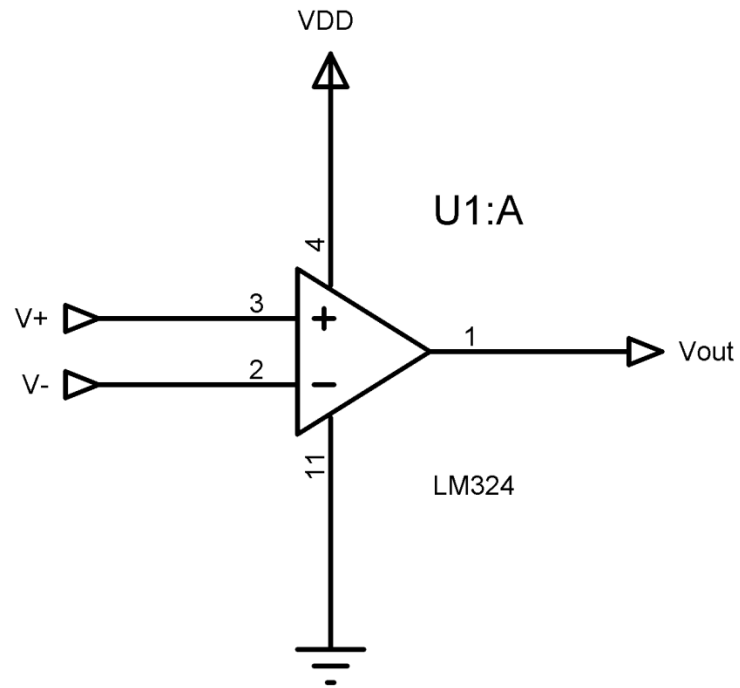
Figura 47. Circuito de control de relés diseñado.



Fuente: Los autores.

5.4.6 Circuito detector de batería baja y batería cargada Según la norma NTC 978, una batería se considera descargada cuando entre sus bornes tiene 10.5V y se considera cargada cuando entre sus bornes mide 13.8V. Para este diseño se diseñó un comparador (Figura 48) mediante el amplificador operacional LM324 (ver anexo J) que puede ser polarizado desde 3 a 36 voltios. Se conecta al Arduino a través del opto transistor.

Figura 48. Comparador de voltaje.



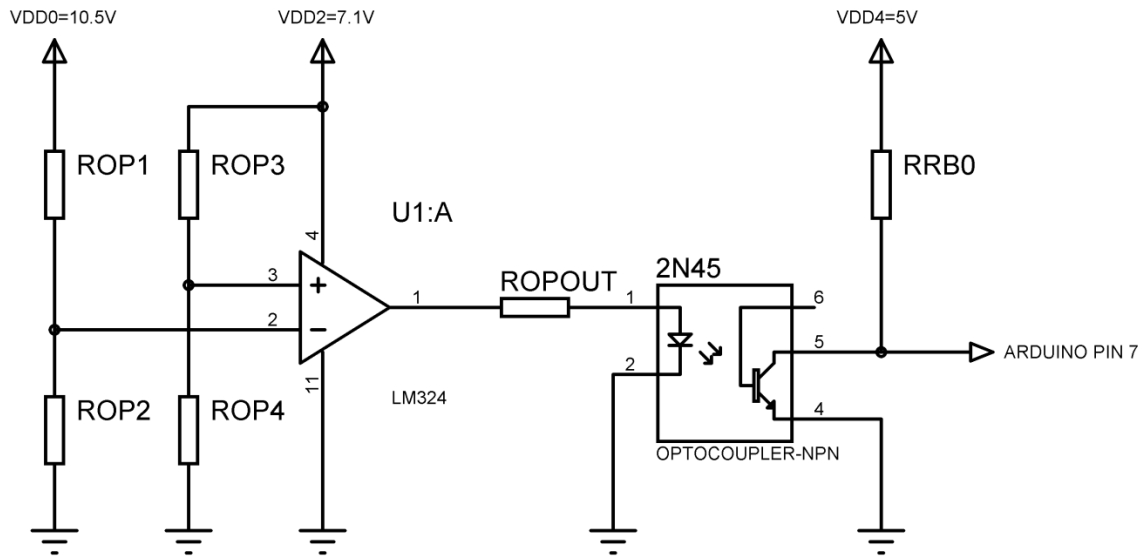
Fuente: Los autores.

Si $V+ > V-$ $Vout = VDD$

Si $V+ < V-$ $Vout = GND$

Para indicar batería baja el circuito comparador (Figura 49) detecta voltajes menores a 10.5V y avisa al Arduino que la batería está descargada. Para acoplarse al Arduino se utiliza un opto transistor para aislar el circuito de control.

Figura 49. Detector de batería baja.



Fuente: Los autores.

Para el cálculo se tiene:

$$V_{DD0} = VR_{OP1} + VR_{OP2}$$

$$\text{Si } R_{OP1} = R_{OP2} = 10K\Omega$$

$$V_{DD0} = 10.5V \text{ (Bateria baja)}$$

$$V_{-} = \frac{V_{DD0} \times R_{OP2}}{R_{OP1} + R_{OP2}} = \frac{10.5V \times 10K\Omega}{10K\Omega + 10K\Omega} = 5.25V$$

El valor límite para la detección es 5.25V cuando la batería se encuentra descargada. Para calcular el valor de OP3 R (resistencia del divisor de voltaje) se tiene que $V_{+} = 5.25V$, por tanto:

$$\text{Si } R_{OP4} = 56K\Omega$$

$$V_{DD2} = 7.11V \text{ (Valor medido)}$$

$$V_{+} = \frac{V_{DD2} \times R_{OP4}}{R_{OP3} + R_{OP4}}$$

$$R_{OP3} \times (V_{+}) = V_{DD2} \times R_{OP4} - \times R_{OP4}(V_{+})$$

$$R_{OP3} = \frac{V_{DD2} \times R_{OP4} - \times R_{OP4}(V_{+})}{(V_{+})}$$

$$R_{OP3} = \frac{R_{OP4} \times (V_{DD2} - (V +))}{(V +)}$$

$$R_{OP3} = \frac{56K\Omega \times (7.11V - 5.25V)}{5.25V}$$

$$R_{OP3} = 19.84K\Omega$$

$$R_{OP3} = 20K\Omega$$

Para calcular el valor de OPOUT R (resistencia de activación del opto transistor) se tiene:

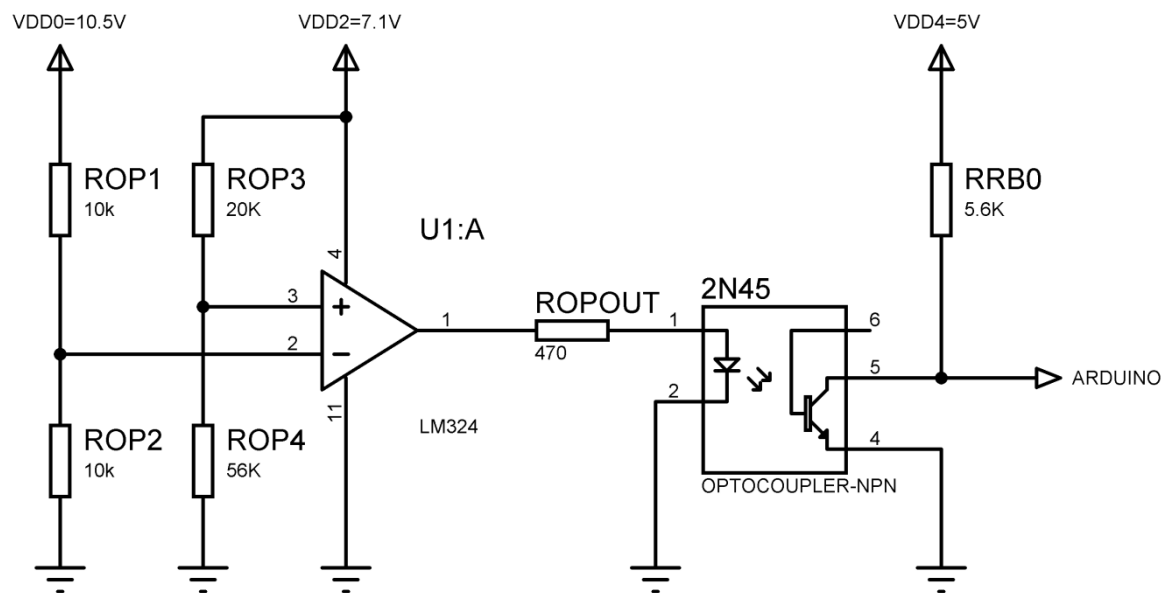
$$I_{OPTO} = 15mA$$

$$V_{DD2} = 7.11V$$

$$R_{OPOUT} = \frac{V_{DD2}}{I_{OPTO}} = \frac{7.11V}{15mA}$$

$$R_{OPOUT} = 470\Omega$$

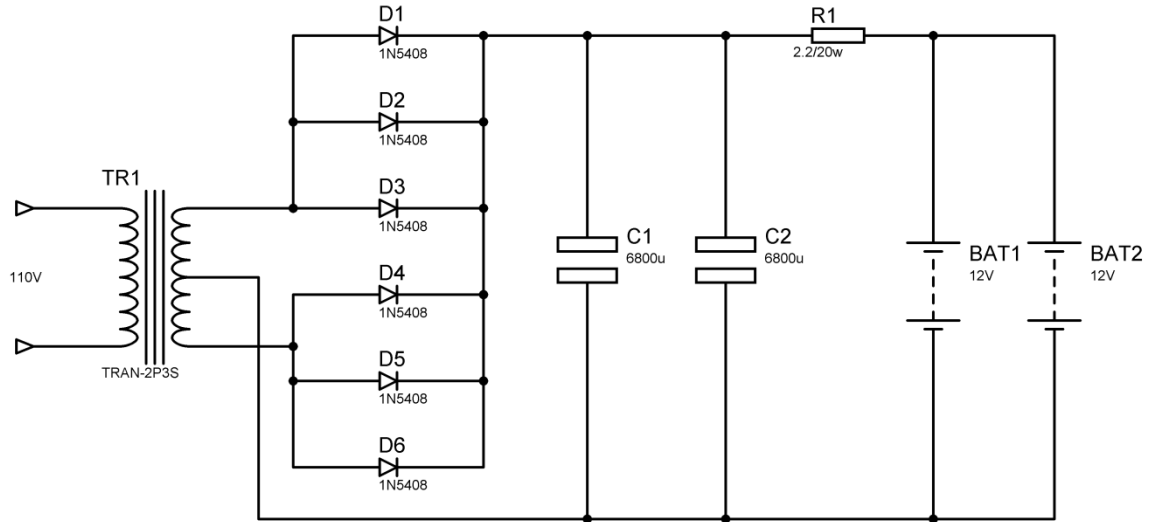
Figura 50. Detector de batería baja diseñado.



Fuente: Los autores.

Para cargar la batería se toma un tiempo estimado de 8 a 10 horas, tiempo en el que el usuario descansa. Para esto se implementó el circuito de la Figura 51.

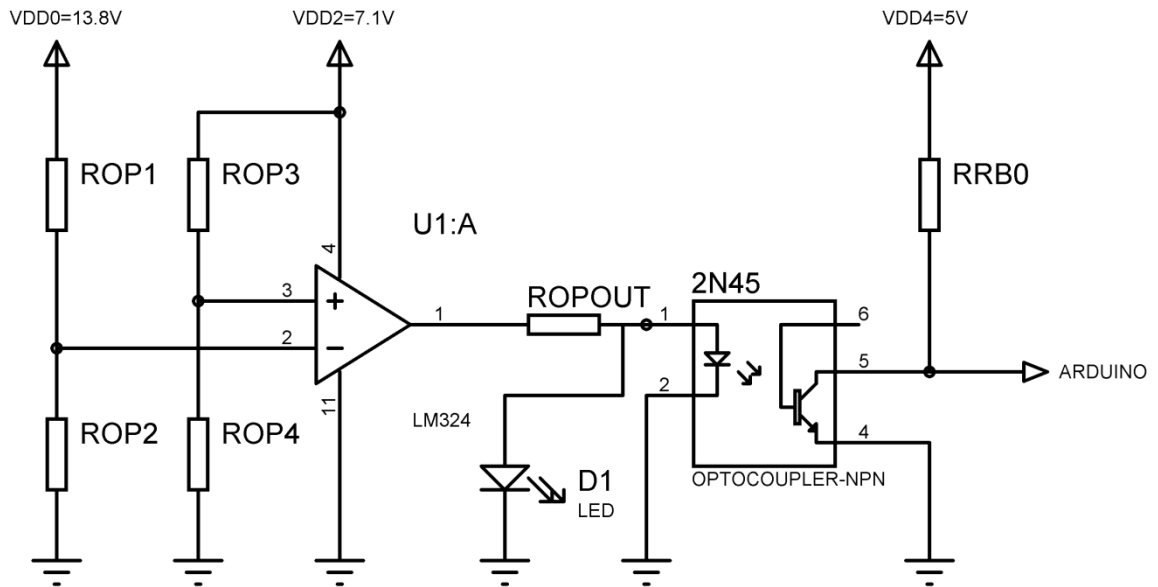
Figura 51. Cargador de batería.



Fuente: Los autores.

Para indicar batería cargada el circuito comparador (Figura 52) detecta voltajes mayores a 13.8V y el indicador luminoso que se encuentra en el joystick se apaga.

Figura 52. Detector de batería cargada.



Fuente: Los autores.

Para el cálculo se tiene:

$$V_{DD0} = V_{ROP1} + VR_{OP2}$$

$$\text{Si } R_{OP1} = R_{OP2} = 10K\Omega$$

$$V_{DD0} = 13.8V \text{ (Bateria cargada)}$$

$$V_{-} = \frac{V_{DD0} \times R_{OP2}}{R_{OP1} + R_{OP2}} = \frac{13.8V \times 10K\Omega}{10K\Omega + 10K\Omega} = 6.9V$$

El valor límite para la detección es 6.9V. Para calcular el valor de OP3 R (resistencia del divisor de voltaje) se tiene que $V_{+} = 6.9V$, por tanto:

$$\text{Si } R_{OP4} = 220K\Omega$$

$$V_{DD2} = 7.11V \text{ (Valor medido)}$$

$$V_{+} = \frac{V_{DD2} \times R_{OP4}}{R_{OP3} + R_{OP4}}$$

$$R_{OP3} \times (V_{+}) = V_{DD2} \times R_{OP4} - \times R_{OP4}(V_{+})$$

$$R_{OP3} = \frac{V_{DD2} \times R_{OP4} - \times R_{OP4}(V_{+})}{(V_{+})}$$

$$R_{OP3} = \frac{R_{OP4} \times (V_{DD2} - (V_{+}))}{(V_{+})}$$

$$R_{OP3} = \frac{220K\Omega \times (7.11V - 6.9V)}{6.9V}$$

$$R_{OP3} = 6.69K\Omega$$

$$R_{OP3} = 26.8K\Omega$$

Para calcular el valor de OPOUT R (resistencia de activación del led indicador) se tiene:

$$I_{led} = 15mA$$

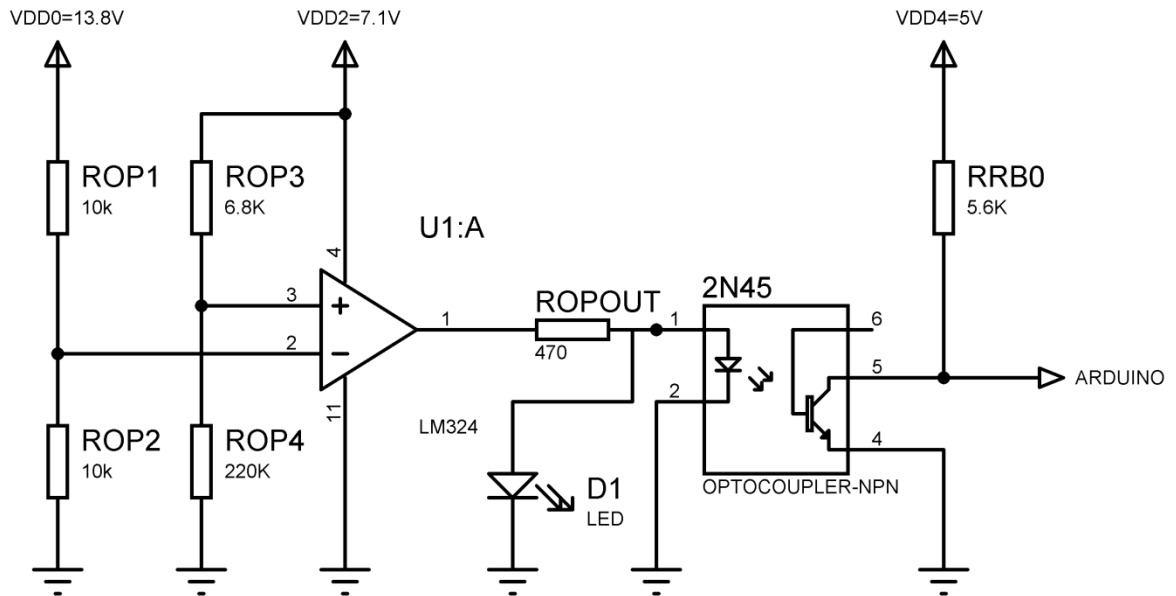
$$V_{DD2} = 7.11V$$

$$R_{OPOUT} = \frac{V_{DD2}}{I_{led}} = \frac{7.11V}{15mA} = 474\Omega$$

$$R_{OPOUT} = 470\Omega$$

El circuito diseñado se muestra en la Figura 53.

Figura 53. Detector carga de batería diseñado.



Fuente: Los autores.

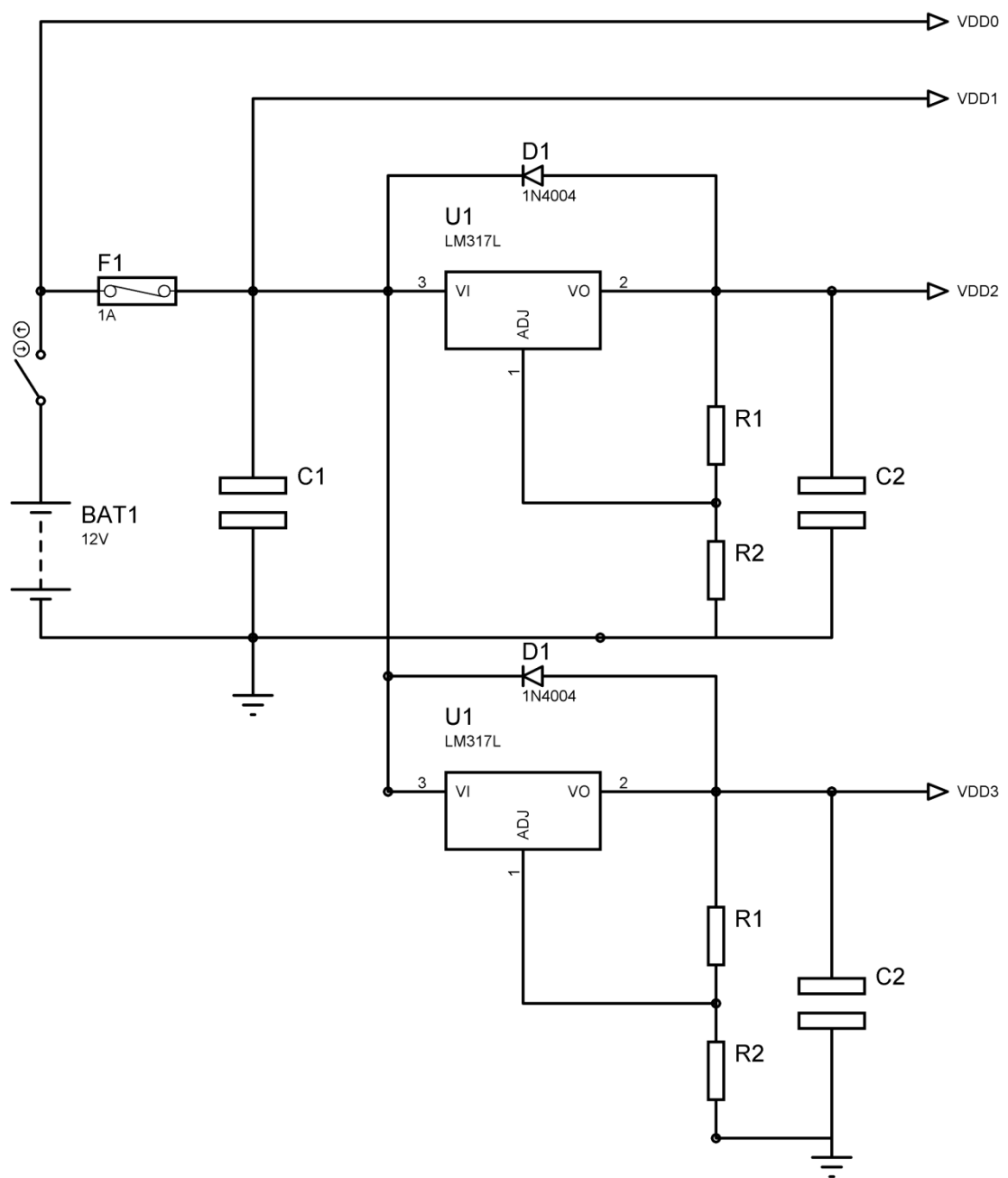
5.5 DISEÑO DE LAS FUENTES DE PODER

La principal fuente de alimentación es la batería de 12 V, 18 Ah, que sirve para el accionamiento de los motores de DC y el circuito de control. El circuito de control, al estar constituido por la placa Arduino para el control de velocidad y dirección, necesita un voltaje de alimentación de 5V. Se diseñaron dos fuentes de 7.5V independientes para los dos circuitos de control, para el control de velocidad y el circuito de dirección.

Para el circuito de detección de batería baja, se utiliza la misma fuente de 7.5V del circuito de dirección.

5.5.1 Diseño de las fuentes reguladas de 7,5 Voltios Se diseñaron dos fuentes de 7,5V (Figura 53) a partir de un consumo de corriente aproximado de 600mA. Dado que estas fuentes serán utilizadas para a su vez obtener la fuente de 5V para el Arduino. Para la fuente de 5V se utiliza el circuito integrado LM7805 para el cual se necesita que el voltaje en la entrada sea mayor en 2V; es decir 7V, entonces por seguridad se escoge 7,5V.

Figura 54. Fuentes reguladas a 7.5V.



Fuente: Los autores.

Se implemento un filtro LC básico a la entrada de las fuentes reguladas, para eliminar picos de voltaje generados en el accionamiento de los motores. Los valores de L y C son experimentales, $L = 100\text{mH}$ y $C = 3300\mu\text{F}$.

El fusible F1 se escoge de 1A, para limitar el consumo desde las dos fuentes. Para el diseño se utiliza el circuito integrado LM317 (ver anexo K), que es una fuente regulada variable de 1.2 V a 37V y una corriente de salida máxima de 1,5A. Según el fabricante se tiene:

$$V_{DD2} = V_{REF} \left(1 + \left(\frac{R_2}{R_1} \right) \right) + I_{adj} R_2$$

$$V_{REF} = 1.25V$$

$$V_{DD2} = 7.5V$$

$I_{adj}=50\mu A$ (Dado por el fabricante)

$$7.5V = 1.25V \left(1 + \left(\frac{R_2}{R_1} \right) \right) + 50\mu A R_2$$

Al realizar el análisis de resistencias se tiene:

$$R_1 = R_3$$

$$R_2 = R_4$$

$$R_3 = 5.6K\Omega$$

$$R_4 = 522K\Omega$$

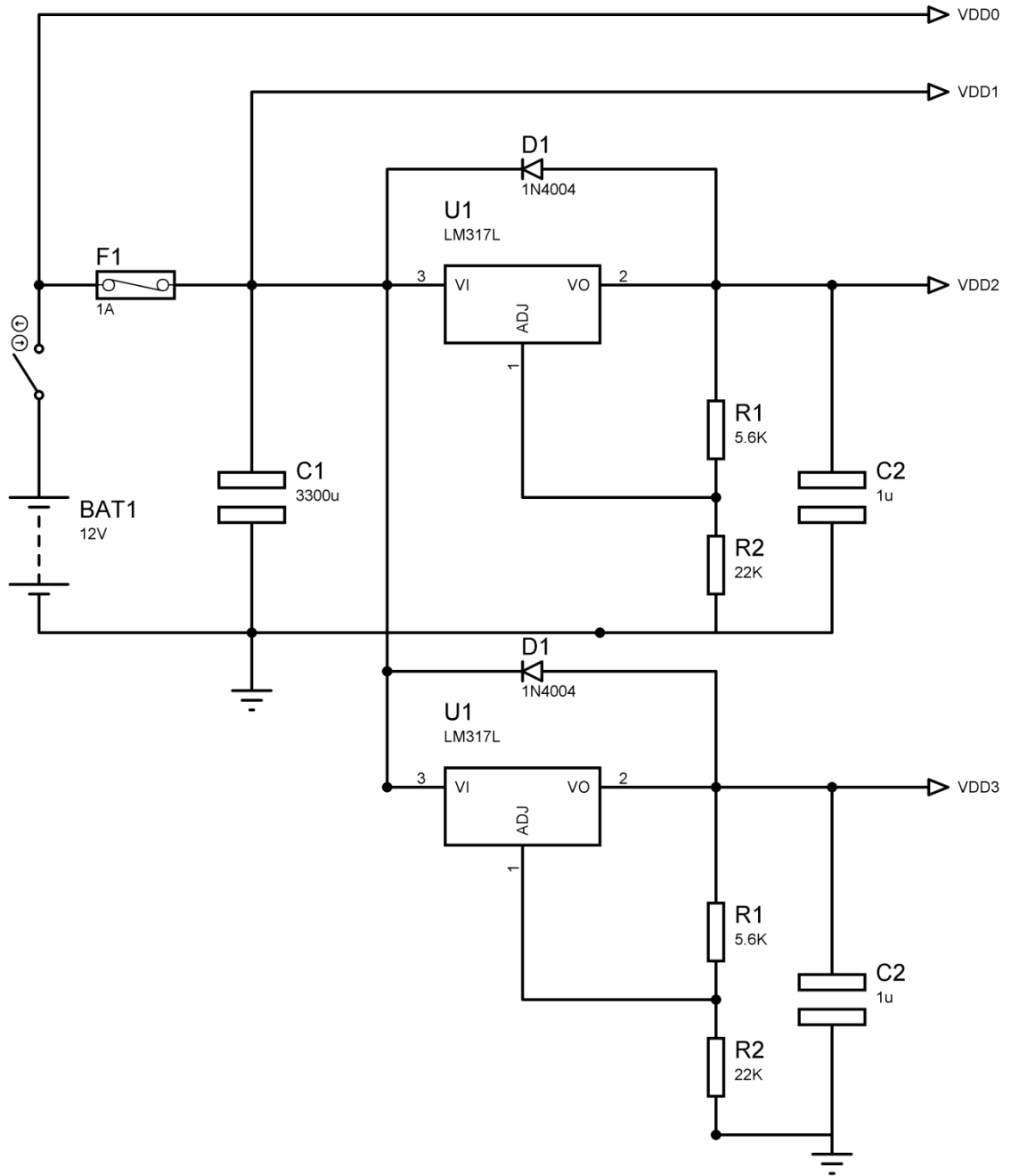
Al realizar el análisis del capacitor se tiene:

$C_2=1\mu F$ dado por el fabricante.

$$V_{DD2} = V_{DD3} = 7.5V$$

En la Figura 55. Se muestra la fuente Regulada de 7,5V diseñada.

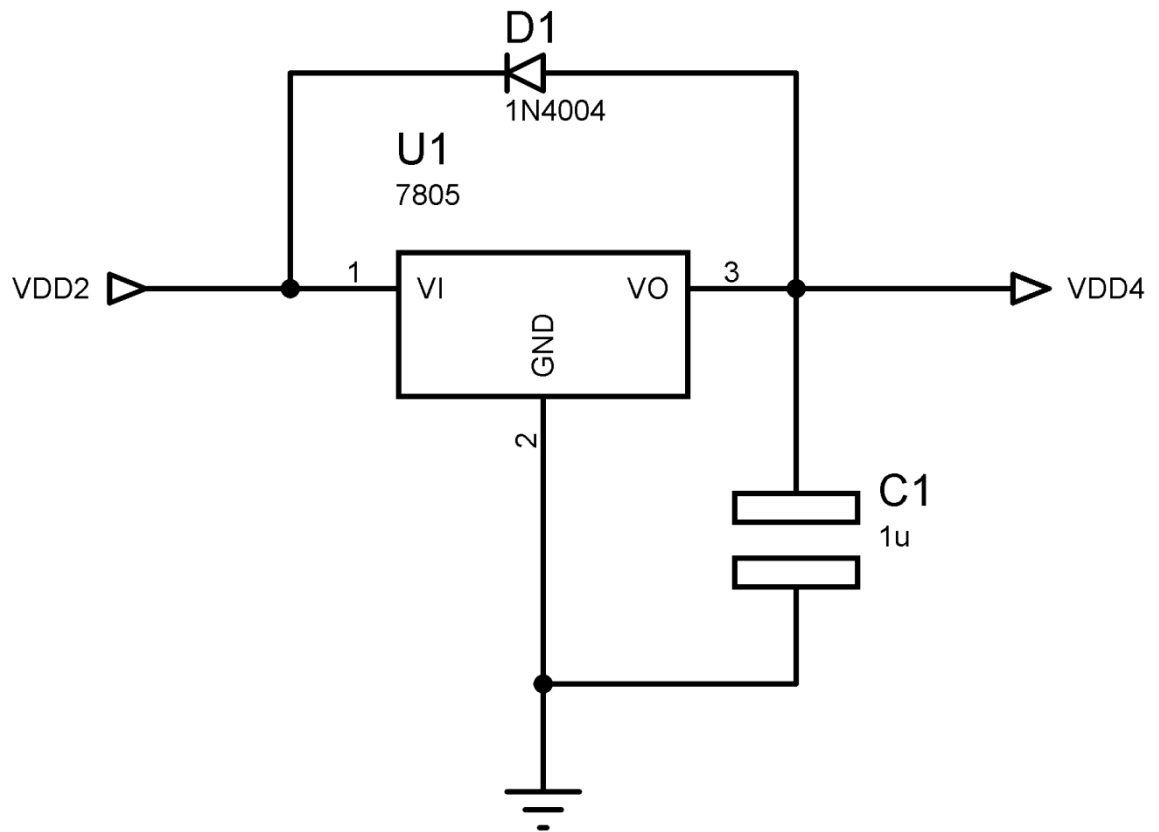
Figura 55. Fuentes reguladas de 7.5V diseñadas.



Fuente: Los autores.

5.5.2 Diseño de las fuentes reguladas de 5 Voltios El circuito integrado LM7805 (ver anexo L) es un regulador a 5V y una corriente de salida máxima de 1A (Figura 56).

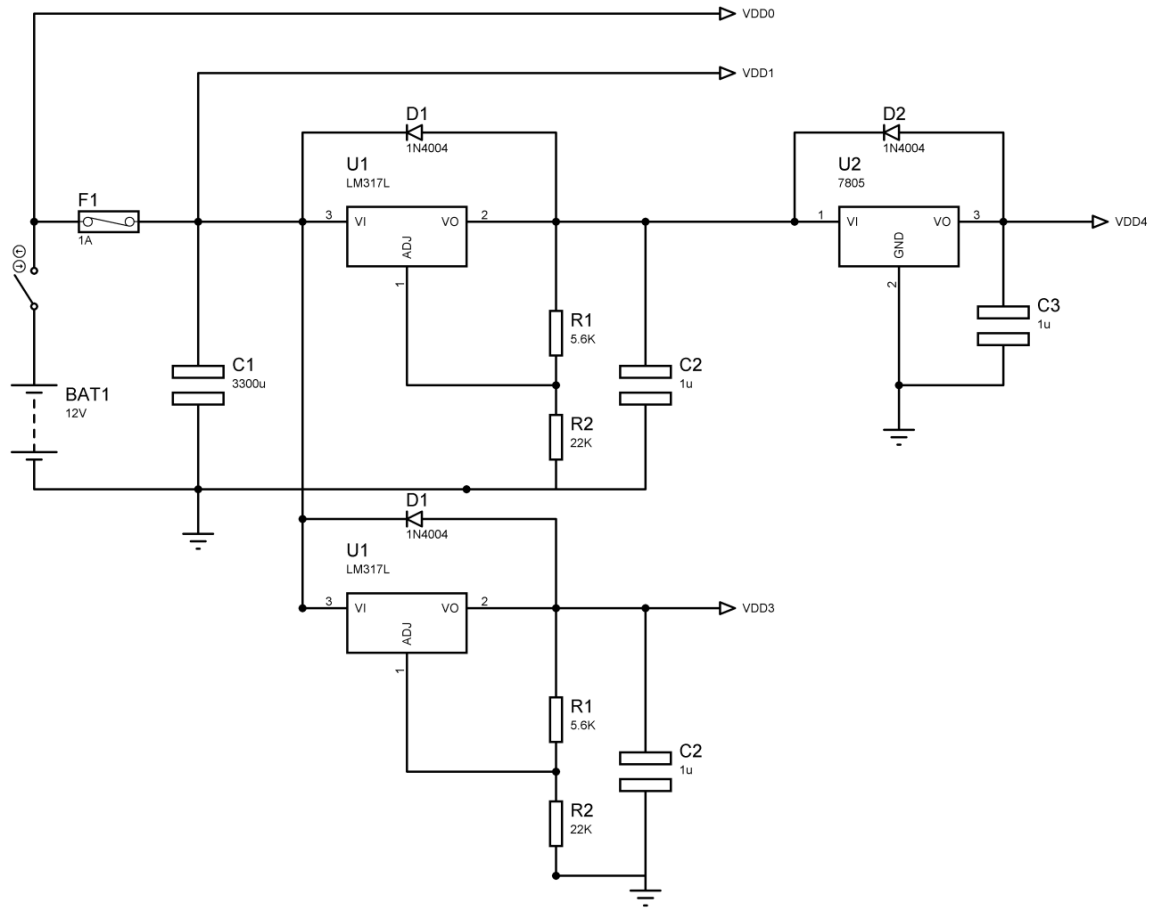
Figura 56. Fuente regulada a 5V.



Fuente: Los autores.

Según el fabricante recomienda $C4=0.1\mu\text{F}$ a la salida del LM7805. En la Figura 57. se muestra el circuito diseñado.

Figura 57. Fuente regulada a 5V diseñada.



Fuente: Los autores.

Este Capítulo ha mostrado el diseño de todos los circuitos necesarios para el correcto funcionamiento del sistema, implementando dispositivos de bajo costo pero de buena calidad disponibles en el mercado colombiano.

6. DISEÑO DEL SOFTWARE DE CONTROL

En este capítulo se detalla sobre el desarrollo del programa para la placa de desarrollo Arduino AT Mega 2560, la cual posee como corazón del sistema un microcontrolador Atmel de la misma referencia, la placa de forma integral posee muchas ventajas frente a otros dispositivos convencionales.

La placa de desarrollo Arduino fue programada para que realice todas las acciones de control como son: la generación de las dos rampas tipo “Escalera” para la aceleración y desaceleración, control de sentido de giro de los motores, selección de la velocidad de crucero de 0 a 1 m/s y el tiempo que controla la pendiente de las rampas de 1 a 9 segundos, selección del modo de funcionamiento: modo Manual, modo Semiautomático, modo Selección de Parámetros del Sistema y visualización de cada uno de los eventos en los cuales se encuentra la silla de ruedas, entre otras que serán explicadas más adelante.

6.1 PLACA DE DESARROLLO ARDUINO AT MEGA 2560

La placa **Arduino Mega 2560** posee 54 pines In/Out para manejo de señales digitales, entre ellas 14 permiten realizar modulación de ancho de pulso PWM, 16 pines In para manejo de señales análogas, 4 pines UART para realizar comunicación serial, un puerto USB y cristal de 16 MHZ. Su alimentación se realiza mediante el puerto USB o mediante un transformador o batería con un rango entre 5V y 12V. [15]

Dentro de sus características se pueden resaltar las siguientes:

6.1.1 Características

Microcontrolador: ATmega2560

Tensión de alimentación: 5V

Tensión de entrada recomendada: 7-12V

Límite de entrada: 6-20V

Pines digitales: 54 (14 con PWM)

Entradas analógicas: 16

Corriente máxima por pin: 40 mA

Corriente máxima para el pin 3.3V: 50 mA

Memoria flash: 256 KB

SRAM: 8 KB

EEPROM: 4 KB

Velocidad de reloj: 16 MHz

6.2 PLACA JOYSTICK ARDUINO

El Joystick Shield o Placa Joystick es un aditamento que se instala sobre casi cualquier placa arduino encajando en determinados pines I/O, el cual permite tomar el cambio de dos divisores de voltaje como señales análogas y convertirlas en coordenadas de desplazamiento, además incluye cuatro pulsadores adicionales para emitir diferentes acciones de control. Los cuatro pulsadores vienen configurados en la placa base para que su señal sea transmitida a los pines digitales 2 al 6 de la placa Arduino, los divisores de voltaje de desplazamiento vertical y horizontal van conectados a los pines análogos 0 y 1 respectivamente.

Los pulsadores momentáneos están conectados a los pines digitales Arduino 2-6. El movimiento vertical de la palanca de mando producirá un voltaje analógico proporcional en el pin analógico 0, igualmente, el movimiento horizontal de la palanca de mando puede ser rastreada en el pin analógico 1.

Esta placa viene diseñada en forma de kit, de tal manera que todos sus componentes pueden ser instalados o removidos en cualquier momento.

6.3 RAMPA TIPO “ESCALERA”

La rampa tipo “Escalera” permite realizar un arranque y frenado suave, que para el caso de las silla es fundamental para sustituir a las rampas lineales convencionales.

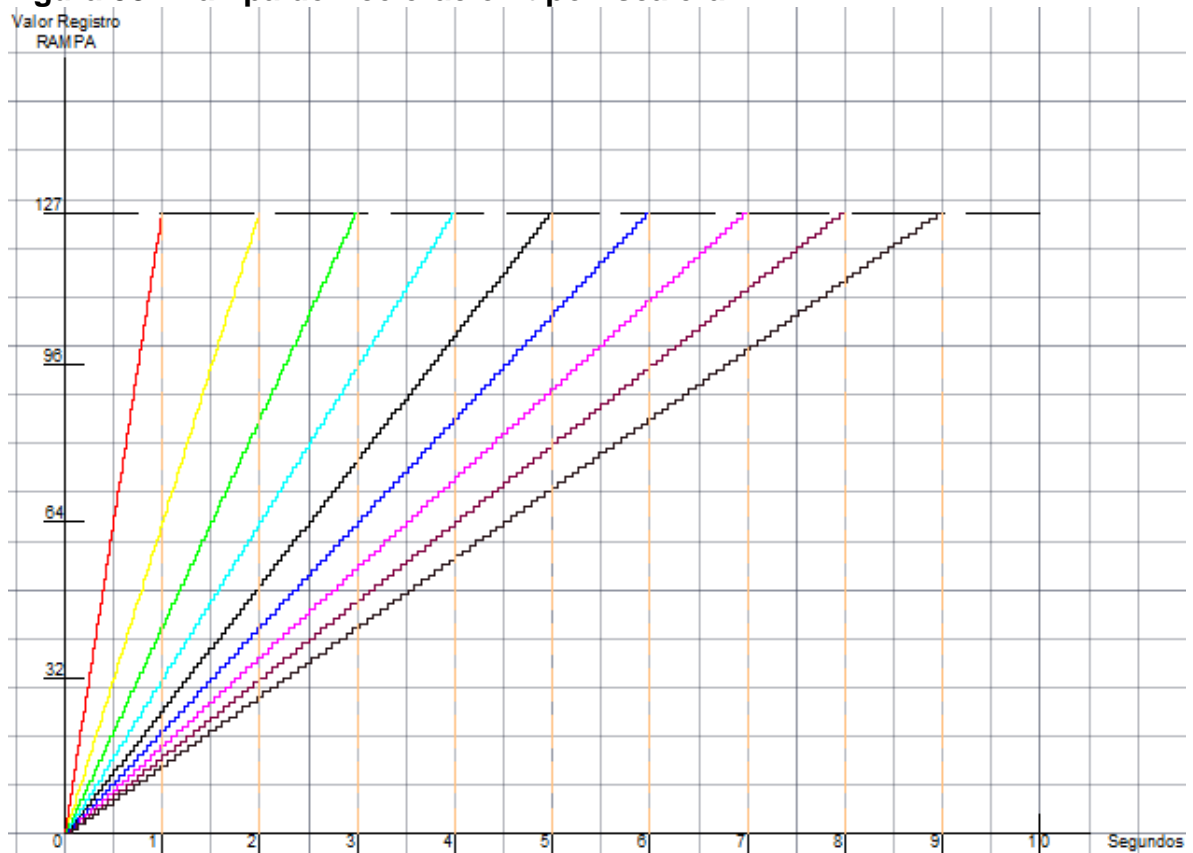
Para realizar la rampa tipo “Escalera” se utiliza la sentencia FOR y un registro auxiliar nombrado “rampa”, este registro toma valores de entre 0 y 127 según sea la necesidad de aceleración o desaceleración, si se requiere aceleración inicial tomara valor de cero y si requiere desaceleración final tomara una valor de 127, nunca toma un valor fuera de este rango, dado que en la programación de la función PWM no se utilizan valores negativos y no toma valores superiores a 127, porque este es el valor medio y allí se fija la velocidad estándar de giro, velocidades inferiores o mayores serán seleccionadas por el usuario mediante el joystick, esta velocidad media podrá ajustarse mediante el menú de velocidad crucero y así mismo la velocidad máxima, pero sin importar estos cambios los valores de rampa al inicio de la sentencia FOR siempre serán 0 o 127.

Cuando el valor de “rampa” se ha definido según la aceleración o desaceleración indicada, este valor irá creciendo o decreciendo secuencialmente, con un intervalo de tiempo definido según el tiempo programado de duración de la rampa el cual está estimado entre 1 y 9 segundos.

Al terminar la sentencia FOR de aceleración, los motores quedaran fijados a velocidad media de giro y dispuestos a las órdenes que el usuario ingrese mediante el joystick.

Al terminar la sentencia FOR de desaceleración, se realizaran dos procesos diferentes según el caso, si la desaceleración se produjo por un PARO, los motores quedaran estáticos hasta que se defina una nueva instrucción de movimiento como marcha adelante, marcha atrás o fin de paro. Si la desaceleración se produjo por un cambio de marcha, al terminar la sentencia FOR se tendrá un tiempo de espera de medio segundo con el fin de asegurar que el giro de los motores sea nulo y que estos se desenergicen completamente, luego se producirá el cambio de mando en los motores para dar apertura a la nueva marcha, a continuación se tendrá una espera de medio segundo, tiempo en el que los relés tomarán nuevas posiciones indicadas según la marcha, esto evitará que se genere un corto circuito en la alimentación de los motores, finalmente iniciara el proceso de aceleración en la marcha programada.

Figura 58. Rampa de Aceleración tipo Escalera.



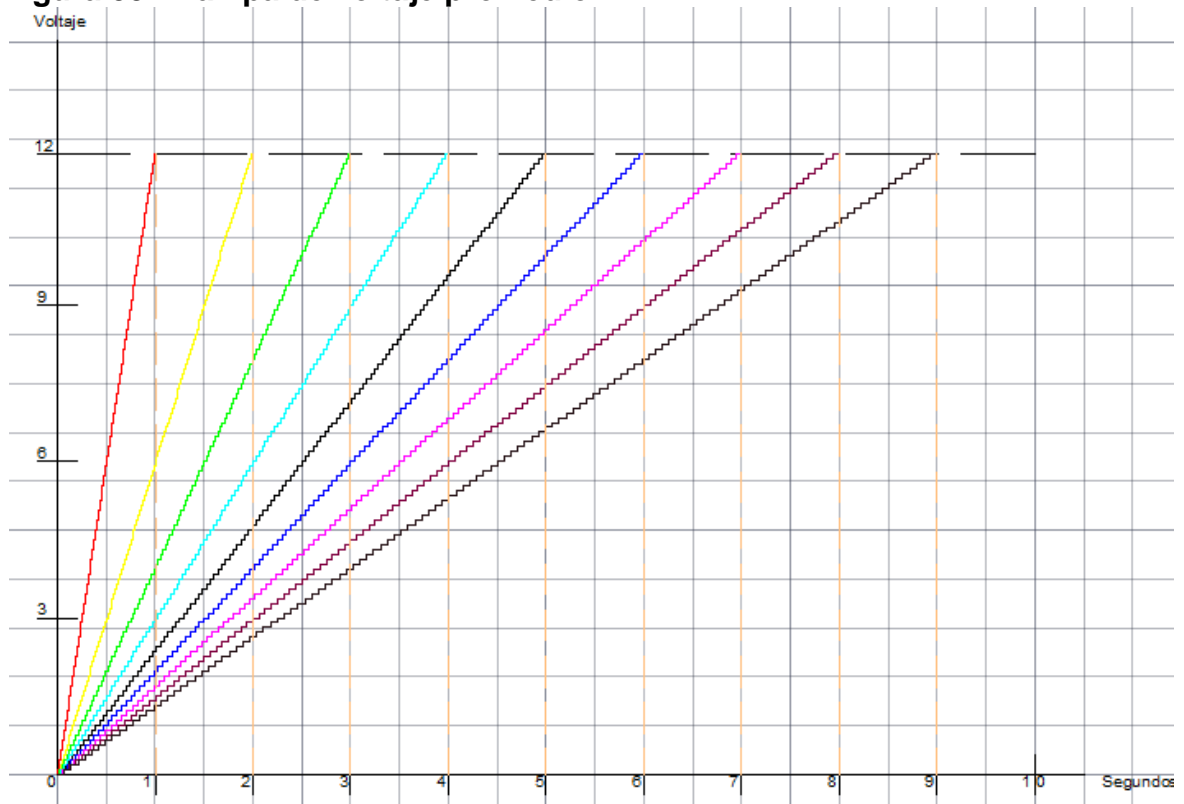
Fuente: Los autores.

Al analizar cada una de las nueve pendientes del gráfico anterior, se notan pequeños rizados a lo largo de ellas, esto se debe a que la gráfica está compuesta de 128 cambios secuenciales del valor de “rampa” los cuales se convierten en escalones que llevan el valor de “rampa” desde 0 a 127 en una rampa de aceleración y de 127 a 0 en una rampa de desaceleración.

Estas rampas evitan tener un cambio instantáneo en el voltaje de alimentación de los motores, los cuales podrían generar malestar en el usuario por el arranque brusco de la silla, además dicho arranque terminaría por deteriorar rápidamente las piezas acopladas a los motores.

Los valores de “rampa” son los que se ingresarán en el módulo PWM para determinar el ancho del ciclo útil de entrega de voltaje, el ciclo útil determina el tiempo en el que se entregara un voltaje máximo de alimentación a los motores, en este caso 24 Vdc, el ciclo útil al no ser continuo generará un voltaje promedio de entrega en los motores, el cual será proporcional al ancho del ciclo útil de entrega dentro del periodo PWM, es decir, entre mas ancho sea, el voltaje promedio tiende al voltaje máximo 24 Vdc y entre más angosto sea el voltaje tiende al voltaje mínimo 0 Vdc.

Figura 59. Rampa de voltaje promedio.

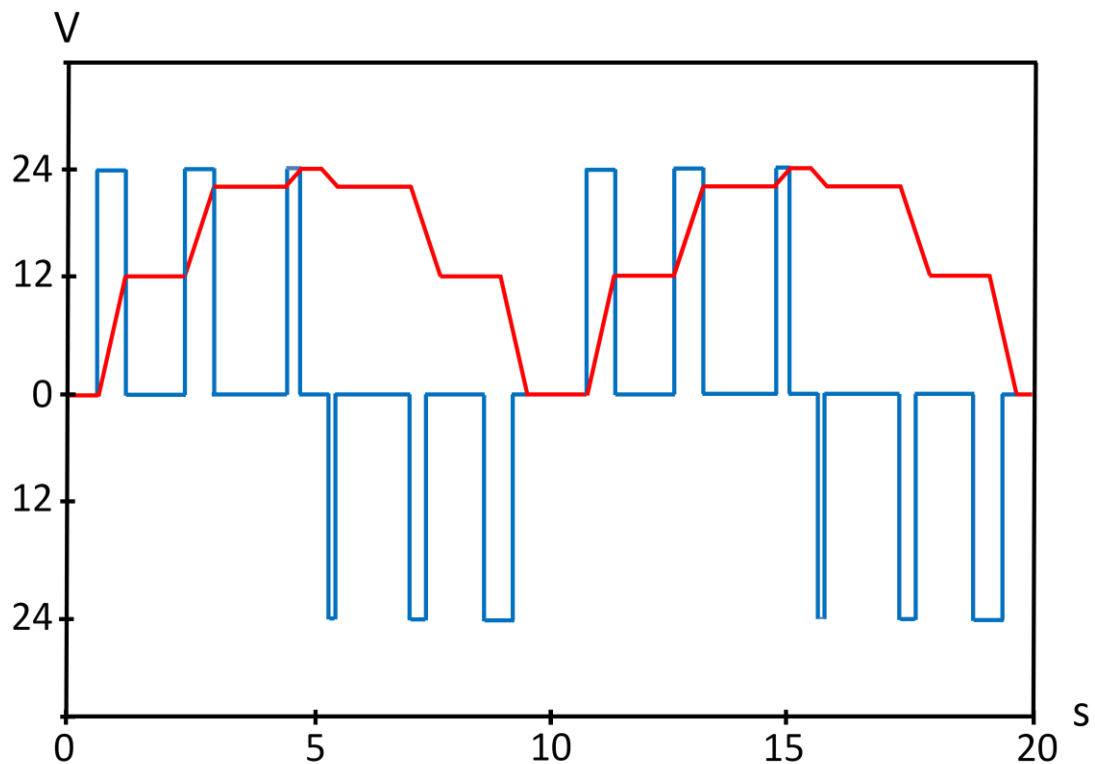


Fuente: Los autores.

En la grafica anterior se muestra el voltaje promedio tomando las mismas pendientes del valor de “rampa”, dando como valor máximo 12 VDC, con pequeños rizos o escalones a lo largo de la pendiente.

Al comparar las dos graficas en un mismo plano se notara como el voltaje efectivo en los motores tiende a aumentar mediante escalones según el ciclo útil de entrega de voltaje y como este presenta un pequeño desfase frente a los ciclos PWM. En la Figura 60. se muestra en color rojo el valor de voltaje efectivo y en azul los ciclos PWM.

Figura 60. Voltaje vs. PWM.



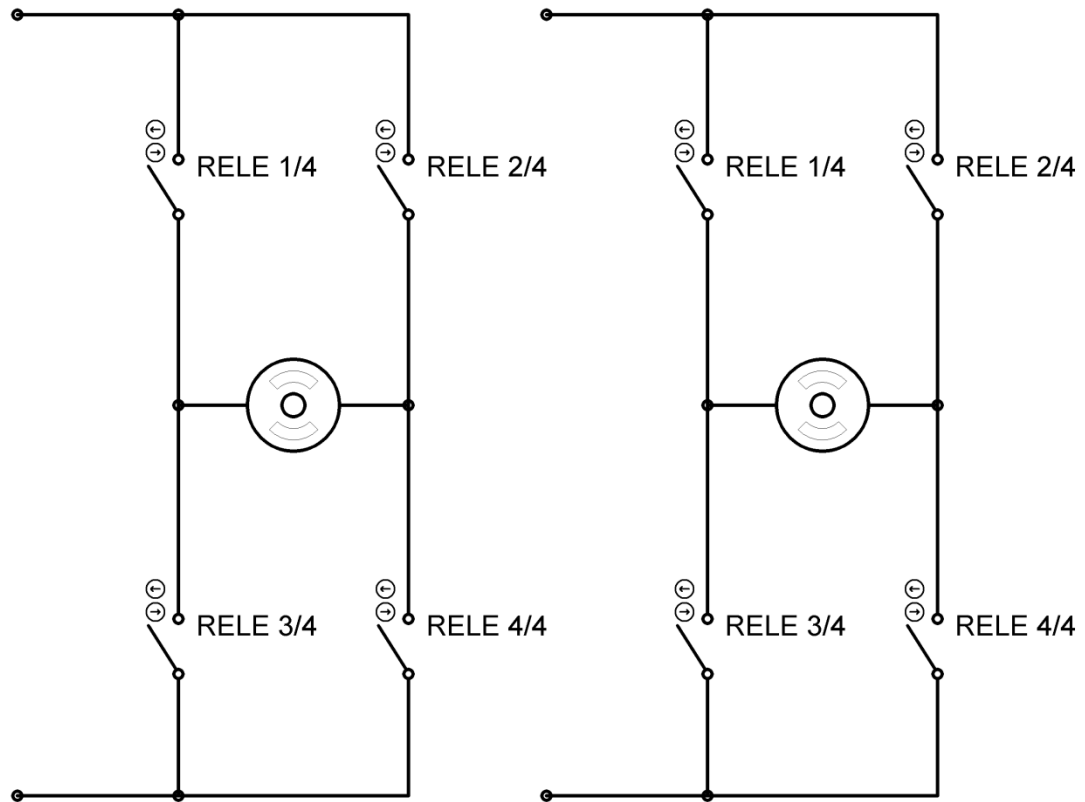
Fuente: Los autores.

En la grafica anterior se muestran dos secuencias de aceleración y desaceleración unidas, indicando los ciclos de desaceleración en un plano contrario a los de aceleración, de esta forma se muestra como el voltaje efectivo a entregarse a los motores aumenta o disminuye mediante escalones según los ciclos del PWM.

6.4 ACTIVACION DE LOS MOTORES

Cada motor es controlado por 4 relés (Figura 61), que realizan la inversión de giro y son accionados por el Arduino AT Mega 2560.

Figura 61. Control de giro de los motores.



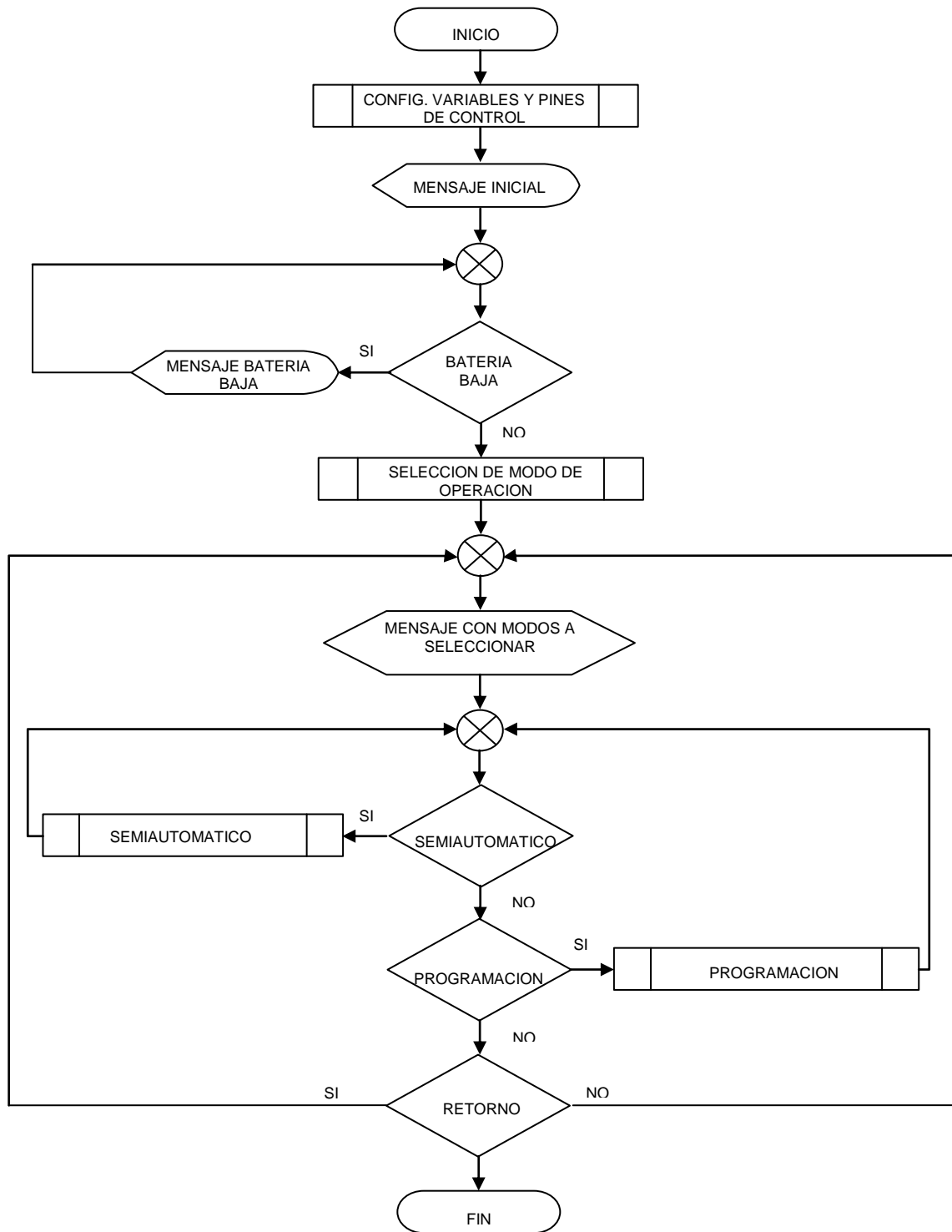
Fuente: Los autores.

Los pines para el control de los relés son 11 y 12, los cuales se encargan de la activación de marcha adelante y marcha atrás respectivamente.

6.5 PROGRAMACIÓN GENERAL

6.5.1 Lógica de funcionamiento del Arduino AT Mega 2560 La lógica de funcionamiento (Figura 62) da la idea general de cómo funciona el sistema en su totalidad.

Figura 62. Secuencia general del programa de control.



Fuente: Los autores.

A continuación se muestra en lenguaje estructurado la lógica del algoritmo anterior para lograr las tareas indicadas.

CONFIGURAR VARIABLES Y PINES DE CONTROL

*Iniciar librería LiquidCrystal.
Etiquetar y configurar Pines.
Configurar Variables de apoyo.
Configurar LCD 2x16.
Configurar teclado matricial.*

FIN TAREA

MENSAJE INICIAL

Mostrar en el LCD:

*“UNIVERSIDAD TEC.”
“ DE PEREIRA ”
“ INGENIERÍA ”
“ MECATRÓNICA ”
“PROYECTO SRE UTP”
“ PROAID-R ”
“ DIEGO SALAZAR ”
“ JORGE MORA ”*

FIN TAREA

MENSAJE BATERÍA BAJA.

Si Bateria Baja esta Activo.

Mostrar en el LCD:

*“ BATERÍA BAJA ”
“ APAGAR SISTEMA ”*

FIN TAREA

SELECCIÓN MODO DE OPERACIÓN

Configurar teclado matricial.

Mostrar mensaje para elección.

FIN TAREA

MENSAJE SELECCIÓN MODO DE OPERACIÓN

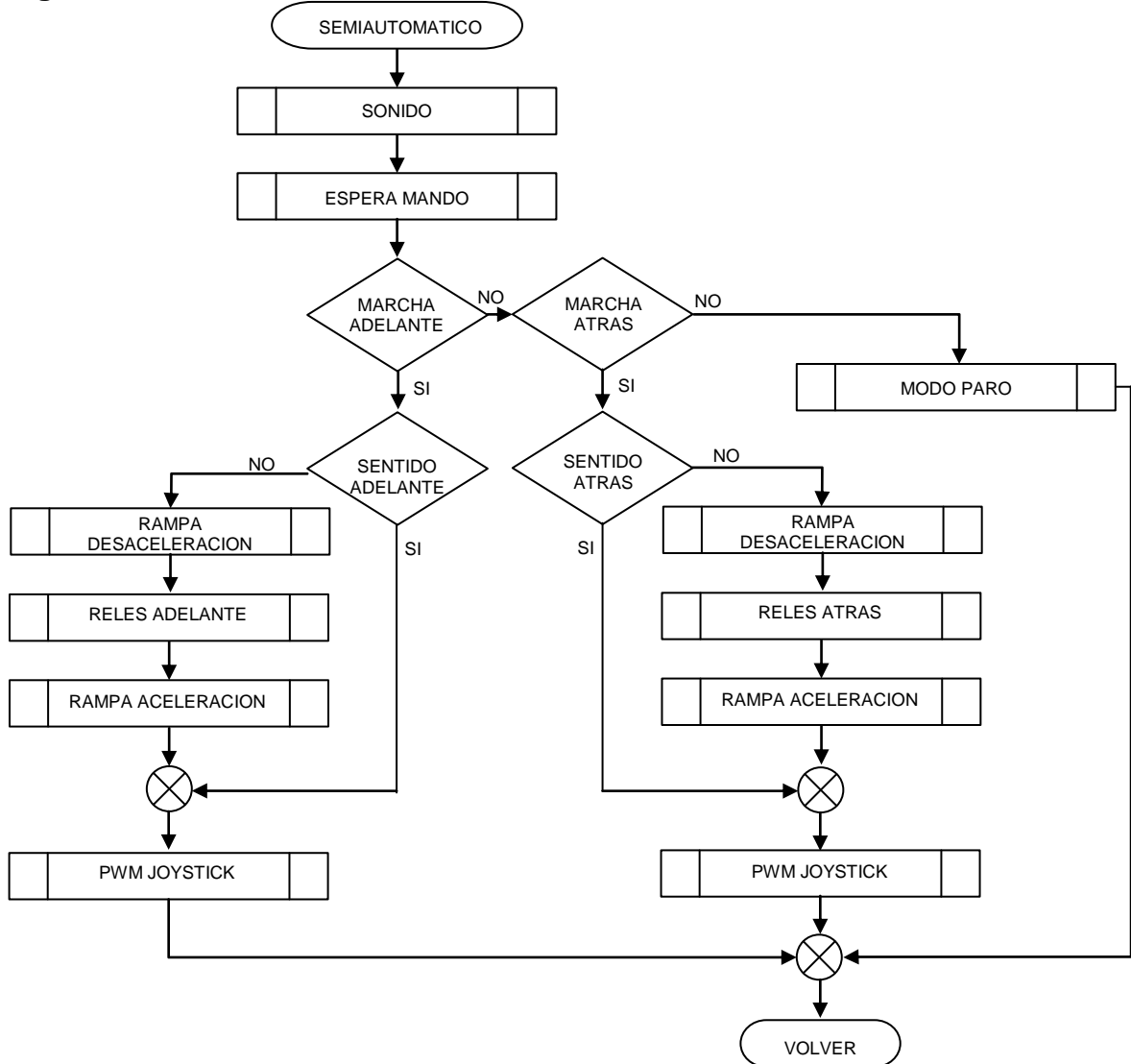
Mostrar en el LCD:

*“ ELEGIR MODO ”
“ DE OPERACIÓN ”
“ SEMIAUTOMÁTICO ”
“ (A) ”
“PROGRAMACIÓN”
“ (C) ”
“ RETORNO ”
“ (D) ”*

FIN TAREA

A continuación en la Figura 63. da la idea general de cómo funciona el modo Semiautomático.

Figura 63. Modo semiautomático.



Fuente: Los autores.

A continuación se muestra en lenguaje estructurado la lógica del algoritmo anterior para lograr las tareas indicadas.

MODO SEMIAUTOMÁTICO

Si Modo Semiautomático está activo.

*Activar subrutina **SONIDO***

Mostrar en el LCD:

“ SEMIAUTOMÁTICO ”

“ ACTIVADO ”

*Activar subrutina **ESPERA MANDO.***

Si Marcha Adelante está activa.

Mostrar en el LCD:

“ MARCHA ”

“ ADELANTE ”

*Activar Subrutina **RELÉS ADELANTE.***

*Activar Subrutina **RAMPA ACELERACIÓN.** “ESCALERA”*

*Activar Subrutina **PWM.** “JOYSTICK”*

Si Marcha Atrás es activada.

Mostrar en el LCD:

“ MARCHA ”

“ ATRÁS ”

*Activar Subrutina **RAMPA DESACELERACIÓN.** “ESCALERA”*

*Activar Subrutina **RELÉS ATRÁS.***

*Activar Subrutina **RAMPA ACELERACIÓN.** “ESCALERA”*

*Activar Subrutina **PWM.** “JOYSTICK”*

Si Paro Emergencia es activado.

*Activar Subrutina **RAMPA DESACELERACIÓN.** “ESCALERA”*

Si Paro Emergencia es desactivado.

*Activar Subrutina **RAMPA ACELERACIÓN.** “ESCALERA”*

*Activar Subrutina **PWM.** “JOYSTICK”*

Si Marcha Atrás está activa.

Mostrar en el LCD:

“ MARCHA ”

“ ATRÁS ”

*Activar Subrutina **RELÉS ATRÁS.***

*Activar Subrutina **RAMPA ACELERACIÓN.** “ESCALERA”*

*Activar Subrutina **PWM.** “JOYSTICK”*

Si Marcha Adelante es activada.

Mostrar en el LCD:

“ MARCHA ”

“ ADELANTE ”

*Activar Subrutina **RAMPA DESACELERACIÓN.** “ESCALERA”*

*Activar Subrutina **RELÉS ADELANTE.***

*Activar Subrutina **RAMPA ACELERACIÓN.** “ESCALERA”*

*Activar Subrutina **PWM.** “JOYSTICK”*

Si Paro Emergencia es activado.

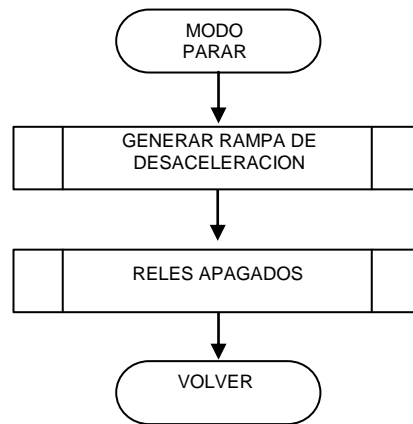
*Activar Subrutina **RAMPA DESACELERACIÓN.** “ESCALERA”*

Si Paro Emergencia es desactivado.
 Activar Subrutina **RAMPA ACELERACIÓN**. “ESCALERA”
 Activar Subrutina **PWM**. “JOYSTICK”
 Si Pito está activo.
 Activar Subrutina **PITO**

FIN TAREA

A continuación en la Figura 64. da la idea general de cómo funciona el modo parar.

Figura 64. Modo Parar.



Fuente: Los autores.

A continuación se muestra en lenguaje estructurado la lógica del algoritmo anterior para lograr las tareas indicadas.

MODO PARAR

Si Paro está activo.

Mostrar en el LCD:

“ PARO ”
 “ ACTIVO ”

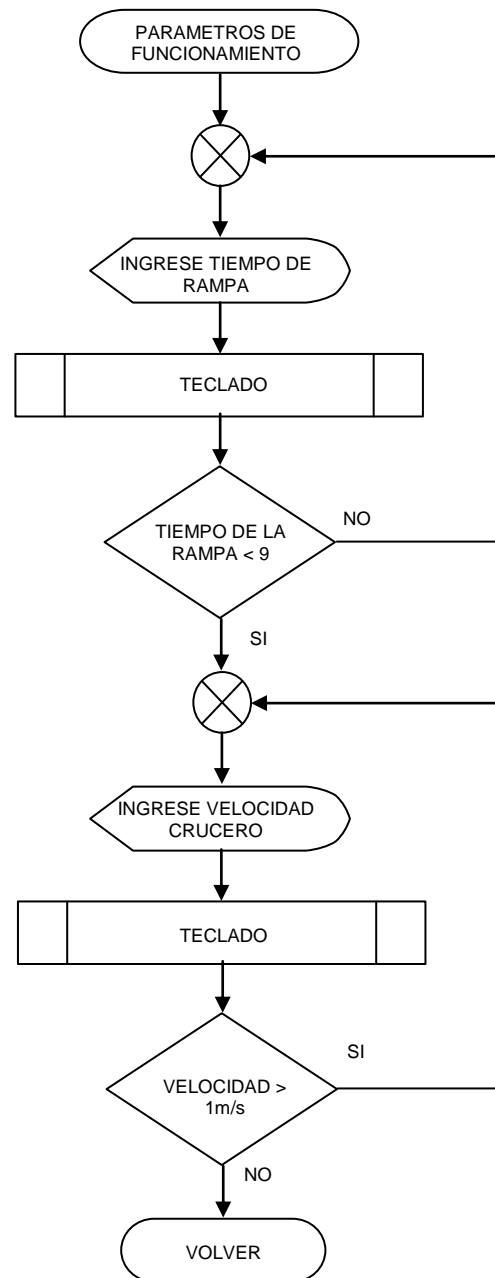
Si Marcha Adelante o Atrás fue activada.

Activar Subrutina **RAMPA DESACELERACIÓN**.
 “ESCALERA”

Activar Subrutina **ESPERA MANDO**

A continuación en la Figura 65. da la idea general de cómo funciona el modo Selección de Parámetros de Funcionamiento.

Figura 65. Modo Selección de Parámetros de Funcionamiento.



Fuente: Los autores.

A continuación se muestra en lenguaje estructurado la lógica del algoritmo anterior para lograr las tareas indicadas.

MODO PARÁMETROS DEL SISTEMA

Si Modo Parámetros del Sistema está activo

*Activar subrutina **SONIDO***

Mostrar en el LCD:

“ PARÁMETROS ”

“ SISTEMA ”

*Activar subrutina **ESPERA MANDO***

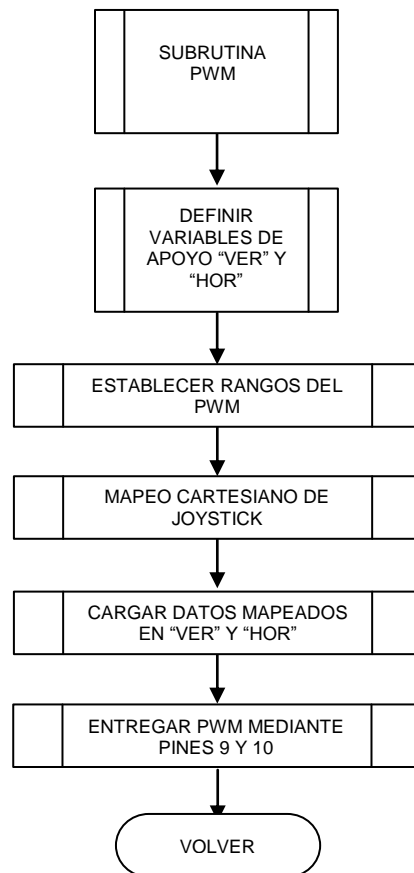
*Activar subrutina **TECLADO** para ingresar el valor de la velocidad de crucero.*

*Activar subrutina **TECLADO** para ingresar el tiempo de las rampas de aceleración y desaceleración.*

FIN TAREA

A continuación en la Figura 66. da la idea general de la **Subrutina PWM**.

Figura 66. Subrutina PWM.



Fuente: Los autores.

A continuación se muestra en lenguaje estructurado la lógica del algoritmo anterior para lograr las tareas indicadas.

Subrutina PWM

Definir variables de apoyo “VER” y “HOR”.
Configurar valores máximos y mínimos de PWM
Mapeo cartesiano de joystick.
Cargar valores mapeados en “VER” y “HOR”.

FIN TAREA

6.5.1.1 Subrutinas de apoyo A continuación se detallaran en lenguaje estructurado las subrutinas de apoyo restantes, estas no requieren del diseño de una estructura de algoritmo debido a que son muy cortas y específicas.

- **Espera mando**

Subrutina ESPERA MANDO

Activar subrutina STOP PWM

FIN TAREA

- **Rampa aceleración**

Subrutina RAMPA ACELERACIÓN

Cargar valor 0 en variable “RAMPA”.
Crear sentencia FOR para “RAMPA” menor a 127.
Cargar tiempo de espera para incremento.
Realizar incremento secuencial de “RAMPA” cuando es menor a 127.
Cargar valor de “RAMPA en “VER” y “HOR”.
Incrementar el valor de “RAMPA” y esperar tiempo.

FIN TAREA

- **Rampa desaceleración**

Subrutina RAMPA DESACELERACIÓN

Cargar valor 128 en variable “RAMPA”.
Crear sentencia FOR para “RAMPA” mayor a 0.
Cargar tiempo de espera para decremento.
Realizar decremento secuencial de “RAMPA” cuando es mayor a 0.
Cargar valor de “RAMPA en “VER” y “HOR”.
Decremento del valor de “RAMPA” y esperar tiempo.

FIN TAREA

- **Relés adelante**

Subrutina RELÉS ADELANTE

Activar RELÉ 1 y RELÉ 3.
Apagar RELÉ 2 y RELÉ 4.

FIN TAREA

- **Relés atrás**

Subrutina RELES ATRAS

Activar RELE2 y RELE4.

Apagar RELE1 y RELE3.

FIN TAREA

- **Sonido**

Subrutina SONIDO

Activar BOCINA.

FIN TAREA

- **Stop PWM**

Subrutina STOP PWM

Cargar el valor de 0 en la variable "VER".

Cargar el valor de 0 en la variable "HOR".

FIN TAREA

- **Teclado**

Subrutina TECLADO

Activar FILA4

Apagar FILA1, FILA2 y FILA3

Si COLUMNA1 está inactiva

Tecla presionada es 1

Si COLUMNA2 está inactiva

Tecla presionada es 2

Si COLUMNA3 está inactiva

Tecla presionada es 3

Si COLUMNA4 está inactiva

Tecla presionada es A

Activar FILA1

Apagar FILA2, FILA3 y FILA4

Si COLUMNA1 está inactiva

Tecla presionada es 4

Si COLUMNA2 está inactiva

Tecla presionada es 5

Si COLUMNA3 está inactiva

Tecla presionada es 6

Si COLUMNA4 está inactiva

Tecla presionada es B

Activar FILA2

Apagar FILA3, FILA4 y FILA1

Si COLUMNA1 está inactiva

Tecla presionada es 7

Si COLUMNA2 está inactiva

Tecla presionada es 8
Si COLUMNA3 está inactiva
Tecla presionada es 9
Si COLUMNA4 está inactiva
Tecla presionada es C
Activar FILA3
Apagar FILA4, FILA1 y FILA2
Si COLUMNA1 está inactiva
Tecla presionada es ESC
Si COLUMNA2 está inactiva
Tecla presionada es 0
Si COLUMNA3 está inactiva
Tecla presionada es ←
Si COLUMNA4 está inactiva
Tecla presionada es D

FIN TAREA

6.5.1.2 Configuración de registros y pines de control

- **Configuración etiquetado de pines** El etiquetado se realiza para facilitar la identificación de los pines:

Pin 1 = Entrada para verificar el estado de la Batería.
Pin 7 = Indicador de Batería Baja.
Pin 8 = Activación de bocina conectado a digital pin 8.
Pin 9 = PWM Motor 1 conectado a digital pin 9.
Pin 10 = PWM Motor 2 conectado a digital pin 10.
Pin 11 = Activación relés marcha adelante conectado a digital pin 11.
Pin 12 = Activación relés marcha tras conectado a digital pin 12.
Pin 31 = LCD D7.
Pin 33 = LCD D6.
Pin 35 = LCD D5
Pin 37 = LCD D4
Pin 47 = LCD Enable.
Pin 51 = LCD RS.
Pin 2 = Botón para emergencia.
Pin 3 = pulsador marcha atrás.
Pin 4 = pulsador activación pito.
Pin 5 = pulsador de paro.
Pin 6 = pulsador marcha adelante.
Pin 38 = teclado matricial columna 0.
Pin 40 = teclado matricial columna 1.
Pin 42 = teclado matricial columna 2.
Pin 44 = teclado matricial columna 3.
Pin 46 = teclado matricial fila 0.

Pin 48 = teclado matricial fila 1.

Pin 50 = teclado matricial fila 2.

Pin 52 = teclado matricial fila 3.

- **Configuración de variables de apoyo y librerías** La configuración de variables de apoyo se realiza para facilitar la lógica de programación y se tiene:

Dato = variable en donde se almacena la lectura del pin 2.

Adelante = variable en donde se almacena la lectura del pin 6.

Atrás = variable en donde se almacena la lectura del pin 3.

Pito = variable en donde se almacena la lectura del pin 4.

Paro = variable en donde se almacena la lectura del pin 5.

Visual = variable de apoyo para mostrar el encabezado solo una vez.

Rampa= variable de apoyo para generar rampas de aceleración y desaceleración.

Acelerar = variable de apoyo para iniciar rampa de aceleración en cada marcha.

Sentido = variable de apoyo en donde se almacena la marcha actual.

Fila1 = variable de apoyo en donde se almacena el dato extraído de la fila 0.

Fila2 = variable de apoyo en donde se almacena el dato extraído de la fila 1.

Fila3 = variable de apoyo en donde se almacena el dato extraído de la fila 2.

Fila4 = variable de apoyo en donde se almacena el dato extraído de la fila 3.

- **Configuración de LCD** Se define la librería para utilizar el LCD en modo 4 bits:

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

Esta sentencia inicia la librería LCD configurando los pines de interface de forma predeterminada 51, 47, 37, 35, 33, 31, los cuales encajan con el hardware de diseño de ambos elementos.

Se utiliza el LCD en modo de 4 bits para disminuir el número de pines utilizados en la placa Arduino Mega.

El bus de control está formado por 3 señales: RS, RW y E. La línea E es el Enable o activación de los datos. Cuando no se utiliza la LCD Enable permanece en 0, sólo en las transferencias de información (lecturas o escrituras) se pone en 1 para validar los datos, pasando después de un tiempo a 0. RS (Register Select) selecciona el registro interno de la LCD sobre el que se va a leer/escribir. La LCD dispone de dos registros internos: Registro de control y registro de datos. Ambos registros son de lectura y escritura. RS=0 selecciona el registro de control. RS=1 selecciona el registro de datos. RW (lectura o escritura) selecciona la forma de transmisión de datos de la LCD, por hardware se encuentra conectado a GND para que el LCD solo realice operaciones de escritura.

Este Capítulo ha mostrado el desarrollo del software de control para la placa Arduino Mega la cual permitirá el manejo de cada uno de los dispositivos y establecerá una interfaz de usuario que permitirá realizar las pruebas de funcionamiento del prototipo en el Capítulo siguiente.

7. PRUEBAS Y RESULTADOS

En este capítulo se exponen los resultados a las pruebas realizadas que permiten verificar el desempeño del sistema en condiciones normales de uso.

7.1 PRUEBAS DE LA RAMPA TIPO “ESCALERA”

Con estas pruebas se comprobó que el Arduino realiza las rampas tipo “Escalera” de aceleración y desaceleración en el arranque y frenado de la silla a diferentes pendientes y diferentes velocidades de crucero.

Se realizaron tres pruebas para verificar la forma de la trayectoria tipo “Escalera” en el arranque y frenado de la silla de ruedas a la velocidad máxima de 1m/s (3.6km/h) y se graficó en el programa computacional Matlab®.

Para realizar estas pruebas se tomó pendientes con duración de 1 a 9 s en pasos de 1 s; donde la pendiente máxima es 1 s. (Figura 67) y la pendiente mínima es 9 s. (Figura 68).

Figura 67. Pendiente máxima.



Fuente: Los autores.

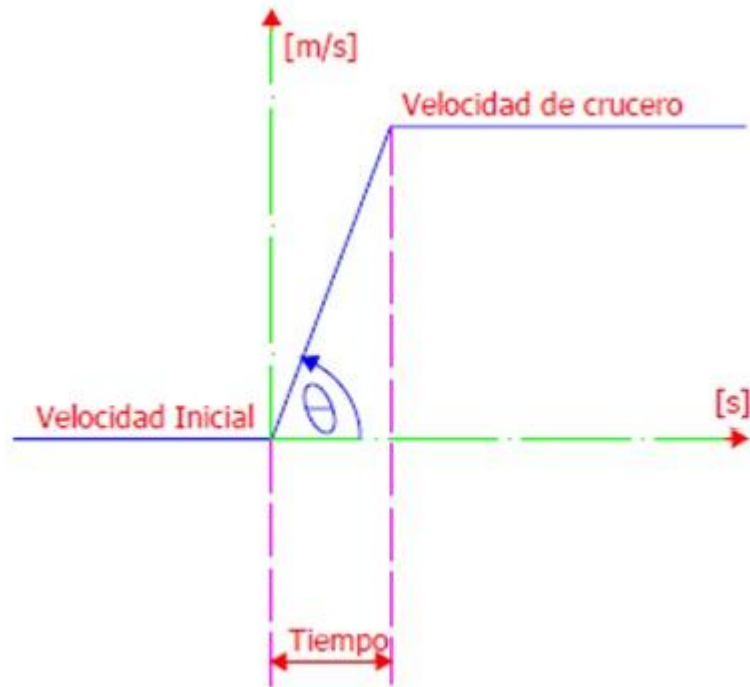
Figura 68. Pendiente mínima.



Fuente: Los autores.

Al recorrer la silla la distancia de 1m se puede calcular la velocidad a pendiente máxima y mínima aproximando una rampa lineal (Figura 69):

Figura 69. Pendiente mínima.



Fuente: Los autores.

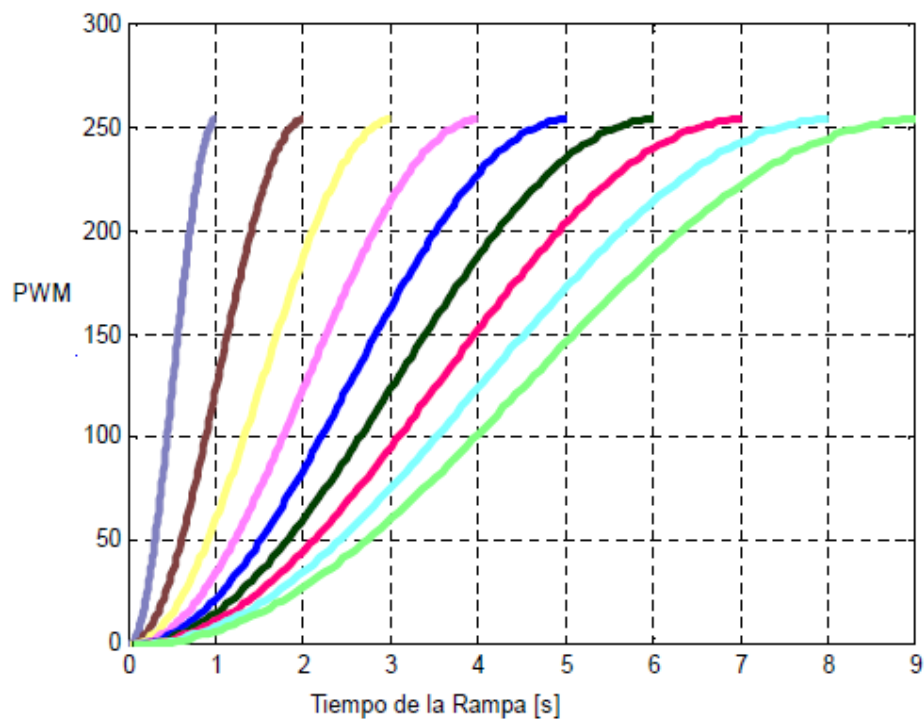
$$V_{P\ maxima} = \frac{Distancia}{Tiempo_{P\ maxima}} = \frac{1\ metro}{1\ segundo} = 1\ \frac{m}{s} = 3,6\ Km/H$$

$$V_{P\ minima} = \frac{Distancia}{Tiempo_{P\ minima}} = \frac{1\ metro}{9\ segundo} = 0,11\ \frac{m}{s} = 0,396\ Km/H$$

Primero se tomaron los valores del módulo PWM de los pines 9 y 10 del Arduino del algoritmo de control. El registro de control de PWM del Arduino varía desde 0 a 1024 valores, siendo 1024 el valor máximo del ancho del pulso. Con el fin de acoplarlo al mapeo del joystick el cual va de 0 a 255 valores, se realizó una regla de tres para que cada movimiento del joystick representare un valor del registro de PWM del Arduino.

En la Figura 70. se muestran las formas de onda de la rampa tipo “Escalera” de aceleración dada por el algoritmo de control realizado con diferentes pendientes.

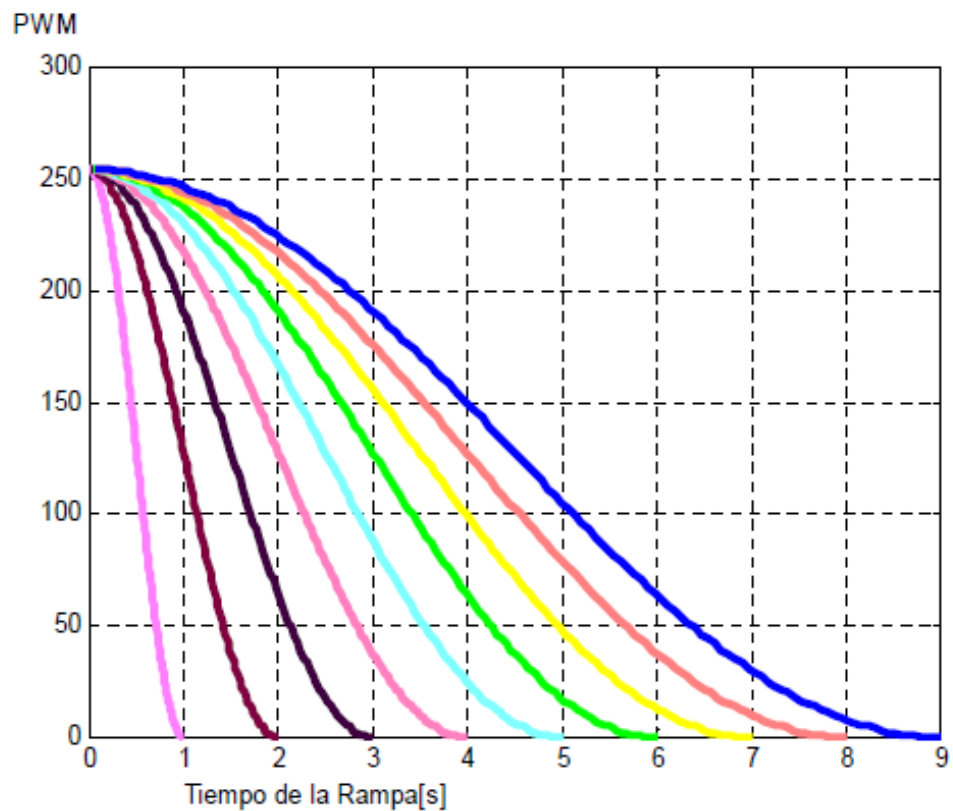
Figura 70. Rampa de aceleración PWM.



Fuente: Los autores.

En la Figura 71. se muestran las formas de onda de la rampa tipo “Escalera” de desaceleración dada por el algoritmo de control realizado con diferentes pendientes.

Figura 71. Rampa de desaceleración PWM.

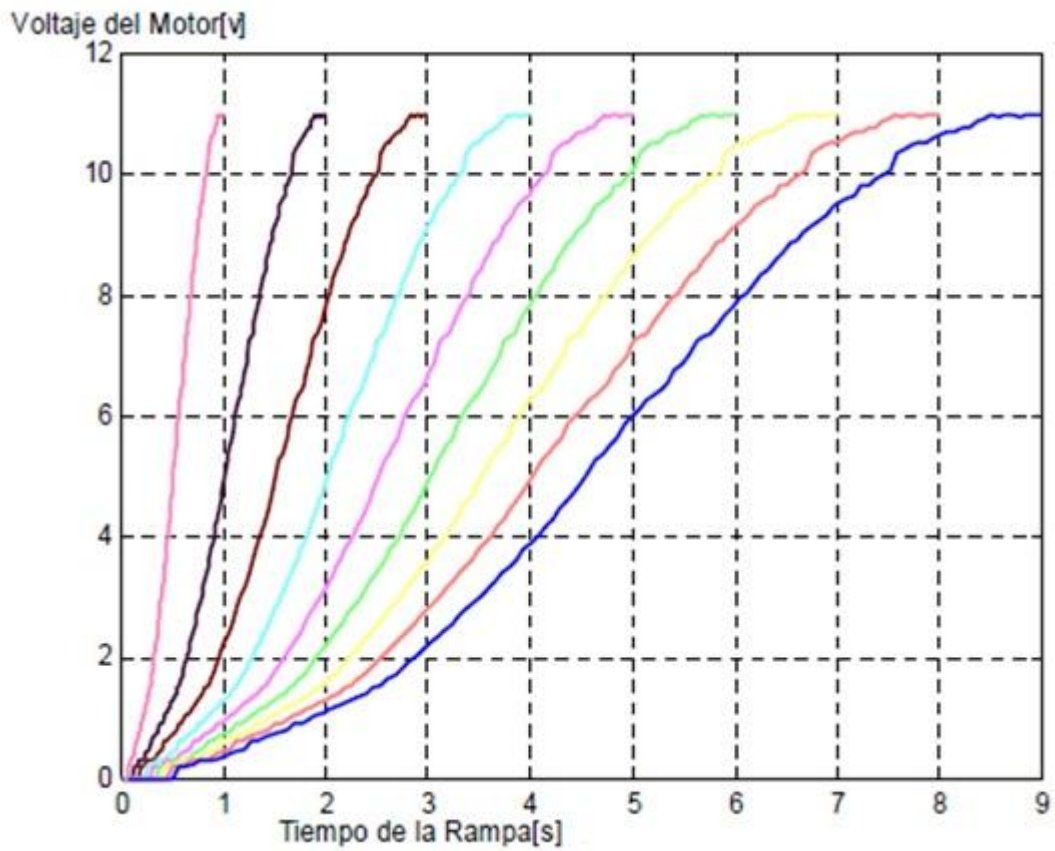


Fuente: Los autores.

Segundo se midieron los valores de voltaje aplicados al motor, con la velocidad máxima de 1m/s (3.6km/h) para determinar si el circuito de control lograba su objetivo de acelerar/desacelerar el motor siguiendo la curva “Escalera”.

En la Figura 72. se muestra las formas de onda de voltaje aplicadas sobre el motor en el momento del arranque con diferentes pendientes.

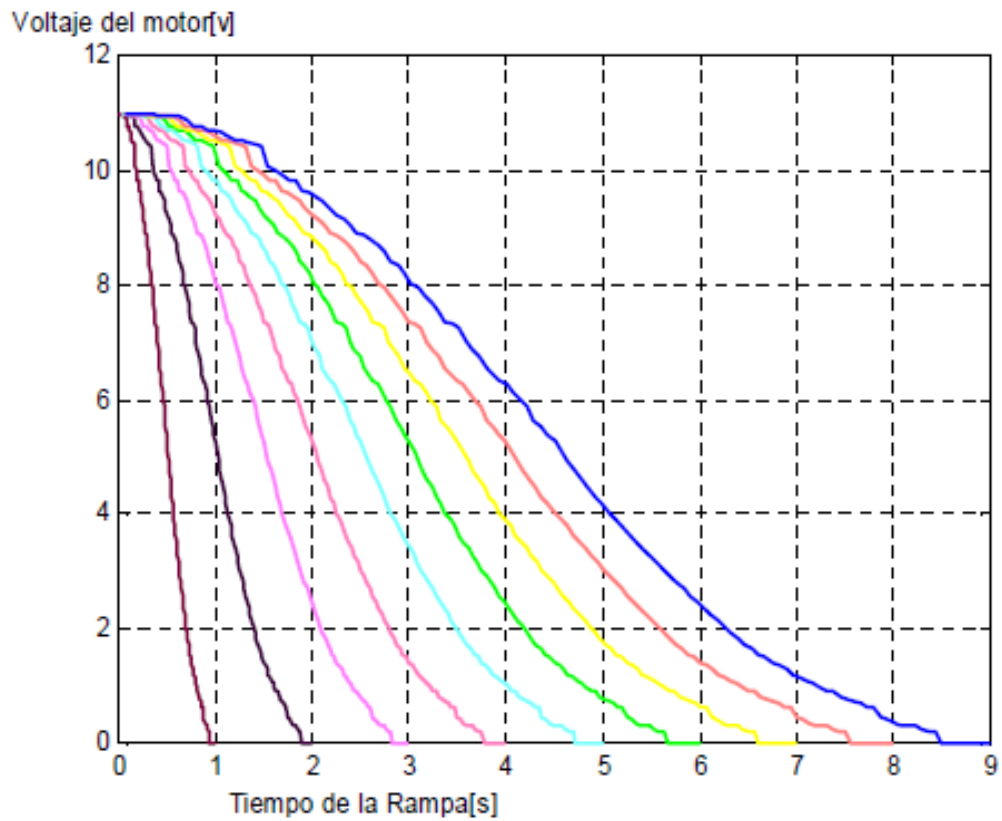
Figura 72. Rampa de aceleración del motor.



Fuente: Los autores.

En la Figura 73. se muestra las formas de onda de voltaje aplicadas al motor en el momento de frenado con diferentes pendientes.

Figura 73. Rampa de desaceleración del motor.

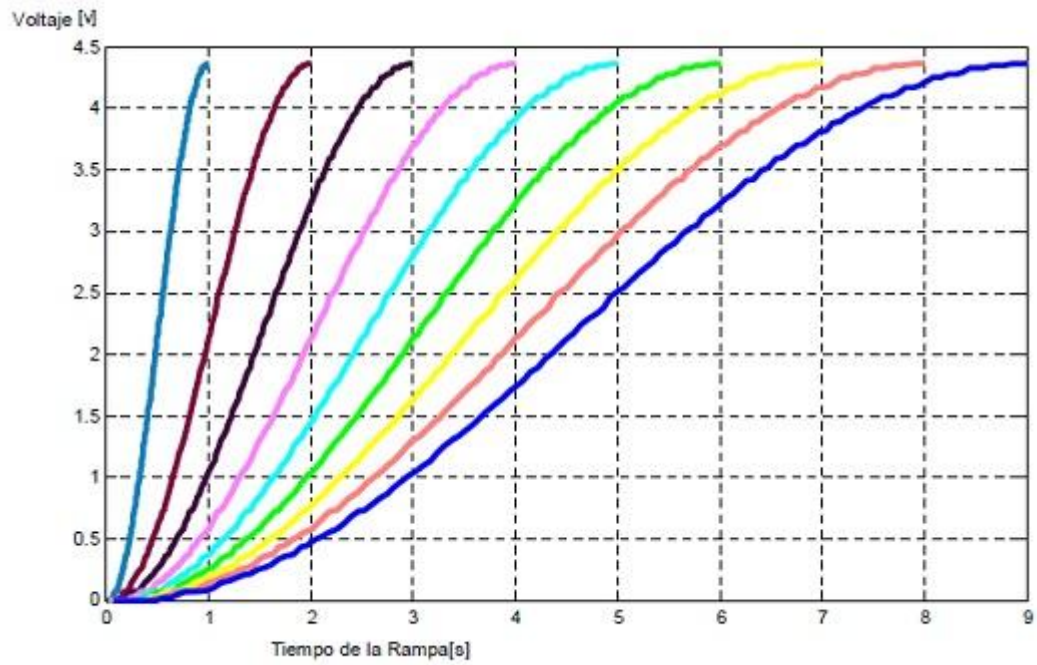


Fuente: Los autores.

Tercero se midieron los valores de voltaje de salida del Arduino (Pines 9 y 10) al realizar la rampa a velocidad máxima de 1m/s (3.6km/h).

En la Figura 74. se muestran las formas de onda de la rampa tipo “Escalera” de aceleración dada por el Arduino con diferentes pendientes.

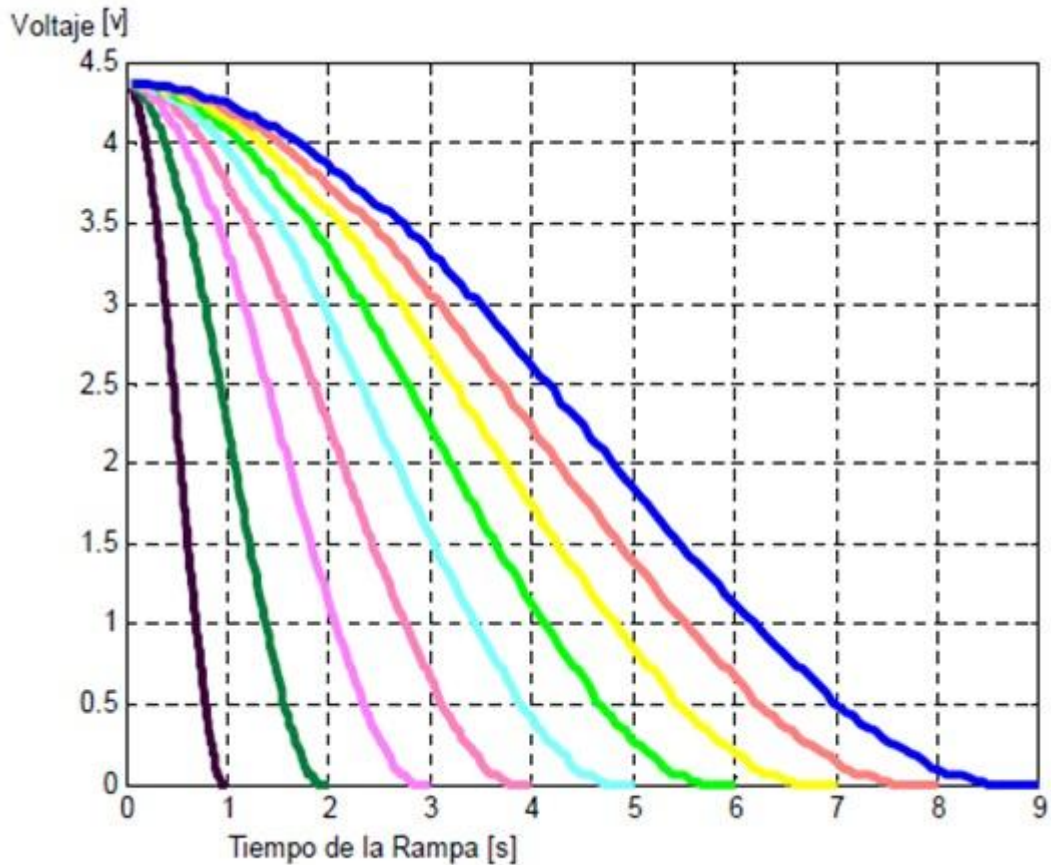
Figura 74. Rampa de aceleración Arduino.



Fuente: Los autores.

En la Figura 75. se muestran las formas de onda de la rampa tipo “Escalera” de desaceleración dada por el Arduino con diferentes pendientes.

Figura 75. Rampa de desaceleración Arduino.



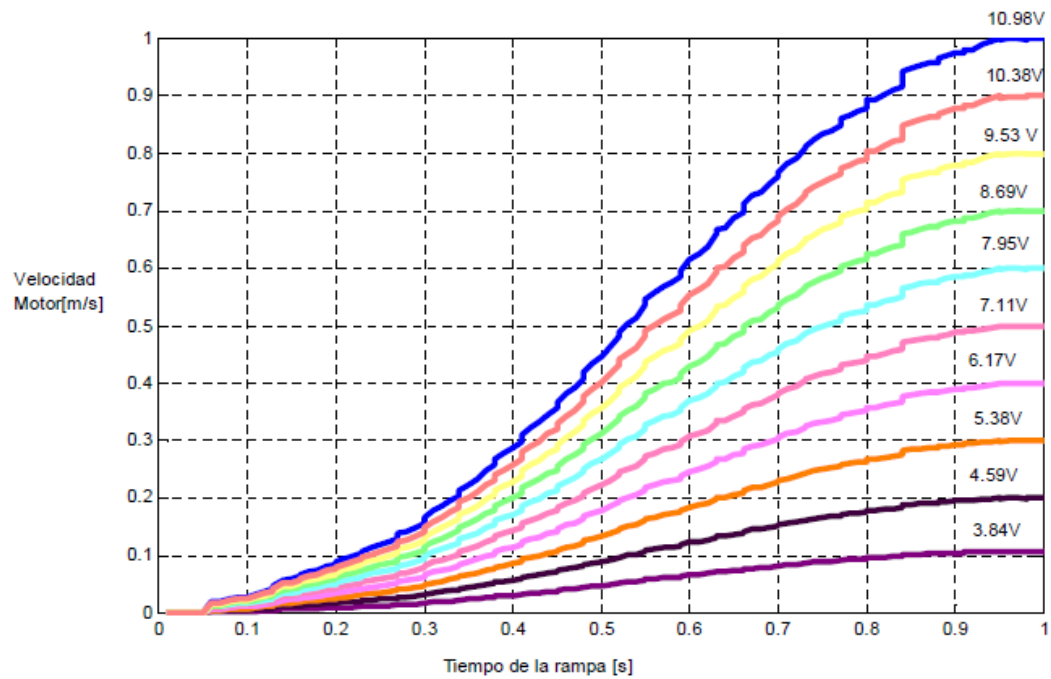
Fuente: Los autores.

Con el algoritmo realizado en el sistema de control se logró obtener una trayectoria tipo “Escalera” en el arranque y frenado de la silla de ruedas.

Para realizar las pruebas de variación de velocidad se tomaron velocidades de 0.1 a 1m/s en pasos de 0.1 m/s con la pendiente de duración de 1s. y se graficó en el programa computacional Matlab®.

En la Figura 76. se muestran las diferentes velocidades describiendo la trayectoria tipo “Escalera” en el momento de arranque del sistema. Los datos de la grafica se obtienen tomando los voltajes de las borneras de alimentación de cada motor.

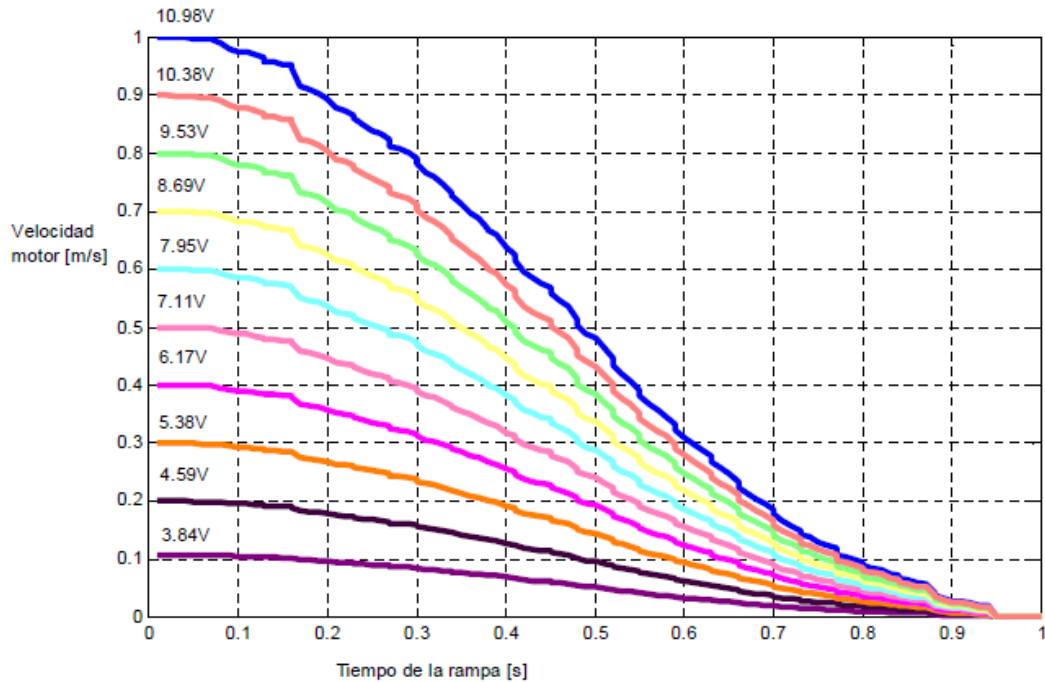
Figura 76. Rampas de aceleración.



Fuente: Los autores.

En la Figura 77. se muestran las diferentes velocidades describiendo la trayectoria tipo “Escalera” en el momento de frenado del sistema. Los datos de la gráfica se obtienen tomando los voltajes de las borneras de alimentación de cada motor.

Figura 77. Rampas de desaceleración.



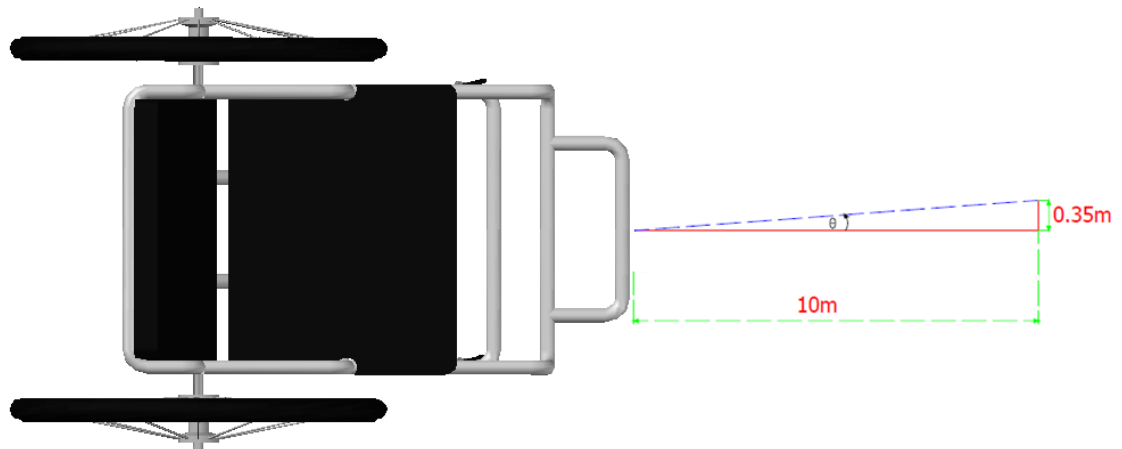
Fuente: Los autores

7.2 PRUEBAS EN LOS MOTORES

El sistema utiliza dos motores de excitación independiente de 24V y 10A, a pesar de que estos son nuevos las cajas turbo reductoras son recicladas y el empalme entre ambos sistemas no es bastante preciso lo que genera pérdidas de potencia, dando como resultado velocidades de rotación distintas. Al tener velocidades distintas de rotación en las ruedas, el sistema no se moverá en línea recta continua y presentará desviaciones en su trayectoria, lo cual no es muy notorio en cortas distancias pero se tornará incomodo en largas distancias debido a que el usuario se verá obligado a corregir la trayectoria constantemente.

Para corregir este problema se ajustaron las cadenas y piñones de cada rueda de la silla y se ajustó uno de los módulos PWM para equilibrar la velocidad. Con estos ajustes se determinó que al recorrer la silla de ruedas 10m se desvió 0.35m de su trayectoria lineal (Figura 78), arrojando un ángulo de desviación de 2°.

Figura 78. Desviación de la silla de ruedas.



Fuente: Los autores.

Los giros hacia la derecha e izquierda se realizaron disminuyendo la velocidad del motor hacia donde se va a efectuar el giro y aumentando la velocidad del motor que impulsara el giro, en casos que se requiera un giro rápido el primer motor parara y el segundo motor tendrá velocidad máxima.

El ajuste de velocidad de desplazamiento y giro lo realiza el usuario mediante el joystick y esta variara según el peso del usuario como se muestra en las pruebas realizadas.

7.3 RESULTADOS OBTENIDOS

Para realizar los cambios de marcha “ADELANTE” O “ATRAS” se implemento un puente H compuesto de relés, no se implementó un circuito especializado debido a su alto costo y a que no se requiere una conmutación constate o rápida, ya que los cambios de marcha son mínimos y deben ser lentos para evitar arranques bruscos que incomoden al usuario. Se planteó la opción de implementar el puente H con transistores pero esto generaría una caída de voltaje de entre un 5% y un 10% el cual tiende a aumentar debido a que la fuente de alimentación cada vez sería inferior, así los motores nunca alcanzarían su máxima velocidad de rotación y la necesidad de un alto torque generaría una mayor corriente que haría que el sistema fuera inestable al requerir una mayor refrigeración.

Los resultados obtenidos (Tabla 1) de la variación de velocidad en función del peso de los usuarios se presentan a continuación.

Tabla 1 Velocidades a diferentes pesos.

PESO DEL USUARIO (Kg.)	VELOCIDAD (km/h)	VELOCIDAD (m/s)
90	3.06	0.85
70	3.24	0.90
60	3.42	0.95
50	3.56	0.98

Fuente: Los autores.

Se determinó que con la pendiente de duración de 5 segundos en la sentencia FOR de las rampas de aceleración y desaceleración el funcionamiento de la silla es el más adecuado. Se pudo probar que si la silla se encuentra en espacios reducidos y se asigna pendientes con tiempos mayores a la generación de las rampas pueden ocurrir choques.

De las pruebas realizadas se determinó que con velocidad de 0.5m/s (1.8Km/h) es la mínima velocidad con la que el usuario puede desplazarse de manera óptima y no le cause molestias.

8. ESTUDIO DE COSTOS

El objeto de este estudio es dar a conocer el costo total del sistema, para lo cual se presenta un listado de los elementos y materiales utilizados incluyendo los precios de los mismos. Con el costo total se puede hacer una comparación con equipos similares en el mercado.

8.1 COSTOS

En la Tabla 2 se muestran los elementos utilizados para la construcción de la silla de ruedas.

Tabla 2 Silla de ruedas.

CANTIDAD	DESCRIPCION	PRECIO \$
3	Tubo de 1" PVC Alta Presión 200 PSI	\$ 39.600
18	Codo de de 1" PVC de Alta Presión	\$ 16.200
38	Tee de 1" PVC de Alta Presión	\$ 47.500
1	Eje de 1" en acero calibrado	\$ 26.000
4	Rodillo Tipo Aguja Torrington	\$ 41.000
4	Oring 28 mm x 18 mm	\$ 4.000
250	Remache Ciego 6-6 Tipo POP	\$ 7.500
1	Tapizado Bastidor y Espaldar	\$ 65.000
2	Rueda con rin y neumático	\$ 44.000
2	Rueda de Goma con Base	\$ 42.800
	TOTAL	\$ 333.600

Fuente: Los autores.

En la Tabla 3 se muestran los elementos utilizados para la construcción de las fuentes de alimentación.

Tabla 3 Fuentes de Alimentación.

CANTIDAD	DESCRIPCION	PRECIO \$
2	Condensador de 6800 uF 50 Voltios	\$ 11.600
4	Regulador de Voltaje LM317	\$ 3.200
1	Regulador LM7805	\$ 1.000
7	Resistencias	\$ 2.150
4	Borneras	\$ 1.200
1	Fusible y porta fusible	\$ 1.000

1	Baquelita de fibra de vidrio	\$ 2.800
2	Capacitores 0,1uF y 1uF	\$ 300
6	Diodo Rectificador 4N5408	\$ 3.000
	TOTAL	\$ 26.250

Fuente: Los autores.

En la Tabla 4 se muestran todos los elementos que constituyen la tarjeta principal, en la cual se generan todas las órdenes para el funcionamiento del sistema.

Tabla 4 Tarjeta Electrónica de Control Principal.

CANTIDAD	DESCRIPCION	PRECIO \$
1	Teclado Matricial 4x4	\$ 5.000
1	LCD 2x16 con back light	\$ 12.000
1	Arduino AT Mega 2560	\$ 130.000
1	Modulo Arduino con Joystick	\$ 22.000
5	Transistores 2N3904	\$ 2.500
4	Diodos rectificadores	\$ 1.200
8	Borneras	\$ 2.400
2	Led	\$ 400
1	Potenciómetro	\$ 1.000
1	Bocina	\$ 2.000
4	Opto transistores	\$ 3.200
27	Resistencias de 1/4 W	\$ 2.160
1	Baquelita de fibra de vidrio 15x10	\$ 5.000
2	Fusible y porta fusible	\$ 2.000
	TOTAL	\$ 190.860

Fuente: Los autores.

En la Tabla 5 se muestran todos los elementos que constituyen la tarjeta de sistema auxiliar.

Tabla 5 Tarjeta Electrónica sistema auxiliar.

CANTIDAD	DESCRIPCION	PRECIO \$
1	Capacitores 0.1uF	\$ 200
7	Transistores 2N3904	\$ 3.500
4	Borneras	\$ 1.600
3	Led	\$ 600
2	Opto transistores	\$ 1.600
34	Resistencias de 1/4 W	\$ 2.720
1	Baquelita de fibra de vidrio 15x10	\$ 5.000
1	Fusible y porta fusible	\$ 2.000

	TOTAL	\$ 17.220
--	--------------	------------------

Fuente: los autores.

En la Tabla 6 se muestran todos los elementos que constituyen la tarjeta de Potencia para el control de los motores.

Tabla 6 Tarjeta Electrónica de Potencia.

CANTIDAD	DESCRIPCION	PRECIO \$
2	Transistores TIP 122	\$ 2.600
3	Borneras	\$ 1.200
2	Opto transistores	\$ 1.600
9	Resistencias de 1/4 W	\$ 720
1	Baquelita de fibra de vidrio	\$ 5.000
1	Fusible y porta fusible	\$ 2.000
2	Disipadores	\$ 5.000
	TOTAL	\$ 18.120

Fuente: Los autores.

En la Tabla 7 se muestran todos los elementos que constituyen la tarjeta de detección de Batería Baja y Batería Cargada.

Tabla 7 Tarjeta de Detección de Batería Baja y Batería Cargada.

CANTIDAD	DESCRIPCION	PRECIO \$
2	LM324	\$ 2.000
4	Borneras	\$ 1.600
4	Led	\$ 800
2	LM317	\$ 2.000
16	Resistencias de 1/4 W	\$ 1.280
1	Baquelita de fibra de vidrio 15x10	\$ 5.000
2	Fusible y porta fusible	\$ 2.000
2	Diodos Rectificadores	\$ 600
4	Capacitores	\$ 1.600
	TOTAL	\$ 16.880

Fuente: Los autores.

En la Tabla 8 se muestran todos los elementos que constituyen el cargador de Batería.

Tabla 8 Tarjeta Cargador de Batería

CANTIDAD	DESCRIPCION	PRECIO \$
7	Diodos de Potencia 6A10	\$ 5.600
1	Borneras	\$ 400
1	Transformador 110V/12V	\$ 20.000
1	LM7812	\$ 1.000
1	Baquelita de fibra de vidrio 15x10	\$ 5.000
1	Resistencias de Potencia 20W	\$ 1.000
2	Capacitores 6800uF/50V	\$ 11.600
1	Capacitor 0.1uF	\$ 200
	TOTAL	\$ 44.800

Fuente: Los autores.

En la Tabla 9 se enumeran los elementos constitutivos de la parte que controla los motores.

Tabla 9 Elementos de Potencia.

CANTIDAD	DESCRIPCION	PRECIO \$
5	Relés con bases	\$ 7.500
2	IGBT G4PC50UD	\$ 30.000
2	Diodos de Potencia	\$ 1.600
2	Fusibles Térmicos	\$ 4.000
2	Disipadores	\$ 10.000
	TOTAL	\$ 53.100

Fuente: Los autores.

En la Tabla 10 se muestran los elementos adicionales usados en la construcción de todos los circuitos impresos.

Tabla 10 Accesorios Varios.

CANTIDAD	DESCRIPCION	PRECIO \$
2	Batería 12 Vdc 18 A/h	\$ 200.000
2	Motor 24 Vdc 10 A	\$ 520.000
2	Relés con Base	\$ 5.000
2	Interruptor	\$ 1.000
	Materiales varios: tornillos, cable	\$ 50.000
	TOTAL	\$ 776.000

Fuente: Los autores.

En la Tabla 11 se da a conocer el costo total de todo el sistema electrónico.

Tabla 11 Costo Total Sistema Electrónico.

DESCRIPCION	PRECIO \$
Fuentes de Alimentación	\$ 25.250
Tarjeta Electrónica de control Principal	\$ 190.860
Tarjeta Electrónica PIC Esclavo	\$ 17.220
Tarjeta Electrónica de Potencia.	\$ 18.120
Tarjeta de Detección de estado de Batería	\$ 16.880
Tarjeta Cargador de Batería	\$ 44.800
Elementos de Potencia	\$ 53.100
Accesorios Varios	\$ 776.000
TOTAL	\$ 1.143.230

Fuente: Los autores.

En la Tabla 12 se da a conocer el costo total de todo el sistema.

Tabla 12 Costo total proyecto.

DESCRIPCION	PRECIO \$
Silla de Ruedas	\$ 333.600
Sistema Físico Electrónico	\$ 1.143.230
Costos de Ingeniería	\$ 1.000.000
TOTAL	\$ 2.476.830

Fuente: Los autores.

Con los datos de la Tabla 12, queda demostrado que con Tecnología local si es posible abaratar los costos. Por otro lado, el costo neto de implementación es \$1.476.830 pesos colombianos que puede variar dependiendo de la disponibilidad de los elementos que constituyen el sistema, el tiempo que se tomo para diseñar e implementar este proyecto está alrededor de 90 horas hombre.

Comercialmente en Internet se encuentran sillas de ruedas electrónicas de distintos fabricantes entre los que se puede citar: PERMOBIL, TUFFAARE, DELUXE, TRAC ABOUT, MERITS, PRIDE, SUNRISE, JAZZY, INVACARE, QUIQUE los cuales poseen como control principal el mando por joystick. El precio de los sistemas de sillas de ruedas electrónicas con estas características va de \$3.000.000 en adelante, que en comparación al precio del sistema desarrollado es mucho mayor, teniendo en cuenta que estos equipos hay que importarlos lo que implica costos adicionales. No hay que olvidar que no se busca rentabilidad en estos sistemas, porque el fin del proyecto es médico-social lo que se busca es desarrollar experiencia nacional para dar soluciones que posibiliten a personas de bajos recursos económicos tener acceso a este tipo de herramientas que alivien sus dificultades.

9. CONCLUSIONES

Tras analizar el desarrollo del proyecto y los resultados obtenidos de las pruebas realizadas se pueden definir las siguientes conclusiones:

- El sistema cuenta con indicadores de actividad los cuales le permiten al usuario determinar el funcionamiento y estado del sistema, representando una gran ayuda en el uso por parte de cualquier persona.
- Con la sentencia FOR para la generación de la rampa de aceleración y desaceleración tipo “Escalera”, se pudo notar que el sistema no realizó arranques y frenados bruscos, de lo que se puede concluir que se ha logrado diseñar un sistema que elimina los arranques y frenados bruscos.
- El control de velocidad fue diseñado con elementos fáciles de encontrar en el mercado nacional colombiano; es decir, el prototipo puede ser construido en el país. De esto se puede concluir que existe capacidad local para resolver este tipo de problemas.
- El sistema es capaz de moverse por un tiempo aproximado de 1 hora. De aquí se puede concluir que el usuario tendrá ciertas restricciones de tiempo para realizar sus actividades cotidianas para cumplir sus necesidades y requerimientos básicos de transporte.
- El sistema ofrece la misma funcionalidad y características de las sillas de ruedas eléctricas con mando manual que se encuentran en el mercado actual; es decir, aquellos sistemas que tienen control electrónico manual por Joystick. Considerando que este trabajo añade un diseño de silla de ruedas innovador, su bajo costo lo coloca al alcance de cualquier persona y su bajo peso genera mayor estabilidad al sistema.
- Al analizar los resultados de desplazamiento de la silla de ruedas se comprobó que con la pendiente de duración de 5 segundos en la sentencia FOR de las rampas de aceleración y desaceleración, el funcionamiento de la silla es el más adecuado, con lo que se puede concluir que con esta pendiente el usuario no tendrá problemas para moverse en espacios reducidos.
- Las pruebas realizadas permiten concluir que la velocidad de 0.5m/s (1.8km/h) es la mínima velocidad de cruce con la que el usuario puede desplazarse de manera óptima y sin que le cause molestias.
- Se concluye que al analizar todos los resultados de las pruebas realizadas al sistema que este proyecto “Diseño e implementación de sistema de propulsión y control para silla de ruedas”, cumple con los objetivos planteados.

- Tener la posibilidad de experimentar, probar, analizar, descartar y optimizar, es una de las mejores opciones que se tiene al desarrollar y mejorar un proyecto por la experiencia que adquiere.

10. RECOMENDACIONES

Después de realizado el trabajo, de la experiencia adquirida es posible emitir algunas recomendaciones, las cuales se nombran a continuación:

- En el desarrollo de cualquier sistema es de vital importancia cumplir con la normatividad vigente, en casos como este en donde se desarrolla un sistema que pretende ser una ayuda técnica para personas con discapacidad también es necesario cumplir la normatividad medica, este conglomerado de normas están regidas en nuestro país por el ICONTEC.
- Se recomienda utilizar baterías de mayor capacidad de A/h con el fin de prolongar el tiempo de autonomía de la silla, una batería de 60 A/h permite una autonomía de 3 horas y 15 minutos, es de aclarar que el peso de las baterías aumenta cuando se aumenta su capacidad de carga y no es recomendable aumentar mucho el peso de las baterías dado que esto disminuiría el límite de peso del usuario, para poder mantener el equilibrio del sistema.
- La comodidad y la duración del sistema son parámetros de alta importancia para cualquier implementación, se recomienda refrigerar de forma adecuada el circuito de potencia con el fin de impedir que este genere altas temperaturas que incomoden al usuario, esto también propiciará un buen funcionamiento de los dispositivos y prolongara la vida útil de los mismos.
- La calidad de los dispositivos utilizados representa un factor importante en el desempeño del sistema, se recomienda utilizar elementos de calidad que ofrezcan valores muy cercanos a los teóricos ante cualquier exigencia del sistema, de esta forma se evitarán fallos que toman tiempo en solucionarse ya que no dependen directamente del diseño matemático si no de las características de los dispositivos adquiridos.
- Se recomienda utilizar motores que posean caja turbo reductora de piñones metálicos, con el fin de reducir la vibración, el ruido, el desgaste prematuro de piezas plásticas y la pérdida de potencia en acoples acondicionados.
- Se recomienda utilizar un sistema que libere las ruedas del sistema de engranajes, el cual permita impulsar la silla de forma manual ante eventuales fallos del sistema o ante la descarga de las baterías de alimentación, en este caso también debería implementarse un sistema de frenado el cual bloquee las ruedas cuando el usuario como medida de seguridad.
- Los PWM debieron ser ajustados para variar el voltaje medio que llega hacia los motores, hasta igualar la rotación de las ruedas con el fin de generar un movimiento en línea de recta de forma continua. Se recomienda que este proceso

de calibración se realice de forma periódica para contrarrestar el desgaste de los engranajes, los motores y otras partes mecánicas.

- El correcto funcionamiento de las piezas mecánicas y elementos electrónicos ofrecerán un mayor nivel de confort para el usuario, además prolongarán la vida útil del sistema y la aceptación del mismo, por lo que se recomienda realizar inspecciones periódicas en todas las conexiones tanto eléctricas como mecánicas.
- Se recomienda para futuros proyectos añadir controles inteligentes que permitan evadir obstáculos y evitar choques ante la imposibilidad del usuario, de esta forma la gama de usuarios podría ampliarse a personas con discapacidad visual.
- Se recomienda para trabajos futuros añadir un sistema de reconocimiento de voz o de reconocimiento de iris, el cual permita a personas sin ningún movimiento en sus dedos utilizar la silla mediante el uso de palabras previamente establecidas o el movimiento de sus ojos respectivamente.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Cruz-Velandia, I., & Hernández-Jaramillo, J. (2008). Magnitud de la discapacidad en Colombia: una aproximación a sus determinantes. *Rev. Cienc. Salud*, 6(3), 23-35.
- [2] Schkolnik, S. (2010). América Latina: la medición de la discapacidad a partir de los censos y fuentes alternativas. *Los censos de 2010 y la salud*, 10.
- [3] González-Cruz, M. C., Aguilar-Zambrano, J., Córdoba, L., Chamorro, C., Valencia, A., & Valencia, M. (2009). Equipos multidisciplinares en el diseño de productos de apoyo para personas con discapacidad. *Revista Ingeniería e Investigación*, 3(29), 142-147.
- [4] Alcubierre, J. M., Minguez, J., Montesano, L., Montano, L., Saz, O., & Lleida, E. (2005). Silla de ruedas inteligente controlada por voz. In *Primer Congreso Internacional de Domótica, Robótica y Teleasistencia para Todos*. Madrid (España).
- [5] Richard, M. A., & Gentiletti, G. G. (2008, January). Plataforma Experimental de Interfaz Cerebro Computadora Orientada al Control de Sillas de Ruedas. In *IV Latin American Congress on Biomedical Engineering 2007, Bioengineering Solutions for Latin America Health* (pp. 1127-1130). Springer Berlin Heidelberg.
- [6] Cantis, J. G. (1993). *El discapacitado y su familia: aportes teórico clínicos*.
- [7] Díaz del Río, F. (2013). Análisis y evaluación del control de un robot móvil: Aplicación a sillas de ruedas eléctricas.
- [8] Muñoz Silva, J. E., & Paredes Freire, J. L. (2011). Diseño, construcción e implementación de un sistema de control a través de un joystick para el desplazamiento semiautomático de la silla de ruedas eléctrica modelo xfg-103fl.
- [9] Montenegro Jurado, C. R., & Villagran Salazar, E. J. (2009). Diseño e implementación de un prototipo de silla de ruedas eléctrica para la enseñanza en el manejo, conducción y orientación a personas con limitaciones físicas y adultos mayores.
- [10] Martos, J., Brizuela, G., & Sanchis, E. APLICACIÓN DE UN SISTEMA ERGOMÉTRICO PARA VALORACIÓN BIOMÉDICA Y ENTRENAMIENTO DE DEPORTISTAS USUARIOS DE SILLA DE RUEDAS.

[11] Castillo Nieto, G., & Huachupoma Quiroz, S. CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Diseño de silla de ruedas motorizada controlada por voz PROYECTO PROFESIONAL Para optar el título de: INGENIERO ELECTRÓNICO.

[12] Fausto, O. M., Valéria, M. C. E., Carlos, A. F., Carla, D. S. S., & Ana, M. A. (2011, January). La silla de ruedas como equipo de movilidad: historia y evolución. In V Congreso Latinoamericano de Ingeniería Biomédica (CLAIB2011).

[13] Oliveros Pantoja, I., & Hernández Donado, R. (2011). Bioingeniería Solución a problemas de las ciencias biológicas y médicas apoyados en la Ingeniería. Revista Científica Ingeniería y Desarrollo, (5), 105-111.

[14] “Ministerio de Educación – Accesibilidad de las personas al medio físico” www.mineducacion.gov.co/1621/articles-96894_Archivo_pdf.pdf Consultado en 15/10/2012.

[15] Mega, A. (2011). 2560. Internet: <http://arduino.cc/it/Main/ArduinoBoardMega2560>, [maj. 14, 2012].

[16] Wilcher, D. (2012). Motion Control with an Arduino: Servo and Stepper Motor Controls. In Learn Electronics with Arduino (pp. 89-117). Apress.

[17] Serway, R. A., & Jewett Jr, J. W. (2004). Física (Vol. 2). Cengage Learning Editores.

[18] “Ministerio de Educación – Vehículos automotores, baterías” http://www.acotaph.org/home/archivos/NTC_3729.pdf Consultado en 15/10/2012.

ANEXOS

Anexo A. Hoja de seguridad compuesto rígido PVC grado industrial.



HOJA DE SEGURIDAD DE MATERIALES COMPUESTO RIGIDO DE PVC - GRADO INDUSTRIAL

SECCIÓN I. IDENTIFICACION DE LA COMPAÑIA Y DEL PRODUCTO QUIMICO.

Nombre de la Compañía	:	C.I. MEXICHEM COMPUESTOS COLOMBIA S.A.S
Dirección de la Planta	:	Vía Mamonal Km. 8, Cartagena de Indias Colombia – Sur América
Dirección Oficina de Ventas	:	Autopista Sur #71-75 Bogotá D.C. - Colombia – Sur América
Teléfono Planta	:	(575) 6723150
Telefax Planta	:	(575) 6685111
Teléfono, Ventas	:	(571) 7750300
Fax, Ventas	:	(571) 6211500 / 6229117
Página Web	:	www.mexichem.com
Planta	:	afernandez@mexichem.com
Ventas	:	jccastellanos@mexichem.com
Servicio Técnico	:	Aportela@mexichem.com
Nombre Químico	:	Compuesto Flexible de Poli cloruro de vinilo
Número CAS	:	No Aplica
Uso del Producto	:	Aplicaciones Industriales.
Teléfono de Emergencia	:	(575) 6723150 (08:00 a 16:30 hrs.)

SECCIÓN II. COMPOSICIÓN E INFORMACIÓN SOBRE LOS INGREDIENTES REGULADOS

Componentes y/o descripción General:	Numero CAS:	%	Regulación
Poli cloruro de Vinilo	9002-86-2	80 / 90	NO REGULADO
Estabilizadores (Sales orgánicas de Sn)	57583-35-4	0.5 / 2.0	NO REGULADO
MBS	27965-85-1	0 / 11	NO REGULADO

SECCIÓN III. IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS

Esta mezcla de ingredientes no se ha evaluado en conjunto. Todos los ingredientes están limitados con el mínimo potencial para la exposición peligrosa. Sin embargo, durante el proceso se pueden desprender vapores como producto del calentamiento del compuesto. El usuario final (fabricante) debe tomar las precauciones necesarias (ventilación mecánica, protección respiratoria, etc.) para proteger a empleados contra la exposición. Vea las secciones VIII y XI para las precauciones especiales. Puede emitir el ácido clorhídrico o monóxido de carbono (CO) bajo condiciones fuego.

EFFECTOS POTENCIALES A LA SALUD:

Rutas de exposición : Inhalación, Ingestión, Contacto con la piel

Exposición Aguda

Inhalación : Partículas de resina y otros materiales inertes pueden ser irritables

Ingestión : Puede ser dañino si es tragado

Ojos : La Las partículas de la resina, como otros materiales inertes, son mecánicamente irritantes a los ojos.

Contacto con la piel : La experiencia no demuestra ningún peligro de dermatitis asociado al manejo adecuado del producto.

Exposición Crónica : Ver sección XI

SECCION IV. MEDIDAS PARA PRIMEROS AUXILIOS

Inhalación : En caso de inhalación de vapores de combustión, trasladar al paciente a un lugar ventilado. Conseguir atención médica.

Ingestión : Enjuagarse la boca, No induzca el vomito sin consultar a un medico.

Ojos : Lavarlos inmediatamente con abundante agua, por lo menos durante 10 minutos. Conseguir atención médica.

Contacto con la Piel : No es un peligro, sin embargo se recomienda tener lavar las manos con abundante jabón y agua, si la irritación persiste se recomienda conseguir atención médica.

SECCIÓN V. MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS

Punto de inflamación : No aplicable

Límites Inflamables

Límite de explosión alto : No aplicable

Límite de explosión Bajo : No aplicable

Temperatura del Auto ignición : No aplicable

Medios de extinción aplicables : Dióxido de carbono, agua en spray, polvo seco, espuma.

Equipo de Protección personal específico a utilizar en labores de combate de incendio: Equipo de respiración autónomo, Equipo de bombero completo.

SECCION VI. MEDIDAS QUE DEBEN TOMARSE EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL.

Precauciones personales : Use la protección personal apropiada durante limpieza, Evítese su ingestión e inhalación : Evitar el contacto con los ojos.

Contacto con la Piel y Ropa : No tiene efectos importantes

Precauciones ambientales : Evítese la contaminación en suelos, desagües y aguas superficiales

Medidas en caso de Vertido : Recoger y colocar el producto en recipientes adecuados para su u eliminación o posterior venta como producto Off grade (Si se requiere).

SECCION VII. MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

Manejo: Tome las medidas para prevenir la acumulación de la carga electrostática. Caliente solamente en áreas con la ventilación de extractor apropiada. El proceso de los condensados del humo puede contener residuo combustible o tóxico. Limpie periódicamente las capillas, los conductos, y otras superficies para reducir al mínimo la acumulación de estos.

Almacenamiento: Mantenga el compuesto empacado, seco y cerrado firmemente para evitar la absorción y la contaminación de la humedad. Mantenga un lugar seco, fresco.

SECCION VIII. CONTROLES DE EXPOSICIÓN Y PROTECCIÓN DEL PERSONAL

Protección respiratoria	: Utilice mascarilla si se expone al polvo (cuando se requiera) y/o cuando este en procesamiento el producto.
Protección del ojo/de la cara	: Utilice gafas de seguridad.
Protección de la mano	: Utilice guantes protectores.
Protección de la piel	: No implica efectos mayores.
Protección del cuerpo	: No implica efectos mayores. Manipular con las precauciones de higiene industrial adecuada.
Medidas de la ingeniería	: Caliente solamente en áreas con la ventilación de extractor apropiada. Proporcione la ventilación de extractor apropiada en la maquinaria.

SECCION IX. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Forma	: Sólido
Apariencia	: Gránulos, Pellets
Color	: Varios
Olor	: ligero
Punto de Ebullición	: No aplica
Punto de Fusión	: No determinado
Rata de Evaporación	: No aplica
Gravedad específica	: No determinada
Densidad Aparente	: No determinada
Presión de vapor	: No aplica
Densidad de Vapor	: No aplica
Solubilidad en agua	: Insoluble
pH	: No aplica

SECCION X. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD DEL PRODUCTO

Estabilidad	: Estable
Riesgos de Polimerización	: No ocurrirá

Condiciones que se deben evitar: Mantenga el compuesto alejado de agentes oxidantes y de la llama abierta. Para evitar la descomposición térmica, no se recaliente.

Incompatibilidad con otros materiales: Incompatible con los ácidos y oxidante fuertes, evite el contacto con homopolímeros del acetal y copo limeros del acetal durante el proceso.

Productos Peligrosos de la descomposición: El dióxido de carbono (CO₂), el monóxido de carbono (CO), los óxidos del nitrógeno (NO_x), otros materiales peligrosos, y el humo son todos posibles. El Calentamiento excesivo por periodos largos (aproximadamente 30 minutos) a temperaturas superiores a 200°C o periodos cortos a 250°C. puede resultar en una rápida generación de Cloruro de Hidrógeno y Monóxido de Carbono.

SECCIÓN XI. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

Precauciones Especiales: Evitar el contacto con los ojos y la piel.

No inhalar los vapores.

Se pueden formar vapores y humos ácidos o irritantes cuando se calienta el producto.

Toxicidad: El material no tiene peligros significantes de toxicidad

SECCIÓN XII. INFORMACIONES ECOLÓGICAS

Biodegradación en sistemas acuosos: Producto no soluble en agua.

Situación del impacto Ambiental: No es previsible un daño grave o permanente en el medio ambiente. Los materiales termoplásticos pueden emitir vapores cuando se calientan a las temperaturas de proceso. Use el producto con buenas condiciones de ventilación y evite respirar durante tiempos prolongados los vapores generados durante el proceso.

SECCIÓN XIII. CONSIDERACIONES SOBRE LA ELIMINACION

Producto: Este producto puede ser reciclado, La incineración no es la más adecuada por los vapores generados.

Empaque: El empaque puede ser reciclado. El generador del material de desecho tiene la responsabilidad de la clasificación inútil apropiada, transporte y disposición de acuerdo con normas aplicable.

SECCIÓN IXV. INFORMACIÓN RELATIVA AL TRANSPORTE

Transporte – Carretera: Ninguna Restricción - Aplica

Transporte Aéreo: Ninguna Restricción - Aplica

Transporte Marítimo: Ninguna Restricción - Aplica

SECCIÓN XV. INFORMACIÓN REGLAMENTARIA

Información Reglamentaria: No requerida

Clasificación de los grados de riesgo:

Riesgo de inflamabilidad: 0

Riesgo para la salud: 0

Riesgo de reactividad: 0

Riesgos especiales: N.A.

SECCIÓN XVI. OTRAS INFORMACIONES

Empaque:

Cada producto es empacado en bolsa de 25 Kg. o Big Bag, con la siguiente información:

- ⇒ Sector correspondiente: Rigido: Durovin, Vinildur.
- ⇒ Referencia del producto.
- ⇒ Numero de lote y estiba o Numero del Big Bag correspondiente.

Consideraciones para el almacenamiento: Almacene siempre en su empaque original intacto, en área fresca, seca y ventilada, Lejos de fuentes de calor.

Anexo B. Ficha técnica PVC.



... TUBERÍA DE PVC ORIENTADO (PVC-O)

Normativa aplicable

- UNE-ISO 16422: 2008 (España) "Tubos y Uniones de polícloruro de vinilo) orientado (PVC-O) para conducción de agua a presión".
- NF T54-948: 2010 (Francia) "Tubes en poly(chlorure de vinyle) orienté biaxial (PVC-BO) et leurs assemblages".
- SANS 16422: 2007 (Sudáfrica) "Pipes and joints made of oriented unplasticized poly(vinyl) chloride (PVC-O) for the conveyance of water under pressure".



Gama y dimensiones

Tubería			TOM							
Clase de Material			PVC-O 500							
Presión Nominal (bar)			PN 12,5		PN 16		PN20		PN25	
Diámetro Nominal (DN)	Diámetro exterior (OD)		Diámetro Interior (ID)	Espesor Nominal (e)	Diámetro Interior (ID)	Espesor Nominal (e)	Diámetro Interior (ID)	Espesor Nominal (e)	Diámetro Interior (ID)	Espesor Nominal (e)
	mín.	max.								
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	50,10
90	90,0	90,3	-	-	84,4	2,0	84,0	2,5	82,2	3,1
110	110,0	110,4	104,4	2,4	104,0	2,4	103,2	3,1	101,4	3,8
140	140,0	140,5	133,0	3,0	132,4	3,1	131,2	3,9	129,2	4,8
160	160,0	160,5	152,0	3,5	151,4	3,5	150,0	4,4	147,6	5,5
200	200,0	200,6	190,0	4,3	189,2	4,4	187,4	5,5	184,4	6,9
225	225,0	225,7	213,6	4,9	212,8	5,0	210,8	6,2	207,4	7,7
250	250,0	250,8	237,4	5,4	236,4	5,5	234,2	6,9	230,6	8,6
315	315,0	316,0	299,2	6,8	298,0	6,9	295,2	8,7	290,6	10,8
400	400,0	401,2	379,8	8,7	378,4	8,8	374,8	11,0	369,0	13,7
500	500,0	501,5	474,6	10,9	472,8	11,0	468,6	13,7	461,2	17,1
630	630,0	631,9	597,8	13,8	595,8	13,8	590,4	17,3	581,0	21,6

Las tuberías de PVC-O TOM se suministran en longitudes totales (incluyendo la longitud de embocadura) de 6 metros.
Para otros diámetros y presiones nominales consultar.
Disponible en color azul (abastecimiento), morado (reutilización) y blanco (resistente a los rayos UV). Otros colores consultar.

Embalaje

DN	Tubos/ palet	Palet/ camión	Tubos/ camión	Metros ⁽¹⁾ / camión	Anchura palet	Altura palet	Longitud palet	Peso del palet		
								PN16	PN20	PN25
mm	tubos	palet	tubos	m	mm	mm	mm	kg	kg	kg
90	68	16	1104	6624	1200	600	6300	540	550	670
110	76	12	912	5472	1200	850	6300	750	790	980
140	39	12	468	2908	1100	850	6350	610	650	800
160	28	12	336	2016	1100	800	6350	560	610	760
200	18	12	216	1296	1100	800	6350	540	610	760
225	11	12	132	792	1050	800	6400	450	610	600
250	11	12	132	792	1100	800	6400	510	590	730
315	13	8	92-104	546-624	2300	700	6450	960	1100	1350
400	9	6	54	324	2100	850	6450	1070	1250	1500
500	4	6	32	192	2300	650	6450	750	900	1050
630	3	6	18	108	1900	800	6500	800	1050	1250

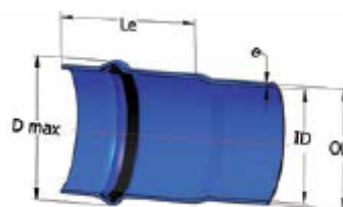
(1) Metros nominales (6 metros por tubo). Para obtener los metros efectivos se debe restar la longitud de embocadura.

TUBERÍA DE PVC ORIENTADO (PVC-O) ...

Sistema de unión y Junta de estanqueidad

El sistema de unión se realiza mediante la introducción del macho del tubo en la embocadura de otro en el que se encuentra una junta elástica. La junta de estanqueidad está compuesta por un anillo de PP y un labio de caucho sintético que hacen que forme parte integral del tubo, impidiendo que se desplace de su alojamiento o que sea arrollada en el montaje.

Diámetro Nominal (DN)	Longitud embocadura (L _e)	Diámetro máximo (D max)
mm	mm	mm
90	170	117
110	175	140
140	190	174
160	200	197
200	225	243
225	250	271
250	270	301
315	325	374
400	375	472
500	375	587
630	425	710



Conformidad sanitaria y para uso con agua potable

Ensayos de conformidad con el Real Decreto 140/2003: "Criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano".



Ensayos de conformidad con el Real Decreto 866/2008: "Materiales y objetos plásticos destinados a entrar en contacto con los alimentos".

Certificación ACS (Attestation de Conformité Sanitaire) conforme a la legislación del ministerio de sanidad francés.

Certificación HYDROCHECK conforme a los requerimientos belgas emitido por Belgaqua (Federation Belge du Secteur de l'eau).

Marcado de la tubería

Todas las tuberías están marcadas para garantizar la trazabilidad:

	Marca N	Marca NF
Empresa fabricante y Marca comercial	MOLECOR TOM	MOLECOR TOM
Certificación de producto ⁽¹⁾	AENOR  001/000884	72/01 
Material y Clase	PVC-O 500	PVC-BO
Diámetro, espesor y presión nominal	200 x 4,4 - PN 16	200 - PN 16 BARS
Coefficiente de servicio C	C 1,4	-
Fecha - Hora - Lote	17:34 - 16/06/08 - 0012	17:34 - 16/06/08 - 0012
Norma de referencia	UNE-ISO 16422	NFT 54-948



(1) En las referencias que se encuentran certificadas. Los certificados actualizados se pueden descargar en www.molecor.com

Características técnicas

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LA TUBERÍA	Tubería TOM PVC-O 500			
	12,5	16	20	25
Presión Nominal (bares)	12,5	16	20	25
Clase de material	500			
MRS (MPa)	50			
Coefficiente global de servicio (C)	1,4 ⁽¹⁾			
Esfuerzo de diseño (MPa)	36			
Presión mínima de rotura a 50 años (bares) ⁽²⁾	17,5	22,4	28,0	35,0
Presión mínima de rotura a 10 horas (bares) ⁽²⁾	25,0	30,0	37,0	48,0
Presión mínima de rotura a reventamiento (bares) ⁽²⁾	32,0	38,0	48,0	60,0
Presión de prueba máxima en obra (bares) ⁽²⁾	17,5	21,0	25,0	30,0
Rigidez Circunferencial (kN/m ²)	> 5	> 7	>11	>20
Relación de dimensiones (SDR)	51,0	45,8	38,0	29,0
Módulo de elasticidad a corto plazo (MPa)	4.000	> 4.000		
Resistencia a tracción axial (MPa)	> 48			
Resistencia a tracción tangencial (MPa)	> 85			

(1) La norma NF T 54-948 diseña con un coeficiente global de servicio de 1,25

(2) a la temperatura de 20°C

(3) según norma UNE-EN 805:2000 con golpe de arriete estimado

OTRAS CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL	Unidades	Valor
Densidad	Kg/dm ³	1,35 - 1,46
Valor k resina de PVC		> 64
Dureza Shore D a 20°C		81 - 85
Coefficiente de Poisson		0,35 - 0,41
Temperatura Vicat	°C	> 80
Coefficiente de dilatación lineal	°C ⁻¹	0,8-10 ⁻⁴
Conductividad térmica	Kcal/mh°C	0,14 - 0,18
Calor específico a 20°C	cal/g°C	0,20 - 0,28
Rigidez dieléctrica	Kv/mm	20 - 40
Constante dieléctrica a 60 Hz		3,2 - 3,6
Resistividad transversal a 20°C	Ω/cm	> 1016
Rugosidad absoluta (ka)	mm	0,007
Rugosidad C (Hazen-Williams)		150
Coefficiente de rugosidad de Manning (n)		0,009

Características de la junta de estanqueidad	Unidades	Valor
Dureza del elastómero	IRHD	60±5

Sistema de Gestión de la Calidad

Certificado por AENOR conforme con la norma UNE-ISO 9001:2008 para la actividad de: "La producción de tubería de Poli(Cloriguro de Vinilo) Orientado (PVC-O) para transporte de fluidos a presión".



TUBERÍA DE PVC ORIENTADO (PVC-O) ...

Ensayos sobre la tubería

Ensayos	TOM PVC-O 500			
	PN 12,5	PN 16	PN 20	PN 25
	Parámetros de ensayo			
Dimensionales ⁽¹⁾	Según DN	Según DN	Según DN	Según DN
Densidad	1370 a 1430 kg/m ³			
Resistencia al impacto (0°C) ⁽²⁾				
	Ø110	124 N·m		
	Ø140, Ø160	157 N·m		
	Ø200	190 N·m		
	Ø225, Ø250, Ø315, Ø400, Ø500, Ø630	245 N·m		
Rigidez anular	> 5 kN/m ²	> 7 kN/m ²	> 11 kN/m ²	> 20 kN/m ²
Resistencia a la tracción longitudinal	> 48 MPa			
Resistencia a presión interna				
	10 horas – 20°C	25,0 bares	30,0 bares	37,0 bares
	1000 horas – 20°C	22,0 bares	26,0 bares	33,0 bares
	1000 horas – 60°C	11,5 bares	14,0 bares	17,5 bares
Resistencia a presión interna de la embocadura				
	10 horas – 20°C	25,0 bares	30,0 bares	37,0 bares
Estanqueidad de las uniones a presión interna y desviación angular (20°C – ángulo: 2°)	Ciclo de 0 a 25 bares	Ciclo de 0 a 32 bares	Ciclo de 0 a 40 bares	Ciclo de 0 a W50 bares
Estanqueidad de las uniones a presión negativa (20°C – ángulo: 2° - deformación: 5%)	Ciclo de hasta - 0,8 bares			
Estanqueidad de las uniones a presión interna cíclica (24.000 ciclos – 20°C – sin desviación angular ni deformación diametral)	Ciclo de 6,3 a 12,5 bares	Ciclo de 8 a 16 bares	Ciclo de 10 a 20 bares	Ciclo de 12,5 a 25 bares
Estanqueidad a presión interna a largo plazo				
	1000 horas – 20°C	17,5 bares	22,4 bares	28,0 bares
	1000 horas – 40°C	13,8 bares	17,6 bares	22,0 bares

(1) Diámetro exterior medio, espesor de pared, ovalación, dimensiones de la embocadura, longitudes

(2) Energía del Impacto de un peso (según DN) desde una altura de caída de 2 metros a probetas atemperadas a 0°C

Ensayos sobre el ensamblaje de la tubería y accesorios de fundición

Ensayos	TOM PVC-O 500		
	PN 16	PN 20	PN 25
	Parámetros de ensayo		
Estanqueidad de las uniones a presión interna y desviación angular (20°C – Desviación: DN ≤ 300: 3°30'; 350 ≤ DN ≤ 400: 2°30')	29,0 bares (2 horas)	35,0 bares (2 horas)	42,5 bares (2 horas)
Estanqueidad de las uniones a presión negativa (20°C – Desviación: DN ≤ 300: 3°30'; 350 ≤ DN ≤ 400: 2°30')	-0,8 bares (2 horas)		
Estanqueidad de las uniones a presión interna cíclica (24.000 ciclos – 20°C – sin desviación angular ni deformación diametral)	Ciclo de 8 a 16 bares	Ciclo de 10 a 20 bares	Ciclo de 12,5 a 25 bares

Tablas de pérdida de carga (J): TOM PVC-O 500 PN16

Diámetro Interior	DN90		DN110		DN140		DN160		DN200		DN225		DN250		DN315		DN400		DN500		DN630	
	84,0		104,0		132,4		151,4		189,2		212,8		236,4		298,0		378,4		472,8		595,8	
velocidad (m/s)	caudal	J	caudal	J	caudal	J	caudal	J	caudal	J	caudal	J	caudal	J	caudal	J	caudal	J	caudal	J	caudal	J
	l/s	m³/km	l/s	m³/km	l/s	m³/km	l/s	m³/km	l/s	m³/km	l/s	m³/km	l/s	m³/km	l/s	m³/km	l/s	m³/km	l/s	m³/km	l/s	m³/km
0,1	0,55	0,16	0,95	0,13	1,38	0,09	1,80	0,08	2,81	0,06	3,56	0,05	4,39	0,05	6,97	0,04	11,2	0,03	17,6	0,02	27,9	0,02
0,2	1,11	0,58	1,70	0,45	2,75	0,34	3,60	0,29	5,62	0,22	7,11	0,20	8,78	0,17	13,9	0,13	22,5	0,10	35,1	0,08	55,8	0,06
0,3	1,66	1,23	2,55	0,96	4,13	0,72	5,40	0,62	8,43	0,48	10,7	0,42	13,2	0,37	20,9	0,28	33,7	0,21	52,7	0,16	83,6	0,12
0,4	2,22	2,09	3,40	1,63	5,51	1,23	7,20	1,05	11,2	0,81	14,2	0,71	17,6	0,63	27,9	0,48	45,0	0,36	70,2	0,28	111,5	0,21
0,5	2,77	3,17	4,25	2,47	6,88	1,86	9,00	1,59	14,1	1,23	17,8	1,07	21,9	0,95	34,9	0,72	56,2	0,55	87,8	0,42	139,4	0,32
0,6	3,33	4,44	5,10	3,46	8,26	2,61	10,8	2,23	16,9	1,72	21,3	1,50	26,3	1,33	41,8	1,01	67,5	0,77	105,3	0,59	167,3	0,45
0,7	3,88	5,90	5,95	4,00	9,64	3,47	12,6	2,97	19,7	2,29	24,9	1,99	30,7	1,76	48,8	1,35	78,7	1,02	122,9	0,79	195,2	0,60
0,8	4,43	7,56	6,90	5,89	11,0	4,44	14,4	3,80	22,5	2,98	28,5	2,55	35,1	2,26	55,8	1,72	90,0	1,30	140,5	1,01	223,0	0,77
0,9	4,99	9,40	7,05	7,33	12,4	5,53	16,2	4,73	25,3	3,64	32,0	3,18	39,5	2,81	62,8	2,14	101,2	1,62	158,0	1,25	250,9	0,96
1,0	5,54	11,43	8,49	8,91	13,8	6,72	18,0	5,75	28,1	4,43	35,6	3,86	43,9	3,42	69,7	2,61	112,5	1,97	175,6	1,52	278,8	1,16
1,1	6,10	13,6	9,34	10,6	15,1	8,02	19,8	6,85	30,9	5,28	41,1	5,04	48,3	4,08	76,7	3,11	123,7	2,35	193,1	1,81	306,7	1,39
1,2	6,7	16,0	10,2	12,5	16,5	9,42	21,6	8,05	33,7	6,21	42,7	5,41	52,7	4,79	83,7	3,65	135,0	2,77	210,7	2,13	334,6	1,63
1,3	7,2	18,6	11,0	14,5	17,9	10,9	23,4	9,34	36,5	7,20	46,2	6,28	57,1	5,55	90,7	4,24	146,2	3,21	228,2	2,47	362,4	1,89
1,4	7,8	21,3	11,9	16,6	19,3	12,5	25,2	10,7	39,4	8,26	49,8	7,20	61,4	6,37	97,6	4,86	157,4	3,68	245,8	2,84	390,3	2,17
1,5	8,3	24,2	12,7	18,9	20,7	14,2	27,0	12,2	42,2	9,39	53,3	8,18	65,8	7,24	104,6	5,52	168,7	4,18	263,4	3,22	418,2	2,46
1,6	8,9	27,3	13,6	21,3	22,0	16,0	28,8	13,7	45,0	10,6	56,9	9,22	70,2	8,16	111,6	6,23	179,9	4,71	280,9	3,63	446,1	2,77
1,7	9,4	30,5	14,4	23,8	23,4	18,0	30,6	15,4	47,8	11,8	60,5	10,32	74,6	9,13	118,6	6,96	191,2	5,27	298,5	4,06	474,0	3,10
1,8	10,0	33,9	15,3	26,4	24,8	20,0	32,4	17,1	50,6	13,2	64,0	11,5	79,0	10,1	125,5	7,74	202,4	5,86	316,0	4,52	501,8	3,45
1,9	10,5	37,5	16,1	29,2	26,2	22,1	34,2	18,9	53,4	14,5	67,6	12,7	83,4	11,2	132,5	8,56	213,7	6,48	333,6	4,99	529,7	3,81
2,0	11,1	41,2	17,0	32,1	27,5	24,3	36,0	20,7	56,2	16,0	71,1	13,9	87,8	12,3	139,5	9,41	224,9	7,12	351,1	5,49	557,6	4,19
2,1	11,6	45,1	17,8	35,2	28,9	26,5	37,8	22,7	59,0	17,5	74,7	15,3	92,2	13,5	146,5	10,3	236,2	7,79	368,7	6,01	585,5	4,50
2,2	12,2	49,2	18,7	38,4	30,3	28,9	39,6	24,7	61,9	19,1	78,2	16,6	96,6	14,7	153,4	11,2	247,4	8,50	386,2	6,55	613,4	5,09
2,3	12,7	53,4	19,5	41,6	31,7	31,4	41,4	26,9	64,7	20,7	81,8	18,1	101,0	16,0	160,4	12,2	258,7	9,23	403,8	7,11	641,2	5,43
2,4	13,3	57,8	20,4	45,1	33,0	34,0	43,2	29,1	67,5	22,4	85,4	19,5	105,3	17,3	167,4	13,2	269,9	9,98	421,4	7,70	669,1	5,88
2,5	13,9	62,4	21,2	48,6	34,4	36,7	45,0	31,4	70,3	24,2	88,9	21,1	109,7	18,6	174,4	14,2	281,1	10,8	438,9	8,30	697,0	6,34
2,6	14,4	67,1	22,1	52,3	35,8	39,4	46,8	33,7	73,1	26,0	92,5	22,7	114,1	20,0	181,3	15,3	292,4	11,6	456,5	8,93	724,9	6,82
2,7	15,0	71,9	22,9	56,0	37,2	42,3	48,6	36,2	75,9	27,9	96,0	24,3	118,5	21,5	188,3	16,4	303,6	12,4	474,0	9,57	752,8	7,31
2,8	15,5	76,9	23,8	59,9	38,5	45,2	50,4	38,7	78,7	29,8	99,6	26,0	122,9	23,0	195,3	17,5	314,9	13,3	491,6	10,2	780,6	7,82
2,9	16,1	82,1	24,6	64,0	39,9	48,3	52,2	41,3	81,5	31,8	103,1	27,7	127,3	24,5	202,3	18,7	326,1	14,2	509,1	10,9	808,5	8,34
3,0	16,6	87,4	25,5	68,1	41,3	51,4	54,0	43,9	84,3	33,9	106,7	29,5	131,7	26,1	209,2	19,9	337,4	15,1	526,7	11,6	836,4	8,88
3,1	17,2	92,9	26,3	72,4	42,7	54,6	55,8	46,7	87,2	36,0	110,3	31,4	136,1	27,8	216,2	21,2	348,6	16,0	544,3	12,4	864,3	9,44
3,2	17,7	98,5	27,2	76,8	44,1	57,9	57,6	49,5	90,0	38,2	113,8	33,3	140,5	29,4	223,2	22,5	359,9	17,0	561,8	13,1	892,2	10,0
3,3	18,3	104,3	28,0	81,3	45,4	61,3	58,4	52,4	92,8	40,4	117,4	35,2	144,8	31,2	230,2	23,8	371,1	18,0	579,4	13,9	920,0	10,6
3,4	18,8	110,2	28,9	85,9	46,8	64,8	61,2	55,4	95,6	42,7	120,9	37,2	149,2	32,9	237,1	25,1	382,4	19,0	596,9	14,7	947,9	11,2
3,5	19,4	116,3	29,7	90,6	48,2	68,4	63,0	58,5	98,4	45,1	124,5	39,3	153,6	34,8	244,1	26,5	393,6	20,1	614,5	15,5	975,8	11,8
3,6	20,0	122,5	30,6	95,5	49,6	72,0	64,8	61,6	101,2	47,5	128,0	41,4	158,0	36,6	251,1	28,0	404,9	21,2	632,0	16,3	1003,7	12,5
3,7	20,5	128,9	31,4	100,5	50,9	75,8	66,6	64,8	104,0	50,0	131,6	43,6	162,4	38,5	258,1	29,4	416,1	22,3	649,6	17,2	1031,6	13,1
3,8	21,1	135,4	32,3	105,5	52,3	79,6	68,4	68,1	106,8	52,5	135,2	45,8	166,8	40,5	265,0	30,9	427,3	23,4	667,2	18,0	1059,4	13,8
3,9	21,6	142,1	33,1	110,7	53,7	83,5	70,2	71,4	109,6	55,1	138,7	48,0	171,2	42,5	272,0	32,4	438,6	24,5	684,7	18,9	1087,3	14,4
4,0	22,2	148,9	34,0	116,1	55,1	87,6	72,0	74,9	112,5	57,7	142,3	50,3	175,6	44,5	279,0	34,0	449,8	25,7	702,3	19,8	1115,2	15,1

TUBERÍA DE PVC ORIENTADO (PVC-O) ...

Tablas de pérdida de carga (J): TOM PVC-O 500 PN20

Diámetro Interior	DN90		DN110		DN140		DN160		DN200		DN225		DN250		DN315		DN400		DN500		DN630	
	84,0		103,2		131,2		150,0		187,4		210,8		234,2		295,2		374,8		468,6		590,4	
velocidad	caudal	J	caudal	J	caudal	J	caudal	J	caudal	J	caudal	J	caudal	J	caudal	J	caudal	J	caudal	J	caudal	J
(m/s)	l/s	m ³ /km	l/s	m ³ /km	l/s	m ³ /km	l/s	m ³ /km	l/s	m ³ /km	l/s	m ³ /km	l/s	m ³ /km	l/s	m ³ /km	l/s	m ³ /km	l/s	m ³ /km	l/s	m ³ /km
0,1	0,95	0,16	0,84	0,13	1,35	0,10	1,77	0,08	2,76	0,06	3,49	0,05	4,31	0,05	6,84	0,04	11,0	0,03	17,2	0,02	27,4	0,02
0,2	1,11	0,58	1,67	0,46	2,70	0,34	3,53	0,29	5,52	0,23	6,98	0,20	8,62	0,18	13,7	0,13	22,1	0,10	34,5	0,08	54,8	0,06
0,3	1,60	1,23	2,51	0,97	4,06	0,73	5,30	0,62	8,27	0,48	10,5	0,42	12,9	0,37	20,5	0,28	33,1	0,21	51,7	0,17	82,1	0,13
0,4	2,22	2,09	3,35	1,65	5,41	1,24	7,07	1,06	11,0	0,82	14,0	0,72	17,2	0,63	27,4	0,48	44,1	0,37	69,0	0,29	109,5	0,22
0,5	2,77	3,17	4,18	2,49	6,76	1,88	8,84	1,61	13,9	1,24	17,5	1,08	21,5	0,96	34,2	0,73	55,2	0,55	86,2	0,43	136,9	0,33
0,6	3,33	4,44	5,02	3,49	8,11	2,64	10,6	2,26	16,5	1,74	20,9	1,52	25,8	1,34	41,1	1,02	66,2	0,77	103,5	0,60	164,3	0,46
0,7	3,88	5,90	5,90	4,64	9,46	3,51	12,4	3,00	19,3	2,31	24,4	2,02	30,2	1,78	47,9	1,36	77,2	1,03	120,7	0,79	191,6	0,61
0,8	4,43	7,56	6,09	5,94	10,8	4,49	14,1	3,84	22,1	2,90	27,9	2,58	34,5	2,28	54,8	1,74	88,3	1,32	138,0	1,02	219,0	0,78
0,9	4,99	9,40	7,53	7,39	12,2	5,59	15,9	4,78	24,8	3,69	31,4	3,21	38,8	2,84	61,6	2,17	99,3	1,64	155,2	1,26	246,4	0,97
1,0	5,54	11,43	8,36	8,99	13,5	6,79	17,7	5,81	27,6	4,48	34,9	3,90	43,1	3,45	68,4	2,64	110,3	1,99	172,5	1,54	273,8	1,17
1,1	6,10	13,6	9,20	10,7	14,9	8,10	19,4	6,93	30,3	5,34	38,4	4,66	47,4	4,12	75,3	3,14	121,4	2,38	189,7	1,83	301,1	1,40
1,2	6,7	16,0	10,0	12,6	16,2	9,52	21,2	8,14	33,1	6,28	41,9	5,47	51,7	4,84	82,1	3,69	132,4	2,90	207,0	2,15	329,5	1,65
1,3	7,2	18,6	10,9	14,6	17,6	11,0	23,0	9,44	35,9	7,28	45,4	6,35	56,0	5,61	89,0	4,28	143,4	3,24	224,2	2,50	355,9	1,91
1,4	7,8	21,3	11,7	16,8	18,9	12,7	24,7	10,8	38,6	8,35	48,9	7,28	60,3	6,44	95,8	4,82	154,5	3,72	241,4	2,97	383,3	2,19
1,5	8,3	24,2	12,5	19,0	20,3	14,4	26,5	12,3	41,4	9,49	52,4	8,27	64,6	7,32	102,7	5,58	165,5	4,23	258,7	3,26	410,7	2,49
1,6	8,9	27,3	13,4	21,5	21,6	16,2	28,3	13,9	44,1	10,7	55,8	9,32	68,9	8,25	109,5	6,29	176,5	4,76	275,9	3,67	438,0	2,80
1,7	9,4	30,5	14,2	24,0	23,0	18,1	30,0	15,5	46,9	12,0	59,3	10,43	73,2	9,23	116,4	7,04	187,6	5,33	293,2	4,11	465,4	3,14
1,8	10,0	33,9	15,1	26,7	24,3	20,2	31,8	17,3	49,6	13,3	62,8	11,6	77,5	10,3	123,2	7,83	198,6	5,92	310,4	4,57	492,8	3,49
1,9	10,5	37,5	15,9	29,5	25,7	22,3	33,6	19,1	52,4	14,7	66,3	12,8	81,8	11,3	130,0	8,65	209,6	6,55	327,7	5,05	520,2	3,85
2,0	11,1	41,2	16,7	32,4	27,0	24,5	35,3	21,0	55,2	16,2	69,8	14,1	86,2	12,5	136,9	9,52	220,7	7,20	344,9	5,55	547,5	4,24
2,1	11,6	45,1	17,6	35,5	28,4	26,8	37,1	22,9	57,9	17,7	73,3	15,4	90,5	13,6	143,7	10,4	231,7	7,88	362,2	6,07	574,9	4,64
2,2	12,2	49,2	18,4	38,7	29,7	29,2	38,9	25,0	60,7	19,3	76,8	16,8	94,8	14,9	150,6	11,4	242,7	8,59	379,4	6,62	602,3	5,06
2,3	12,7	53,4	19,2	42,0	31,1	31,8	40,6	27,2	63,4	20,9	80,3	18,3	99,1	16,1	157,4	12,3	253,8	9,33	396,7	7,19	629,7	5,49
2,4	13,3	57,8	20,1	45,5	32,4	34,4	42,4	29,4	66,2	22,7	83,8	19,8	103,4	17,5	164,3	13,3	264,8	10,09	413,9	7,78	657,0	5,94
2,5	13,9	62,4	20,9	49,0	33,8	37,1	44,2	31,7	69,0	24,4	87,3	21,3	107,7	18,8	171,1	14,4	275,8	10,9	431,2	8,39	684,4	6,41
2,6	14,4	67,1	21,7	52,7	35,2	39,9	45,9	34,1	71,7	26,3	90,7	22,9	112,0	20,3	177,9	15,5	286,9	11,7	448,4	9,02	711,8	6,89
2,7	15,0	71,9	22,6	56,6	36,5	42,7	47,7	36,6	74,5	28,2	94,2	24,6	116,3	21,7	184,8	16,6	297,9	12,6	465,6	9,67	739,2	7,39
2,8	15,5	76,9	23,4	60,5	37,9	45,7	49,5	39,1	77,2	30,2	97,7	26,3	120,6	23,2	191,6	17,7	308,9	13,4	482,9	10,3	766,6	7,90
2,9	16,1	82,1	24,3	64,6	39,2	48,8	51,2	41,7	80,0	32,2	101,2	28,0	124,9	24,8	198,5	18,9	320,0	14,3	500,1	11,0	793,9	8,43
3,0	16,6	87,4	25,1	68,7	40,6	51,9	53,0	44,4	82,7	34,3	104,7	29,9	129,2	26,4	205,3	20,2	331,0	15,3	517,4	11,8	821,3	8,98
3,1	17,2	92,9	25,9	73,0	41,9	55,2	54,8	47,2	85,5	36,4	108,2	31,7	133,5	28,1	212,2	21,4	342,0	16,2	534,6	12,5	848,7	9,54
3,2	17,7	98,5	26,8	77,5	43,3	58,5	56,5	50,1	88,3	38,6	111,7	33,7	137,9	29,8	219,0	22,7	353,1	17,2	551,9	13,3	876,1	10,1
3,3	18,3	104,3	27,6	82,0	44,6	62,0	58,3	53,0	91,0	40,9	115,2	35,6	142,2	31,5	225,9	24,1	364,1	18,2	569,1	14,0	903,4	10,7
3,4	18,8	110,2	28,4	86,7	46,0	65,5	60,1	56,0	93,8	43,2	118,7	37,7	146,5	33,3	232,7	25,4	375,1	19,2	586,4	14,8	930,8	11,3
3,5	19,4	116,3	29,3	91,4	47,3	69,1	61,9	59,1	96,5	45,6	122,2	39,7	150,8	35,1	239,5	26,8	386,2	20,3	603,6	15,6	958,2	11,9
3,6	20,0	122,5	30,1	96,3	48,7	72,8	63,6	62,3	99,3	48,0	125,6	41,9	155,1	37,0	246,4	28,3	397,2	21,4	620,9	16,5	985,6	12,6
3,7	20,5	128,9	30,9	101,4	50,0	76,6	65,4	65,5	102,1	50,5	129,1	44,0	159,4	39,0	253,2	29,7	408,2	22,5	638,1	17,3	1012,9	13,2
3,8	21,1	135,4	31,8	106,5	51,4	80,5	67,2	68,8	104,8	53,1	132,6	46,3	163,7	40,9	260,1	31,2	419,2	23,6	655,4	18,2	1040,3	13,9
3,9	21,6	142,1	32,6	111,7	52,7	84,4	69,9	72,2	107,6	56,7	136,1	48,6	168,0	42,9	266,9	32,8	430,3	24,8	672,6	19,1	1067,7	14,6
4,0	22,2	148,9	33,5	117,1	54,1	88,5	70,7	75,7	110,3	59,4	139,6	50,9	172,3	45,0	273,8	34,3	441,3	26,0	689,8	20,0	1095,1	15,3

Tablas de pérdida de carga (J): TOM PVC-O 500 PN25

Diámetro Interior	DN90		DN110		DN140		DN160		DN200		DN225		DN250		DN315		DN400		DN500		DN630	
	82,2		101,4		129,2		147,6		184,4		207,4		230,6		290,6		369,0		461,2		581,0	
velocidad	caudal	J	caudal	J	caudal	J	caudal	J	caudal	J	caudal	J	caudal	J	caudal	J	caudal	J	caudal	J	caudal	J
(m/s)	l/s	m³/km	l/s	m³/km	l/s	m³/km	l/s	m³/km	l/s	m³/km	l/s	m³/km	l/s	m³/km	l/s	m³/km	l/s	m³/km	l/s	m³/km	l/s	m³/km
0,1	0,53	0,16	0,81	0,13	1,31	0,10	1,71	0,08	2,67	0,06	3,38	0,06	4,18	0,05	6,63	0,04	10,7	0,03	16,7	0,02	26,5	0,02
0,2	1,06	0,59	1,62	0,47	2,62	0,35	3,42	0,30	5,34	0,23	6,76	0,20	8,36	0,18	13,3	0,14	21,4	0,10	33,4	0,08	53,0	0,06
0,3	1,59	1,26	2,42	0,99	3,93	0,74	5,13	0,64	8,01	0,49	10,1	0,43	12,5	0,39	19,9	0,29	32,1	0,22	50,1	0,17	79,5	0,13
0,4	2,12	2,15	3,23	1,68	5,24	1,27	6,84	1,08	10,7	0,84	13,5	0,73	16,7	0,64	26,5	0,49	42,8	0,37	66,8	0,29	106,0	0,22
0,5	2,65	3,25	4,04	2,54	6,56	1,92	8,56	1,64	13,4	1,26	16,9	1,10	20,9	0,97	33,2	0,74	53,5	0,56	83,5	0,43	132,6	0,33
0,6	3,18	4,55	4,85	3,56	7,87	2,68	10,3	2,30	16,0	1,77	20,3	1,55	25,1	1,37	39,8	1,04	64,2	0,79	100,2	0,61	159,1	0,46
0,7	3,71	6,05	5,65	4,74	9,18	3,57	12,0	3,06	18,7	2,36	23,6	2,06	29,2	1,82	40,4	1,39	74,9	1,05	116,9	0,81	185,6	0,62
0,8	4,25	7,75	6,46	6,07	10,5	4,57	13,7	3,91	21,4	3,02	27,0	2,63	33,4	2,33	53,1	1,78	85,6	1,34	133,6	1,04	212,1	0,79
0,9	4,78	9,64	7,27	7,55	11,8	5,69	15,4	4,87	24,0	3,76	30,4	3,27	37,6	2,89	59,7	2,21	96,2	1,67	150,4	1,29	238,6	0,98
1,0	5,31	11,72	8,08	9,17	13,1	6,91	17,1	5,92	26,7	4,56	33,8	3,98	41,8	3,52	66,3	2,68	106,9	2,03	167,1	1,57	265,1	1,20
1,1	5,84	14,0	8,98	10,9	14,4	8,25	18,8	7,06	29,4	5,45	37,2	4,75	45,9	4,19	73,0	3,20	117,6	2,42	183,8	1,87	291,6	1,43
1,2	6,4	16,4	9,7	12,9	15,7	9,69	20,5	8,30	32,0	6,40	40,5	5,58	50,1	4,93	79,6	3,76	128,3	2,85	200,5	2,19	318,1	1,68
1,3	6,9	19,0	10,5	14,9	17,0	11,2	22,2	9,62	34,7	7,42	43,9	6,47	54,3	5,72	86,2	4,36	139,0	3,30	217,2	2,55	344,7	1,94
1,4	7,4	21,9	11,3	17,1	18,4	12,9	24,0	11,0	37,4	8,51	47,3	7,42	58,5	6,56	92,9	5,01	149,7	3,79	233,9	2,92	371,2	2,23
1,5	8,0	24,8	12,1	19,4	19,7	14,6	25,7	12,5	40,1	9,67	50,7	8,43	62,6	7,45	99,5	5,69	160,4	4,30	250,6	3,32	397,7	2,53
1,6	8,5	28,0	12,9	21,9	21,0	16,5	27,4	14,1	42,7	10,9	54,1	9,50	66,8	8,40	106,1	6,41	171,1	4,85	267,3	3,74	424,2	2,86
1,7	9,0	31,3	13,7	24,5	22,3	18,5	29,1	15,8	45,4	12,2	57,4	10,63	71,0	9,39	112,8	7,17	181,8	5,43	284,0	4,18	450,7	3,20
1,8	9,6	34,8	14,5	27,2	23,6	20,5	30,8	17,6	48,1	13,6	60,8	11,8	75,2	10,4	119,4	7,97	192,5	6,03	300,7	4,65	477,2	3,55
1,9	10,1	38,5	15,3	30,1	24,9	22,7	32,5	19,4	50,7	15,0	64,2	13,1	79,4	11,5	126,0	8,81	203,2	6,67	317,4	5,14	503,7	3,93
2,0	10,6	42,3	16,2	33,1	26,2	25,0	34,2	21,4	53,4	16,5	67,6	14,4	83,5	12,7	132,7	9,69	213,9	7,33	334,1	5,65	530,2	4,32
2,1	11,1	46,3	17,0	36,2	27,5	27,3	35,9	23,4	56,1	18,0	70,9	15,7	87,7	13,9	139,3	10,6	224,6	8,03	350,8	6,19	556,8	4,73
2,2	11,7	50,5	17,8	39,5	28,8	29,8	37,6	25,5	58,8	19,7	74,3	17,1	91,9	15,1	145,9	11,6	235,3	8,75	367,5	6,74	583,3	5,15
2,3	12,2	54,8	18,6	42,9	30,2	32,3	39,4	27,7	61,4	21,3	77,7	18,6	96,1	16,4	152,5	12,6	246,0	9,50	384,2	7,32	609,8	5,59
2,4	12,7	59,3	19,4	46,4	31,5	35,0	41,1	29,9	64,1	23,1	81,1	20,1	100,2	17,8	159,2	13,6	256,7	10,28	400,9	7,92	636,3	6,05
2,5	13,3	64,0	20,2	50,1	32,8	37,7	42,8	32,3	66,8	24,9	84,5	21,7	104,4	19,2	166,8	14,7	267,4	11,1	417,6	8,55	662,8	6,53
2,6	13,8	68,8	21,0	53,8	34,1	40,6	44,5	34,7	69,4	26,8	87,8	23,4	108,6	20,6	172,4	15,8	278,0	11,9	434,4	9,19	689,3	7,02
2,7	14,3	73,7	21,8	57,7	35,4	43,5	46,2	37,2	72,1	28,7	91,2	25,0	112,8	22,1	179,1	16,9	288,7	12,8	451,1	9,85	715,8	7,53
2,8	14,9	78,9	22,6	61,7	36,7	46,5	47,9	39,8	74,8	30,7	94,6	26,8	116,9	23,7	185,7	18,1	299,4	13,7	467,8	10,5	742,3	8,05
2,9	15,4	84,2	23,4	65,9	38,0	49,7	49,6	42,5	77,4	32,8	98,0	28,6	121,1	25,3	192,3	19,3	310,1	14,6	484,5	11,2	768,8	8,59
3,0	15,9	89,6	24,2	70,2	39,3	52,9	51,3	45,3	80,1	34,9	101,4	30,4	125,3	26,9	199,0	20,5	320,8	15,5	501,2	12,0	795,4	9,15
3,1	16,5	95,3	25,0	74,6	40,6	56,2	53,0	48,1	82,8	37,1	104,7	32,3	129,5	28,6	206,6	21,8	331,5	16,5	517,9	12,7	821,9	9,72
3,2	17,0	101,0	25,8	79,1	42,0	59,6	54,8	51,0	85,5	39,3	108,1	34,3	133,6	30,3	212,2	23,1	342,2	17,5	534,6	13,5	848,4	10,3
3,3	17,5	106,9	26,6	83,7	43,3	63,1	56,5	54,0	88,1	41,7	111,5	36,3	137,8	32,1	218,9	24,5	352,9	18,5	551,3	14,3	874,9	10,9
3,4	18,0	113,0	27,5	88,5	44,6	66,7	58,2	57,1	90,8	44,0	114,9	38,4	142,0	33,9	225,5	25,9	363,6	19,6	568,0	15,1	901,4	11,5
3,5	18,6	119,3	28,3	93,3	45,9	70,4	59,9	60,2	93,5	46,5	118,2	40,5	146,2	35,8	232,1	27,3	374,3	20,7	584,7	15,9	927,9	12,2
3,6	19,1	125,6	29,1	98,3	47,2	74,1	61,6	63,5	96,1	48,9	121,6	42,7	150,4	37,7	238,8	28,8	385,0	21,8	601,4	16,8	954,4	12,8
3,7	19,6	132,2	29,9	103,5	48,5	78,0	63,3	66,8	98,8	51,5	125,0	44,9	154,5	39,7	245,4	30,3	395,7	22,9	618,1	17,7	980,9	13,5
3,8	20,2	138,9	30,7	108,7	49,8	81,9	65,0	70,1	101,5	54,1	128,4	47,2	158,7	41,7	252,0	31,8	406,4	24,1	634,8	18,6	1007,5	14,2
3,9	20,7	145,7	31,5	114,1	51,1	86,0	66,7	73,6	104,2	56,8	131,9	49,5	162,9	43,7	258,7	33,4	417,1	25,3	651,5	19,5	1034,0	14,9
4,0	21,2	152,7	32,3	119,5	52,4	90,1	68,4	77,1	106,8	59,5	135,1	51,9	167,1	45,8	265,3	35,0	427,8	26,5	668,2	20,4	1060,5	15,6

Información técnica

Las tuberías y accesorios de PVC-U (policloruro de vinilo no plastificado) presentan una resistencia excelente a entornos agresivos tanto de carácter natural como a consecuencia de la actividad industrial. Son resistentes a casi todo tipo de corrosión, ya sea de carácter químico o electromecánico. Como el PVC-U no es conductor, no hay efectos galvánicos y electroquímicos en las tuberías de PVC-U.

Las tuberías y accesorios de PVC-U se usan a menudo en las siguientes circunstancias:

- Para sistemas de distribución de tuberías de agua potable, tanto tuberías principales como de suministro
- Sistemas de tuberías de alcantarillado y desagüe

Debido a su naturaleza no metálica, el material usado es totalmente resistente a todas las formas de corrosión metálica.

El agua corrosiva proveniente de suelos muy sulfatados y el agua de baja dureza no atacarán a las tuberías de PVC-U. Por consiguiente, nuestras tuberías son resistentes a una amplia gama de aguas industriales y sustancias químicas y ofrecen una clara ventaja en la vida útil de los sistemas de larga duración y los costes de fabricación.

Para más información sobre la resistencia del PVC-U para determinadas sustancias químicas, no dude en preguntar a Interplast. Le informaremos de la solución de tuberías idónea y necesaria.

Como están hechas de un material inodoro e insípido, las tuberías de PVC-U resultan neutras para todos los líquidos transportados. El PVC-U es completamente inerte y se usa ampliamente para transportar líquidos hechos para consumo humano.

Debido a la superficie interior ultralisa, las tuberías de PVC-U tienen una pérdida de carga de flujo mínima. No se forman depósitos interiores, lo que es una gran ventaja en la construcción de sistemas de alcantarillado.

Las propiedades físicas de las tuberías de PVC-U no se ven afectadas por el sol directo ni por el viento o la lluvia. Sin embargo, para evitar que se oscurezcan debido a una larga exposición a la luz directa del sol, se recomienda proteger las tuberías de la luz solar directa.

El PVC rígido no es conductor para la combustión. En caso de incendio, las llamas no pueden viajar por las tuberías de PVC-U. Por consiguiente, ofrecen una seguridad añadida cuando se usan para instalaciones eléctricas, tanto domésticas como industriales.

Las tuberías de PVC-U son relativamente ligeras. Su peso específico de 1,43 es una quinta parte del de las tuberías de acero. Esto reduce los costes de transporte y facilita la instalación en lugares difíciles y remotos.

La instalación es rápida y sencilla, con una gama completa de accesorios, ya sea con manguitos de sellado pegados con disolvente o uniones de manguito de junta de goma. En cualquier caso, se garantiza una unión a prueba de fugas. Los trabajos de mantenimiento se llevarán a cabo con una complicación y unos costes mínimos.

Normas aplicables

Interplast fabrica tuberías de PVC-U conforme a las especificaciones requeridas por el cliente. Nuestra cartera de productos de tuberías se ha hecho conforme a las siguientes normas:

- EN1452-2
- ISO 4422-2
- DIN 8062 / ISO 181
- BS 3505
- DIN 4925-II & III (aplicación de sondeo)

Dimensiones del PVC-U

La industria de tuberías mantiene dos formas diferentes de referirse a las dimensiones de una tubería.

Una es la dimensión nominal o tamaño DN. Se usa habitualmente para tuberías de acero y hierro.

La industria del plástico usa habitualmente el diámetro exterior o tamaño OD.

Diámetro o nominal	Tamaño nominal tubería	Diámetro o exterior	
DN	NPS	OD	
(mm)	(pulgadas)	(mm)	
6	1/8	10	
8	1/4	12	
10	3/8	16	
15	1/2	20	
20	3/4	25	
25	1	32	
32	1 1/4	40	
40	1 1/2	50	
50	2	63	
65	2 1/2	75	
80	3	90	
100	4	110	
125		125	
125		140	DI N
150	6	160	
150		180	G AS
200	8	200	
200		225	DI N
250	10	250	
250		280	DIN
300	12	315	
350	14	355	
400	16	400	
450	18	450	DIN
500	20	500	
500		560	DIN
600	24	630	
700	28	710	
800	32	800	
900	36	900	
1000	40	1000	
1100	44	1200	
1200	48	1200	
1400	56	1400	
1600	64	1600	
2000	80	2000	

DIN = Norma Industrial Alemana

GAS = el diámetro se usa en la red de distribución de gas

Propiedades generales del PVC-U a 20° centígrados

Prueba	Unidad	Valor	Observaciones
Peso específico	-	1,42-1,43	Normalmente 1,43
Dureza Shore	Grad.	70-90	Equivalente a la dureza del aluminio. Varía con la temperatura.
Resistencia a la tracción	Kg/cm ²	500	
Resistencia a la flexión	Kg/cm ²	950	Varía con la temperatura.
Módulo de elasticidad	Kg/cm ²	3,2 x 10	
Resistencia al impacto	Julios	4,7-5,4	
Absorción de agua	Mg/cm ²	1,05	
Elongación de ruptura	-	>80%	
Punto de reblandecimiento (P.R.V) 5 KG	°C	80	
Temperatura de fabricación	°C	110-140	
Coefficiente de expansión lineal a 70 °C	Mm/m°C	0,08	
Calor específico	Kcal/Kg° C	0,025	
Reversión térmica		<2,5%	
Resistividad de volumen específico	Ohm/cm	>3- 5x10 ¹⁵	El PVC-U no es conductor de electricidad y no está sujeto a ataques galvánicos o electrolíticos.
Rigidez dieléctrica	KV/mm	>40	Los equipos eléctricos no se deben conectar a tierra a las tuberías de PVC-U.

Relación entre la resistencia a la tracción y la temperatura

[PIC: Tensile strength UPVC.jpg]

Relación entre la rigidez a la tracción y la temperatura

[PIC: Rigidity strength UPVC.jpg]

Corte y biselado

La tubería se debe cortar en ángulo recto. Un método simple de cortar las tuberías en ángulo recto es envolver papel de periódico o un papel similar en torno a la tubería sin que se solape por los bordes. Marque una línea en torno a la tubería (un rotulador es ideal). Corte por la línea con una sierra de dientes finos.

[PIC: UPVC Pipe cutting 1.jpg]

Los extremos de la tubería deberán estar biselados a un ángulo de unos 15° a aprox. 1/3 del grosor de pared con una lima gruesa, un raspador o una biseladora.

[PIC: UPVC Pipe cutting 2.jpg]

Uniones de sello con disolvente

Las tuberías de hasta 75 mm se pueden unir fácilmente con adhesivos de disolvente. Los tamaños más grandes requieren unas técnicas especiales y hacen falta dos personas para hacer las uniones.

1. Procedimiento de unión. Marque la profundidad de entrada de la tubería en el manguito y la marca de alineamiento.

2. Haga un pequeño biselado en el borde del extremo de la tubería con una lima media.

[PIC: UPVC Pipe cutting 3.jpg]

3. Lije la parte exterior de la tubería y la parte interior del manguito usando papel de lija o tela esmerilada hasta la marca de entrada.

[PIC: UPVC Pipe cutting 4.jpg]

4. Limpie las dos superficies y quite todo el polvo, grasa y virutas usando un trapo limpio y un producto de limpieza.

[PIC: UPVC Pipe cutting 5.jpg]

5. Remueva bien el adhesivo.

6. Después de limpiar la superficie, aplique en seguida el adhesivo usando un cepillo limpio y plano. Aplique una capa uniforme y seguida cepillando axialmente respecto a la tubería y la boca del manguito con una capa más gruesa en la tubería. Si se encuentran ajustes sueltos, se deberá dar una segunda capa a la tubería.

[PIC: UPVC Pipe cutting 6.jpg]

7. Introduzca inmediatamente la tubería en el manguito hasta la marca de entrada, alinee la tubería y gírela 90 grados. Manténgala en posición unos segundos y luego quite el adhesivo que sobre.

[PIC: UPVC Pipe cutting 7.jpg]

La unión con sello de disolvente de tuberías de diámetro grande requiere un cuidado especial y se deberá poner en contacto con nuestro departamento de servicio técnico en caso de que haya dificultades. Sustituya siempre la tapa del bote después de hacer una unión y siga las instrucciones del bote y observe cualquier advertencia.

Las uniones no se deberán mover o tocar durante 10-15 minutos; después la tubería unida se deberá manejar con cuidado. Deje pasar 4 horas si hay que colocar en una zanja las piezas de la tubería unida.

Deje pasar 8 horas antes de aplicar presiones de trabajo o 24 horas para presiones de prueba. Con tamaños de tubería hasta 50 mm se puede reducir este tiempo. Deje pasar 1 hora por cada 3,5 atmósferas de presión.

Los cepillos deberán estar limpios y secos antes de comenzar el sellado con disolvente. Los cepillos se deberán limpiar a fondo después de usarlos lavándolos con un líquido de limpieza. No diluya el adhesivo de disolvente con líquido de limpieza. Use el adhesivo de disolvente y el líquido de limpieza en una zona bien ventilada. Manténgalo apartado de llamas abiertas y no fume. Sustituya siempre las tapas de los envases. En cualquier caso, se deberá prestar atención a las instrucciones impresas en los envases.

Cuando se tiendan piezas continuas de tubería, las uniones se podrán hacer más deprisa que los tiempos aconsejados más arriba. A la unión no le afectarán las piezas largas, siempre que la tubería no se gire o no se levante de su sitio la unión hecha previamente.

Uniones de junta de goma

Asegúrese de que la espiga de guía y el manguito no tengan polvo, gravilla, grasa y estén lo más secos posibles. Inserte la tubería en el manguito sin la junta en su lugar y marque la tubería cuando esté completamente introducida. Coloque la junta en la ranura del manguito, asegurándose de que la junta está colocada correctamente. Los anillos de junta se deberán ajustar con la sección decreciente mirando a la parte exterior del manguito.

Aplique lubricantes de uniones a la parte biselada y al extremo de la espiga de guía de la tubería o solo al empalme. Empuje firmemente la tubería en el manguito hasta la marca de inserción realizada anteriormente. Si se requiere un orificio de expansión, se retirará la longitud necesaria de tubería.

[PIC: UPVC Rubber Ring Joint.jpg]

Almacenamiento y manejo

Las tuberías de PVC no plastificado son resistentes y ligeras, siendo su peso específico aproximadamente una quinta parte del del hierro fundido. Gracias a ello, estas tuberías se manejan con mayor facilidad que las de metal. Sin embargo, se deberá tener cuidado en todo momento. Como la solidez de cualquier unión depende del estado de la espiga de guía y del manguito, hay que tener especial cuidado en el transporte, manejo y almacenamiento para evitar dañar los extremos.

Cuando se carguen tuberías en los vehículos, hay que tener cuidado para evitar que entren en contacto con cualquier esquina afilada como piezas de hierro del chasis, cabezas de clavo sueltas, etc., ya que las tuberías podrían dañarse al chocar contra éstas durante el transporte.

Cuando se transporten, las tuberías estarán bien aseguradas en toda su longitud y no está permitido que sobresalgan sin afianzamiento por la parte trasera del camión.

[PIC: UPVC Pipe loading NO.jpg] [PIC: UPVC Pipe loading YES.jpg]

Cuando se descarguen, las tuberías se deberán bajar, pero no dejar caer al suelo. Las tuberías se podrán descargar de los camiones haciendo que rueden suavemente sobre maderas, asegurándose de que las tuberías no caigan unas encima de otras, ni sobre superficies duras o irregulares.

[PIC: UPVC Pipe Offloading NO.jpg] [PIC: UPVC Pipe Offloading YES.jpg]

Se deberá proporcionar en todo el momento un soporte adecuado a las tuberías. Las tuberías no se deberán apilar en pilas grandes, sobre todo con temperaturas cálidas, ya que las capas inferiores se pueden deformar, lo que provocarían problemas al unir y alinear las tuberías. Cualquier tubería con extremos preparados para unirlos (juntas de manguito y espiga de guía, uniones "A", etc.) se deberán apilar con los manguitos colocados en extremos alternativos de la pila y con los manguitos sobresaliendo para evitar pilas inestables y la posibilidad de conferir una disposición permanente a las tuberías.

[PIC: UPVC Pipe Stacking.jpg]

Para un almacenamiento a largo plazo, deberá haber estanterías para tuberías que proporcionen un soporte continuo.

Para tamaños de tuberías de 160 mm o más, se deberá colocar debajo de las tuberías una base de madera de al menos 3 pulg. (75 mm) de anchura de soporte en espacios que no sean más grandes de 3 pies (915 mm). Se deberá colocar soporte lateral a 6 pies (1,8 m), si las pilas son rectangulares.

Se requerirán soportes más cerrados para tamaños inferiores a 160 mm. En esas estanterías para tuberías, éstas no se podrán almacenar en más de siete capas o 6 pies (1,8 m) de alto, lo que sea menor, pero si se guardan distintas clases de tuberías en las mismas estanterías, siempre habrá que colocar debajo las clases más gruesas con el mayor diámetro.

[PIC: UPVC Pipe Storage.jpg]

Para un almacenamiento temporal en obra, donde no haya estanterías, el suelo deberá estar llano y no deberá tener piedras sueltas. Las tuberías almacenadas así no deberán estar apiladas en más de tres capas, y deberán estar en un montón para evitar el movimiento.

Las alturas de las pilas se deberán reducir si hay tuberías guardadas dentro de tuberías de diámetros más grandes. La reducción de altura deberá ser proporcional al peso de la tubería dentro de la tubería respecto al peso de las tuberías que están normalmente almacenadas así. Las tuberías de PVC-U deberán estar guardadas a la sombra para evitar la degradación ultravioleta de los rayos solares.

[PIC: UPVC Pipe Storage Field.jpg]

Anexo C. Arduino Mega AT 2560.



Product Overview

The Arduino Mega 2560 is a microcontroller board based on the ATmega2560 ([datasheet](#)). It has 54 digital input/output pins (of which 14 can be used as PWM outputs), 16 analog inputs, 4 UARTs (hardware serial ports), a 16 MHz crystal oscillator, a USB connection, a power jack, an ICSP header, and a reset button. It contains everything needed to support the microcontroller; simply connect it to a computer with a USB cable or power it with a AC-to-DC adapter or battery to get started. The Mega is compatible with most shields designed for the Arduino Duemilanove or Diecimila.

Index

Technical Specifications	Page 2
How to use Arduino Programming Enviroment, Basic Tutorials	Page 6
Terms & Conditions	Page 7
Enviromental Policies half sqm of green via Impatto Zero®	Page 7



Technical Specification

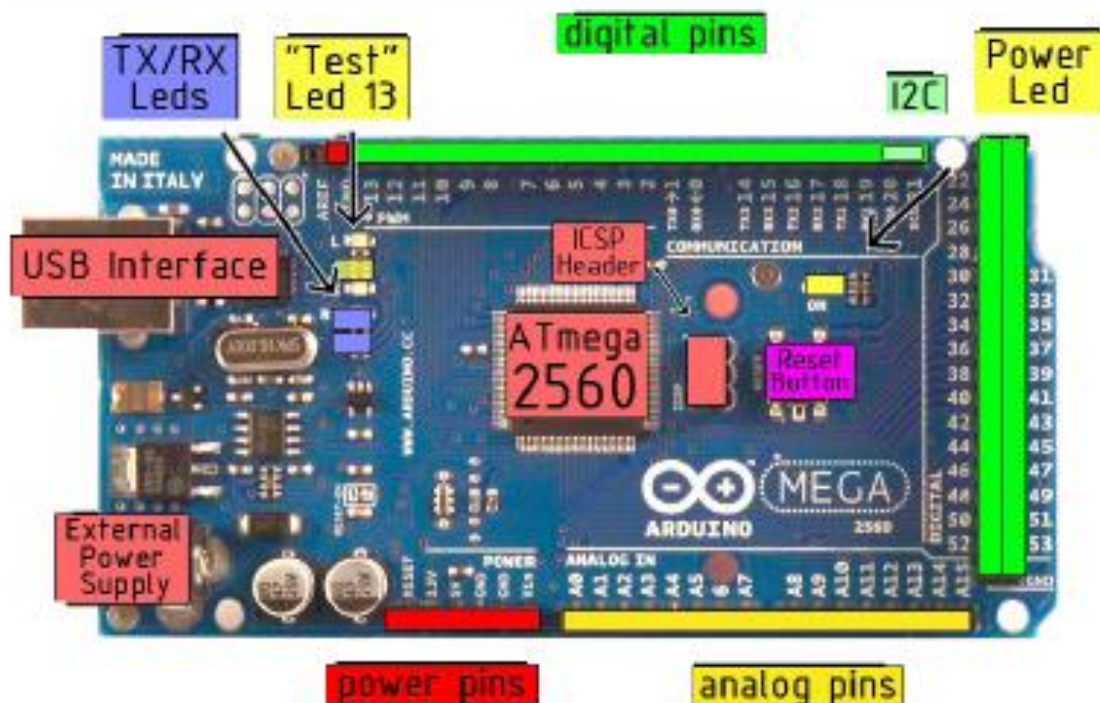


EAGLE files: [arduino-mega2560-reference-design.zip](#) Schematic: [arduino-mega2560-schematic.pdf](#)

Summary

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 14 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz

the board



radiospares

RADIONICS



Power

The Arduino Mega2560 can be powered via the USB connection or with an external power supply. The power source is selected automatically. External (non-USB) power can come either from an AC-to-DC adapter (wall-wart) or battery. The adapter can be connected by plugging a 2.1mm center-positive plug into the board's power jack. Leads from a battery can be inserted in the Gnd and Vin pin headers of the POWER connector.

The board can operate on an external supply of 6 to 20 volts. If supplied with less than 7V, however, the 5V pin may supply less than five volts and the board may be unstable. If using more than 12V, the voltage regulator may overheat and damage the board. The recommended range is 7 to 12 volts.

The Mega2560 differs from all preceding boards in that it does not use the FTDI USB-to-serial driver chip. Instead, it features the ATmega8U2 programmed as a USB-to-serial converter.

The power pins are as follows:

- **VIN.** The input voltage to the Arduino board when it's using an external power source (as opposed to 5 volts from the USB connection or other regulated power source). You can supply voltage through this pin, or, if supplying voltage via the power jack, access it through this pin.
- **5V.** The regulated power supply used to power the microcontroller and other components on the board. This can come either from VIN via an on-board regulator, or be supplied by USB or another regulated 5V supply.
- **3V3.** A 3.3 volt supply generated by the on-board regulator. Maximum current draw is 50 mA.
- **GND.** Ground pins.

Memory

The ATmega2560 has 256 KB of flash memory for storing code (of which 8 KB is used for the bootloader), 8 KB of SRAM and 4 KB of EEPROM (which can be read and written with the [EEPROM library](#)).

Input and Output

Each of the 54 digital pins on the Mega can be used as an Input or output, using [pinMode\(\)](#), [digitalWrite\(\)](#), and [digitalRead\(\)](#) functions. They operate at 5 volts. Each pin can provide or receive a maximum of 40 mA and has an internal pull-up resistor (disconnected by default) of 20-50 kOhms. In addition, some pins have specialized functions:

- **Serial:** 0 (RX) and 1 (TX); Serial 1: 19 (RX) and 18 (TX); Serial 2: 17 (RX) and 16 (TX); Serial 3: 15 (RX) and 14 (TX). Used to receive (RX) and transmit (TX) TTL serial data. Pins 0 and 1 are also connected to the corresponding pins of the ATmega8U2 USB-to-TTL Serial chip.
- **External Interrupts:** 2 (Interrupt 0), 3 (Interrupt 1), 18 (Interrupt 5), 19 (Interrupt 4), 20 (Interrupt 3), and 21 (Interrupt 2). These pins can be configured to trigger an interrupt on a low value, a rising or falling edge, or a change in value. See the [attachInterrupt\(\)](#) function for details.
- **PWM:** 0 to 13. Provide 8-bit PWM output with the [analogWrite\(\)](#) function.
- **SPI:** 60 (MISO), 61 (MOSI), 62 (SCK), 63 (SS). These pins support SPI communication, which, although provided by the underlying hardware, is not currently included in the Arduino language. The SPI pins are also broken out on the ICSP header, which is physically compatible with the Duemilanove and Diecimila.
- **LED:** 13. There is a built-in LED connected to digital pin 13. When the pin is HIGH value, the LED is on, when the pin is LOW, it's off.
- **I²C:** 20 (SDA) and 21 (SCL). Support I²C (TWI) communication using the [Wire library](#) (documentation on the Wiring website). Note that these pins are not in the same location as the I²C pins on the Duemilanove.

The Mega2560 has 16 analog inputs, each of which provide 10 bits of resolution (i.e. 1024 different values). By default they measure from ground to 5 volts, though it is possible to change the upper end of their range using the AREF pin and [analogReference\(\)](#) function.

There are a couple of other pins on the board:

- **AREF.** Reference voltage for the analog inputs. Used with [analogReference\(\)](#).
- **Reset.** Bring this line LOW to reset the microcontroller. Typically used to add a reset button to shields which block the one on the board.



radiospares

RADIONICS



Communication

The Arduino Mega2560 has a number of facilities for communicating with a computer, another Arduino, or other microcontrollers. The ATmega2560 provides four hardware UARTs for TTL (5V) serial communication. An ATmega8U2 on the board channels one of these over USB and provides a virtual com port to software on the computer (Windows machines will need a .inf file, but OSX and Linux machines will recognize the board as a COM port automatically). The Arduino software includes a serial monitor which allows simple textual data to be sent to and from the board. The RX and TX LEDs on the board will flash when data is being transmitted via the ATmega8U2 chip and USB connection to the computer (but not for serial communication on pins 0 and 1).

A [SoftwareSerial library](#) allows for serial communication on any of the Mega's digital pins.

The ATmega2560 also supports I2C (TWI) and SPI communication. The Arduino software includes a Wire library to simplify use of the I2C bus; see the [documentation on the Wiring website](#) for details. To use the SPI communication, please see the ATmega2560 datasheet.

Programming

The Arduino Mega2560 can be programmed with the Arduino software ([download](#)). For details, see the [reference](#) and [tutorials](#).

The ATmega2560 on the Arduino Mega comes preburned with a [bootloader](#) that allows you to upload new code to it without the use of an external hardware programmer. It communicates using the original STK500 protocol ([reference](#), [C header files](#)).

You can also bypass the bootloader and program the microcontroller through the ICSP (In-Circuit Serial Programming) header; see [these instructions](#) for details.



radiospares

RADIONICS



Automatic (Software) Reset

Rather than requiring a physical press of the reset button before an upload, the Arduino Mega2560 is designed in a way that allows it to be reset by software running on a connected computer. One of the hardware flow control lines (DTR) of the ATmega8U2 is connected to the reset line of the ATmega2560 via a 100 nanofarad capacitor. When this line is asserted (taken low), the reset line drops long enough to reset the chip. The Arduino software uses this capability to allow you to upload code by simply pressing the upload button in the Arduino environment. This means that the bootloader can have a shorter timeout, as the lowering of DTR can be well-coordinated with the start of the upload.

This setup has other implications. When the Mega2560 is connected to either a computer running Mac OS X or Linux, it resets each time a connection is made to it from software (via USB). For the following half-second or so, the bootloader is running on the Mega2560. While it is programmed to ignore malformed data (i.e. anything besides an upload of new code), it will intercept the first few bytes of data sent to the board after a connection is opened. If a sketch running on the board receives one-time configuration or other data when it first starts, make sure that the software with which it communicates waits a second after opening the connection and before sending this data.

The Mega contains a trace that can be cut to disable the auto-reset. The pads on either side of the trace can be soldered together to re-enable it. It's labeled "RESET-EN". You may also be able to disable the auto-reset by connecting a 110 ohm resistor from 5V to the reset line; see [this forum thread](#) for details.

USB Overcurrent Protection

The Arduino Mega has a resettable polyfuse that protects your computer's USB ports from shorts and overcurrent. Although most computers provide their own internal protection, the fuse provides an extra layer of protection. If more than 500 mA is applied to the USB port, the fuse will automatically break the connection until the short or overload is removed.

Physical Characteristics and Shield Compatibility

The maximum length and width of the Mega PCB are 4 and 2.1 inches respectively, with the USB connector and power jack extending beyond the former dimension. Three screw holes allow the board to be attached to a surface or case. Note that the distance between digital pins 7 and 8 is 160 mil (0.16"), not an even multiple of the 100 mil spacing of the other pins.

The Mega is designed to be compatible with most shields designed for the Diecimila or Duemilanove. Digital pins 0 to 13 (and the adjacent AREF and GND pins), analog inputs 0 to 5, the power header, and ICSP header are all in equivalent locations. Further the main UART (serial port) is located on the same pins (0 and 1), as are external interrupts 0 and 1 (pins 2 and 3 respectively). SPI is available through the ICSP header on both the Mega and Duemilanove / Diecimila. Please note that PC is not located on the same pins on the Mega (20 and 21) as the Duemilanove / Diecimila (analog inputs 4 and 5).



radiospares

RADIONICS



How to use Arduino



Arduino can sense the environment by receiving input from a variety of sensors and can affect its surroundings by controlling lights, motors, and other actuators. The microcontroller on the board is programmed using the [Arduino programming language](#) (based on [Wiring](#)) and the Arduino development environment (based on [Processing](#)). Arduino projects can be stand-alone or they can communicate with software on running on a computer (e.g. Flash, Processing, MaxMSP).

Arduino is a cross-platform program. You'll have to follow different instructions for your personal OS. Check on the [Arduino site](http://arduino.cc/en/Guide/HomePage) for the latest instructions. <http://arduino.cc/en/Guide/HomePage>

Linux Install

Windows Install

Mac Install

Once you have downloaded/unzipped the arduino IDE, you can Plug the Arduino to your PC via USB cable.

Blink led

Now you're actually ready to "burn" your first program on the arduino board. To select "blink led", the physical translation of the well known programming "hello world", select

**File>Sketchbook>
Arduino-0017>Examples>
Digital>Blink**

Once you have your sketch you'll see something very close to the screenshot on the right.

In **Tools>Board** select MEGA

Now you have to go to **Tools>SerialPort** and select the right serial port, the one arduino is attached to.

```
int ledPin = 13; // LED connected to digital pin 13

// The setup() method runs once, when the sketch starts

void setup() {
  // initialize the digital pin as an output:
  pinMode(ledPin, OUTPUT);
}

// the loop() method runs over and over again,
// as long as the Arduino has power

void loop()
{
  digitalWrite(ledPin, HIGH); // set the LED on
  delay(1000);               // wait for a second
  digitalWrite(ledPin, LOW); // set the LED off
  delay(1000);               // wait for a second
}
```

Done compiling
Press Compile button (to check for errors)

Upload

TX RX Flashing

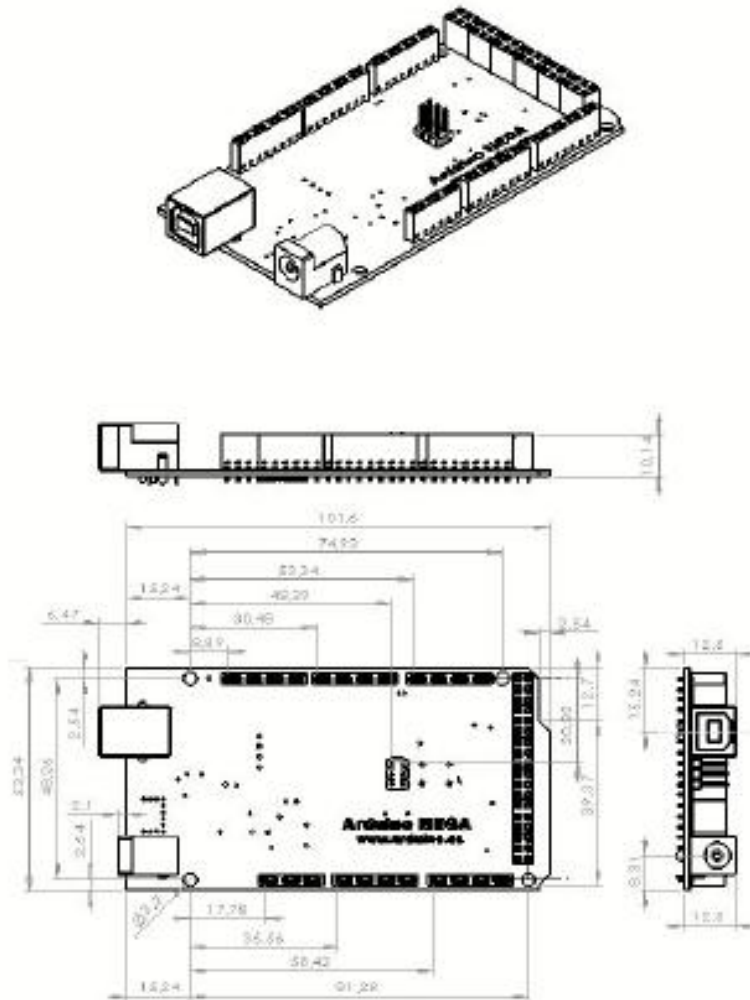
Blinking Led!



radiospares

RADIONICS





radiospares **RADIONICS**



Terms & Conditions



1. Warranties

1.1 The producer warrants that its products will conform to the Specifications. This warranty lasts for one (1) years from the date of the sale. The producer shall not be liable for any defects that are caused by neglect, misuse or mistreatment by the Customer, including improper installation or testing, or for any products that have been altered or modified in any way by a Customer. Moreover, The producer shall not be liable for any defects that result from Customer's design, specifications or instructions for such products. Testing and other quality control techniques are used to the extent the producer deems necessary.

1.2 If any products fail to conform to the warranty set forth above, the producer's sole liability shall be to replace such products. The producer's liability shall be limited to products that are determined by the producer not to conform to such warranty. If the producer elects to replace such products, the producer shall have a reasonable time to replacements. Replaced products shall be warranted for a new full warranty period.

1.3 EXCEPT AS SET FORTH ABOVE, PRODUCTS ARE PROVIDED "AS IS" AND "WITH ALL FAULTS." THE PRODUCER DISCLAIMS ALL OTHER WARRANTIES, EXPRESS OR IMPLIED, REGARDING PRODUCTS, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO, ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE.

1.4 Customer agrees that prior to using any systems that include the producer products, Customer will test such systems and the functionality of the products as used in such systems. The producer may provide technical, applications or design advice, quality characterization, reliability data or other services. Customer acknowledges and agrees that providing these services shall not expand or otherwise alter the producer's warranties, as set forth above, and no additional obligations or liabilities shall arise from the producer providing such services.

1.5 The Arduino™ products are not authorized for use in safety-critical applications where a failure of the product would reasonably be expected to cause severe personal injury or death. Safety-Critical Applications include, without limitation, life support devices and systems, equipment or systems for the operation of nuclear facilities and weapons systems. Arduino™ products are neither designed nor intended for use in military or aerospace applications or environments and for automotive applications or environment. Customer acknowledges and agrees that any such use of Arduino™ products which is solely at the Customer's risk, and that Customer is solely responsible for compliance with all legal and regulatory requirements in connection with such use.

1.6 Customer acknowledges and agrees that it is solely responsible for compliance with all legal, regulatory and safety-related requirements concerning its products and any use of Arduino™ products in Customer's applications, notwithstanding any applications-related information or support that may be provided by the producer.

2. Indemnification

The Customer acknowledges and agrees to defend, indemnify and hold harmless the producer from and against any and all third-party losses, damages, liabilities and expenses it incurs to the extent directly caused by: (i) an actual breach by a Customer of the representation and warranties made under this terms and conditions or (ii) the gross negligence or willful misconduct by the Customer.

3. Consequential Damages Waiver

In no event the producer shall be liable to the Customer or any third parties for any special, collateral, indirect, punitive, incidental, consequential or exemplary damages in connection with or arising out of the products provided hereunder, regardless of whether the producer has been advised of the possibility of such damages. This section will survive the termination of the warranty period.

4. Changes to specifications

The producer may make changes to specifications and product descriptions at any time, without notice. The Customer must not rely on the absence or characteristics of any features or instructions marked "reserved" or "undefined." The producer reserves these for future definition and shall have no responsibility whatsoever for conflicts or incompatibilities arising from future changes to them. The product information on the Web Site or Materials is subject to change without notice. Do not finalize a design with this information.



Environmental Policies



The producer of Arduino™ has joined the Impatto Zero® policy of LifeGate.it. For each Arduino board produced is created / looked after half squared Km of Costa Rica's forests's.



RADIOSPARES

RADIONICS



Anexo D. Opto transistor 4N25

MOTOROLA SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA

Order this document
by 4N25/D



6-Pin DIP Optoisolators Transistor Output

The 4N25/A, 4N26, 4N27 and 4N28 devices consist of a gallium arsenide infrared emitting diode optically coupled to a monolithic silicon phototransistor detector.

- Most Economical Optoisolator Choice for Medium Speed, Switching Applications
- Meets or Exceeds All JEDEC Registered Specifications
- *To order devices that are tested and marked per VDE 0884 requirements, the suffix "V" must be included at end of part number. VDE 0884 is a test option.*

Applications

- General Purpose Switching Circuits
- Interfacing and coupling systems of different potentials and Impedances
- I/O Interfacing
- Solid State Relays

MAXIMUM RATINGS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Rating	Symbol	Value	Unit
--------	--------	-------	------

INPUT LED

Reverse Voltage	V_R	3	Volts
Forward Current — Continuous	I_F	60	mA
LED Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ with Negligible Power in Output Detector Derate above 25°C	P_D	120	mW
		1.41	mW/°C

OUTPUT TRANSISTOR

Collector-Emitter Voltage	V_{CEO}	30	Volts
Emitter-Collector Voltage	V_{ECO}	7	Volts
Collector-Base Voltage	V_{CBO}	70	Volts
Collector Current — Continuous	I_C	150	mA
Detector Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ with Negligible Power in Input LED Derate above 25°C	P_D	150	mW
		1.76	mW/°C

TOTAL DEVICE

Isolation Surge Voltage(1) (Peak ac Voltage, 60 Hz, 1 sec Duration)	V_{ISO}	7500	Vac(pk)
Total Device Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	250	mW
		2.94	mW/°C
Ambient Operating Temperature Range(2)	T_A	-55 to +100	°C
Storage Temperature Range(2)	T_{stg}	-55 to +150	°C
Soldering Temperature (10 sec, 1/16" from case)	T_L	260	°C

1. Isolation surge voltage is an internal device dielectric breakdown rating. For this test, Pins 1 and 2 are common, and Pins 4, 5 and 6 are common.
2. Refer to Quality and Reliability Section in Opto Data Book for information on test conditions.

Preferred devices are Motorola recommended choices for future use and best overall value.
Global Optoisolator is a trademark of Motorola, Inc.

REV 5

© Motorola, Inc. 1995

4N25*

4N25A*


4N26*
[CTR = 20% Min]

4N27

4N28
[CTR = 10% Min]

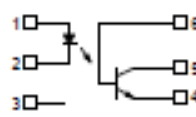
*Motorola Preferred Devices

STYLE 1 PLASTIC



STANDARD THRU HOLE
CASE 730A-04

SCHEMATIC



PIN 1. LED ANODE
2. LED CATHODE
3. N.C.
4. EMITTER
5. COLLECTOR
6. BASE



4N25 4N25A 4N26 4N27 4N28

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_A = 25°C unless otherwise noted)⁽¹⁾

Characteristic	Symbol	Min	Typ ⁽¹⁾	Max	Unit	
INPUT LED						
Forward Voltage (I _F = 10 mA)	V _F	T _A = 25°C	—	1.15	1.5	Volts
		T _A = -55°C	—	1.3	—	
		T _A = 100°C	—	1.05	—	
Reverse Leakage Current (V _R = 3 V)	I _R	—	—	100	μA	
Capacitance (V = 0 V, f = 1 MHz)	C _J	—	18	—	pF	
OUTPUT TRANSISTOR						
Collector-Emitter Dark Current (V _{CE} = 10 V, T _A = 25°C)	I _{CEO}	4N25,25A,26,27 4N28	—	1	50	nA
(V _{CE} = 10 V, T _A = 100°C)		All Devices	—	1	100	μA
Collector-Base Dark Current (V _{CB} = 10 V)	I _{CBO}	—	0.2	—	nA	
Collector-Emitter Breakdown Voltage (I _C = 1 mA)	V _{(BR)CEO}	30	45	—	Volts	
Collector-Base Breakdown Voltage (I _C = 100 μA)	V _{(BR)CBO}	70	100	—	Volts	
Emitter-Collector Breakdown Voltage (I _E = 100 μA)	V _{(BR)ECO}	7	7.8	—	Volts	
DC Current Gain (I _C = 2 mA, V _{CE} = 5 V)	h _{FE}	—	500	—	—	
Collector-Emitter Capacitance (f = 1 MHz, V _{CE} = 0)	C _{CE}	—	7	—	pF	
Collector-Base Capacitance (f = 1 MHz, V _{CB} = 0)	C _{CB}	—	19	—	pF	
Emitter-Base Capacitance (f = 1 MHz, V _{EB} = 0)	C _{EB}	—	9	—	pF	
COUPLED						
Output Collector Current (I _F = 10 mA, V _{CE} = 10 V)	I _C (CTR) ⁽²⁾	4N25,25A,26 4N27,28	2 (20)	7 (70)	—	mA (%)
			1 (10)	5 (50)	—	
Collector-Emitter Saturation Voltage (I _C = 2 mA, I _F = 50 mA)	V _{CE(sat)}	—	0.15	0.5	Volts	
Turn-On Time (I _F = 10 mA, V _{CC} = 10 V, R _L = 100 Ω) ⁽³⁾	t _{on}	—	2.8	—	μs	
Turn-Off Time (I _F = 10 mA, V _{CC} = 10 V, R _L = 100 Ω) ⁽³⁾	t _{off}	—	4.5	—	μs	
Rise Time (I _F = 10 mA, V _{CC} = 10 V, R _L = 100 Ω) ⁽³⁾	t _r	—	1.2	—	μs	
Fall Time (I _F = 10 mA, V _{CC} = 10 V, R _L = 100 Ω) ⁽³⁾	t _f	—	1.3	—	μs	
Isolation Voltage (f = 60 Hz, t = 1 sec) ⁽⁴⁾	V _{ISO}	7500	—	—	Vac(pk)	
Isolation Resistance (V = 500 V) ⁽⁴⁾	R _{ISO}	10 ¹¹	—	—	Ω	
Isolation Capacitance (V = 0 V, f = 1 MHz) ⁽⁴⁾	C _{ISO}	—	0.2	—	pF	

1. Always design to the specified minimum/maximum electrical limits (where applicable).

2. Current Transfer Ratio (CTR) = I_C/I_F × 100%.

3. For test circuit setup and waveforms, refer to Figure 11.

4. For this test, Pins 1 and 2 are common, and Pins 4, 5 and 6 are common.

TYPICAL CHARACTERISTICS

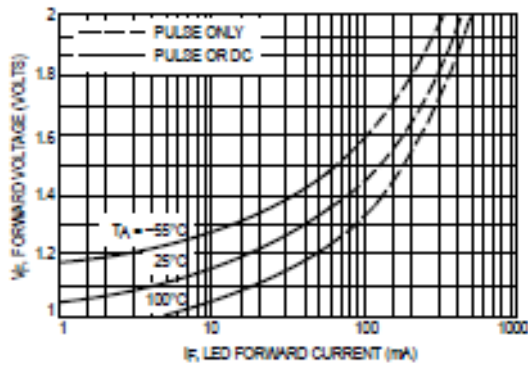


Figure 1. LED Forward Voltage versus Forward Current

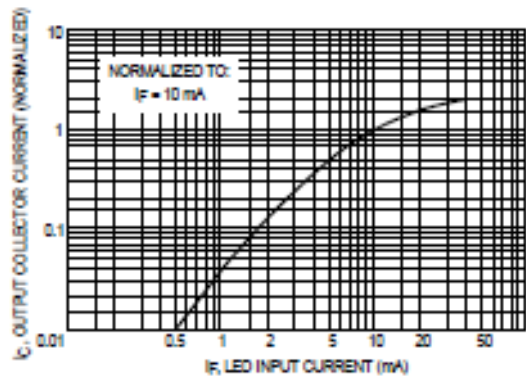


Figure 2. Output Current versus Input Current

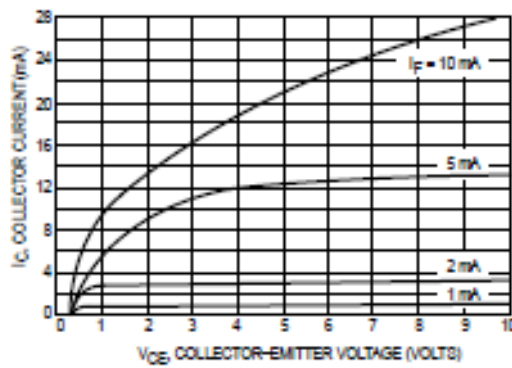


Figure 3. Collector Current versus Collector-Emitter Voltage

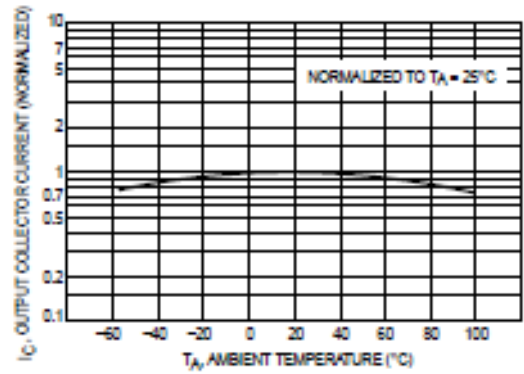


Figure 4. Output Current versus Ambient Temperature

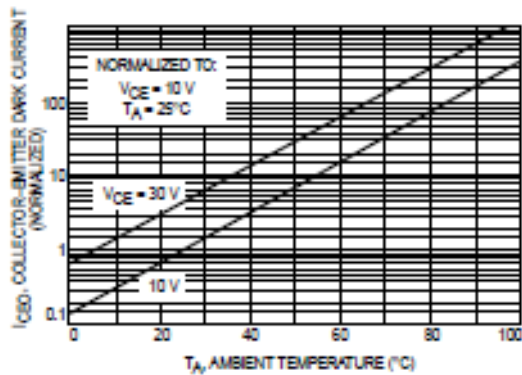


Figure 5. Dark Current versus Ambient Temperature

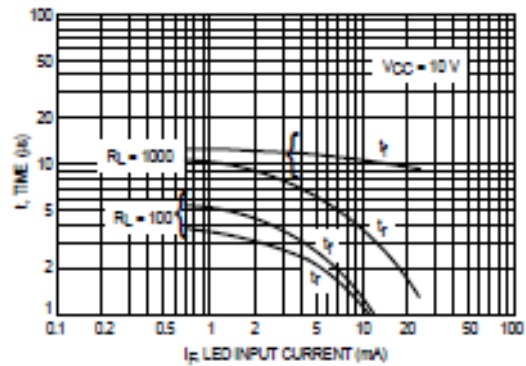


Figure 6. Rise and Fall Times (Typical Values)

4N25 4N25A 4N26 4N27 4N28

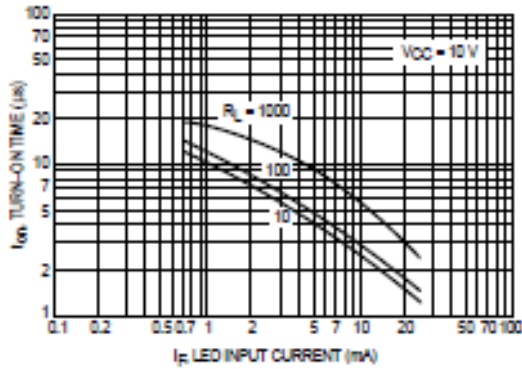


Figure 7. Turn-On Switching Times (Typical Values)

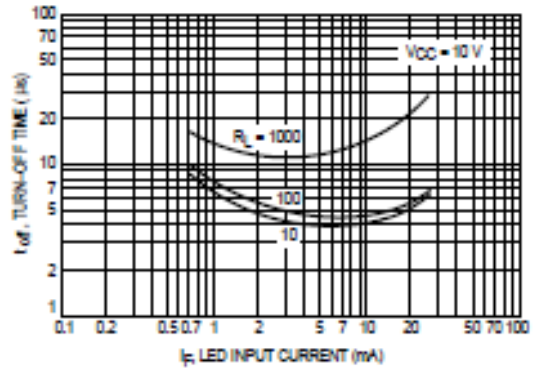


Figure 8. Turn-Off Switching Times (Typical Values)

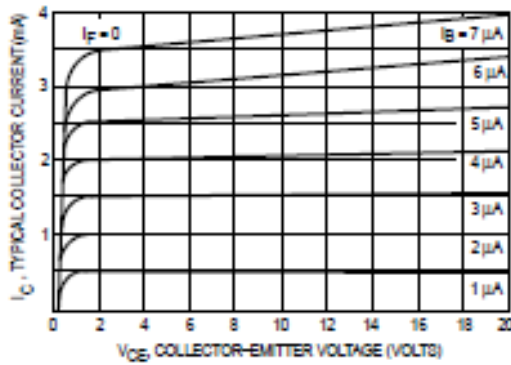


Figure 9. DC Current Gain (Detector Only)

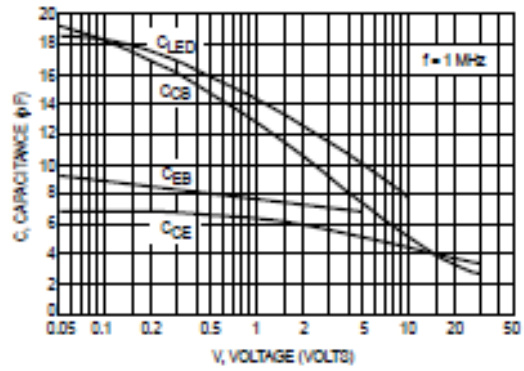


Figure 10. Capacitance versus Voltage

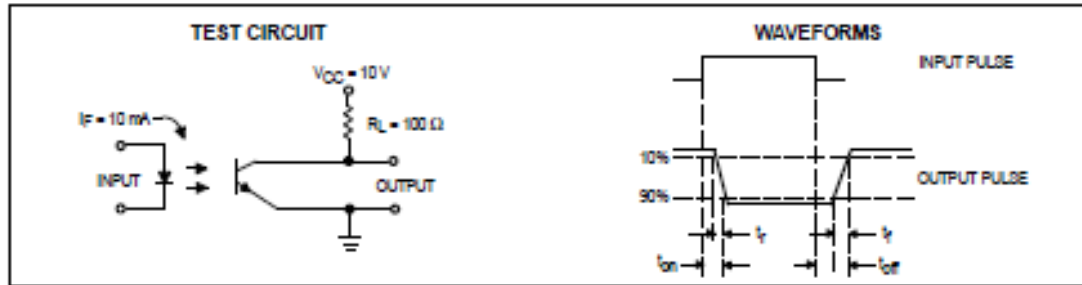
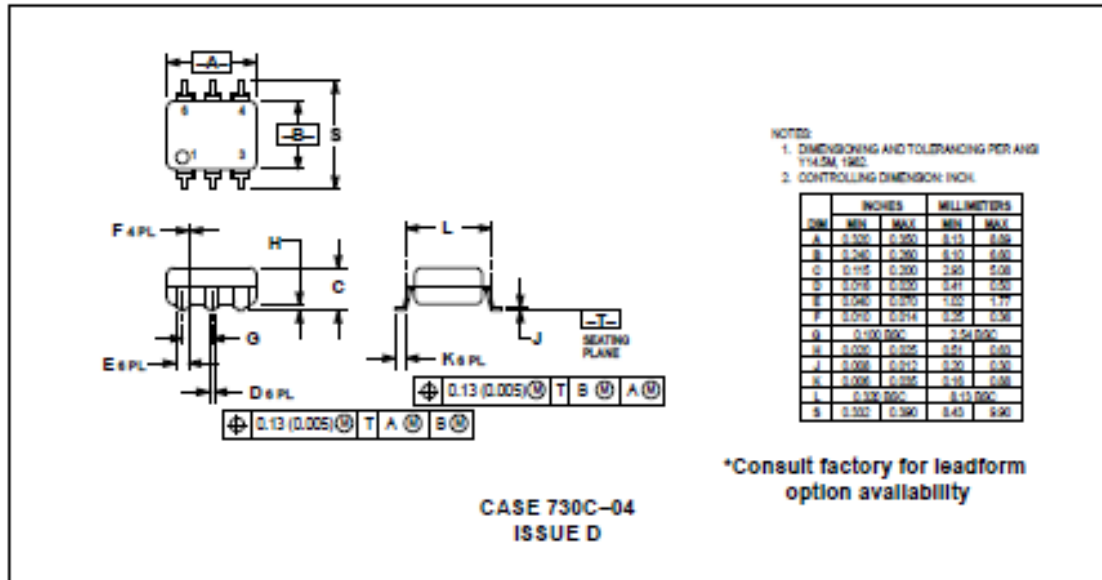
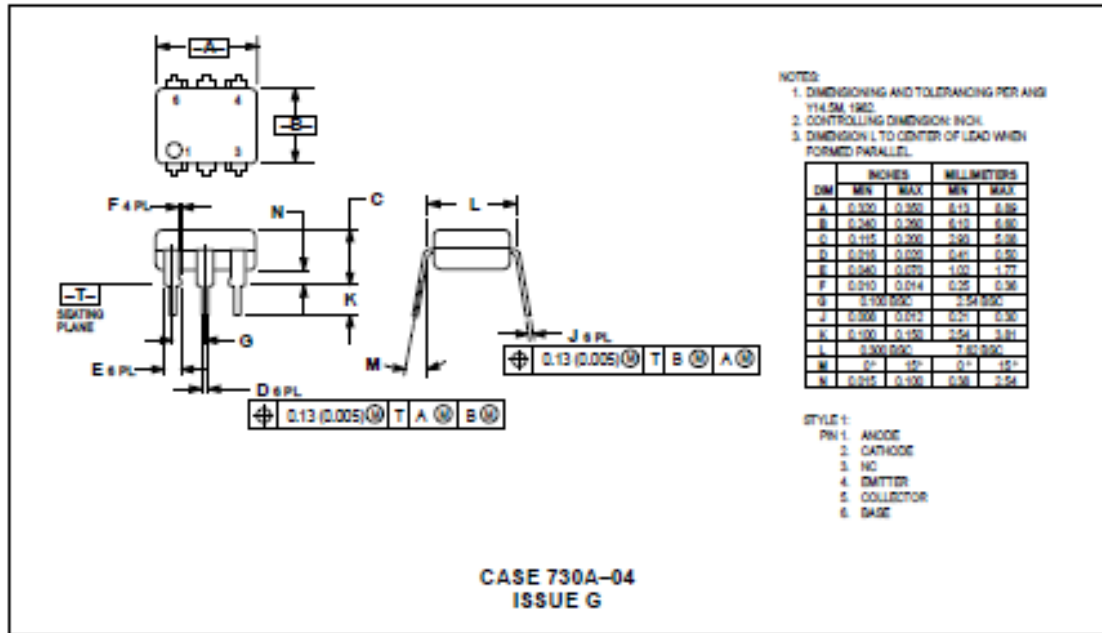


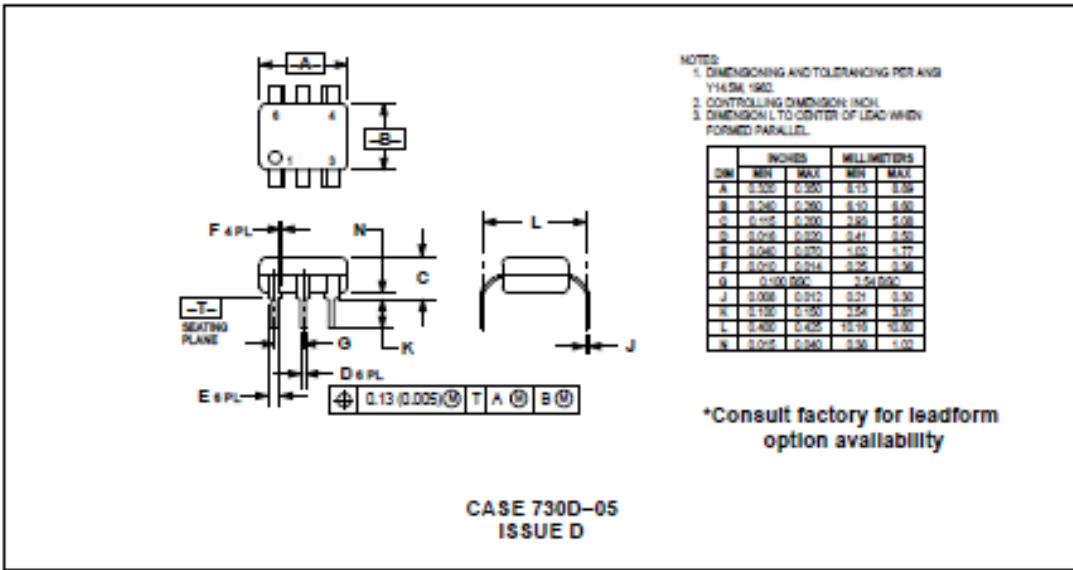
Figure 11. Switching Time Test Circuit and Waveforms

4N25 4N25A 4N26 4N27 4N28

PACKAGE DIMENSIONS



4N25 4N25A 4N26 4N27 4N28



Motorola reserves the right to make changes without further notice to any products herein. Motorola makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does Motorola assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages. "Typical" parameters can and do vary in different applications. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. Motorola does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. Motorola products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the Motorola product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use Motorola products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold Motorola and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that Motorola was negligent regarding the design or manufacture of the part. Motorola and (M) are registered trademarks of Motorola, Inc. Motorola, Inc. is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer.

How to reach us:
 USA/EUROPE: Motorola Literature Distribution,
 P.O. Box 20912, Phoenix, Arizona 85036. 1-800-441-2447

JAPAN: Nippon Motorola Ltd.; Tatsumi-SPD-JLDC, Tohkocho Obuk,
 8F Seibu-Butsuryu-Center, 3-14-2 Tatsumi Kota-Ku, Tokyo 135, Japan. 03-3521-8315

MFAX: RMFAXD@email.sps.mot.com - TOUCHTONE (800) 244-8809
 INTERNET: http://Design-NET.com

HONG KONG: Motorola Semiconductors H.K. Ltd.; 88 Tai Ping Industrial Park,
 51 Ting Kok Road, Tai Po, N.T., Hong Kong. 852-26829298

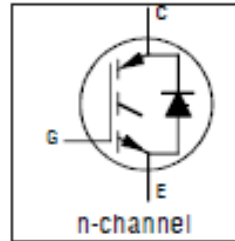


IRG4PC50UDPbF

INSULATED GATE BIPOLAR TRANSISTOR WITH ULTRAFAST SOFT RECOVERY DIODE UltraFast CoPack IGBT

Features

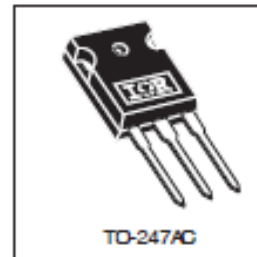
- UltraFast: Optimized for high operating frequencies 8-40 kHz in hard switching, >200 kHz in resonant mode
- Generation 4 IGBT design provides tighter parameter distribution and higher efficiency than Generation 3
- IGBT co-packaged with HEXFRED™ ultrafast, ultra-soft-recovery anti-parallel diodes for use in bridge configurations
- Industry standard TO-247AC package
- Lead-Free



$V_{CES} = 600V$
 $V_{CE(on)} \text{ typ.} = 1.65V$
 @ $V_{GE} = 15V, I_C = 27A$

Benefits

- Generation 4 IGBT's offer highest efficiencies available
- IGBT's optimized for specific application conditions
- HEXFRED diodes optimized for performance with IGBT's. Minimized recovery characteristics require less/no snubbing
- Designed to be a "drop-in" replacement for equivalent industry-standard Generation 3 IR IGBT's



Absolute Maximum Ratings

	Parameter	Max.	Units
V_{CES}	Collector-to-Emitter Voltage	600	V
$I_C @ T_C = 25^\circ C$	Continuous Collector Current	55	A
$I_C @ T_C = 100^\circ C$	Continuous Collector Current	27	
I_{CM}	Pulsed Collector Current Φ	220	
I_{LM}	Clamped Inductive Load Current Φ	220	
$I_F @ T_C = 100^\circ C$	Diode Continuous Forward Current	25	
I_{FM}	Diode Maximum Forward Current	220	
V_{GE}	Gate-to-Emitter Voltage	+ 20	V
$P_D @ T_C = 25^\circ C$	Maximum Power Dissipation	200	W
$P_D @ T_C = 100^\circ C$	Maximum Power Dissipation	78	
T_J	Operating Junction and	-55 to +150	°C
T_{STG}	Storage Temperature Range		
	Soldering Temperature, for 10 sec.	300 (0.063 in. (1.6mm) from case)	
	Mounting Torque, 6-32 or M3 Screw.	10 lbf-in (1.1 N-m)	

Thermal Resistance

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case - IGBT	-----	-----	0.64	°C/W
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case - Diode	-----	-----	0.83	
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, flat, greased surface	-----	0.24	-----	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient, typical socket mount	-----	-----	40	
Wt	Weight	-----	6 (0.21)	-----	g (oz)

IRG4PC50UDPbF

International
IGR Rectifier

Electrical Characteristics @ $T_J = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise specified)

Parameter	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions	
$V_{(BR)CES}$	Collector-to-Emitter Breakdown Voltage ⁽¹⁾	600	----	----	V	$V_{GE} = 0V, I_C = 250\mu A$	
$\Delta V_{(BR)CES}/\Delta T$	Temperature Coeff. of Breakdown Voltage	----	0.60	----	V/°C	$V_{GE} = 0V, I_C = 1.0mA$	
$V_{CE(sat)}$	Collector-to-Emitter Saturation Voltage	----	1.65	2.0	V	$I_C = 27A, V_{GE} = 15V$ See Fig. 2, 5	
		----	2.0	----			$I_C = 55A$
		----	1.6	----			$I_C = 27A, T_J = 150^\circ\text{C}$
$V_{GE(th)}$	Gate Threshold Voltage	3.0	----	6.0		$V_{CE} = V_{GE}, I_C = 250\mu A$	
$\Delta V_{GE(th)}/\Delta T$	Temperature Coeff. of Threshold Voltage	----	-13	----	mV/°C	$V_{CE} = V_{GE}, I_C = 250\mu A$	
g_{fs}	Forward Transconductance ⁽²⁾	16	24	----	S	$V_{CE} = 100V, I_C = 27A$	
I_{CES}	Zero Gate Voltage Collector Current	----	----	250	μA	$V_{GE} = 0V, V_{CE} = 600V$	
		----	----	6500		$V_{GE} = 0V, V_{CE} = 600V, T_J = 150^\circ\text{C}$	
V_{FM}	Diode Forward Voltage Drop	----	1.3	1.7	V	$I_C = 25A$ See Fig. 13	
		----	1.2	1.5			$I_C = 25A, T_J = 150^\circ\text{C}$
I_{GES}	Gate-to-Emitter Leakage Current	----	----	+100	nA	$V_{GE} = +20V$	

Switching Characteristics @ $T_J = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise specified)

Parameter	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
Q_g	Total Gate Charge (turn-on)	----	180	270		$I_C = 27A$
Q_{ge}	Gate - Emitter Charge (turn-on)	----	25	38	nC	$V_{CC} = 400V$ See Fig. 8
Q_{gc}	Gate - Collector Charge (turn-on)	----	61	90		$V_{GE} = 15V$
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	----	46	----		$T_J = 25^\circ\text{C}$
t_r	Rise Time	----	25	----	ns	$I_C = 27A, V_{CC} = 480V$
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	----	140	230		$V_{GE} = 15V, R_G = 5.0\Omega$
t_f	Fall Time	----	74	110		Energy losses include "tail" and diode reverse recovery.
E_{on}	Turn-On Switching Loss	----	0.99	----	mJ	See Fig. 9, 10, 11, 18
E_{off}	Turn-Off Switching Loss	----	0.59	----		
E_{sw}	Total Switching Loss	----	1.58	1.9		
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	----	44	----		$T_J = 150^\circ\text{C}$, See Fig. 9, 10, 11, 18
t_r	Rise Time	----	27	----	ns	$I_C = 27A, V_{CC} = 480V$
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	----	240	----		$V_{GE} = 15V, R_G = 5.0\Omega$
t_f	Fall Time	----	130	----		Energy losses include "tail" and diode reverse recovery.
E_{sw}	Total Switching Loss	----	2.3	----	mJ	Measured 5mm from package
L_E	Internal Emitter Inductance	----	13	----	nH	
C_{ies}	Input Capacitance	----	4000	----		$V_{GE} = 0V$
C_{oes}	Output Capacitance	----	250	----	pF	$V_{CC} = 30V$ See Fig. 7
C_{res}	Reverse Transfer Capacitance	----	52	----		$f = 1.0MHz$
t_{rr}	Diode Reverse Recovery Time	----	50	75	ns	$T_J = 25^\circ\text{C}$ See Fig. 14 $T_J = 125^\circ\text{C}$ 14 $I_F = 25A$
		----	105	160		
I_{rr}	Diode Peak Reverse Recovery Current	----	4.5	10	A	$T_J = 25^\circ\text{C}$ See Fig. 15 $T_J = 125^\circ\text{C}$ 15
		----	8.0	15		
Q_{rr}	Diode Reverse Recovery Charge	----	112	375	nC	$T_J = 25^\circ\text{C}$ See Fig. 16 $T_J = 125^\circ\text{C}$ 16
		----	420	1200		
$di_{(recovery)}/dt$	Diode Peak Rate of Fall of Recovery During t_b	----	250	----	A/ μs	$T_J = 25^\circ\text{C}$ $T_J = 125^\circ\text{C}$
		----	160	----		

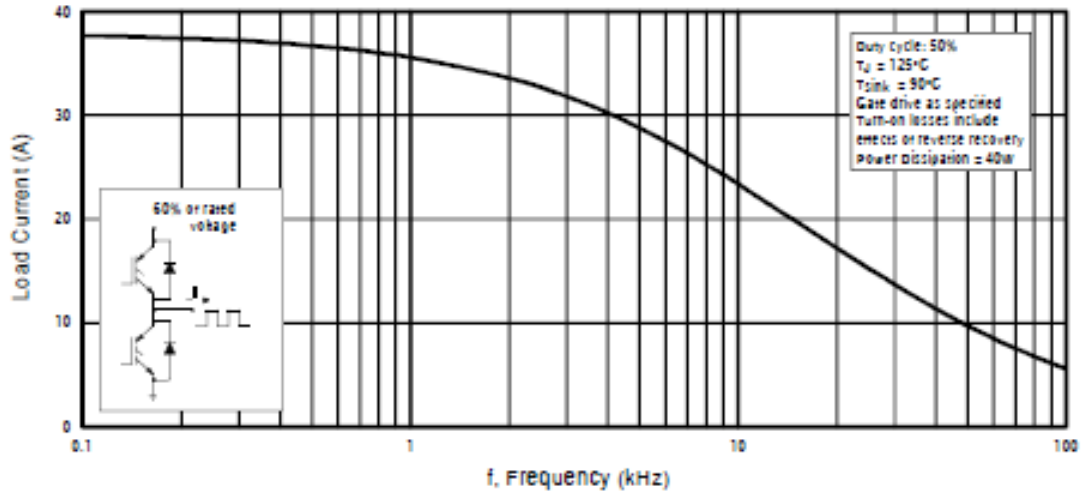


Fig. 1 - Typical Load Current vs. Frequency
(Load Current = I_{RMS} of fundamental)

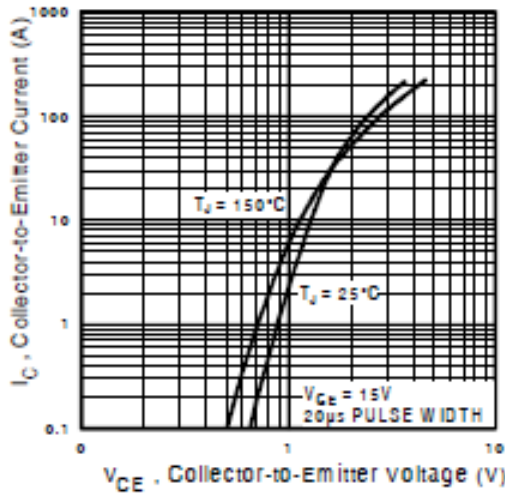


Fig. 2 - Typical Output Characteristics

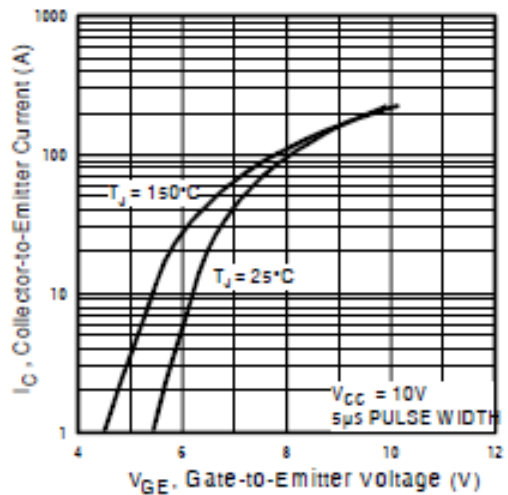


Fig. 3 - Typical Transfer Characteristics

IRG4PC50UDPbF

International
IGR Rectifier

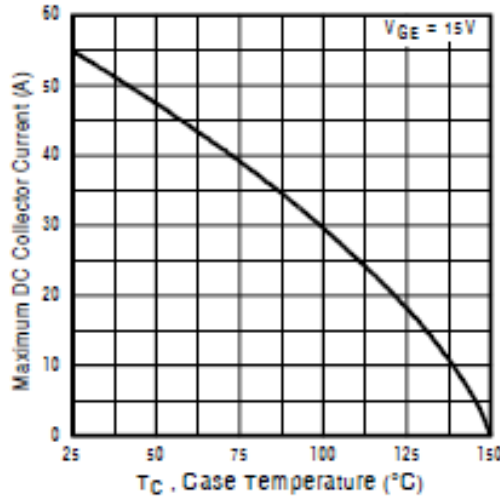


Fig. 4 - Maximum Collector Current vs. Case Temperature

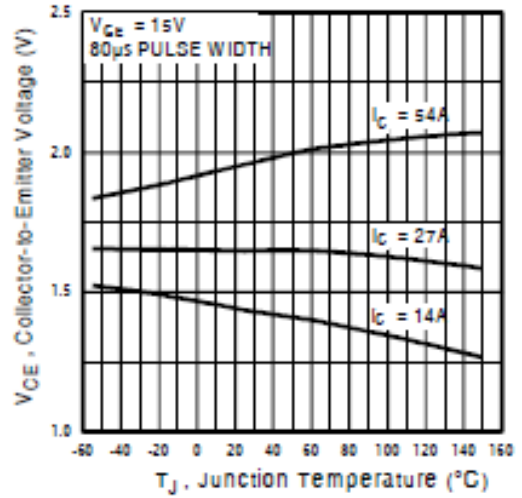


Fig. 5 - Typical Collector-to-Emitter Voltage vs. Junction Temperature

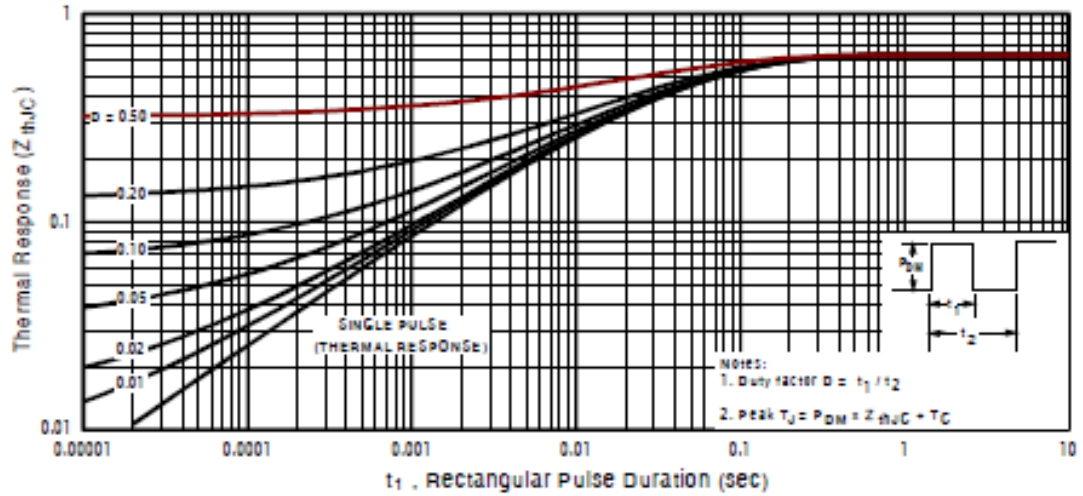


Fig. 6 - Maximum IGBT Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case

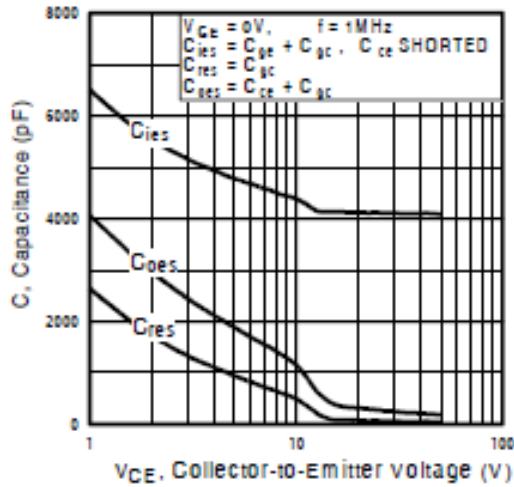


Fig. 7 - Typical Capacitance vs. Collector-to-Emitter Voltage

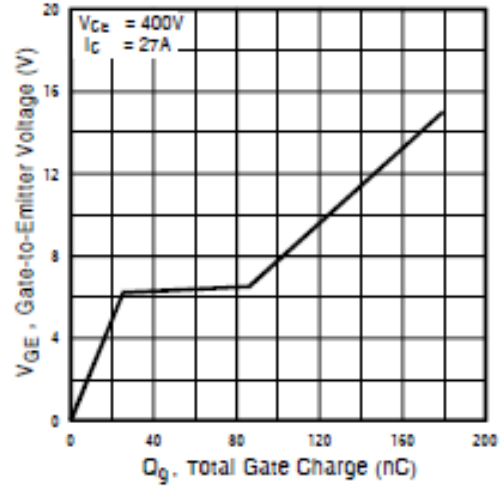


Fig. 8 - Typical Gate Charge vs. Gate-to-Emitter Voltage

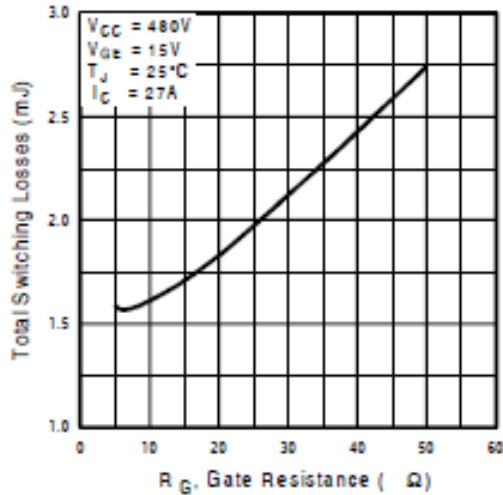


Fig. 9 - Typical Switching Losses vs. Gate Resistance

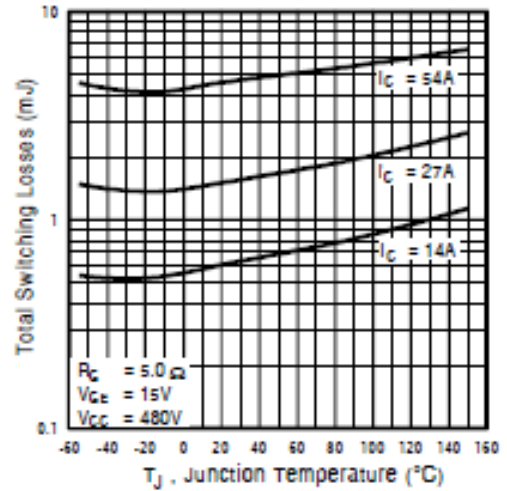


Fig. 10 - Typical Switching Losses vs. Junction Temperature

IRG4PC50UDPbF

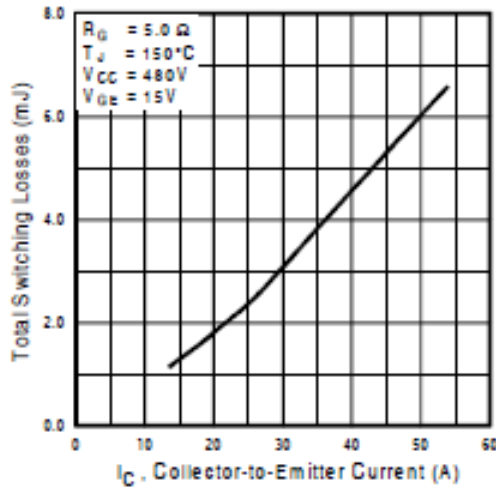


Fig. 11 - Typical Switching Losses vs. Collector-to-Emitter Current

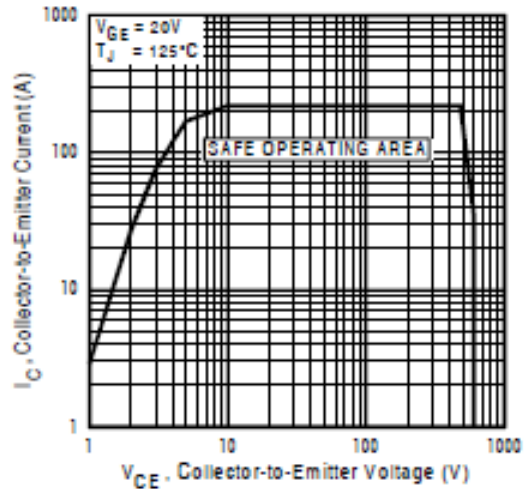


Fig. 12 - Turn-Off SOA

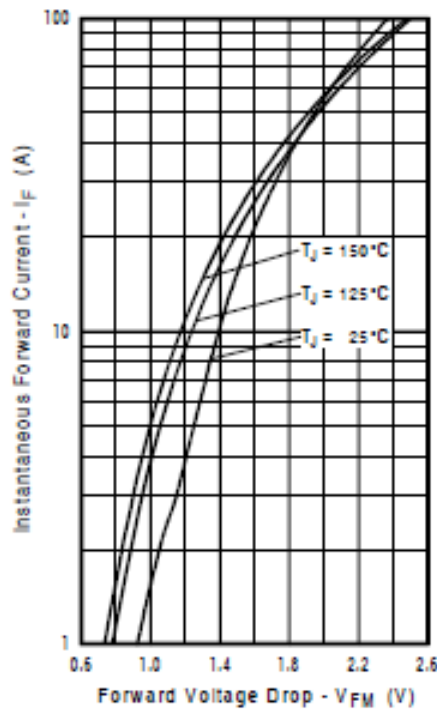


Fig. 13 - Maximum Forward Voltage Drop vs. Instantaneous Forward Current

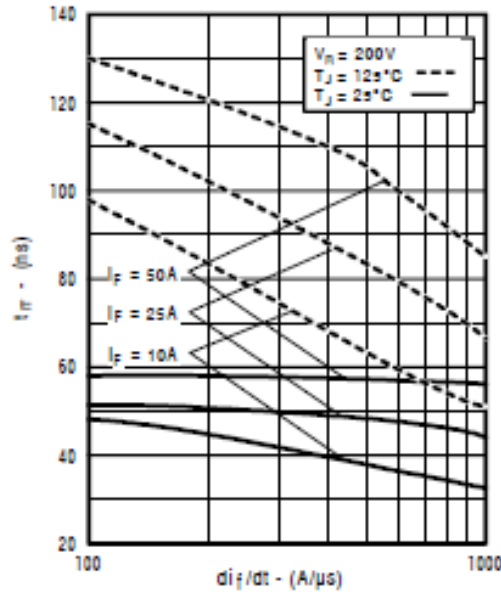


Fig. 14 - Typical Reverse Recovery vs. di_F/dt

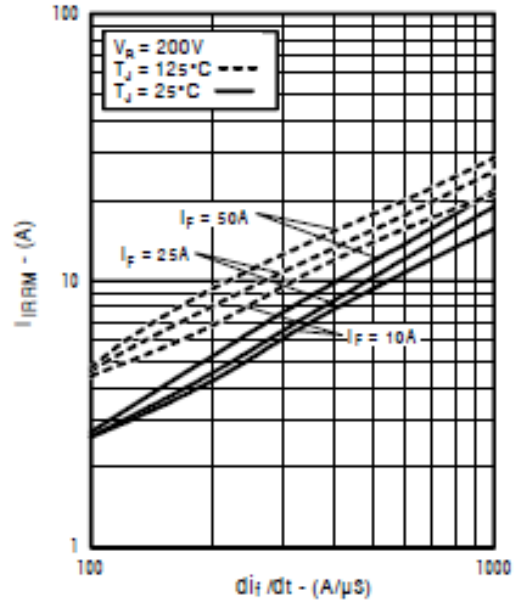


Fig. 15 - Typical Recovery Current vs. di_F/dt

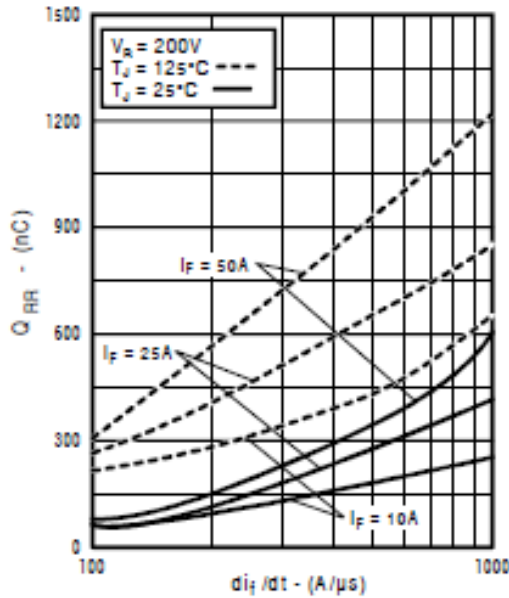


Fig. 16 - Typical Stored Charge vs. di_F/dt

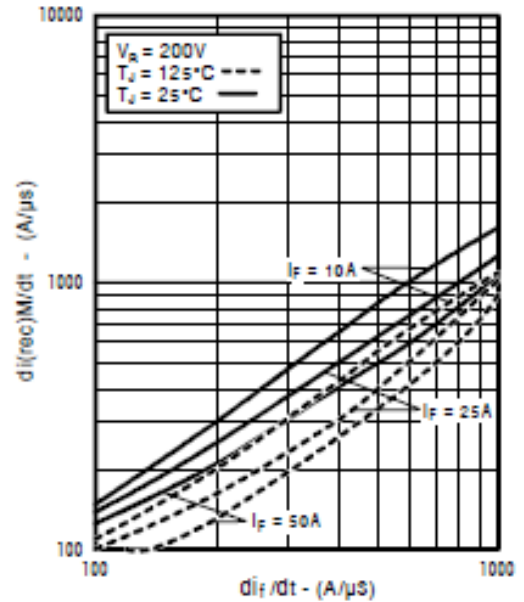


Fig. 17 - Typical $di_{(rec)M}/dt$ vs. di_F/dt

IRG4PC50UDPbF

International
IGR Rectifier

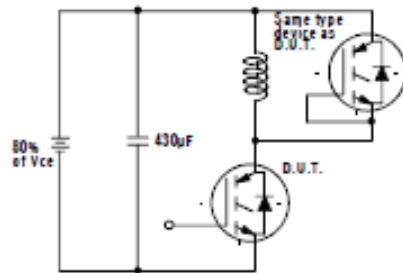


Fig. 18a - Test Circuit for Measurement of I_{LM} , E_{on} , E_{off} (diode), t_{rr} , Q_{rr} , I_{rr} , $t_{d(on)}$, t_r , $t_{d(off)}$, t_f

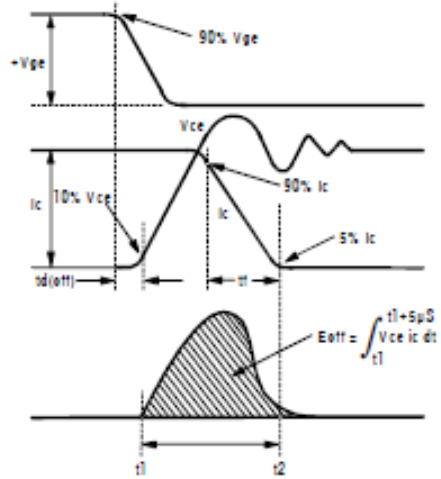


Fig. 18b - Test Waveforms for Circuit of Fig. 18a, Defining E_{off} , $t_{d(off)}$, t_f

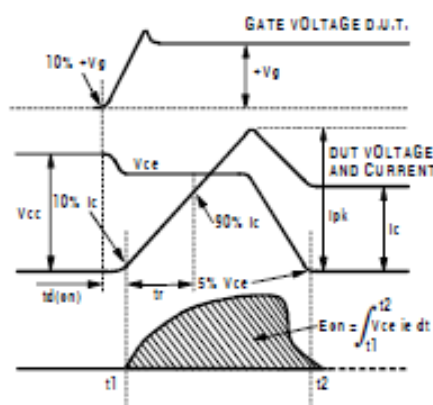


Fig. 18c - Test Waveforms for Circuit of Fig. 18a, Defining E_{on} , $t_{d(on)}$, t_r

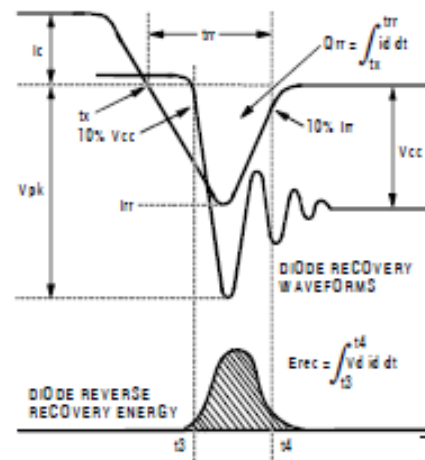


Fig. 18d - Test Waveforms for Circuit of Fig. 18a, Defining E_{rec} , t_{rr} , Q_{rr} , I_{rr}

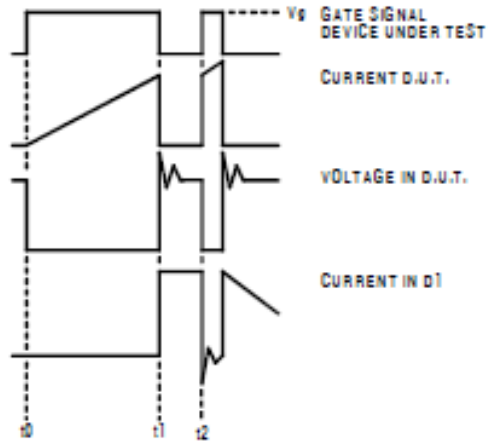


Figure 18e. Macro Waveforms for Figure 18a's Test Circuit

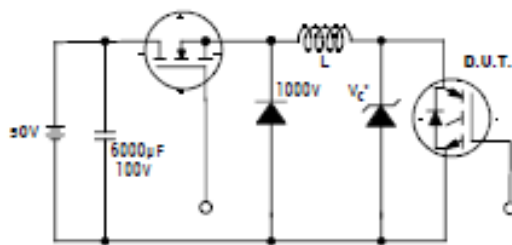


Figure 19. Clamped Inductive Load Test Circuit

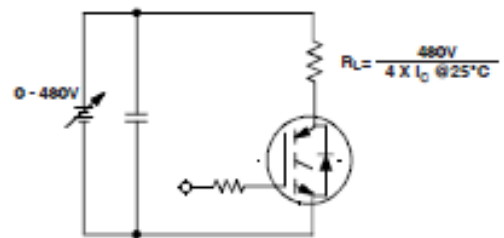


Figure 20. Pulsed Collector Current Test Circuit

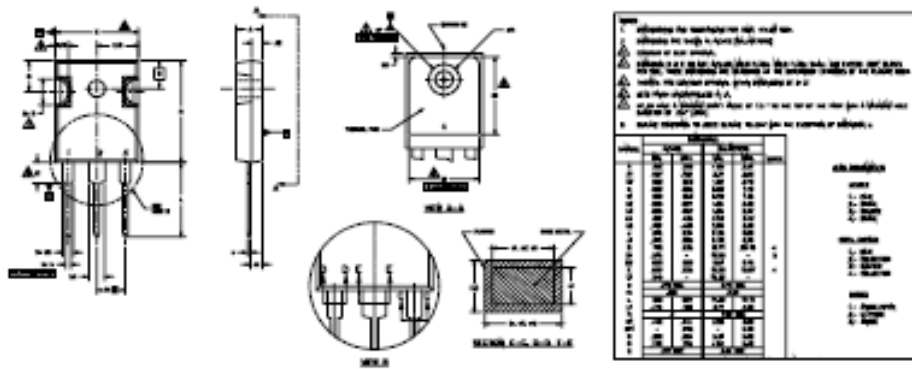
IRG4PC50UDPbF

Notes:

- ① Repetitive rating: $V_{GE} = 20V$; pulse width limited by maximum junction temperature (figure 20)
- ② $V_{CC} = 80\%(V_{CES})$, $V_{GE} = 20V$, $L = 10\mu H$, $R_G = 5.0\Omega$ (figure 19)
- ③ Pulse width $\leq 80\mu s$; duty factor $\leq 0.1\%$.
- ④ Pulse width $5.0\mu s$, single shot.

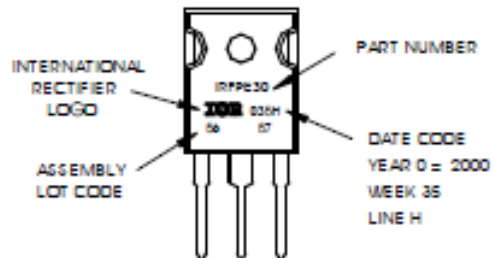
TO-247AG Package Outline

Dimensions are shown in millimeters (inches)



TO-247AG Part Marking Information

EXAMPLE: THIS IS AN IRFP630
 WITH ASSEMBLY
 LOT CODE 5657
 ASSEMBLED ON WW 35, 2000
 IN THE ASSEMBLY LINE "H"
 Note: "P" in assembly line
 position indicates "Lead-Free"



Data and specifications subject to change without notice.

Plastic Medium-Power Complementary Silicon Transistors

... designed for general-purpose amplifier and low-speed switching applications.

- High DC Current Gain —
 $h_{FE} = 2500$ (Typ) @ $I_C = 4.0$ Adc
- Collector-Emitter Sustaining Voltage — @ 100 mAdc
 $V_{CE(sus)} = 60$ Vdc (Min) — TIP120, TIP125
 $= 80$ Vdc (Min) — TIP121, TIP126
 $= 100$ Vdc (Min) — TIP122, TIP127
- Low Collector-Emitter Saturation Voltage —
 $V_{CE(sat)} = 2.0$ Vdc (Max) @ $I_C = 3.0$ Adc
 $= 4.0$ Vdc (Max) @ $I_C = 5.0$ Adc
- Monolithic Construction with Built-In Base-Emitter Shunt Resistors
- TO-220AB Compact Package

*MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	TIP120, TIP125	TIP121, TIP126	TIP122, TIP127	Unit
Collector-Emitter Voltage	V_{CEO}	60	80	100	Vdc
Collector-Base Voltage	V_{CB}	60	80	100	Vdc
Emitter-Base Voltage	V_{EB}	5.0			Vdc
Collector Current — Continuous Peak	I_C	5.0 8.0			A dc
Base Current	I_B	120			mAdc
Total Power Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	65 0.52			Watts $W/^\circ\text{C}$
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	2.0 0.016			Watts $W/^\circ\text{C}$
Unclamped Inductive Load Energy (1)	E	50			mJ
Operating and Storage Junction, Temperature Range	T_J, T_{stg}	-65 to +150			$^\circ\text{C}$

THERMAL CHARACTERISTICS

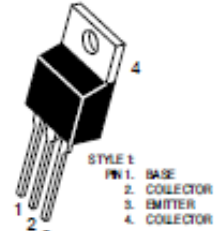
Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction to Case	$R_{\theta JC}$	1.92	$^\circ\text{C/W}$
Thermal Resistance, Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$	62.5	$^\circ\text{C/W}$

(1) $I_C = 1$ A, $L = 100$ mH, P.R.F. = 10 Hz, $V_{CC} = 20$ V, $R_{BE} = 100$ Ω .

NPN
TIP120*
TIP121*
TIP122*
 PNP
TIP125*
TIP126*
TIP127*

*ON Semiconductor Preferred Device

DARLINGTON
 5 AMPERE
 COMPLEMENTARY SILICON
 POWER TRANSISTORS
 60-80-100 VOLTS
 65 WATTS



CASE 221A-09
 TO-220AB

Preferred devices are ON Semiconductor recommended choices for future use and best overall value.

TIP120 TIP121 TIP122 TIP125 TIP126 TIP127

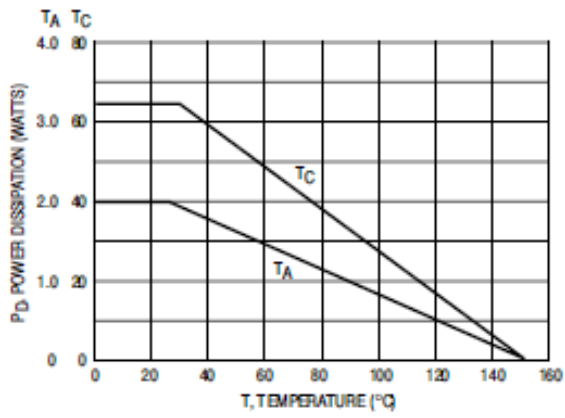


Figure 1. Power Derating

TIP120 TIP121 TIP122 TIP125 TIP126 TIP127

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_C = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit
OFF CHARACTERISTICS				
Collector-Emitter Sustaining Voltage (1) ($I_C = 100\text{ mAdc}$, $I_B = 0$)	$V_{CE(sus)}$	60 80 100	—	Vdc
Collector Cutoff Current ($V_{CE} = 30\text{ Vdc}$, $I_B = 0$) ($V_{CE} = 40\text{ Vdc}$, $I_B = 0$) ($V_{CE} = 50\text{ Vdc}$, $I_B = 0$)	I_{CEO}	— — —	0.5 0.5 0.5	mAdc
Collector Cutoff Current ($V_{CB} = 60\text{ Vdc}$, $I_E = 0$) ($V_{CB} = 80\text{ Vdc}$, $I_E = 0$) ($V_{CB} = 100\text{ Vdc}$, $I_E = 0$)	I_{CBO}	— — —	0.2 0.2 0.2	mAdc
Emitter Cutoff Current ($V_{BE} = 5.0\text{ Vdc}$, $I_C = 0$)	I_{EBO}	—	2.0	mAdc
ON CHARACTERISTICS (1)				
DC Current Gain ($I_C = 0.5\text{ Adc}$, $V_{CE} = 3.0\text{ Vdc}$) ($I_C = 3.0\text{ Adc}$, $V_{CE} = 3.0\text{ Vdc}$)	h_{FE}	1000 1000	— —	—
Collector-Emitter Saturation Voltage ($I_C = 3.0\text{ Adc}$, $I_B = 12\text{ mAdc}$) ($I_C = 5.0\text{ Adc}$, $I_B = 20\text{ mAdc}$)	$V_{CE(sat)}$	— —	2.0 4.0	Vdc
Base-Emitter On Voltage ($I_C = 3.0\text{ Adc}$, $V_{CE} = 3.0\text{ Vdc}$)	$V_{BE(on)}$	—	2.5	Vdc
DYNAMIC CHARACTERISTICS				
Small-Signal Current Gain ($I_C = 3.0\text{ Adc}$, $V_{CE} = 4.0\text{ Vdc}$, $f = 1.0\text{ MHz}$)	h_{fe}	4.0	—	—
Output Capacitance ($V_{CB} = 10\text{ Vdc}$, $I_E = 0$, $f = 0.1\text{ MHz}$)	C_{ob}	— —	300 200	pF

(1) Pulse Test: Pulse Width $\leq 300\ \mu\text{s}$, Duty Cycle $\leq 2\%$.

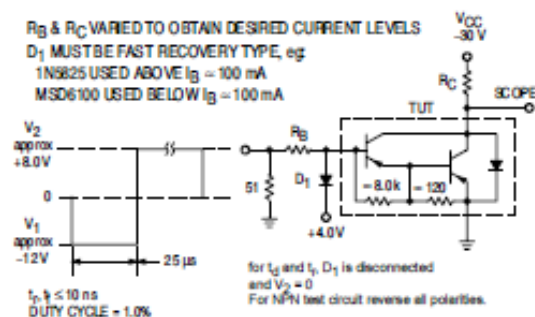


Figure 2. Switching Times Test Circuit

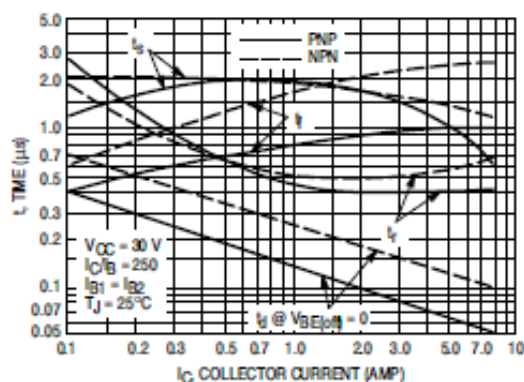


Figure 3. Switching Times

TIP120 TIP121 TIP122 TIP125 TIP126 TIP127

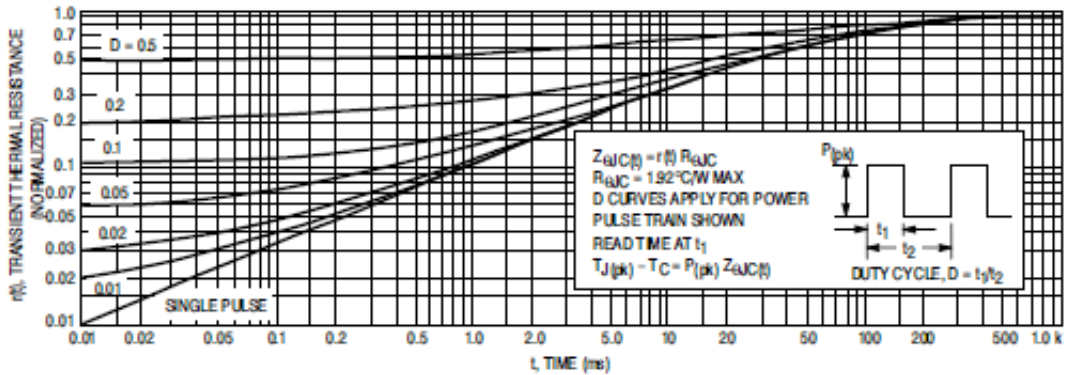


Figure 4. Thermal Response

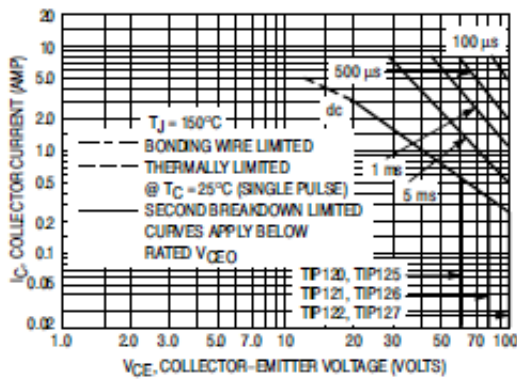


Figure 5. Active-Region Safe Operating Area

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 5 is based on $T_{j(pk)} = 150^{\circ}\text{C}$; T_C is variable depending on conditions. Second breakdown pulse limits are valid for duty cycles to 10% provided $T_{j(pk)} < 150^{\circ}\text{C}$. $T_{j(pk)}$ may be calculated from the data in Figure 4. At high case temperatures, thermal limitations will reduce the power that can be handled to values less than the limitations imposed by second breakdown

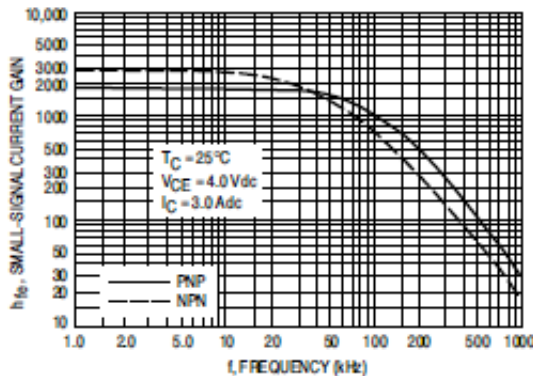


Figure 6. Small-Signal Current Gain

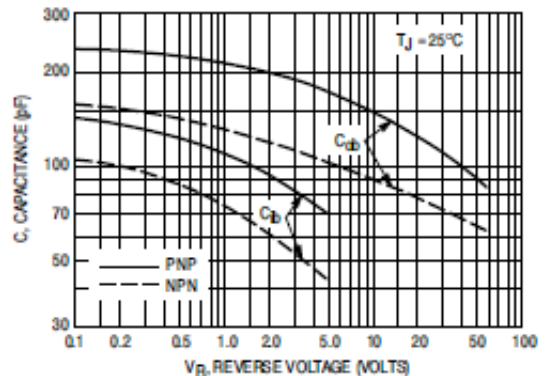


Figure 7. Capacitance

TIP120 TIP121 TIP122 TIP125 TIP126 TIP127

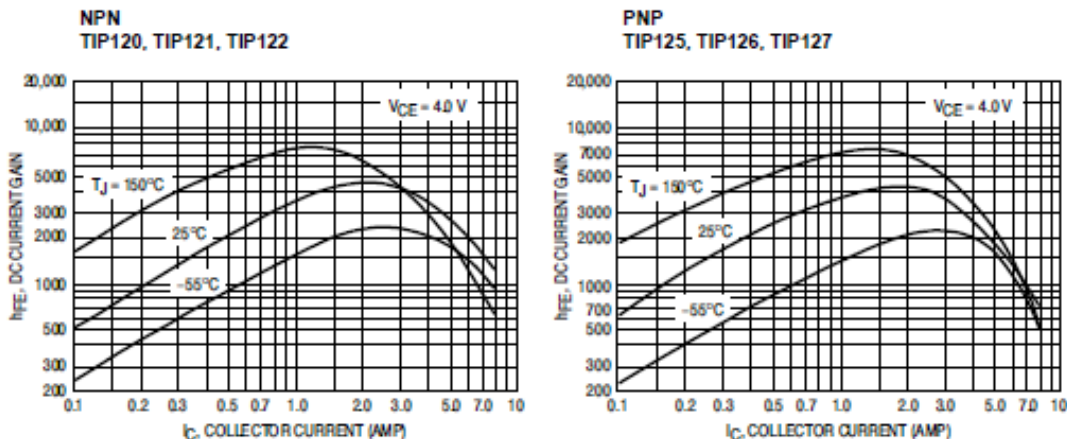


Figure 8. DC Current Gain

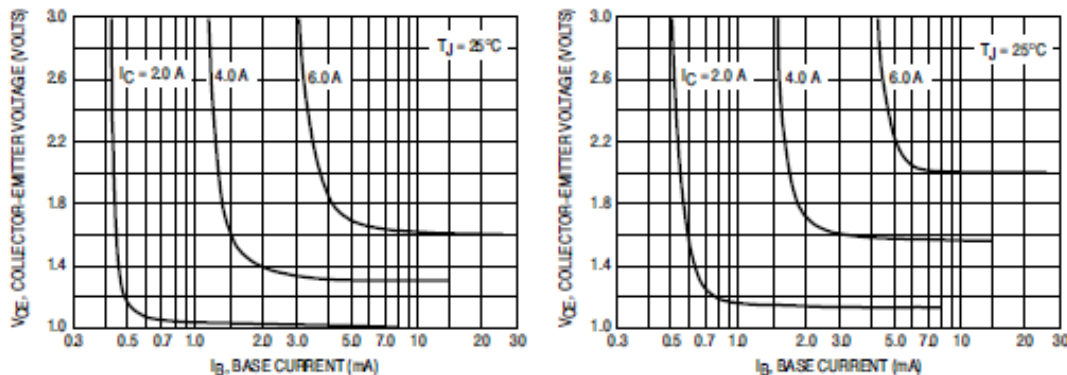


Figure 9. Collector Saturation Region

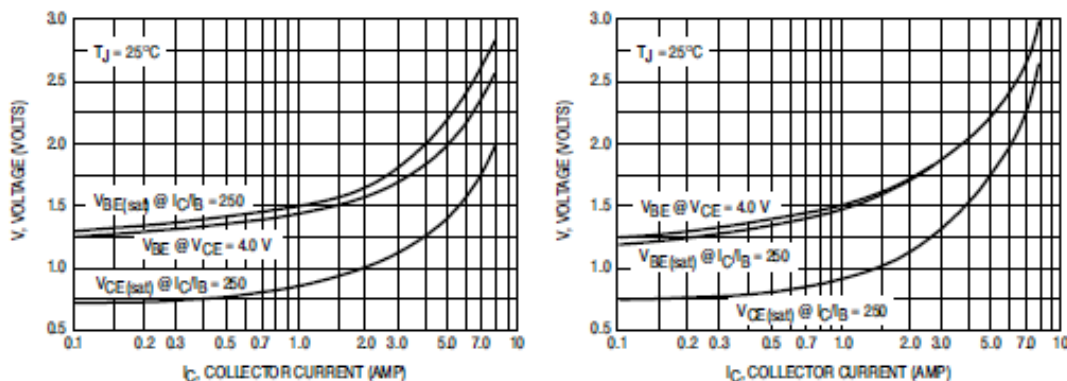
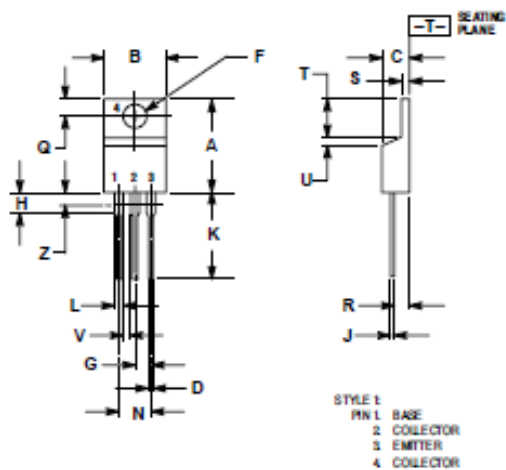


Figure 10. "On" Voltages

TIP120 TIP121 TIP122 TIP125 TIP126 TIP127

PACKAGE DIMENSIONS

TO-220AB
CASE 221A-09
ISSUE AA



- NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 2002.
 2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
 3. DIMENSION Z DEFINES A ZONE WHERE ALL BODY AND LEAD IRREGULARITIES ARE ALLOWED.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.270	0.620	14.40	15.75
B	0.285	0.405	9.85	10.28
C	0.160	0.190	4.07	4.82
D	0.025	0.035	0.64	0.89
F	0.142	0.147	3.61	3.72
G	0.095	0.105	2.42	2.66
H	0.110	0.155	2.80	3.93
J	0.018	0.025	0.46	0.64
K	0.500	0.962	12.70	14.27
L	0.045	0.060	1.15	1.52
N	0.190	0.210	4.83	5.33
Q	0.100	0.120	2.54	3.04
R	0.080	0.110	2.04	2.79
S	0.045	0.055	1.15	1.39
T	0.235	0.255	5.97	6.47
U	0.000	0.050	0.00	1.27
V	0.045	---	1.15	---
Z	---	0.080	---	2.04

Anexo G. Diodo P600M.



P600A – P600M

6.0A STANDARD DIODE

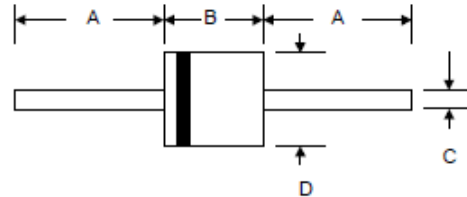


Features

- Diffused Junction
- Low Forward Voltage Drop
- High Current Capability
- High Reliability
- High Surge Current Capability

Mechanical Data

- Case: P-600, Molded Plastic
- Terminals: Plated Leads Solderable per MIL-STD-202, Method 208
- Polarity: Cathode Band
- Weight: 2.1 grams (approx.)
- Mounting Position: Any
- Marking: Type Number
- Lead Free: For RoHS / Lead Free Version, Add "-LF" Suffix to Part Number, See Page 4



P-600		
Dim	Min	Max
A	25.4	—
B	8.80	9.10
C	1.20	1.30
D	8.80	9.10
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	P600A	P600B	P600D	P600G	P600J	P600K	P600M	Unit
Peak Repetitive Reverse Voltage Working Peak Reverse Voltage DC Blocking Voltage	V _{RRM} V _{RWM} V _R	50	100	200	400	600	800	1000	V
RMS Reverse Voltage	V _{R(RMS)}	35	70	140	280	420	560	700	V
Average Rectified Output Current (Note 1) @T _A = 60°C	I _O	6.0							A
Non-Repetitive Peak Forward Surge Current 8.3ms Single half sine-wave superimposed on rated load (JEDEC Method)	I _{FSM}	400							A
Forward Voltage @I _F = 6.0A	V _{FM}	1.0							V
Peak Reverse Current @T _A = 25°C At Rated DC Blocking Voltage @T _A = 100°C	I _{RM}	5.0 1.0							μA mA
Typical Junction Capacitance (Note 2)	C _J	150							pF
Typical Thermal Resistance Junction to Ambient (Note 1)	R _{θJA}	20							°C/W
Operating Temperature Range	T _J	-50 to +150							°C
Storage Temperature Range	T _{STG}	-50 to +150							°C

Note: 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 D.C.

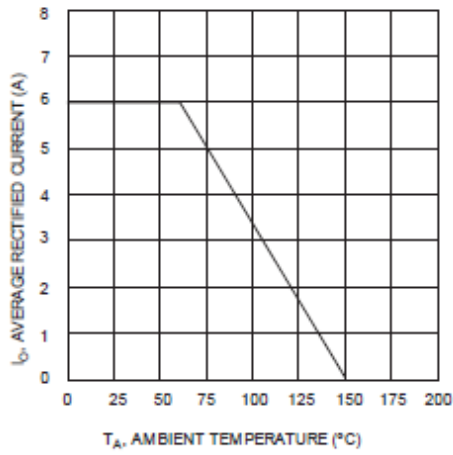


Fig. 1 Forward Current Derating Curve

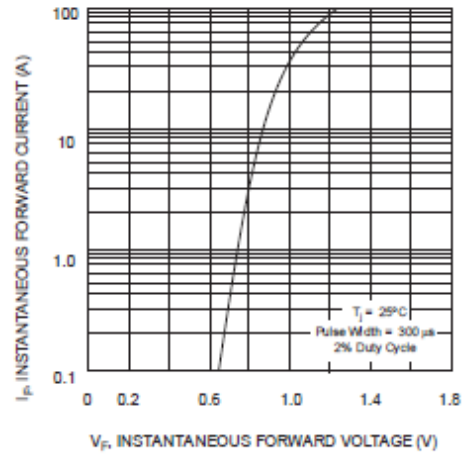


Fig. 2 Typical Forward Characteristics

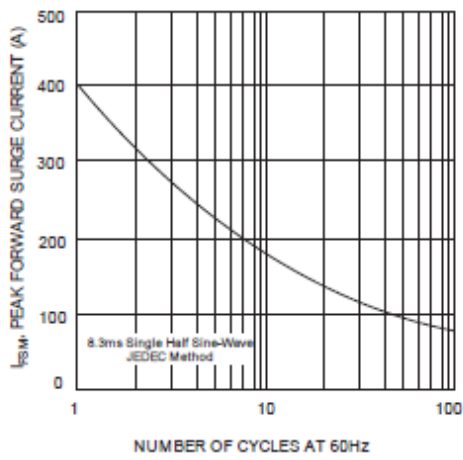


Fig. 3 Maximum Non-Repetitive Peak Forward Surge Current

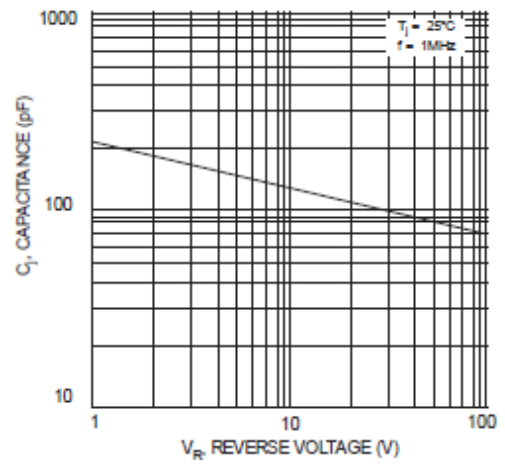
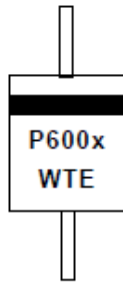


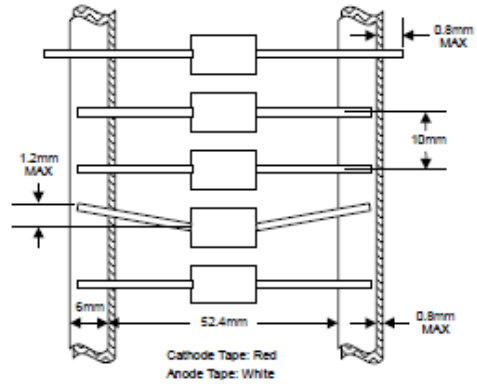
Fig. 4 Typical Junction Capacitance

MARKING INFORMATION



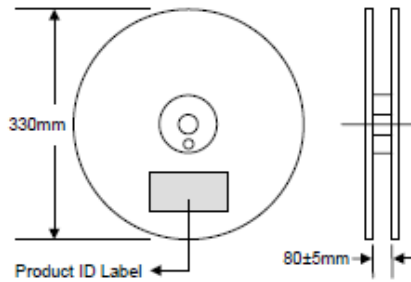
Cathode = Polarity Band
 P600x = Device Number
 x = A, B, D, G, J, K or M
 WTE = Manufacturer's Logo

TAPING SPECIFICATIONS

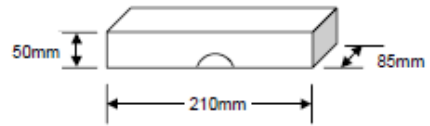


PACKAGING INFORMATION

TAPE & REEL



BULK



Packaging	Reel Diameter / Box Size (mm)	Quantity (PCS)	Carton Size (mm)	Quantity (PCS)	Approx. Gross Weight (KG)
TAPE & REEL	330	800	370 x 370 x 420	4,000	12.0
BULK	210 x 85 x 50	250	500 x 255 x 275	7,000	17.0

Note: 1. Paper reel, white or gray color. Core material: plastic or metal.
 2. Components are packed in accordance with EIA standard RS-296-E.

ORDERING INFORMATION

Product No.	Package Type	Shipping Quantity
P600A-T3	P-600	800/Tape & Reel
P600A	P-600	250 Units/Box
P600B-T3	P-600	800/Tape & Reel
P600B	P-600	250 Units/Box
P600D-T3	P-600	800/Tape & Reel
P600D	P-600	250 Units/Box
P600G-T3	P-600	800/Tape & Reel
P600G	P-600	250 Units/Box
P600J-T3	P-600	800/Tape & Reel
P600J	P-600	250 Units/Box
P600K-T3	P-600	800/Tape & Reel
P600K	P-600	250 Units/Box
P600M-T3	P-600	800/Tape & Reel
P600M	P-600	250 Units/Box

1. Products listed in **bold** are WTE Preferred devices.
2. Shipping quantity given is for minimum packing quantity only. For minimum order quantity, please consult the Sales Department.
3. To order RoHS / Lead Free version (with Lead Free finish), add "-LF" suffix to part number above. For example, P600A-T3-LF.

Won-Top Electronics Co., Ltd (WTE) has checked all information carefully and believes it to be correct and accurate. However, WTE cannot assume any responsibility for inaccuracies. Furthermore, this information does not give the purchaser of semiconductor devices any license under patent rights to manufacturer. WTE reserves the right to change any or all information herein without further notice.

WARNING: DO NOT USE IN LIFE SUPPORT EQUIPMENT. WTE power semiconductor products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without the express written approval.

Won-Top Electronics Co., Ltd.
 No. 44 Yu Kang North 3rd Road, Ching Chen Dist., Kaohsiung, Taiwan
 Phone: 886-7-822-5408 or 886-7-822-5410
 Fax: 886-7-822-5417
 Email: sales@wontop.com
 Internet: <http://www.wontop.com>

We power your everyday.

Anexo H. Transistor 2N3904.

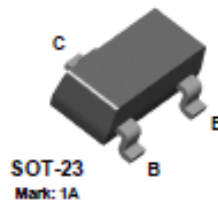
2N3904 / MMBT3904 / PZT3904



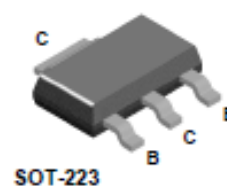
2N3904



MMBT3904



PZT3904



NPN General Purpose Amplifier

This device is designed as a general purpose amplifier and switch. The useful dynamic range extends to 100 mA as a switch and to 100 MHz as an amplifier.

Absolute Maximum Ratings* $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
V_{CE0}	Collector-Emitter Voltage	40	V
V_{CB0}	Collector-Base Voltage	60	V
V_{EB0}	Emitter-Base Voltage	6.0	V
I_C	Collector Current - Continuous	200	mA
T_J, T_{stg}	Operating and Storage Junction Temperature Range	-55 to +150	$^\circ\text{C}$

* These ratings are limiting values above which the serviceability of any semiconductor device may be impaired.

NOTES:

- 1) These ratings are based on a maximum junction temperature of 150 degrees C.
- 2) These are steady state limits. The factory should be consulted on applications involving pulsed or low duty cycle operations.

Thermal Characteristics $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Characteristic	Max			Units
		2N3904	*MMBT3904	**PZT3904	
P_D	Total Device Dissipation	625	350	1,000	mW
	Derate above 25 $^\circ\text{C}$	5.0	2.8	8.0	mW/ $^\circ\text{C}$
$R_{\theta JC}$	Thermal Resistance, Junction to Case	83.3			$^\circ\text{C}/\text{W}$
$R_{\theta JA}$	Thermal Resistance, Junction to Ambient	200	357	125	$^\circ\text{C}/\text{W}$

* Device mounted on FR-4 PCB 1.6" X 1.6" X 0.06"

** Device mounted on FR-4 PCB 38 mm X 18 mm X 1.5 mm; mounting pad for the collector lead min. 6 cm².

NPN General Purpose Amplifier

(continued)

Electrical Characteristics

 $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min	Max	Units
OFF CHARACTERISTICS					
$V_{(BR)CEO}$	Collector-Emitter Breakdown Voltage	$I_C = 1.0\text{ mA}, I_B = 0$	40		V
$V_{(BR)CBO}$	Collector-Base Breakdown Voltage	$I_C = 10\ \mu\text{A}, I_E = 0$	60		V
$V_{(BR)EBO}$	Emitter-Base Breakdown Voltage	$I_E = 10\ \mu\text{A}, I_C = 0$	6.0		V
I_{BL}	Base Cutoff Current	$V_{CE} = 30\text{ V}, V_{EB} = 3\text{ V}$		50	nA
I_{CEX}	Collector Cutoff Current	$V_{CE} = 30\text{ V}, V_{EB} = 3\text{ V}$		50	nA

ON CHARACTERISTICS*

h_{FE}	DC Current Gain	$I_C = 0.1\text{ mA}, V_{CE} = 1.0\text{ V}$ $I_C = 1.0\text{ mA}, V_{CE} = 1.0\text{ V}$ $I_C = 10\text{ mA}, V_{CE} = 1.0\text{ V}$ $I_C = 50\text{ mA}, V_{CE} = 1.0\text{ V}$ $I_C = 100\text{ mA}, V_{CE} = 1.0\text{ V}$	40 70 100 60 30	300	
$V_{CE(sat)}$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 10\text{ mA}, I_B = 1.0\text{ mA}$ $I_C = 50\text{ mA}, I_B = 5.0\text{ mA}$		0.2 0.3	V V
$V_{BE(sat)}$	Base-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 10\text{ mA}, I_B = 1.0\text{ mA}$ $I_C = 50\text{ mA}, I_B = 5.0\text{ mA}$	0.65	0.85 0.95	V V

SMALL SIGNAL CHARACTERISTICS

f_T	Current Gain - Bandwidth Product	$I_C = 10\text{ mA}, V_{CE} = 20\text{ V},$ $f = 100\text{ MHz}$	300		MHz
C_{obe}	Output Capacitance	$V_{CB} = 5.0\text{ V}, I_E = 0,$ $f = 1.0\text{ MHz}$		4.0	pF
C_{ibe}	Input Capacitance	$V_{EB} = 0.5\text{ V}, I_C = 0,$ $f = 1.0\text{ MHz}$		8.0	pF
NF	Noise Figure	$I_C = 100\ \mu\text{A}, V_{CE} = 5.0\text{ V},$ $R_B = 1.0\text{ k}\Omega, f = 10\text{ Hz to }15.7\text{ kHz}$		5.0	dB

SWITCHING CHARACTERISTICS

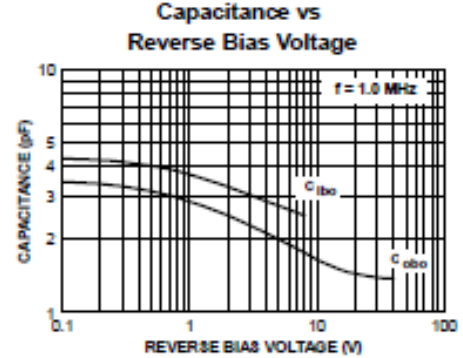
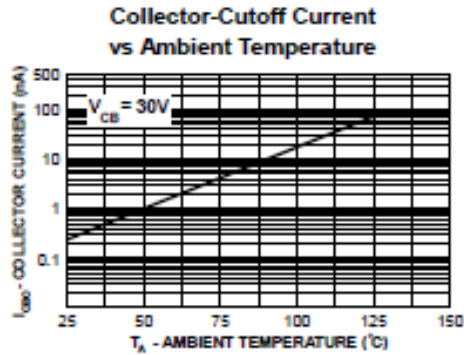
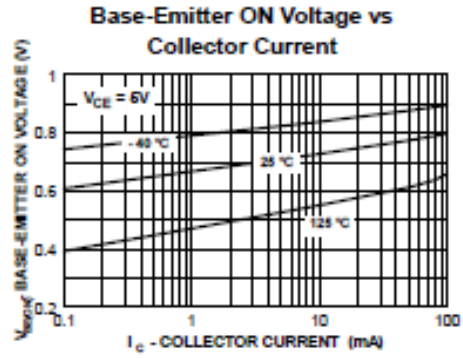
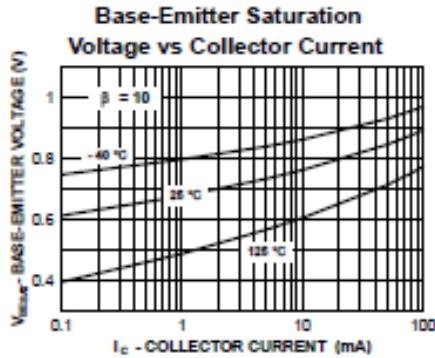
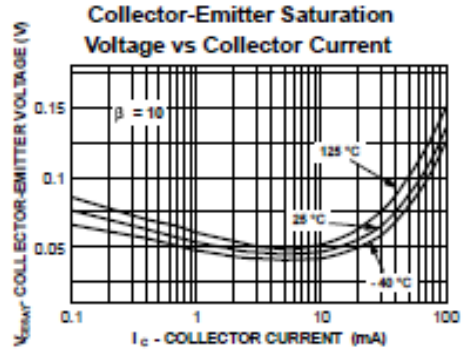
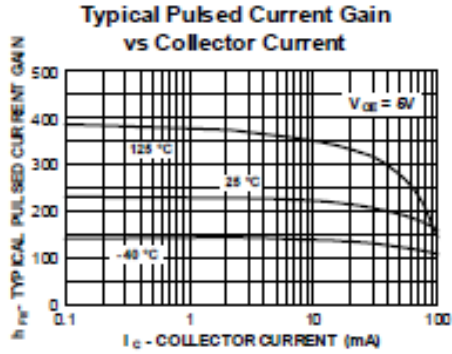
t_d	Delay Time	$V_{CC} = 3.0\text{ V}, V_{BE} = 0.5\text{ V},$		35	ns
t_r	Rise Time	$I_C = 10\text{ mA}, I_{B1} = 1.0\text{ mA}$		35	ns
t_s	Storage Time	$V_{CC} = 3.0\text{ V}, I_C = 10\text{ mA}$		200	ns
t_f	Fall Time	$I_{B1} = I_{B2} = 1.0\text{ mA}$		50	ns

* Pulse Test: Pulse Width $\leq 500\ \mu\text{s}$, Duty Cycle $\leq 2.0\%$

Spice Model

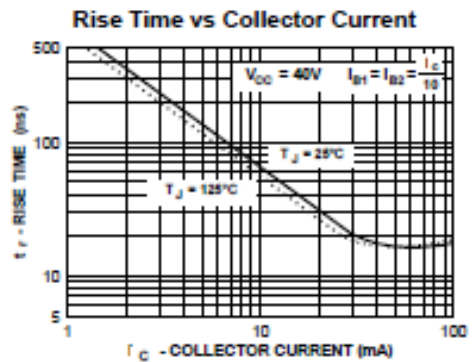
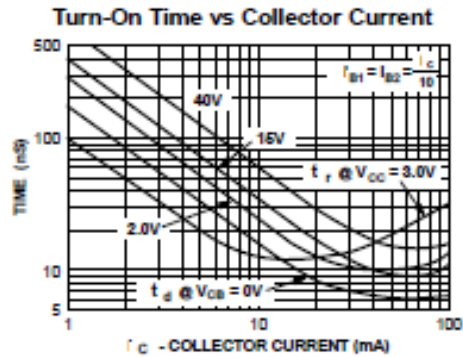
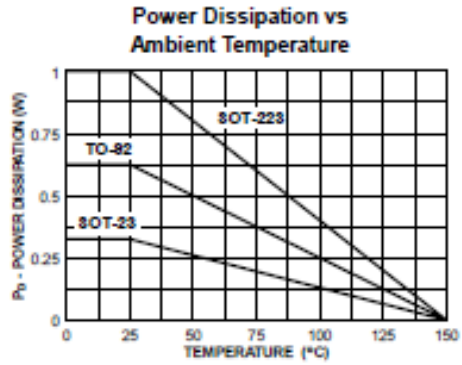
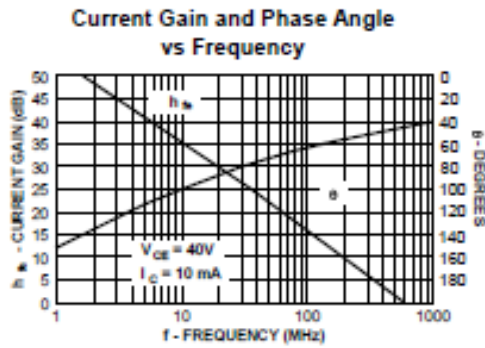
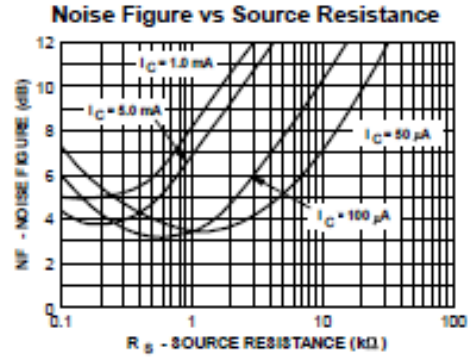
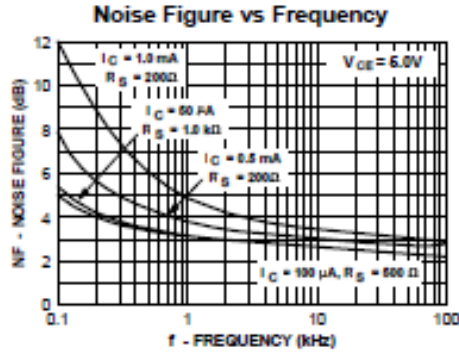
NPN (Is=6.734f Xti=3 Eg=1.11 Var=74.03 Bf=416.4 Ne=1.259 Ise=6.734 Ikt=66.78m Xtb=1.5 Br=.7371 No=2
Isc=0 Ikr=0 Rc=1 Cjo=3.638p Mjc=.3085 Vjc=.75 Fc=.5 Cje=4.493p Mje=.2593 Vje=.75 Tr=239.5n Tf=301.2p
Itf=.4 Vtf=4 Xtf=2 Rb=10)

Typical Characteristics



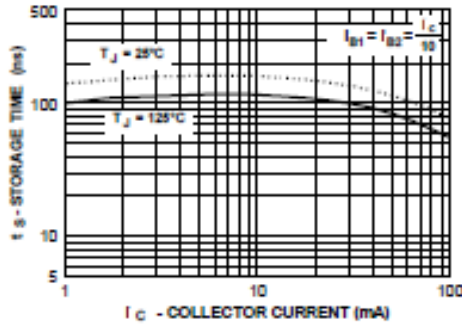
NPN General Purpose Amplifier
(continued)

Typical Characteristics (continued)

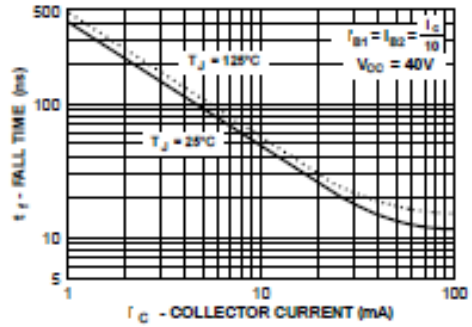


Typical Characteristics (continued)

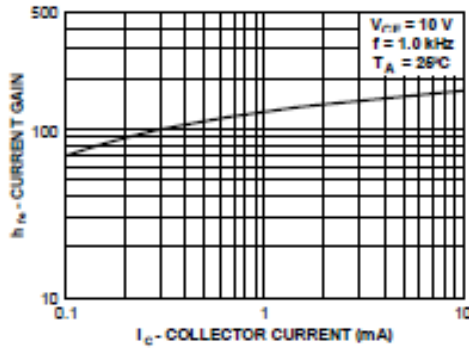
Storage Time vs Collector Current



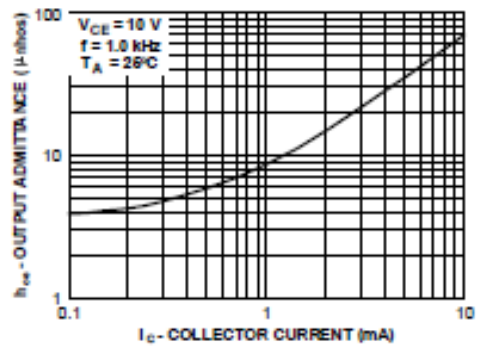
Fall Time vs Collector Current



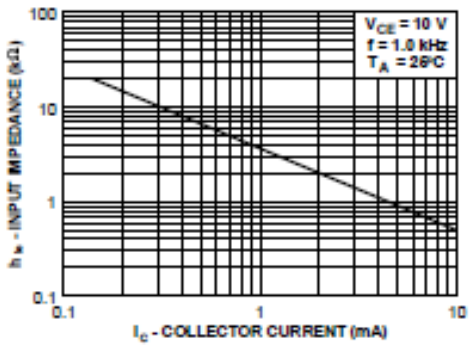
Current Gain



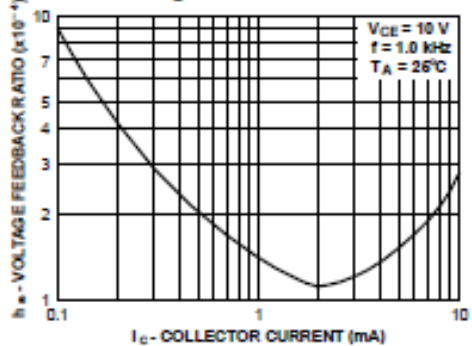
Output Admittance



Input Impedance



Voltage Feedback Ratio



Test Circuits

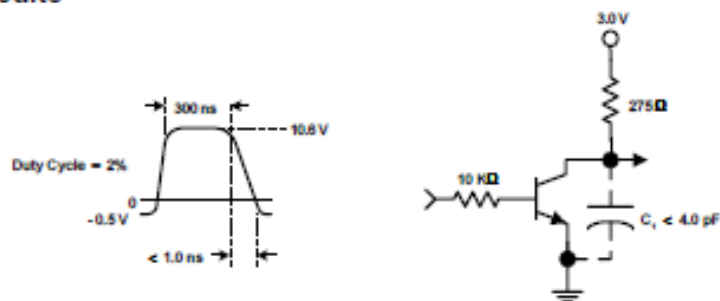


FIGURE 1: Delay and Rise Time Equivalent Test Circuit

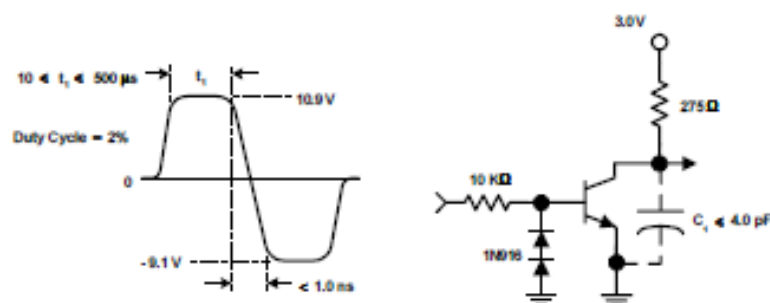


FIGURE 2: Storage and Fall Time Equivalent Test Circuit

Anexo I. Relé JQC-3F.

	SUBMINIATURE POWER RELAYS Single-Pole , 10Amp , PC Board	JQC-3FF
---	--	---------



- UL / CUR File No.E170653
- TUV Certificate No. R 2034012
- CQC CQC 03001002865
- SPST-NO & DPDT configuration
- Standard PC layout
- Sealed version available

■ CONTACT DATA

Arrangement	1 Form A	1 Form C
Initial Contact Resistance Max. (at 1A 24VDC)	100m Ω	100m Ω
Contact Material	Silver Alloy	Silver Alloy
Contact Rating (Res. Load)	15A 125VAC	10A 277VAC/24VDC
Max. switching voltage	250VAC/30VDC	250VAC/30VDC
Max. switching current	15A	
Max. switching power	2770VA 240W	2770VA 240W
UL/CUR rating	15A 125VAC	10A 120VAC
	10A 277VAC	10A 277VAC
	12A 120VAC	
	TV-5 120VAC	
TUV rating	12A 125VAC	5A 250VAC
Expected Life min. operations	Mechanical	1X10 ⁷ OPS
	Electrical	1X10 ⁵ OPS
COIL		
Nominal coil power	360mW	360mW

■ characteristics

Initial Insulation Resistance	100 MΩ 500VDC	
Dielectric Strength	Between coil and Contacts	1500Vrms 1 minute
	Between open contacts	750Vrms 1 minute
Surge Voltage between Contacts and coil	No	
Operate time (at noml. Vol.)	10ms	
Release time (at noml. Vol.)	5ms	
Temperature rise (at nominal voltage)	60℃	
Shock Resistance	Functional	98m/s ² (10g)
	Destructive	980m/s ² (100g)
Vibration Resistance	1.5mm 10 to 55Hz	
Humidity	35% to 85% RH	
Ambient temperature	-40℃ to 70℃	
Termination	PC	
Unit weight	10g	
Construction	Sealed & Unsealed	

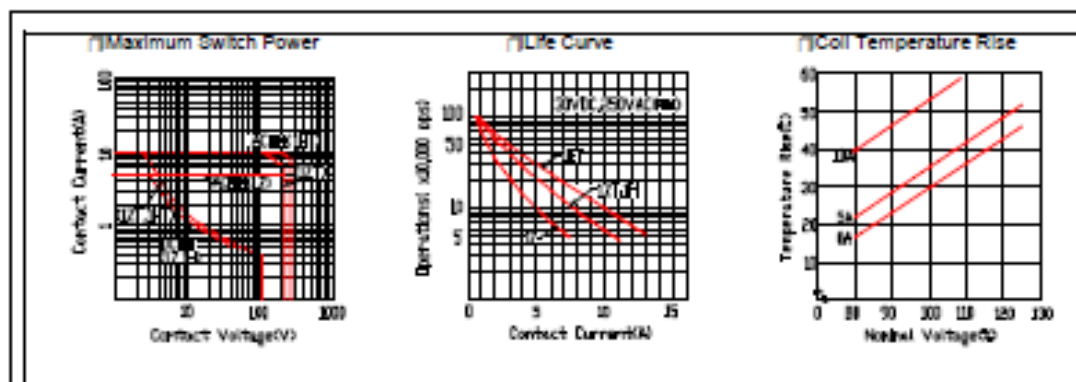
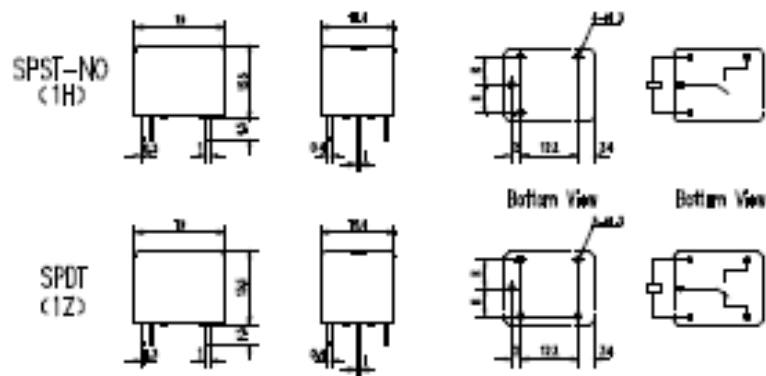
Coil Specifications

Nominal Voltage VDC	Pick-up Voltage VDC	Drop-out Voltage VDC	Max allowable Voltage (at 20 °C)	Coil Resistance Tolerance: ± 10%
6	3.8	0.5	6.0	7.0
8	4.5	0.6	7.2	10.0
9	6.8	0.9	10.8	22.5
12	9.0	1.2	14.4	40.0
18	13.5	1.8	21.6	90.0
24	18.0	2.4	28.8	160.0
48	36.0	4.8	57.6	640.0

ORDERING INFORMATION

JQC-3FF	/	OXX	-	1Z	S	T
Basic Designation						
Coil Voltage: 3, 5, 6, 9, 12, 18, 24, 48						
Contact Arrangement: 1H: SPST-NO; 1Z: SPDT						
Enclosure: S-sealed (IP87) Nil-unsealed						
Contact material: T-Ag3Sn Nil-AgNi10						

OUTLINE DIMENSIONS , WIRING DIAGRAM AND PC BOARD LAYOUT



Anexo J. Amplificador operacional LM324.



CA124, CA224, CA324, LM324, LM2902

Data Sheet

May 2001

File Number 796.5

Quad, 1MHz, Operational Amplifiers for Commercial, Industrial, and Military Applications

The CA124, CA224, CA324, LM324, and LM2902 consist of four independent, high-gain operational amplifiers on a single monolithic substrate. An on-chip capacitor in each of the amplifiers provides frequency compensation for unity gain. These devices are designed specially to operate from either single or dual supplies, and the differential voltage range is equal to the power-supply voltage. Low power drain and an input common-mode voltage range from 0V to V+ -1.5V (single-supply operation) make these devices suitable for battery operation.

Part Number Information

PART NUMBER (BRAND)	TEMP. RANGE (°C)	PACKAGE	PKG. NO.
CA0124E	-55 to 125	14 Ld PDIP	E14.3
CA0124M (124)	-55 to 125	14 Ld SOIC	M14.15
CA0124M96 (124)	-55 to 125	14 Ld SOIC Tape and Reel	M14.15
CA0224E	-40 to 85	14 Ld PDIP	E14.3
CA0224M (224)	-40 to 85	14 Ld SOIC	M14.15
CA0324E	0 to 70	14 Ld PDIP	E14.3
CA0324M (324)	0 to 70	14 Ld SOIC	M14.15
CA0324M96 (324)	0 to 70	14 Ld SOIC Tape and Reel	M14.15
LM324N	0 to 70	14 Ld PDIP	E14.3
LM2902N	-40 to 85	14 Ld PDIP	E14.3
LM2902M (2902)	-40 to 85	14 Ld SOIC	M14.15
LM2902M96 (2902)	-40 to 85	14 Ld SOIC Tape and Reel	M14.15

Features

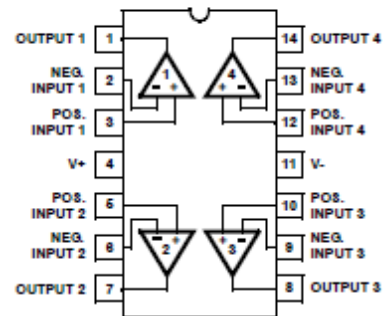
- Operation from Single or Dual Supplies
- Unity-Gain Bandwidth 1MHz (Typ)
- DC Voltage Gain 100dB (Typ)
- Input Bias Current 45nA (Typ)
- Input Offset Voltage 2mV (Typ)
- Input Offset Current
 - CA224, CA324, LM324, LM2902 5nA (Typ)
 - CA124 3nA (Typ)
- Replacement for Industry Types 124, 224, 324

Applications

- Summing Amplifiers
- Multivibrators
- Oscillators
- Transducer Amplifiers
- DC Gain Blocks

Pinout

CA124, CA224, CA324, LM2902 (PDIP, SOIC)
LM324 (PDIP)
TOP VIEW



CA124, CA224, CA324, LM324, LM2902

Absolute Maximum Ratings

Supply Voltage	32V or ±15V
Differential Input Voltage	32V
Input Voltage	-0.3V to 32V
Input Current ($V_I < -0.3V$, Note 1)	50mA
Output Short Circuit Duration ($V+ \leq 15V$, Note 2)	Continuous

Operating Conditions

Temperature Range	
CA124	-55°C to 125°C
CA224, LM2902	-40°C to 85°C
CA324, LM324	0°C to 70°C

Thermal Information

Thermal Resistance (Typical, Note 3)	θ_{JA} (°C/W)
PDIP Package	95
SOIC Package	175
Maximum Junction Temperature (Die)	175°C
Maximum Junction Temperature (Plastic Package)	150°C
Maximum Storage Temperature Range	-65°C to 150°C
Maximum Lead Temperature (Soldering 10s)	300°C (SOIC - Lead Tips Only)

CAUTION: Stresses above those listed in "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress only rating and operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied.

NOTES:

- This input current will only exist when the voltage at any of the input leads is driven negative. This current is due to the collector base junction of the input p-n-p transistors becoming forward biased and thereby acting as input diode clamps. In addition to this diode action, there is also lateral n-p-n parasitic transistor action on the IC chip. This transistor action can cause the output voltages of the amplifiers to go to the $V+$ voltage level (or to ground for a large overdrive) for the time duration that an input is driven negative. This transistor action is not destructive and normal output states will re-establish when the input voltage, which was negative, again returns to a value greater than -0.3V.
- The maximum output current is approximately 40mA independent of the magnitude of $V+$. Continuous short circuits at $V+ > 15V$ can cause excessive power dissipation and eventual destruction. Short circuits from the output to $V+$ can cause overheating and eventual destruction of the device.
- θ_{JA} is measured with the component mounted on an evaluation PC board in free air.

Electrical Specifications

Values Apply for Each Operational Amplifier. Supply Voltage $V+ = 5V$, $V- = 0V$, Unless Otherwise Specified

PARAMETER	TEST CONDITIONS	TEMP. (°C)	CA124			CA224, CA324, LM324			LM2902			UNITS
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Input Offset Voltage (Note 6)		25	-	2	5	-	2	7	-	-	-	mV
		Full	-	-	7	-	-	9	-	-	10	mV
Average Input Offset Voltage Drift	$R_G = 0\Omega$	Full	-	7	-	-	7	-	-	7	-	$\mu V/^\circ C$
Differential Input Voltage (Note 5)		Full	-	-	$V+$	-	-	$V+$	-	-	$V+$	V
Input Common Mode Voltage Range (Note 5)	$V+ = 30V$	25	0	-	$V+ - 1.5$	0	-	$V+ - 1.5$	-	-	-	V
	$V+ = 30V$	Full	0	-	$V+ - 2$	0	-	$V+ - 2$	-	-	-	V
	$V+ = 26V$	Full	-	-	-	-	-	-	0	-	$V+ - 2$	V
Common Mode Rejection Ratio	DC	25	70	85	-	65	70	-	-	-	-	dB
Power Supply Rejection Ratio	DC	25	65	100	-	65	100	-	-	-	-	dB
Input Bias Current (Note 4)	I_{I+} or I_{I-}	25	-	45	150	-	45	250	-	-	-	nA
	I_{I+} or I_{I-}	Full	-	-	300	-	-	500	-	40	500	nA
Input Offset Current	$I_{I+} - I_{I-}$	25	-	3	30	-	5	50	-	-	-	nA
	$I_{I+} - I_{I-}$	Full	-	-	100	-	-	150	-	45	200	nA
Average Input Offset Current Drift		Full	-	10	-	-	10	-	-	10	-	$pA/^\circ C$
Large Signal Voltage Gain	$R_L \geq 2k\Omega$, $V+ = 15V$ (For Large V_O Swing)	25	94	100	-	88	100	-	-	-	-	dB
	$R_L \geq 2k\Omega$, $V+ = 15V$ (For Large V_O Swing)	Full	88	-	-	83	-	-	83	-	-	dB

CA124, CA224, CA324, LM324, LM2902

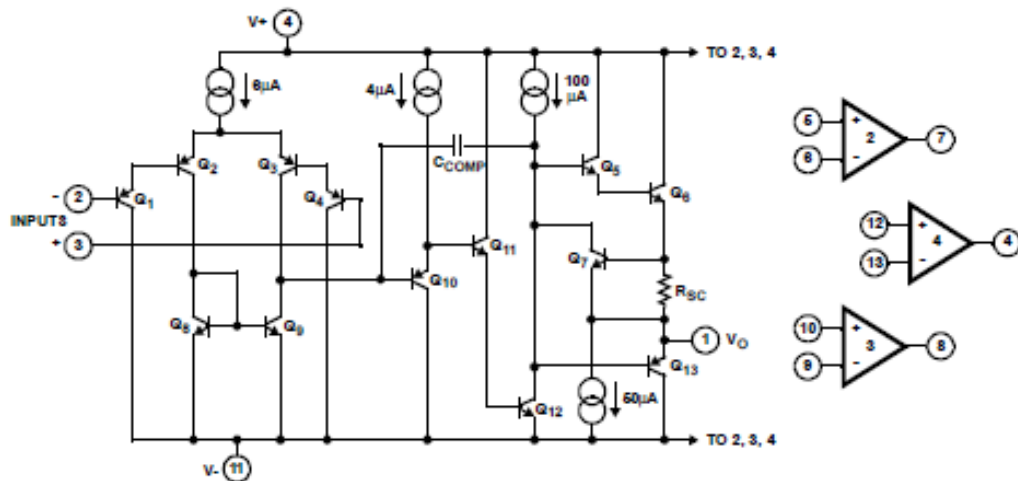
Electrical Specifications Values Apply for Each Operational Amplifier. Supply Voltage $V_+ = 5V$, $V_- = 0V$, Unless Otherwise Specified (Continued)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	TEMP. (°C)	CA124			CA224, CA324, LM324			LM2902			UNITS	
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX		
Output Voltage Swing	$R_L = 2k\Omega$	25	0	-	$V_+ - 1.5$	0	-	$V_+ - 1.5$	-	-	-	V	
	High Level	$R_L = 2k\Omega$, $V_+ = 30V$	Full	26	-	-	26	-	-	-	-	V	
		$R_L = 2k\Omega$, $V_+ = 26V$	Full	-	-	-	-	-	-	22	-	-	V
		$R_L = 10k\Omega$, $V_+ = 30V$	Full	27	28	-	27	28	-	23	28	-	V
	Low Level	$R_L = 10k\Omega$	Full	-	5	20	-	5	20	-	5	100	mV
Output Current	Source	$V_{I+} = +1V$, $V_{I-} = 0V$, $V_+ = 15V$	25	20	40	-	20	40	-	-	-	mA	
		$V_{I+} = 1V$, $V_{I-} = 0$, $V_+ = 15V$	Full	10	20	-	10	20	-	10	20	-	mA
	Sink	$V_{I+} = 0V$, $V_{I-} = 1V$, $V_+ = 15V$	25	10	20	-	10	20	-	-	-	mA	
		$V_{I+} = 0V$, $V_{I-} = 1V$, $V_O = 200mV$	25	12	50	-	12	50	-	-	-	μA	
		$V_{I-} = 1V$, $V_{I+} = 0$, $V_+ = 15V$	Full	5	8	-	5	8	-	5	8	-	mA
Crosstalk	$f = 1$ to $20kHz$ (Input Referred)	25	-	-120	-	-	-120	-	-	-	-	dB	
Total Supply Current	$R_L = \infty$	Full	-	0.8	2	-	0.8	2	-	0.7	1.2	mA	
	$R_L = \infty$, $V_+ = 26V$	Full	-	-	-	-	-	-	-	1.5	3	mA	

NOTES:

4. Due to the PNP input stage the direction of the input current is out of the IC. No loading change exists on the input lines because the current is essentially constant, independent of the state of the output.
5. The input signal voltage and the input common mode voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3V. The positive limit of the common mode voltage range is $V_+ - 1.5V$, but either or both inputs can go to +32V without damage.
6. $V_O = 1.4V$, $R_O = 0\Omega$ with V_+ from 5V to 30V, and over the full input common mode voltage range (0V to $V_+ - 1.5V$).

Schematic Diagram (One of Four Operational Amplifiers)



Typical Performance Curves

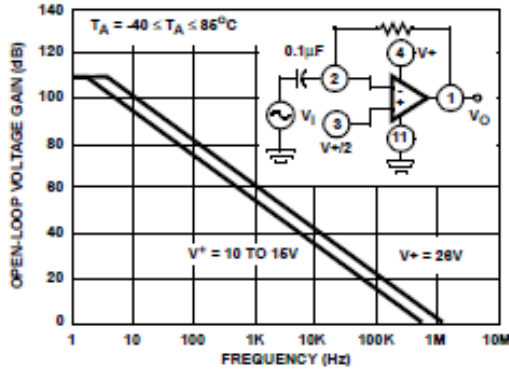


FIGURE 1. OPEN LOOP FREQUENCY RESPONSE

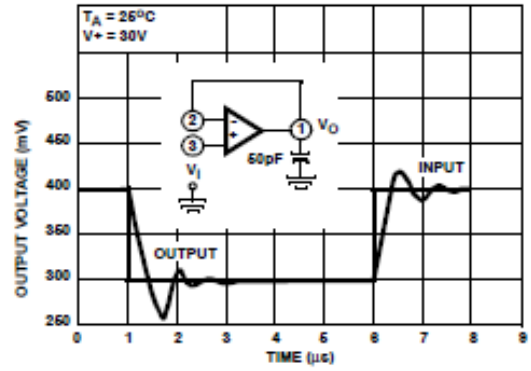


FIGURE 2. VOLTAGE FOLLOWER PULSE RESPONSE (SMALL SIGNAL)

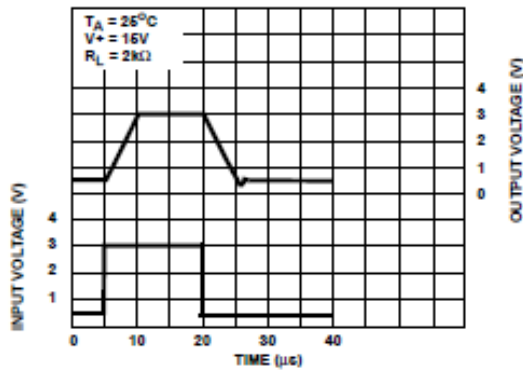


FIGURE 3. VOLTAGE FOLLOWER PULSE RESPONSE (LARGE SIGNAL)

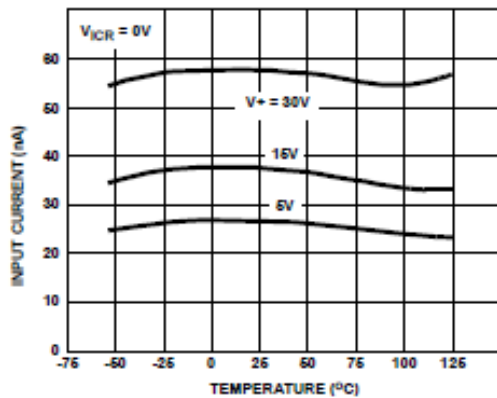


FIGURE 4. INPUT CURRENT vs AMBIENT TEMPERATURE

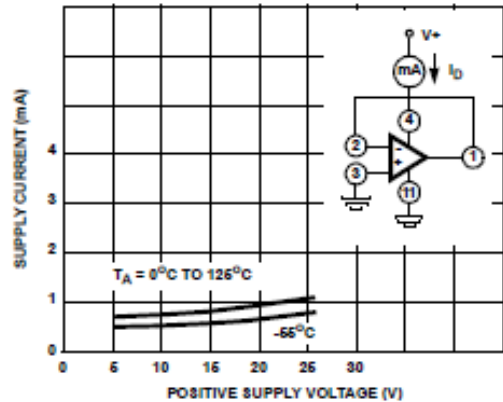


FIGURE 5. SUPPLY CURRENT vs SUPPLY VOLTAGE

Typical Performance Curves (Continued)

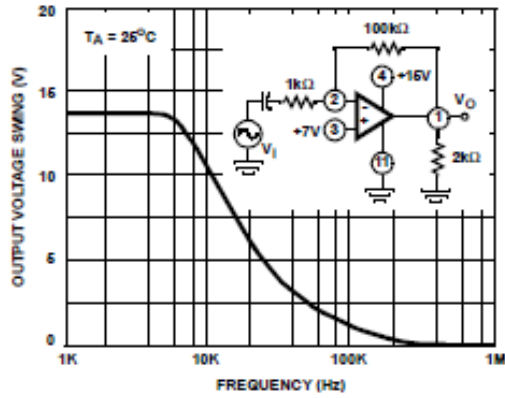


FIGURE 6. LARGE SIGNAL FREQUENCY RESPONSE

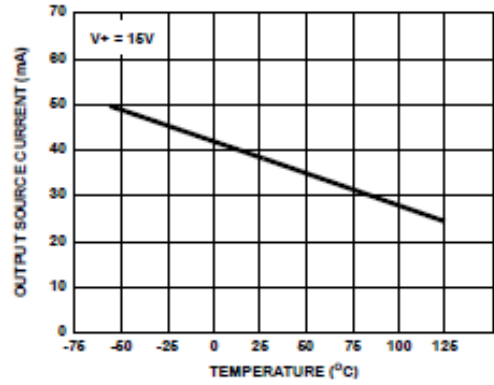


FIGURE 7. OUTPUT CURRENT vs AMBIENT TEMPERATURE

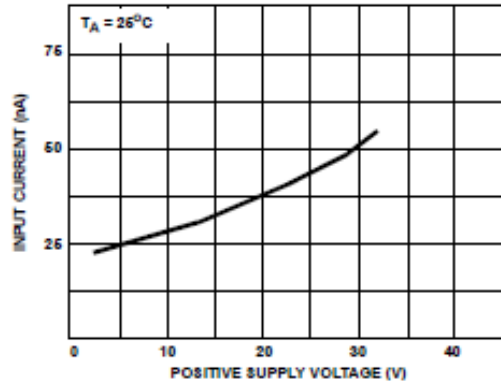


FIGURE 8. INPUT CURRENT vs SUPPLY VOLTAGE

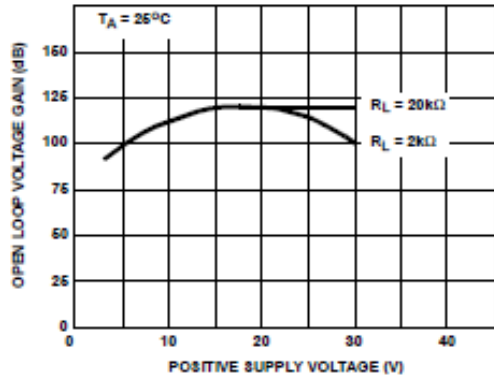
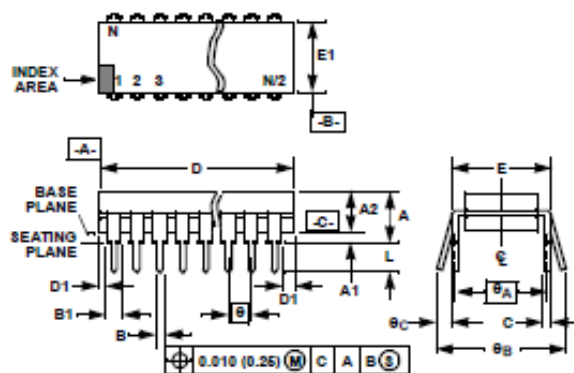


FIGURE 9. VOLTAGE GAIN vs SUPPLY VOLTAGE

Dual-In-Line Plastic Packages (PDIP)



NOTES:

- Controlling Dimensions: INCH. In case of conflict between English and Metric dimensions, the Inch dimensions control.
- Dimensioning and tolerancing per ANSI Y14.5M-1982.
- Symbols are defined in the "MO Series Symbol List" in Section 2.2 of Publication No. 95.
- Dimensions A, A1 and L are measured with the package seated in JEDEC seating plane gauge GS-3.
- D, D1, and E1 dimensions do not include mold flash or protrusions. Mold flash or protrusions shall not exceed 0.010 Inch (0.25mm).
- E and e_A are measured with the leads constrained to be perpendicular to datum $-C-$.
- e_B and e_C are measured at the lead tips with the leads unconstrained. e_C must be zero or greater.
- B1 maximum dimensions do not include dambar protrusions. Dambar protrusions shall not exceed 0.010 Inch (0.25mm).
- N is the maximum number of terminal positions.
- Corner leads (1, N, N/2 and N/2 + 1) for E8.3, E16.3, E18.3, E28.3, E42.6 will have a B1 dimension of 0.030 - 0.045 Inch (0.76 - 1.14mm).

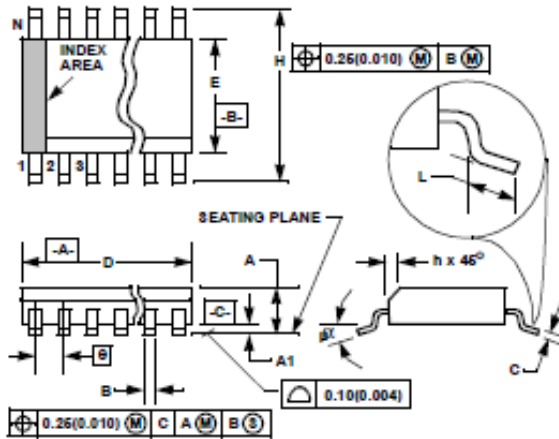
E14.3 (JEDEC MS-001-AA ISSUE D)
14 LEAD DUAL-IN-LINE PLASTIC PACKAGE

SYMBOL	INCHES		MILLIMETERS		NOTES
	MIN	MAX	MIN	MAX	
A	-	0.210	-	5.33	4
A1	0.015	-	0.39	-	4
A2	0.115	0.195	2.93	4.95	-
B	0.014	0.022	0.356	0.558	-
B1	0.045	0.070	1.15	1.77	8
C	0.008	0.014	0.204	0.355	-
D	0.735	0.775	18.66	19.68	5
D1	0.005	-	0.13	-	5
E	0.300	0.325	7.62	8.25	6
E1	0.240	0.280	6.10	7.11	5
e	0.100 BSC		2.54 BSC		-
e_A	0.300 BSC		7.62 BSC		6
e_B	-	0.430	-	10.92	7
L	0.115	0.150	2.93	3.81	4
N	14		14		9

Rev. 0 12/93

CA124, CA224, CA324, LM324, LM2902

Small Outline Plastic Packages (SOIC)



M14.15 (JEDEC MS-012-AB ISSUE C)
14 LEAD NARROW BODY SMALL OUTLINE PLASTIC PACKAGE

SYMBOL	INCHES		MILLIMETERS		NOTES
	MIN	MAX	MIN	MAX	
A	0.0532	0.0688	1.35	1.75	-
A1	0.0040	0.0098	0.10	0.25	-
B	0.013	0.020	0.33	0.51	9
C	0.0075	0.0098	0.19	0.25	-
D	0.3367	0.3444	8.55	8.75	3
E	0.1497	0.1574	3.80	4.00	4
e	0.050 BSC		1.27 BSC		-
H	0.2284	0.2440	5.80	6.20	-
h	0.0099	0.0196	0.25	0.50	5
L	0.016	0.050	0.40	1.27	6
N	14		14		7
α	0°	8°	0°	8°	-

Rev. 0 12/93

NOTES:

1. Symbols are defined in the "MO Series Symbol List" in Section 2.2 of Publication Number 95.
2. Dimensioning and tolerancing per ANSI Y14.5M-1982.
3. Dimension "D" does not include mold flash, protrusions or gate burrs. Mold flash, protrusion and gate burrs shall not exceed 0.15mm (0.006 inch) per side.
4. Dimension "E" does not include interlead flash or protrusions. Interlead flash and protrusions shall not exceed 0.25mm (0.010 inch) per side.
5. The chamfer on the body is optional. If it is not present, a visual index feature must be located within the crosshatched area.
6. "L" is the length of terminal for soldering to a substrate.
7. "N" is the number of terminal positions.
8. Terminal numbers are shown for reference only.
9. The lead width "B", as measured 0.36mm (0.014 inch) or greater above the seating plane, shall not exceed a maximum value of 0.51mm (0.024 inch).
10. Controlling dimension: MILLIMETER. Converted Inch dimensions are not necessarily exact.

All Intersil products are manufactured, assembled and tested utilizing ISO9000 quality systems. Intersil Corporation's quality certifications can be viewed at website www.intersil.com/design/quality/iso.asp.

Intersil products are sold by description only. Intersil Corporation reserves the right to make changes in circuit design and/or specifications at any time without notice. Accordingly, the reader is cautioned to verify that data sheets are current before placing orders. Information furnished by Intersil is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Intersil or its subsidiaries for its use; nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Intersil or its subsidiaries.

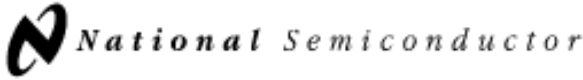
For information regarding Intersil Corporation and its products, see web site www.intersil.com

Sales Office Headquarters

NORTH AMERICA
Intersil Corporation
2401 Palm Bay Rd.
Palm Bay, FL 32905
TEL: (321) 724-7000
FAX: (321) 724-7240

EUROPE
Intersil SA
Mercurie Center
100, Rue de la Fusee
1130 Brussels, Belgium
TEL: (32) 2.724.2111
FAX: (32) 2.724.22.05

ASIA
Intersil Ltd.
8F-2, 96, Sec. 1, Chien-kuo North,
Taipei, Taiwan 104
Republic of China
TEL: 886-2-2515-8508
FAX: 886-2-2515-8369


May 1996

LM117/LM317A/LM317 3-Terminal Adjustable Regulator

General Description

The LM117 series of adjustable 3-terminal positive voltage regulators is capable of supplying in excess of 1.5A over a 1.2V to 37V output range. They are exceptionally easy to use and require only two external resistors to set the output voltage. Further, both line and load regulation are better than standard fixed regulators. Also, the LM117 is packaged in standard transistor packages which are easily mounted and handled.

In addition to higher performance than fixed regulators, the LM117 series offers full overload protection available only in IC's. Included on the chip are current limit, thermal overload protection and safe area protection. All overload protection circuitry remains fully functional even if the adjustment terminal is disconnected.

Normally, no capacitors are needed unless the device is situated more than 6 inches from the input filter capacitors in which case an input bypass is needed. An optional output capacitor can be added to improve transient response. The adjustment terminal can be bypassed to achieve very high ripple rejection ratios which are difficult to achieve with standard 3-terminal regulators.

Besides replacing fixed regulators, the LM117 is useful in a wide variety of other applications. Since the regulator is "floating" and sees only the input-to-output differential voltage, supplies of several hundred volts can be regulated as long as the maximum input to output differential is not exceeded, i.e., avoid short-circuiting the output.

Also, it makes an especially simple adjustable switching regulator, a programmable output regulator, or by connecting a fixed resistor between the adjustment pin and output, the LM117 can be used as a precision current regulator. Supplies with electronic shutdown can be achieved by clamping

the adjustment terminal to ground which programs the output to 1.2V where most loads draw little current.

For applications requiring greater output current, see LM150 series (3A) and LM138 series (5A) data sheets. For the negative complement, see LM137 series data sheet.

LM117 Series Packages and Power Capability

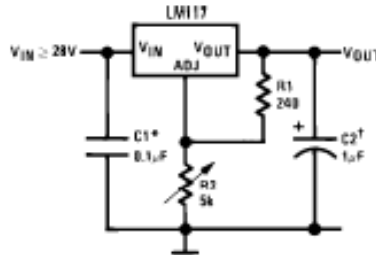
Part Number Suffix	Package	Rated Power Dissipation	Design Load Current
K	TO-3	20W	1.5A
H	TO-39	2W	0.5A
T	TO-220	20W	1.5A
E	LCC	2W	0.5A
S	TO-263	4W	1.5A

Features

- Guaranteed 1% output voltage tolerance (LM317A)
- Guaranteed max. 0.01%/V line regulation (LM317A)
- Guaranteed max. 0.3% load regulation (LM117)
- Guaranteed 1.5A output current
- Adjustable output down to 1.2V
- Current limit constant with temperature
- P+ Product Enhancement tested
- 80 dB ripple rejection
- Output is short-circuit protected

Typical Applications

1.2V-25V Adjustable Regulator

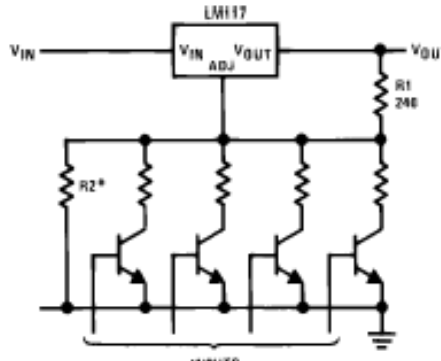


TL/H/9063-1

Full output current not available at high input-output voltages.
 *Needed if device is more than 6 inches from filter capacitors.
 †Optional—improve transient response. Output capacitors in the range of 1 μF to 1000 μF of aluminum or tantalum electrolytic are commonly used to provide improved output impedance and rejection of transients.

$$V_{OUT} = 1.25V \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + I_{ADJ}(R_2)$$

Digitally Selected Outputs



*Sets maximum V_{OUT}

TL/H/9063-2

©1996 National Semiconductor Corporation TL/H/9063
RRD-8008/8U Printed in U.S.A.
<http://www.national.com>

Absolute Maximum Ratings (Note 1)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications. (Note 2)

Power Dissipation	Internally Limited
Input-Output Voltage Differential	+40V, -0.3V
Storage Temperature	-65°C to +150°C
Lead Temperature	
Metal Package (Soldering, 10 seconds)	300°C
Plastic Package (Soldering, 4 seconds)	260°C
ESD Tolerance (Note 5)	3 kV

Operating Temperature Range

LM117	-55°C ≤ T _J ≤ +150°C
LM317A	-40°C ≤ T _J ≤ +125°C
LM317	0°C ≤ T _J ≤ +125°C

Preconditioning

Thermal Limit Burn-In	All Devices 100%
-----------------------	------------------

Electrical Characteristics

Specifications with standard type face are for T_J = 25°C, and those with boldface type apply over full Operating Temperature Range. Unless otherwise specified, V_{IN} - V_{OUT} = 5V, and I_{OUT} = 10 mA. (Note 3)

Parameter	Conditions	LM117 (Note 2)			Units	
		Min	Typ	Max		
Reference Voltage					V	
	3V ≤ (V _{IN} - V _{OUT}) ≤ 40V, 10 mA ≤ I _{OUT} ≤ I _{MAX} , P ≤ P _{MAX}	1.20	1.25	1.30	V	
Line Regulation	3V ≤ (V _{IN} - V _{OUT}) ≤ 40V (Note 4)		0.01	0.02	%/V	
			0.02	0.05	%/V	
Load Regulation	10 mA ≤ I _{OUT} ≤ I _{MAX} (Note 4)		0.1	0.3	%	
			0.3	1	%	
Thermal Regulation	20 ms Pulse		0.03	0.07	%/W	
Adjustment Pin Current			50	100	μA	
Adjustment Pin Current Change	10 mA ≤ I _{OUT} ≤ I _{MAX} 3V ≤ (V _{IN} - V _{OUT}) ≤ 40V		0.2	5	μA	
Temperature Stability	T _{MIN} ≤ T _J ≤ T _{MAX}		1		%	
Minimum Load Current	(V _{IN} - V _{OUT}) = 40V		3.5	5	mA	
Current Limit	(V _{IN} - V _{OUT}) ≤ 15V	K Package	1.5	2.2	3.4	A
		H, K Packages	0.5	0.8	1.8	A
	(V _{IN} - V _{OUT}) = 40V	K Package	0.3	0.4		A
		H, K Packages	0.15	0.2		A
RMS Output Noise, % of V _{OUT}	10 Hz ≤ f ≤ 10 kHz		0.003		%	
Ripple Rejection Ratio	V _{OUT} = 10V, f = 120 Hz, C _{ADJ} = 0 μF		65		dB	
	V _{OUT} = 10V, f = 120 Hz, C _{ADJ} = 10 μF	66	80		dB	
Long-Term Stability	T _J = 125°C, 1000 hrs		0.3	1	%	
Thermal Resistance, Junction-to-Case	K Package		2.3	3	°C/W	
	H Package		12	15	°C/W	
	E Package				°C/W	
Thermal Resistance, Junction-to-Ambient (No Heat Sink)	K Package		35		°C/W	
	H Package		140		°C/W	
	E Package				°C/W	

Electrical Characteristics (Continued)

Specifications with standard type face are for $T_J = 25^\circ\text{C}$, and those with **boldface type** apply over full Operating Temperature Range. Unless otherwise specified, $V_{IN} - V_{OUT} = 5\text{V}$, and $I_{OUT} = 10\text{ mA}$. (Note 3)

Parameter	Conditions	LM317A			LM317			Units	
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max		
Reference Voltage		1.238	1.250	1.262				V	
	$3\text{V} \leq (V_{IN} - V_{OUT}) \leq 40\text{V}$, $10\text{ mA} \leq I_{OUT} \leq I_{MAX}$; $P \leq P_{MAX}$	1.225	1.250	1.270	1.20	1.25	1.30	V	
Line Regulation	$3\text{V} \leq (V_{IN} - V_{OUT}) \leq 40\text{V}$ (Note 4)		0.005	0.01		0.01	0.04	%/V	
			0.01	0.02		0.02	0.07	%/V	
Load Regulation	$10\text{ mA} \leq I_{OUT} \leq I_{MAX}$ (Note 4)		0.1	0.5		0.1	0.5	%	
			0.3	1		0.3	1.5	%	
Thermal Regulation	20 ms Pulse		0.04	0.07		0.04	0.07	%/W	
Adjustment Pin Current			50	100		50	100	μA	
Adjustment Pin Current Change	$10\text{ mA} \leq I_{OUT} \leq I_{MAX}$, $3\text{V} \leq (V_{IN} - V_{OUT}) \leq 40\text{V}$		0.2	5		0.2	5	μA	
Temperature Stability	$T_{MIN} \leq T_J \leq T_{MAX}$		1			1		%	
Minimum Load Current	$(V_{IN} - V_{OUT}) = 40\text{V}$		3.5	10		3.5	10	mA	
Current Limit	$(V_{IN} - V_{OUT}) \leq 15\text{V}$ K, T Packages H, P Packages		1.5	2.2	3.4	1.5	2.2	3.4	A
			0.5	0.8	1.8	0.5	0.8	1.8	A
	$(V_{IN} - V_{OUT}) = 40\text{V}$ K, T Packages H, P Packages		0.15	0.4		0.15	0.4		A
			0.075	0.2		0.075	0.2		A
RMS Output Noise, % of V_{OUT}	$10\text{ Hz} \leq f \leq 10\text{ kHz}$		0.003			0.003		%	
Ripple Rejection Ratio	$V_{OUT} = 10\text{V}$, $f = 120\text{ Hz}$, $C_{ADJ} = 0\text{ }\mu\text{F}$		65			65		dB	
	$V_{OUT} = 10\text{V}$, $f = 120\text{ Hz}$, $C_{ADJ} = 10\text{ }\mu\text{F}$		66	80		66	80	dB	
Long-Term Stability	$T_J = 125^\circ\text{C}$, 1000 hrs		0.3	1		0.3	1	%	
Thermal Resistance, Junction-to-Case	K Package					2.3	3	$^\circ\text{C/W}$	
	H Package		12	15		12	15	$^\circ\text{C/W}$	
	T Package		4	5		4		$^\circ\text{C/W}$	
	P Package							$^\circ\text{C/W}$	
Thermal Resistance, Junction-to-Ambient (No Heat Sink)	K Package		35			35		$^\circ\text{C/W}$	
	H Package		140			140		$^\circ\text{C/W}$	
	T Package		50			50		$^\circ\text{C/W}$	
	P Package (Note 6)					50		$^\circ\text{C/W}$	

Note 1: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is intended to be functional, but do not guarantee specific performance limits. For guaranteed specifications and test conditions, see the Electrical Characteristics. The guaranteed specifications apply only for the test conditions listed.

Note 2: Refer to RETS117H drawing for the LM117H, or the RETS117K for the LM117K military specifications.

Note 3: Although power dissipation is intensity limited, these specifications are applicable for maximum power dissipations of 2W for the TO-30 and 20W for the TO-3 and TO-220. I_{BYP} is 1.5A for the TO-3 and TO-220 packages and 0.5A for the TO-30 package. All limits (i.e., the numbers in the Min. and Max. columns) are guaranteed to National's AQL (Average Outgoing Quality Level).

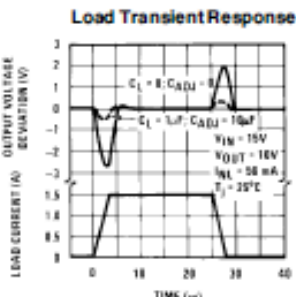
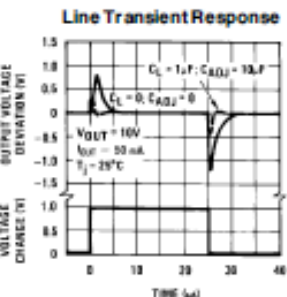
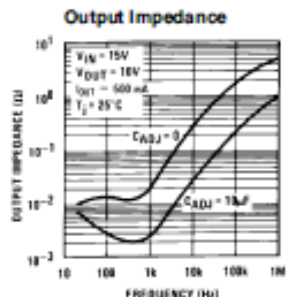
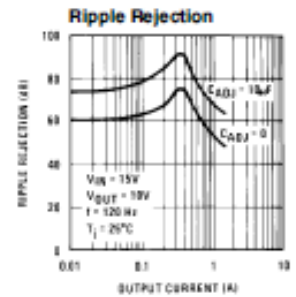
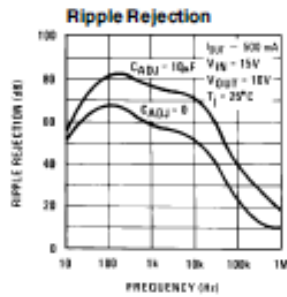
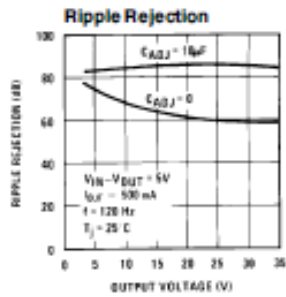
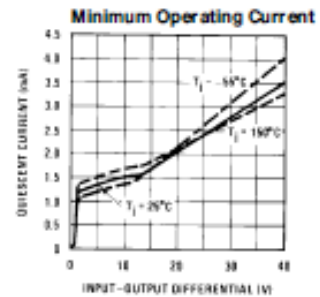
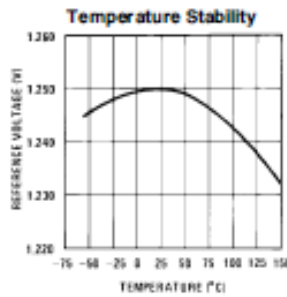
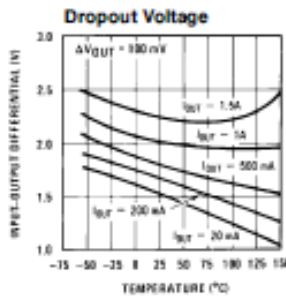
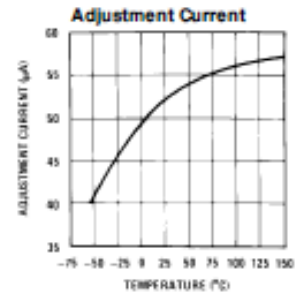
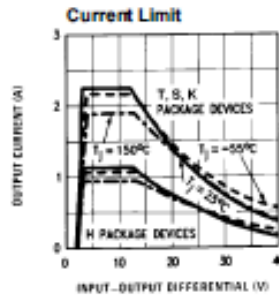
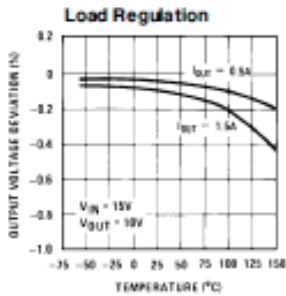
Note 4: Regulation is measured at a constant junction temperature, using pulse testing with a low duty cycle. Changes in output voltage due to heating effects are covered under the specifications for thermal regulation.

Note 5: Human body model, 100 pF discharged through a 1.5 k Ω resistor.

Note 6: If the TO-263 package is used, the thermal resistance can be reduced by increasing the PC board copper area thermally connected to the package. Using 0.5 square inches of copper area, θ_{JA} is 50 $^\circ\text{C/W}$; with 1 square inch of copper area, θ_{JA} is 37 $^\circ\text{C/W}$; and with 1.8 or more square inches of copper area, θ_{JA} is 32 $^\circ\text{C/W}$.

Typical Performance Characteristics

Output Capacitor = 0 μ F unless otherwise noted



TL/H/2003-4

Application Hints

In operation, the LM117 develops a nominal 1.25V reference voltage, V_{REF} , between the output and adjustment terminal. The reference voltage is impressed across program resistor R1 and, since the voltage is constant, a constant current I_1 then flows through the output set resistor R2, giving an output voltage of

$$V_{OUT} = V_{REF} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + I_{ADJ} R_2$$

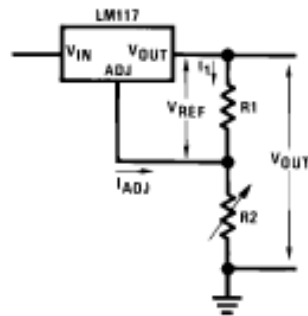


FIGURE 1

TL111/3063-5

Since the 100 μ A current from the adjustment terminal represents an error term, the LM117 was designed to minimize I_{ADJ} and make it very constant with line and load changes. To do this, all quiescent operating current is returned to the output establishing a minimum load current requirement. If there is insufficient load on the output, the output will rise.

External Capacitors

An input bypass capacitor is recommended. A 0.1 μ F disc or 1 μ F solid tantalum on the input is suitable input bypassing for almost all applications. The device is more sensitive to the absence of input bypassing when adjustment or output capacitors are used but the above values will eliminate the possibility of problems.

The adjustment terminal can be bypassed to ground on the LM117 to improve ripple rejection. This bypass capacitor prevents ripple from being amplified as the output voltage is increased. With a 10 μ F bypass capacitor 80 dB ripple rejection is obtainable at any output level. Increases over 10 μ F do not appreciably improve the ripple rejection at frequencies above 120 Hz. If the bypass capacitor is used, it is sometimes necessary to include protection diodes to prevent the capacitor from discharging through internal low current paths and damaging the device.

In general, the best type of capacitors to use is solid tantalum. Solid tantalum capacitors have low impedance even at high frequencies. Depending upon capacitor construction, it takes about 25 μ F in aluminum electrolytic to equal 1 μ F solid tantalum at high frequencies. Ceramic capacitors are also good at high frequencies; but some types have a large decrease in capacitance at frequencies around 0.5 MHz. For this reason, 0.01 μ F disc may seem to work better than a 0.1 μ F disc as a bypass.

Although the LM117 is stable with no output capacitors, like any feedback circuit, certain values of external capacitance can cause excessive ringing. This occurs with values be-

tween 500 pF and 5000 pF. A 1 μ F solid tantalum (or 25 μ F aluminum electrolytic) on the output swamps this effect and insures stability. Any increase of the load capacitance larger than 10 μ F will merely improve the loop stability and output impedance.

Load Regulation

The LM117 is capable of providing extremely good load regulation but a few precautions are needed to obtain maximum performance. The current set resistor connected between the adjustment terminal and the output terminal (usually 240 Ω) should be tied directly to the output (case) of the regulator rather than near the load. This eliminates line drops from appearing effectively in series with the reference and degrading regulation. For example, a 15V regulator with 0.05 Ω resistance between the regulator and load will have a load regulation due to line resistance of $0.05\Omega \times I_L$. If the set resistor is connected near the load the effective line resistance will be $0.05\Omega (1 + R_2/R_1)$ or in this case, 11.5 times worse.

Figure 2 shows the effect of resistance between the regulator and 240 Ω set resistor.

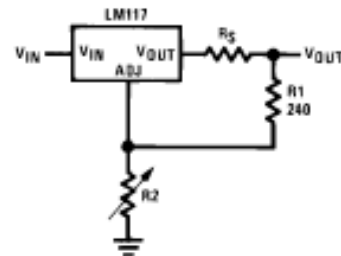


FIGURE 2. Regulator with Line Resistance in Output Lead

TL111/3063-6

With the TO-3 package, it is easy to minimize the resistance from the case to the set resistor, by using two separate leads to the case. However, with the TO-5 package, care should be taken to minimize the wire length of the output lead. The ground of R2 can be returned near the ground of the load to provide remote ground sensing and improve load regulation.

Protection Diodes

When external capacitors are used with any IC regulator it is sometimes necessary to add protection diodes to prevent the capacitors from discharging through low current points into the regulator. Most 10 μ F capacitors have low enough internal series resistance to deliver 20A spikes when shorted. Although the surge is short, there is enough energy to damage parts of the IC.

When an output capacitor is connected to a regulator and the input is shorted, the output capacitor will discharge into the output of the regulator. The discharge current depends on the value of the capacitor, the output voltage of the regulator, and the rate of decrease of V_{IN} . In the LM117, this discharge path is through a large junction that is able to sustain 15A surge with no problem. This is not true of other types of positive regulators. For output capacitors of 25 μ F or less, there is no need to use diodes.

Application Hints (Continued)

The bypass capacitor on the adjustment terminal can discharge through a low current junction. Discharge occurs when either the input or output is shorted. Internal to the LM117 is a 50Ω resistor which limits the peak discharge

current. No protection is needed for output voltages of 25V or less and 10 μF capacitance. Figure 3 shows an LM117 with protection diodes included for use with outputs greater than 25V and high values of output capacitance.

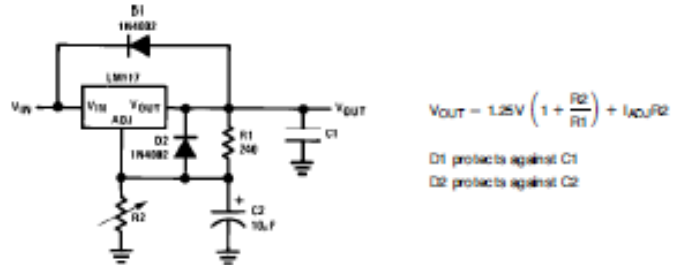
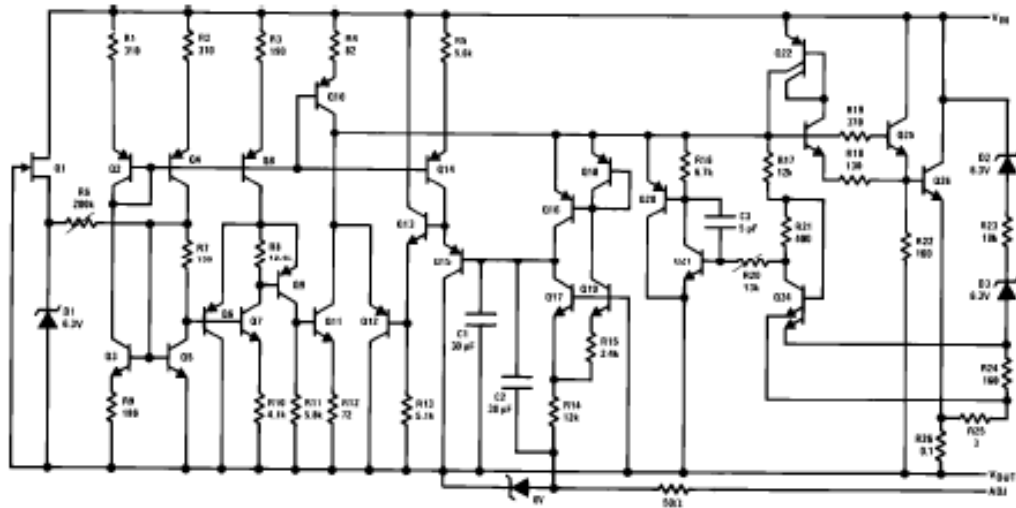


FIGURE 3. Regulator with Protection Diodes

TL/H/9003-7

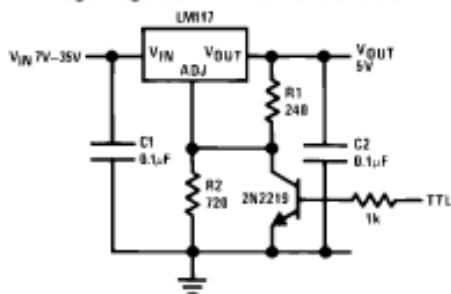
Schematic Diagram



TL/H/9003-8

Typical Applications (Continued)

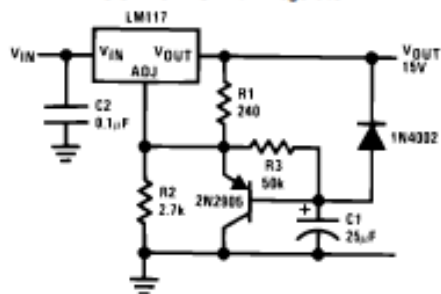
5V Logic Regulator with Electronic Shutdown*



*Min. output = 1.2V

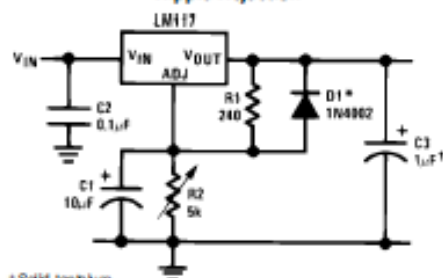
TL/H/9063-3

Slow Turn-On 15V Regulator



TL/H/9063-9

Adjustable Regulator with Improved Ripple Rejection

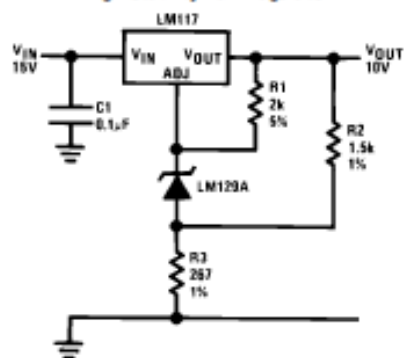


† Solid tantalum

* Discharges C1 if output is shorted to ground

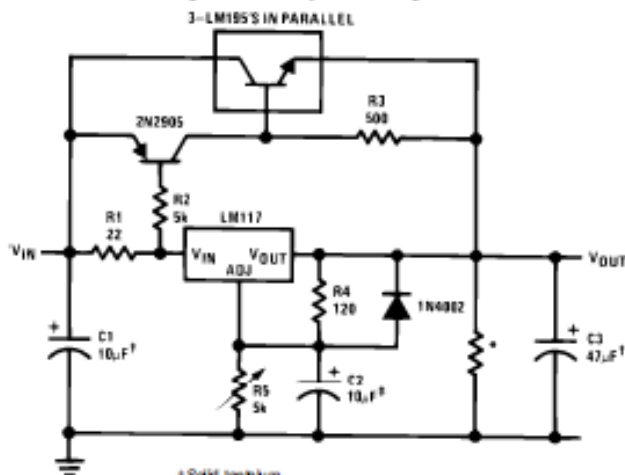
TL/H/9063-10

High Stability 10V Regulator



TL/H/9063-11

High Current Adjustable Regulator



† Solid tantalum

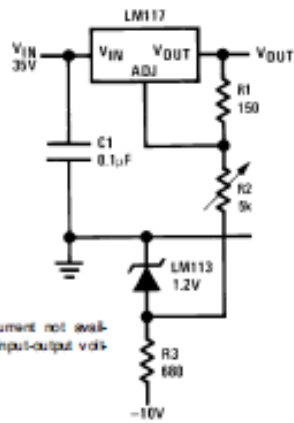
* Minimum load current = 30 mA

‡ Optional—improves ripple rejection

TL/H/9063-12

Typical Applications (Continued)

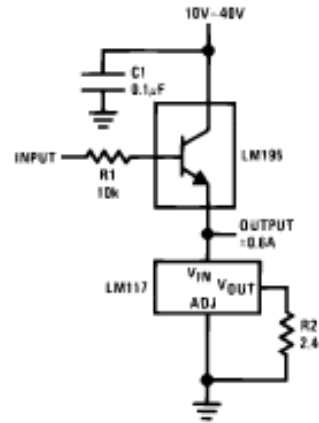
0 to 30V Regulator



Full output current not available at high input-output voltages

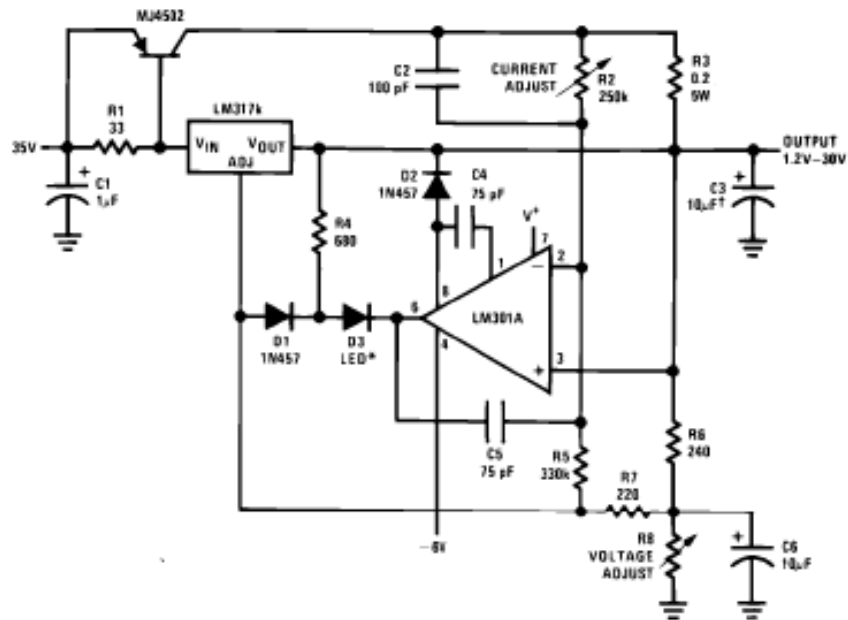
TL/H/9000-13

Power Follower



TL/H/9000-14

5A Constant Voltage/Constant Current Regulator

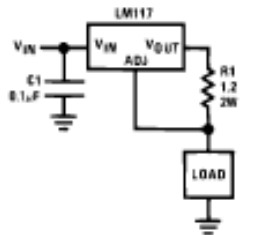


†Solid Semtech
*Lights in constant current mode

TL/H/9000-15

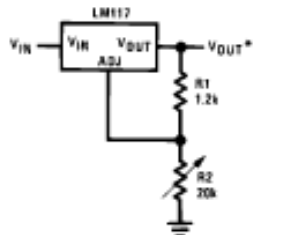
Typical Applications (Continued)

1A Current Regulator



TL/H/9063-16

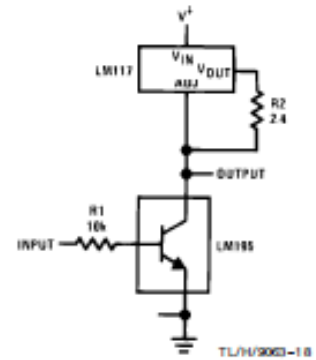
1.2V-20V Regulator with Minimum Program Current



TL/H/9063-17

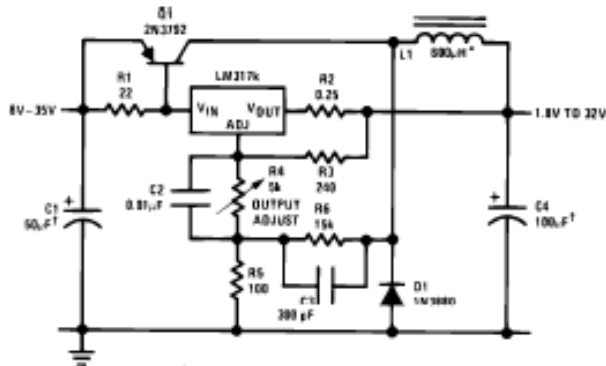
*Minimum load current = 4 mA

High Gain Amplifier



TL/H/9063-18

Low Cost 3A Switching Regulator

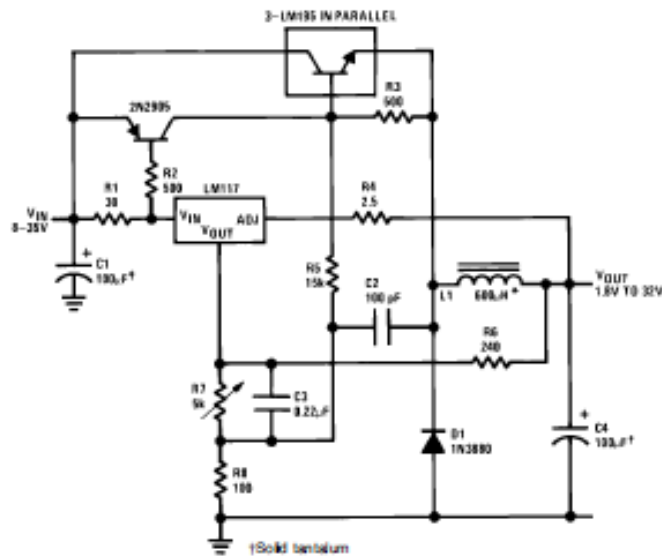


†Sokki bentakum

*Core—Amdid A-254188-2 80 turns

TL/H/9063-19

4A Switching Regulator with Overload Protection

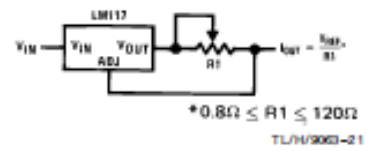


†Sokki bentakum

*Core—Amdid A-254188-2 80 turns

TL/H/9063-20

Precision Current Limiter

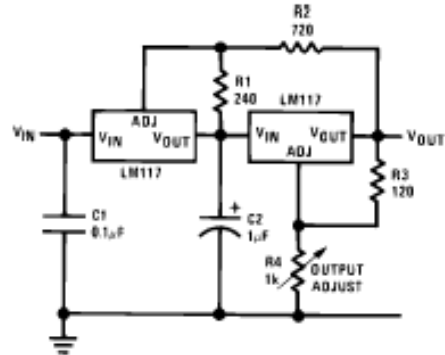


* $0.8\Omega \leq R1 \leq 120\Omega$

TL/H/9063-21

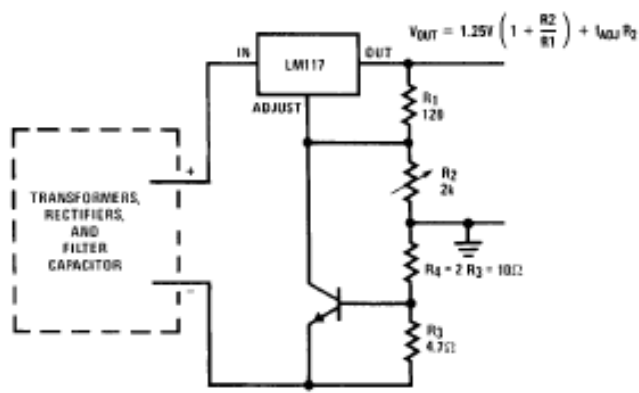
Typical Applications (Continued)

Tracking Preregulator



TL/H/9063-22

Current Limited Voltage Regulator



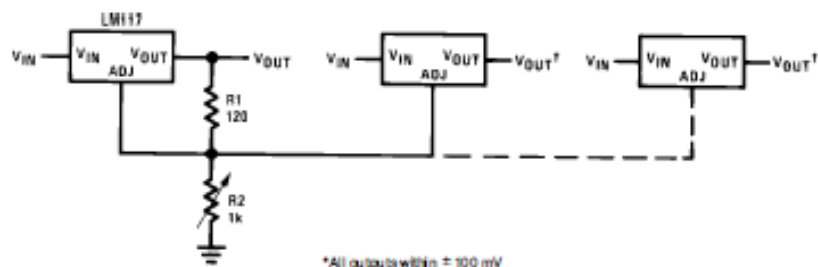
- Short circuit current is approximately $\frac{800 \text{ mV}}{R_3}$ or 120 mA

(Compared to LM117's higher current limit)

- At 50 mA output only $\frac{1}{2}$ volt of drop occurs in R_3 and R_4

TL/H/9063-23

Adjusting Multiple On-Card Regulators with Single Control*

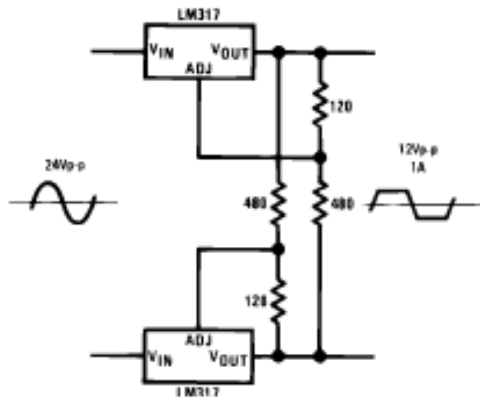


*All outputs within $\pm 100 \text{ mV}$
 (Minimum load—10 mA)

TL/H/9063-24

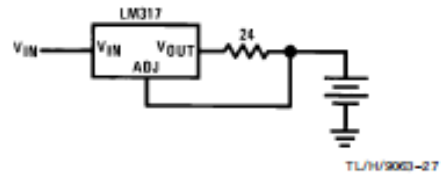
Typical Applications (Continued)

AC Voltage Regulator



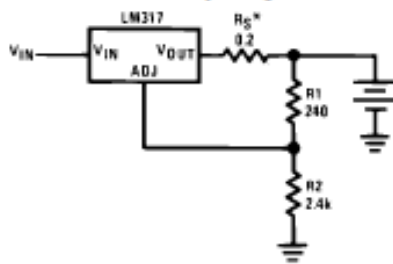
TL/H/9003-25

50 mA Constant Current Battery Charger



TL/H/9003-27

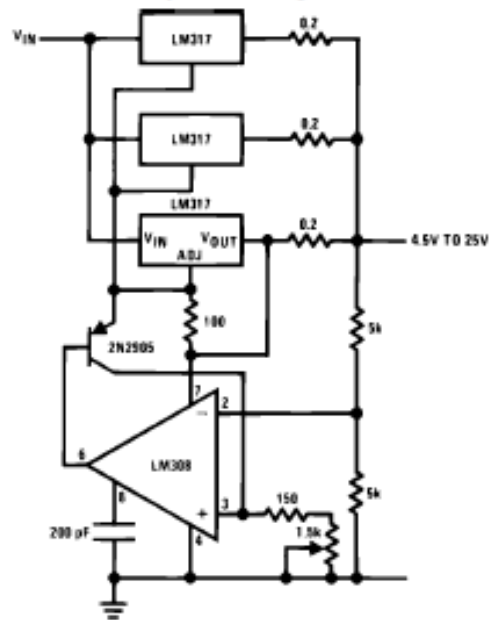
12V Battery Charger



TL/H/9003-26

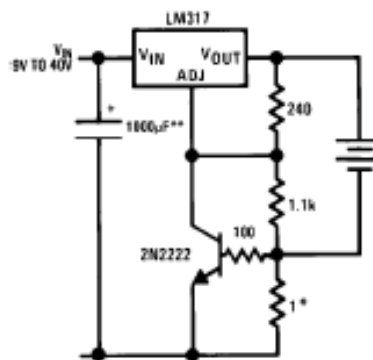
* R_S —sets output impedance of charger: $Z_{OUT} = R_S \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$
 Use of R_S allows low charging rates with fully charged battery.

Adjustable 4A Regulator



TL/H/9003-28

Current Limited 6V Charger



TL/H/9003-29

*Sets peak current (0.8A for 1Ω)

**The 1000 μ F is recommended to filter out input transients



MC78XX/LM78XX/MC78XXA

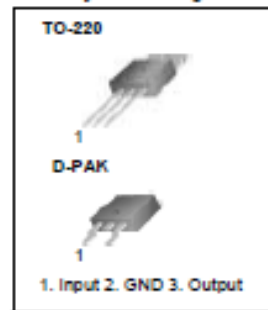
3-Terminal 1A Positive Voltage Regulator

Features

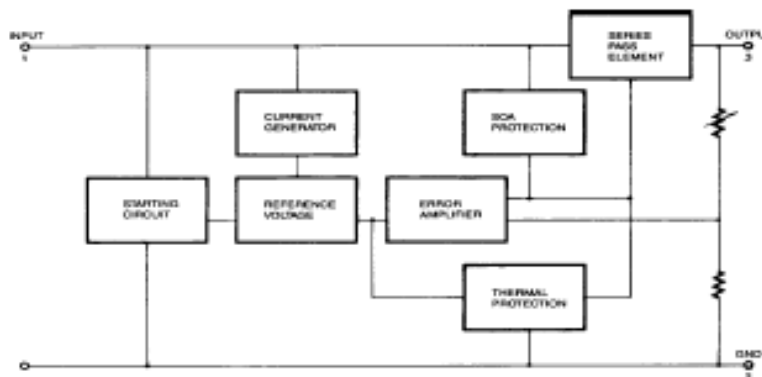
- Output Current up to 1A
- Output Voltages of 5, 6, 8, 9, 10, 12, 15, 18, 24V
- Thermal Overload Protection
- Short Circuit Protection
- Output Transistor Safe Operating Area Protection

Description

The MC78XX/LM78XX/MC78XXA series of three terminal positive regulators are available in the TO-220/D-PAK package and with several fixed output voltages, making them useful in a wide range of applications. Each type employs internal current limiting, thermal shut down and safe operating area protection, making it essentially indestructible. If adequate heat sinking is provided, they can deliver over 1A output current. Although designed primarily as fixed voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable voltages and currents.



Internal Block Diagram



Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Value	Unit
Input Voltage (for $V_O = 5V$ to $18V$) (for $V_O = 24V$)	V_I V_I	35 40	V V
Thermal Resistance Junction-Cases (TO-220)	$R_{\theta JC}$	5	$^{\circ}C/W$
Thermal Resistance Junction-Air (TO-220)	$R_{\theta JA}$	65	$^{\circ}C/W$
Operating Temperature Range	T_{OPR}	0 ~ +125	$^{\circ}C$
Storage Temperature Range	T_{STG}	-65 ~ +150	$^{\circ}C$

Electrical Characteristics (MC7805/LM7805)

(Refer to test circuit, $0^{\circ}C < T_J < 125^{\circ}C$, $I_O = 500mA$, $V_I = 10V$, $C_I = 0.33\mu F$, $C_O = 0.1\mu F$, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	MC7805/LM7805			Unit	
			Min.	Typ.	Max.		
Output Voltage	V_O	$T_J = +25^{\circ}C$	4.8	5.0	5.2	V	
		$5.0mA \leq I_O \leq 1.0A$, $P_O \leq 15W$ $V_I = 7V$ to $20V$	4.75	5.0	5.25		
Line Regulation (Note1)	Regline	$T_J = +25^{\circ}C$	$V_O = 7V$ to $25V$	-	4.0	100	mV
			$V_I = 8V$ to $12V$	-	1.6	50	
Load Regulation (Note1)	Regload	$T_J = +25^{\circ}C$	$I_O = 5.0mA$ to $1.5A$	-	9	100	mV
			$I_O = 250mA$ to $750mA$	-	4	50	
Quiescent Current	I_Q	$T_J = +25^{\circ}C$	-	5.0	8.0	mA	
Quiescent Current Change	ΔI_Q	$I_O = 5mA$ to $1.0A$	-	0.03	0.5	mA	
		$V_I = 7V$ to $25V$	-	0.3	1.3		
Output Voltage Drift	$\Delta V_O / \Delta T$	$I_O = 5mA$	-	-0.8	-	$mV / ^{\circ}C$	
Output Noise Voltage	V_N	$f = 10Hz$ to $100kHz$, $T_A = +25^{\circ}C$	-	42	-	$\mu V / V_O$	
Ripple Rejection	RR	$f = 120Hz$ $V_O = 8V$ to $18V$	62	73	-	dB	
Dropout Voltage	V_{Drop}	$I_O = 1A$, $T_J = +25^{\circ}C$	-	2	-	V	
Output Resistance	r_O	$f = 1kHz$	-	15	-	$m\Omega$	
Short Circuit Current	I_{SC}	$V_I = 35V$, $T_A = +25^{\circ}C$	-	230	-	mA	
Peak Current	I_{PK}	$T_J = +25^{\circ}C$	-	2.2	-	A	

Note:

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

Electrical Characteristics (MC7805A)

(Refer to the test circuits. $0^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 1\text{A}$, $V_I = 10\text{V}$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit	
Output Voltage	V_O	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	4.9	5	5.1	V	
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$ $V_I = 7.5\text{V to } 20\text{V}$	4.8	5	5.2		
Line Regulation (Note 1)	Regline	$V_I = 7.5\text{V to } 25\text{V}$ $I_O = 500\text{mA}$	-	5	50	mV	
		$V_I = 8\text{V to } 12\text{V}$	-	3	50		
		$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 7.3\text{V to } 20\text{V}$	-	5		50
			$V_I = 8\text{V to } 12\text{V}$	-	1.5		25
Load Regulation (Note 1)	Regload	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$ $I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	-	9	100	mV	
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	-	9	100		
		$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	-	4	50		
Quiescent Current	I_Q	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	5.0	6	mA	
Quiescent Current Change	ΔI_Q	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	-	-	0.5	mA	
		$V_I = 8\text{V to } 25\text{V}$, $I_O = 500\text{mA}$	-	-	0.8		
		$V_I = 7.5\text{V to } 20\text{V}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	-	0.8		
Output Voltage Drift	$\Delta V/\Delta T$	$I_O = 5\text{mA}$	-	-0.8	-	mV/ $^{\circ}\text{C}$	
Output Noise Voltage	V_N	$f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$ $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	10	-	$\mu\text{V}/V_O$	
Ripple Rejection	RR	$f = 120\text{Hz}$, $I_O = 500\text{mA}$ $V_I = 8\text{V to } 18\text{V}$	-	68	-	dB	
Dropout Voltage	V_{Drop}	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2	-	V	
Output Resistance	r_O	$f = 1\text{kHz}$	-	17	-	m Ω	
Short Circuit Current	I_{SC}	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	250	-	mA	
Peak Current	I_{PK}	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2.2	-	A	

Note:

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Change in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

Typical Performance Characteristics

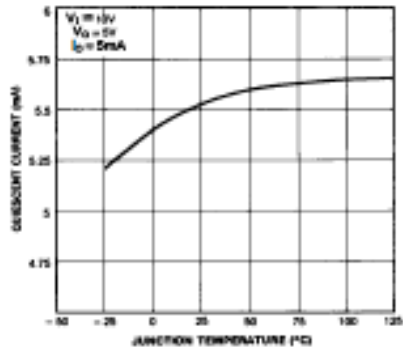


Figure 1. Quiescent Current

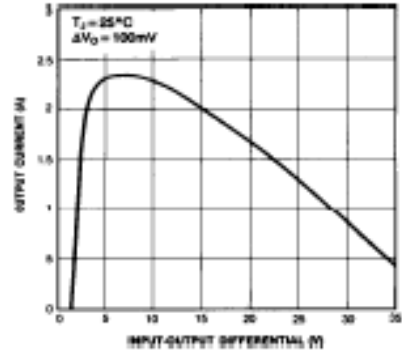


Figure 2. Peak Output Current

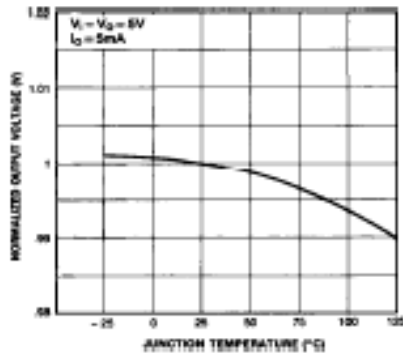


Figure 3. Output Voltage

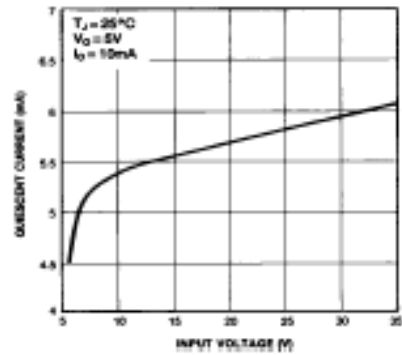


Figure 4. Quiescent Current

Typical Applications

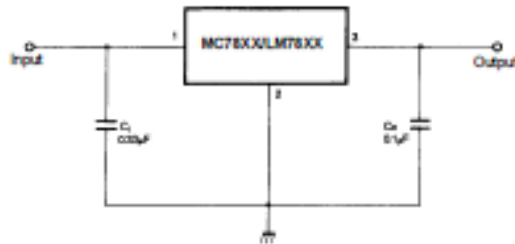


Figure 6. DC Parameters

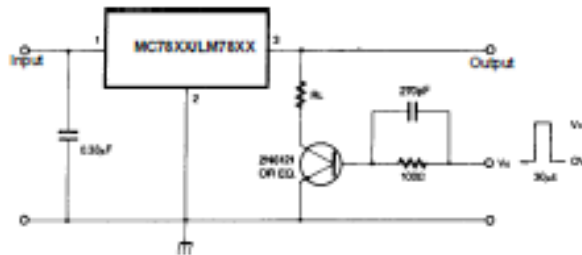


Figure 8. Load Regulation

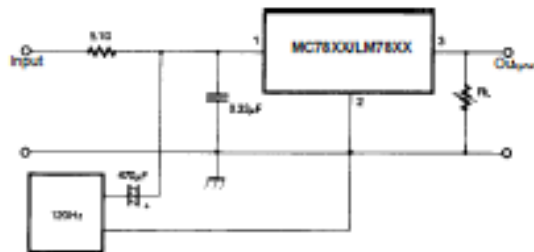
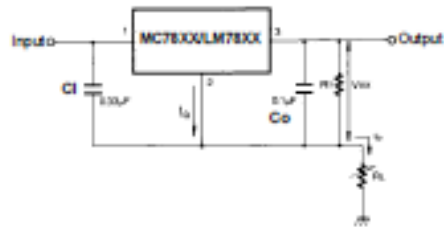


Figure 7. Ripple Rejection



Figure 8. Fixed Output Regulator

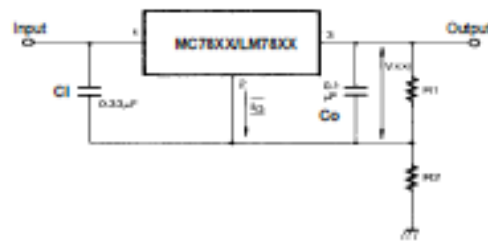


$$I_o = \frac{V_{out}}{R_1} + I_Q$$

Figure 9. Constant Current Regulator

Notes:

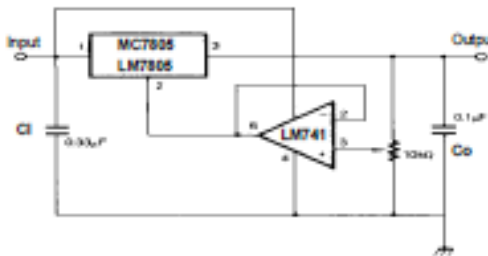
- (1) To specify an output voltage, substitute voltage value for "XX." A common ground is required between the Input and the Output voltage. The input voltage must remain typically 2.0V above the output voltage even during the low point on the input ripple voltage.
- (2) C₁ is required if regulator is located an appreciable distance from power supply filter.
- (3) C₀ improves stability and transient response.



$$I_{R1} \geq 5I_Q$$

$$V_O = V_{XX}(1+R_2/R_1)+I_Q R_2$$

Figure 10. Circuit for Increasing Output Voltage



$$I_{R1} \geq 5 I_Q$$

$$V_O = V_{XX}(1+R_2/R_1)+I_Q R_2$$

Figure 11. Adjustable Output Regulator (7 to 30V)

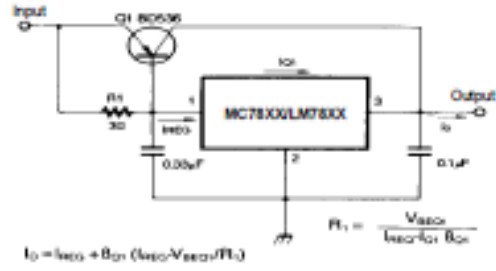


Figure 12. High Current Voltage Regulator

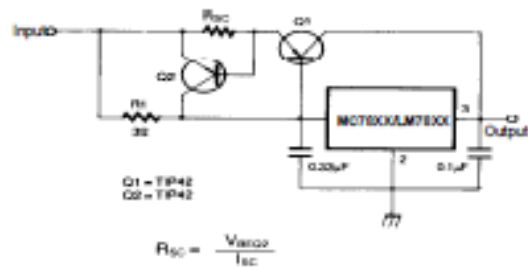


Figure 13. High Output Current with Short Circuit Protection

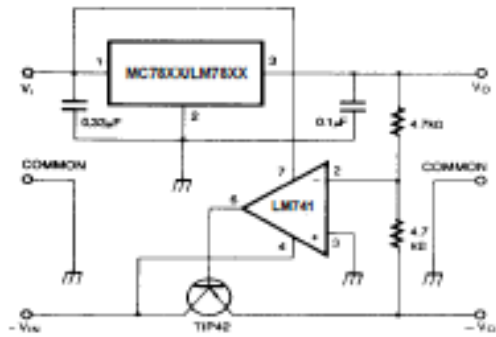


Figure 14. Tracking Voltage Regulator

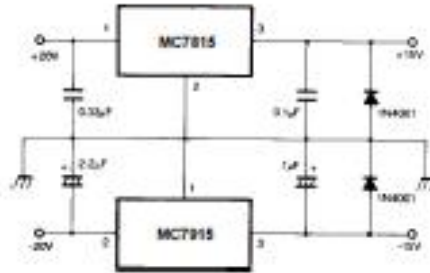


Figure 16. Split Power Supply (±15V-1A)

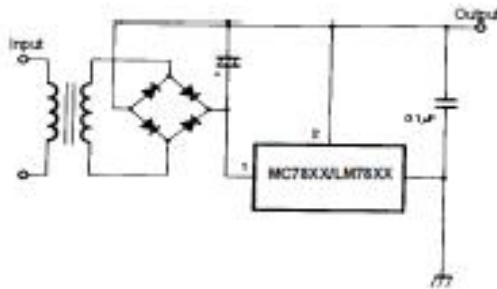


Figure 18. Negative Output Voltage Circuit

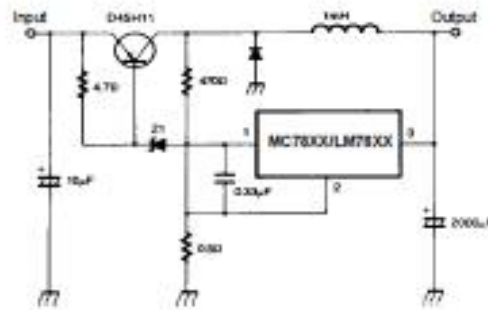


Figure 17. Switching Regulator

Mechanical Dimensions**Package****TO-220**