



**Universidad de Valladolid**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES**

**UNIVERSIDAD DE VALLADOLID**  
**ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES**

**Grado en Ingeniería Eléctrica.**

**CONTROL DE VELOCIDAD DE MOTORES  
BRUSHLESS MEDIANTE MODULACIÓN PWM**

**Autor:**

**Morales Rodríguez, Javier**

**Tutor:**

**Serrano Sanz, José Andrés**  
**Dpto. de Ingeniería Eléctrica**

**Valladolid, Junio 2018**



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES



---

En primer lugar me gustaría expresar mi más profundo agradecimiento a Don José Andrés Serrano Sanz, por brindarme la oportunidad de realizar este trabajo, por su paciencia y buenos consejos, y por haberme contagiado su pasión por las máquinas eléctricas.

Gracias a Don Jorge Montes Gutiérrez, por toda la ayuda recibida y por todo lo que he aprendido trabajando con él.

A mi familia, especialmente a mis padres, por haber estado apoyándome todos estos años incondicionalmente. Sin ellos no sería el ingeniero que soy hoy en día.

Finalmente, gracias a Laura, por estar a mi lado en todo momento. Cualquier camino se recorre fácilmente con tu compañía.

*“El desarrollo del hombre depende fundamentalmente de la invención. Es el producto más importante de su cerebro creativo. Su objetivo final es el dominio completo de la mente sobre el mundo material y el aprovechamiento de las fuerzas de la naturaleza a favor de las necesidades humanas”*

Nikola Tesla.



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES



## Resumen.

---

Se trata de controlar la velocidad de un motor brushless (motor de corriente continua sin escobillas), con un dispositivo embebido “myRIO” de National Instruments, mediante un entorno de programación LabVIEW. Este dispositivo es similar, aunque de menor potencia de procesamiento, al que podremos encontrar en un ambiente industrial, pero más adecuado al ambiente docente de un laboratorio de Máquinas Eléctricas.

Para ello se ha desarrollado un programa destinado al control de motores brushless. También se ha adaptado una etapa de suministro de potencia y se ha diseñado y construido otra etapa de acondicionamiento de señales.

Esperamos que pueda servir como ejemplo o guía para la construcción de diferentes modelos de control utilizando el entorno LabVIEW para este tipo de motores en futuros desarrollos.

***Palabras clave:*** BRUSHLESS, EMBEBIDO, LABVIEW, PWM, CONTROL



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES



## ÍNDICE

1.-	ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS.	9
2.-	GLOSARIO DE ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS.	15
3.-	INTRODUCCIÓN.	17
4.-	OBJETIVOS.	19
5.-	MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA SIN ESCOBILLAS.	21
5.1	Tipos de Motor Eléctrico.	23
5.1-1	Motores de Corriente Continua.	23
5.1-2	Motores de Corriente Alterna.	25
5.2	Motores Brushless de Corriente Continua.	27
5.2-1	Topología.	27
5.2-2	Principio de Funcionamiento.	32
5.2-3	Características Par/Velocidad.	34
6.-	MODULACIÓN PWM.	35
7.-	NATIONAL INSTRUMENTS LabVIEW.	37
7.1	Introducción.	37
7.2	Instrumentos de medida y Automatización.	37
7.3	LabVIEW.	37
7.4	Programación Gráfica de flujo de datos.	39
7.5	Ventajas de la programación G.	40
8.-	DISEÑO Y FASES DE DESARROLLO.	47
8.1	Motor Brushless BG 44x25 SI.	49
8.2	myRIO 1900.	53
8.3	Etapa acondicionadora.	59
8.3-1	KiCAD.	59
8.3-2	Componentes, Funcionamiento y Montaje.	60
8.4	Encapsulado y conexionado.	73



9.- DESARROLLO DEL SOFTWARE.	77
10.- CONCLUSIONES.	81
11.- PRESUPUESTO.	83
12.- FUENTES.	85
13.- ANEXOS.	87
13.1 Plano Motor Brushless BG 44x25 SI.	89
13.2 Datasheet Motor Brushless BG 44x25 SI.	91
13.3 Datasheet NI myRIO-1900.	93
13.4 Datasheet Vishay K827PH.	115
13.5 Datasheet Everlight EL827.	121
13.6 Datasheet Vishay VO610A.	131
13.7 Datasheet Lm117.	139





## 1.- ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

---

### FIGURAS

<i>Figura 1. Topología de un motor de corriente continua.</i>	23
<i>Figura 2: Estator de un motor BLDC.</i>	28
<i>Figura 3: Estator de un motor BLDC (izquierda) con su rotor (derecha).</i>	29
<i>Figura 4: Posicionamiento de sensores Hall en un motor BLDC.</i>	31
<i>Figura 5: Esquema de funcionamiento de un motor BLDC.</i>	32
<i>Figura 6: Secuencia de alimentación de la bobina para una revolución eléctrica de un motor BLDC.</i>	33
<i>Figura 7: Gráfica par/velocidad de un motor BLDC.</i>	34
<i>Figura 8: Ejemplo de modulación PWM.</i>	35
<i>Figura 9: Duty Cycle. Modulación PWM.</i>	36
<i>Figura 10: Bucle While en LabVIEW.</i>	39
<i>Figura 11: Adquisición, Análisis y Almacenamiento en LabVIEW.</i>	40
<i>Figura 12: Hightlighting en LabVIEW.</i>	41
<i>Figura 13: Barra de Herramientas de diagramas de bloques de LabVIEW.</i>	41
<i>Figura 14: Sondas para valoración de datos en LabVIEW.</i>	42
<i>Figura 15: Flecha rota de ejecución.</i>	42
<i>Figura 16: Lista de errores.</i>	43
<i>Figura 17: Patrón de diseño Productor/Consumidor.</i>	44
<i>Figura 18: Administración de Memoria en LabVIEW.</i>	46



<i>Figura 19: BLDC, modelo BG 44x25 SI.</i>	49
<i>Figura 20: Diagrama de características BLDC, modelo BG 44x25 SI.</i>	51
<i>Figura 21: NI myRIO 1900</i>	53
<i>Figura 22: Componentes NI myRIO 1900</i>	54
<i>Figura 23: Pinout conector MXP NI myRIO 1900</i>	55
<i>Figura 24: NI myRIO-1900 frontal (izquierda) y trasera (derecha)</i>	57
<i>Figura 25: NI myRIO-1900 lateral 1</i>	57
<i>Figura 26: NI myRIO-1900 lateral 2</i>	58
<i>Figura 27: NI myRIO-1900 lateral 3</i>	58
<i>Figura 28: NI myRIO-1900 lateral 4</i>	58
<i>Figura 29: Esquema funcionamiento de un optoacoplador.</i>	61
<i>Figura 30: Optoacoplador para montaje en placa.</i>	61
<i>Figura 31: Regulador LM117.</i>	62
<i>Figura 32: Circuito Regulador LM117.</i>	63
<i>Figura 33: Circuito de entradas al motor.</i>	63
<i>Figura 34: Circuito de salidas del motor.</i>	64
<i>Figura 35: Circuito de regulación de velocidad del motor.</i>	64
<i>Figura 36: Esquema conector DB9.</i>	65
<i>Figura 37: Esquema conector DB15.</i>	65
<i>Figura 38: Esquema completo etapa acondicionadora.</i>	67
<i>Figura 39: Footprint LM117.</i>	69
<i>Figura 40: PCB etapa acondicionadora.</i>	



	70
<i>Figura 41: Simulación 3D de la placa.</i>	71
<i>Figura 42: Simulación 3D del encapsulado.</i>	73
<i>Figura 43: Despiece 3D del encapsulado.</i>	74
<i>Figura 44: PCB con su caja.</i>	75
<i>Figura 45: Equipo montado.</i>	76
<i>Figura 46: Panel de control.</i>	77
<i>Figura 47: Salidas digitales de myRIO.</i>	78
<i>Figura 48: Bloque PWM.</i>	78
<i>Figura 49: Encoder y lectura de velocidad.</i>	79
<i>Figura 50: Variables internas.</i>	79
<i>Figura 51: Software de control.</i>	80



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES



## TABLAS

<i>Tabla 1: Características BLDC, modelo BG 44x25 SI.</i>	49
<i>Tabla 2: Pinout, modelo BG 44x25 SI.</i>	50
<i>Tabla 3: Combinaciones lógicas, modelo BG 44x25 SI.</i>	51
<i>Tabla 4: Conector MXP NI myRIO-1900</i>	56
<i>Tabla 5: Listado componentes etapa acondicionadora.</i>	68
<i>Tabla 6: Presupuesto.</i>	82



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES



## 2.- GLOSARIO DE ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

---

<b>BLDC:</b>	<i>Brushless Direct Current</i>
<b>CPU:</b>	<i>Central Processing Unit</i>
<b>DAQ:</b>	<i>Data Acquisition System</i>
<b>DC:</b>	<i>Direct Current</i>
<b>DI:</b>	<i>Digital Input</i>
<b>DIN:</b>	<i>Deutsches Institut für Normung</i>
<b>DO:</b>	<i>Digital Output</i>
<b>DSP:</b>	<i>Digital Signal Processor</i>
<b>E/S:</b>	<i>Entradas/Salidas</i>
<b>FEM:</b>	<i>Fuerza Electromotriz</i>
<b>FPGA:</b>	<i>Field-programmable gate array</i>
<b>GND:</b>	<i>Ground</i>
<b>IN:</b>	<i>Input</i>
<b>LED:</b>	<i>Light Emitting Diode</i>
<b>MΩ:</b>	<i>Mega-Ohmios</i>
<b>NI:</b>	<i>National Instruments</i>
<b>OUT:</b>	<i>Output</i>
<b>PCB:</b>	<i>Printed Circuit Board</i>
<b>PWM:</b>	<i>Pulse-Width Modulation</i>
<b>RF:</b>	<i>Radio Frecuencia</i>
<b>TP:</b>	<i>Peak Torque</i>
<b>TR:</b>	<i>Rated Torque</i>



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES





### 3. - INTRODUCCIÓN

---

En los primeros desarrollos del motor eléctrico el gran tamaño de los mismos limitaba sus aplicaciones. Gracias a los avances en electrónica y en la manufactura de los bobinados, hoy en día se construyen motores de menor tamaño, incluso de muy reducido tamaño.

Debido a este desarrollo de motores cada vez más pequeños y más precisos, y sobre todo a sus etapas de control más avanzadas, con la evolución en la tecnología moderna es ahora común encontrar motores de diferentes tipos en tareas de posicionamiento. Desde trampillas de ventilación, hasta la coordinación de inyectores en una impresora 3D, podemos encontrar en nuestro día a día infinidad de desarrollos basados en estos equipos.

Los automatismos utilizados en grandes cadenas de producción, discos duros, y demás equipos que requieren una precisión de posicionamiento impecable, basan su funcionamiento en el motor eléctrico.

Uno de los motores utilizados en la industria actual, es el motor de corriente continua sin escobillas, conocido como brushless. Este motor permite un control preciso de su velocidad de funcionamiento, y presenta la ventaja de un mínimo mantenimiento por carecer de colector y escobillas.

Aprovechando la modulación PWM (técnica que consiste en la variación de anchos de pulso de una señal conmutada), y un dispositivo embebido (sistema de computación orientado a funciones dedicadas en tiempo real), desarrollaremos un sistema capaz de controlar y monitorizar la velocidad de un motor brushless industrial.



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES



## 4. - OBJETIVOS.

---

Con este trabajo de fin de grado se pretende diseñar y construir un sistema de control implementado en un dispositivo embebido capaz de controlar la velocidad de forma precisa, de un motor de corriente continua sin escobillas (brushless). Se pueden estructurar los objetivos buscados de la siguiente forma:

- Desarrollo de un programa específico para el control de motores DC brushless, utilizando como hardware el controlador de automatización programable myRIO y como software el entorno de desarrollo gráfico LabVIEW, ambos suministrados por National Instruments.
- Diseño y posterior fabricación de una etapa de suministro de potencia para uno o varios motores DC brushless (comúnmente denominada *driver*) que incluirá una etapa de acondicionamiento de señales conectada directamente con el módulo de E/S del myRIO.
- Por último, se realizarán diferentes pruebas de control y experimentación sobre el motor.

Además, se pretende que este trabajo de fin de grado pueda ser utilizado de forma didáctica por el Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Valladolid, facilitando la comprensión del funcionamiento de los motores BLDC en sus explicaciones.



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES



## 5.- MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA SIN ESCOBILLAS.

---

Consideramos conveniente comenzar este capítulo adentrándonos ligeramente en la historia del motor eléctrico, y su evolución continua, para posteriormente comprender mejor el funcionamiento y los principios del motor de corriente continua sin escobillas.

El desarrollo del motor eléctrico está basado en el fenómeno físico de la inducción electromagnética. Descubierta por Michael Faraday (1791-1867) establece que la tensión inducida en un circuito cerrado es directamente proporcional a la rapidez con que cambia en el tiempo el flujo magnético que atraviesa una superficie cualquiera con el circuito como borde. Gracias a la ecuación de Faraday-Lenz podemos relacionar la fuerza electromotriz (FEM) inducida sobre un conjunto de espiras con la variación de flujo magnético [1]:

$$\varepsilon = -N \frac{d\Phi}{dt}$$

*Ecuación 1.*

Donde:

- $\varepsilon$  : Tensión inducida (V)
- $N$ : Número de espiras
- $\Phi$  : Flujo del campo magnético (Wb)

Posteriormente, James Clerk Maxwell (1831-1879) unificaría el desarrollo de la teoría electromagnética en sus famosas ecuaciones.

El desarrollo de las máquinas de inducción tuvo que esperar hasta la aparición de los sistemas eléctricos de corriente alterna, el primer trabajo original desarrollado se anunció en 1888 por Galileo Ferraris en Italia dos meses antes que Nikola Tesla presentase un trabajo similar en los Estados Unidos. Ambos investigadores basaron sus diseños en sistemas bifásicos.



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES

## 5.1 Tipos de motor eléctrico.

Según la naturaleza de la corriente eléctrica transformada, los motores eléctricos se clasifican en motores de corriente continua, y motores de corriente alterna, que a su vez, se agrupan, según su sistema de funcionamiento, en motores de inducción y motores sincrónicos. [2]

### 5.1-1 Motores de Corriente Continua:

La conversión de energía en un motor eléctrico se debe a la interacción entre una corriente eléctrica y un campo magnético. Un campo magnético, que se forma entre los dos polos opuestos de un imán, es una región donde se ejerce una fuerza sobre determinados metales o sobre otros campos magnéticos. Un motor eléctrico aprovecha este tipo de fuerza para hacer girar un eje, transformándose así la energía eléctrica en movimiento mecánico.

Los dos componentes básicos de todo motor eléctrico son el rotor y el estator. El rotor es una pieza giratoria, un electroimán móvil, con varios salientes laterales, que llevan cada uno a su alrededor un bobinado por el que pasa la corriente eléctrica. El estator, situado alrededor del rotor, es un imán (o electroimán) fijo, cubierto con un aislante. Al igual que el rotor, dispone de una serie de salientes con bobinados eléctricos por los que circula la corriente.

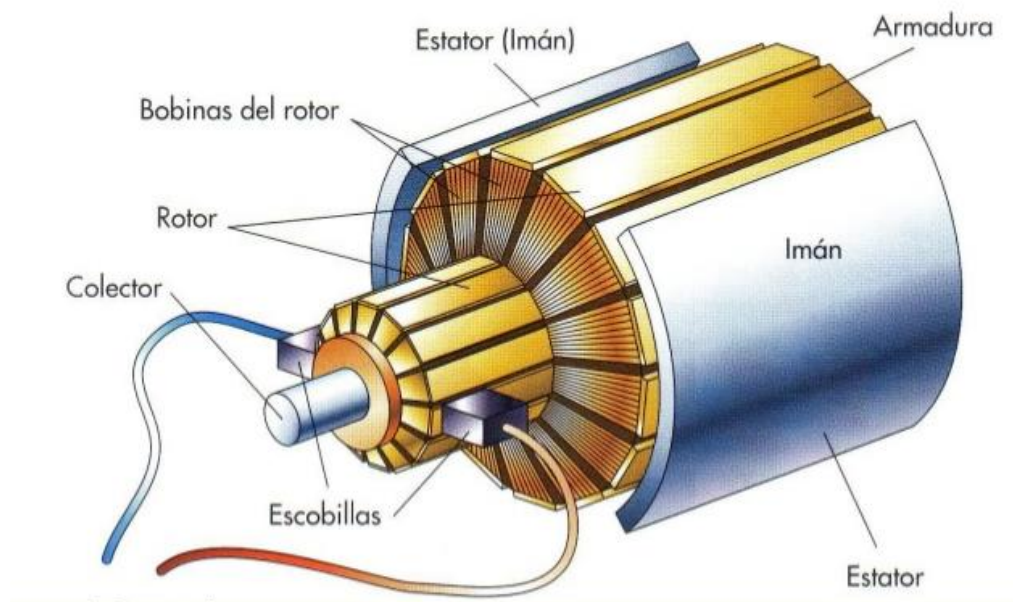


Figura 1. Topología de un motor de corriente continua.



Cuando se introduce una espira de hilo de cobre en un campo magnético y se conecta a una batería, la corriente pasa en un sentido por uno de sus lados y en sentido contrario por el lado opuesto. Así, sobre los dos lados de la espira se ejerce una fuerza, en uno de ellos hacia arriba y en el otro hacia abajo.

Si la espira de hilo va montada sobre el eje metálico, empieza a dar vueltas hasta alcanzar la posición vertical. Entonces, en esta posición, cada uno de los hilos se encuentra situado en el medio entre los dos polos, y la espira queda retenida

Para que la espira siga girando después de alcanzar la posición vertical, es necesario invertir el sentido de circulación de la corriente. Para conseguirlo, se emplea un conmutador o colector, que en el motor eléctrico más simple, el motor de corriente continua, está formado por dos chapas de metal con forma de media luna, que se sitúan sin tocarse, como las dos mitades de un anillo, y que se denominan delgas. Los dos extremos de la espira se conectan a las dos medias lunas. Dos conexiones fijas, unidas al bastidor del motor y llamadas escobillas, hacen contacto con cada una de las delgas del colector, de forma que, al girar la armadura, las escobillas contactan primero con una delga y después con la otra.

Cuando la corriente eléctrica pasa por el circuito, la armadura empieza a girar y la rotación dura hasta que la espira alcanza la posición vertical. Al girar las delgas del colector con la espira, cada media vuelta se invierte el sentido de circulación de la corriente eléctrica.

Esto quiere decir que la parte de la espira que hasta ese momento recibía la fuerza hacia arriba, ahora la recibe hacia abajo, y la otra parte al contrario. De esta manera la espira realiza otra media vuelta y el proceso se repite mientras gira la armadura. El esquema descrito corresponde a un motor de corriente continua, el más simple dentro de los motores eléctricos, pero que reúne los principios fundamentales de este tipo de motores.





### 5.1-2 Motores de Corriente Alterna:

Los motores de corriente alterna tienen una estructura similar, con pequeñas variaciones en la fabricación de los bobinados y del conmutador del rotor. Según su sistema de funcionamiento, se clasifican en motores de inducción, motores sincrónicos y motores de colector.

#### - **Motores de inducción.**

El motor de inducción no necesita escobillas ni colector. Su armadura es de placas de metal magnetizable. El sentido alterno de circulación de la corriente en las espiras del estator, genera un campo magnético giratorio que induce unas corrientes en el rotor. Estas interactúan con el campo magnético giratorio, produciéndose una fuerza que se traduce en el par motor. El motor de inducción es el motor de corriente alterna más utilizado, debido a su fortaleza y sencillez de construcción, buen rendimiento y bajo coste así como a la ausencia de colector y al hecho de que sus características de funcionamiento se adaptan bien a una marcha a velocidad constante.

#### - **Motores sincrónicos.**

Los motores sincrónicos funcionan a una velocidad sincrónica fija proporcional a la frecuencia de la corriente alterna aplicada. Su construcción es semejante a la de los alternadores. Cuando un motor sincrónico funciona a potencia constante y sobreexcitado, la corriente absorbida por éste presenta, respecto a la tensión aplicada, un ángulo de desfase en avance que aumenta con la corriente de excitación. Esta propiedad es la que ha mantenido la utilización del motor sincrónico en el campo industrial, pese a ser el motor de inducción más simple, más económico y de cómodo arranque, ya que con un motor sincrónico se puede compensar un bajo factor de potencia en la instalación al suministrar aquél la corriente reactiva, de igual manera que un condensador conectado a la red.



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES



## 5.2 Motores Brushless de Corriente Continua.

---

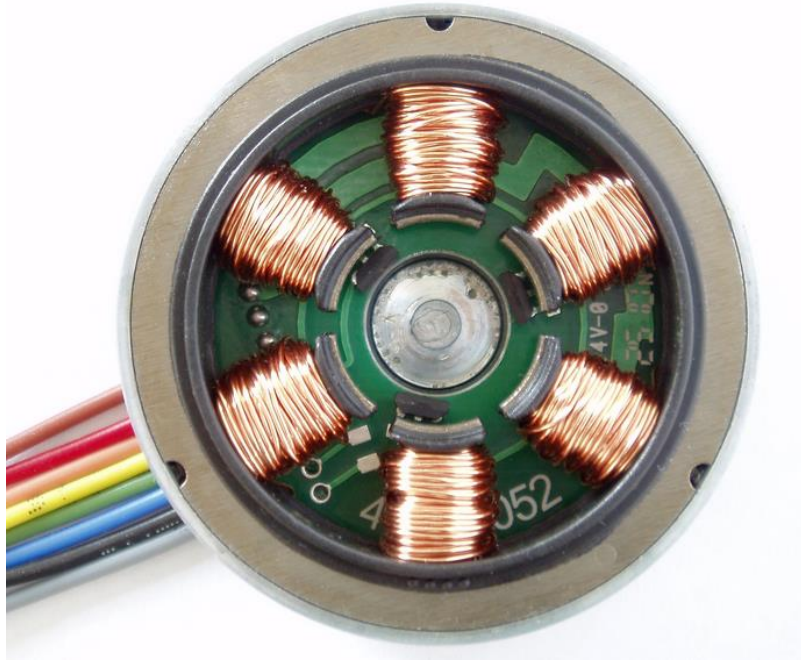
El motor de corriente continua sin escobillas (BLDC) o motor brushless es uno de los tipos de motores que más popularidad ha ganado en los últimos años. Actualmente, los motores BLDC se emplean en sectores industriales tales como: Automóvil, Aeroespacial, Consumo, equipos de automatización e instrumentación, etc.

Los motores BLDC tienen la característica de que no emplean escobillas en la conmutación para la transferencia de energía; en este caso, la conmutación se realiza electrónicamente. Esta propiedad elimina uno de los grandes problemas que poseen los motores eléctricos convencionales con escobillas: La disminución del rendimiento debido al rozamiento, con su consecuente producción de calor, que deriva en motores más ruidosos con una necesidad más alta de mantenimiento. [3]

### 5.2-1 Topología:

#### - **Estator.**

El estator de un motor BLDC consiste en un conjunto de láminas de acero apiladas con bobinados colocados en las ranuras de forma axial a lo largo de la periferia interna como se muestra en figura 2. Tradicionalmente, el estator se asemeja a un motor de inducción, sin embargo, las bobinas se distribuyen de una manera diferente. La mayoría de los motores BLDC tienen tres fases en el estator conectado en estrella. Cada una de estas fases está construida por numerosas espiras interconectadas para formar cada una de éstas. Una o más bobinas colocadas en las ranuras se interconectan para que formen una fase. Cada una de estas bobinas se distribuye en la periferia del estator para formar un número par de polos.



*Figura 2: Estator de un motor BLDC.*

Existen dos tipos de bobinados del estator: trapezoidal y sinusoidal. Esta diferenciación se centra en la base de la interconexión de las espiras en los bobinados del estator, obteniendo los dos tipos de Fuerza contra electromotriz (*back FEM*).

Como sus nombres indican, el motor trapezoidal da una fuerza contra electromotriz (f.c.e.m) de forma trapezoidal y para un motor sinusoidal, dicha fuerza tiene forma sinusoidal. Además de la f.c.e.m, la forma de la señal de corriente también tiene variaciones trapezoidales y sinusoidales en función del tipo de motor. Esto hace que el par de salida para un motor sinusoidal sea más suave que para un motor trapezoidal.

Sin embargo, este beneficio conlleva con un coste extra. Esto es debido a que los motores sinusoidales necesitan de una mayor cantidad de cobre para interconectar los distintos bobinados distribuidos en el estator.

### - Rotor.

El rotor es de imán permanente y puede variar desde dos hasta ocho pares de polos alternativos de Norte (N) y Sur (S). En función de la densidad de campo magnético requerido en el rotor, se escoge el material magnético adecuado para hacer el rotor. Los imanes de ferrita se utilizan tradicionalmente para hacer imanes permanentes.

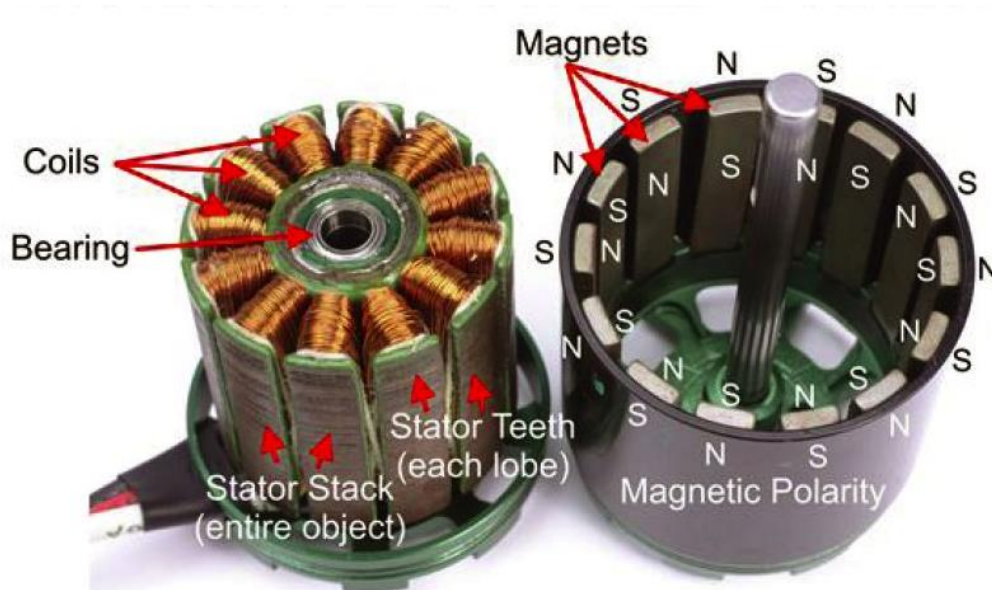


Figura 3: Estator de un motor BLDC (izquierda) con su rotor (derecha).

Los imanes de ferrita son los más baratos, pero tienen la desventaja de tener una densidad de flujo baja para un volumen determinado. Por el contrario, los materiales de aleación de alta densidad magnética por volumen permiten comprimir y reducir el tamaño del rotor para el mismo par. Los imanes aleados mejoran la relación tamaño/peso, proporcionando un par motor mayor que para el mismo tamaño de un motor que usa imanes de ferrita. Es por esto que la tecnología busca desarrollar nuevos tipos de imanes empleando materiales que se caracterizan por tener un campo magnético permanente: Neodimio, samario-cobalto y la aleación de neodimio, ferrita y boro son algunos ejemplos.



A diferencia de un motor de escobillas de corriente continua, la conmutación de un motor BLDC se controla electrónicamente. Para provocar el giro en el motor BLDC, los bobinados del estator deberán estar activados secuencialmente. Es fundamental conocer la posición del rotor para poder entender cómo deben ser activadas las bobinas según la secuencia de activación.

Ésta se detecta mediante sensores de efecto *Hall* integrándose en el estator, elemento característico de este tipo de motores.

#### - **Sensor Hall.**

Si un conductor está conduciendo una corriente eléctrica, en este se genera un campo magnético. El campo magnético genera una fuerza transversal en los portadores de la carga en movimiento que tiende a empujar a un lado del conductor. Esto es más evidente en un conductor plano delgado. Una acumulación de la carga en los lados del conductor va a equilibrar esta influencia magnética, produciéndose variación de tensión entre los lados del conductor. La presencia de esta diferencia de potencial transversal medible se llama efecto *Hall* y fue Edwin Herbert Hall quien lo descubrió en 1879. [4]

La mayoría de los motores BLDC tienen tres sensores *Hall* integrados en el estator, en el extremo opuesto al rotor del motor. Cada vez que los polos magnéticos del rotor pasan cerca de los sensores *Hall*, ofrecen una señal de “alto o bajo”, lo que indica el polo N o S está pasando cerca de los sensores. Basado en la combinación de estas tres señales del sensor *Hall*, se puede determinar la secuencia exacta de conmutación.

La figura 4 muestra una sección transversal de un motor BLDC con un rotor que tiene imanes alternativos N y S permanentes. Los sensores *Hall* se incrustan en la parte fija del motor. La incorporación de estos sensores en el estator es un proceso complejo, ya que cualquier desajuste en los mismos con respecto a los imanes del rotor, generaría un error en la determinación de la posición rotórica.

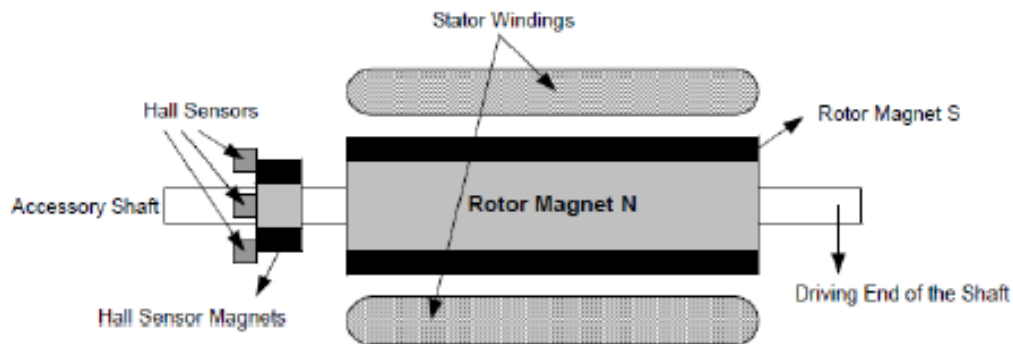


Figura 4: Posicionamiento de sensores Hall en un motor BLDC.

Algunos motores pueden tener estos dispositivos instalados en el rotor, además del rotor magnético principal. Los sensores *Hall* se montan normalmente en una placa de circuito impreso y se fija a la carcasa en el extremo de no conducción. Esto permite al usuario ajustar el conjunto completo de sensores para alinearse con los imanes del rotor. Los sensores pueden estar en  $60^\circ$  o  $120^\circ$  de variación de una fase con respecto a la otra. Sobre esta base, el fabricante del motor define la secuencia de conmutación, que se deben seguir cuando se controla el motor.

Los sensores *Hall* requieren una fuente de alimentación. La tensión puede variar de 4 voltios a 24 voltios. La corriente necesaria puede variar desde 5 hasta 15 miliamperios. Durante el diseño del controlador, es necesario consultar las propias especificaciones técnicas del motor, para poder trabajar con el rango de tensión y corriente requerida por los sensores de efecto *Hall* utilizado. La salida del sensor *Hall* es normalmente un tipo de colector abierto. Es por ello que puede ser requerida una resistencia de *pull-up* en el lado del controlador.



### 5.2-2 Principio de Funcionamiento:

A cada secuencia de conmutación le corresponde un estado de activación de las bobinas, de tal forma que mientras uno de los devanados tiene una tensión de alimentación positiva (corriente entra en el devanado), un segundo devanado tiene una tensión de alimentación negativo (las salidas de corriente de la bobina) y el tercero se encuentra sin corriente. Obsérvese la *Figura 4* para su mejor comprensión. [5]

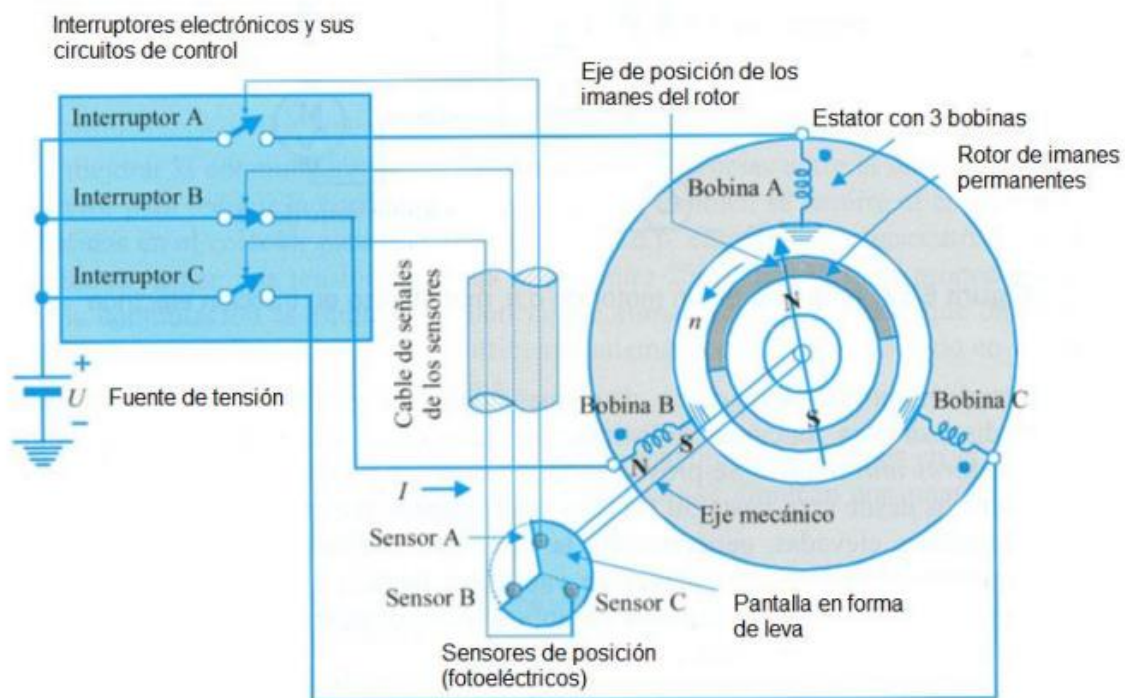


Figura 5: Esquema de funcionamiento de un motor BLDC.



El par motor se produce debido a la interacción entre el campo magnético generado por las bobinas del estator y los imanes permanentes. Idealmente, el par máximo se produce cuando estos dos campos se encuentran a  $90^\circ$  uno del otro y decae a cero cuando ambos campos magnéticos se mueven juntos. A fin de mantener el motor en marcha, el campo magnético producido por las bobinas debe cambiar de posición (debe cambiar la activación y desactivación de las bobinas), de tal forma que según el movimiento del campo magnético del rotor varíe, se actualice el campo magnético del estator:

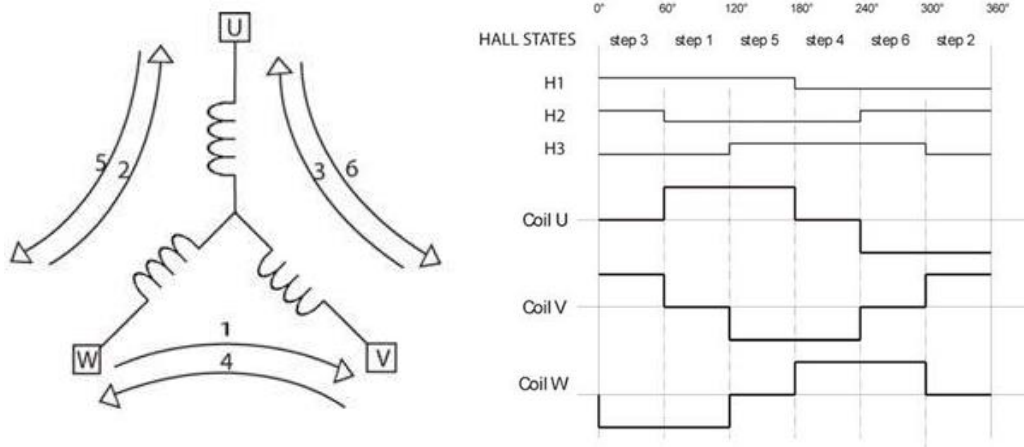
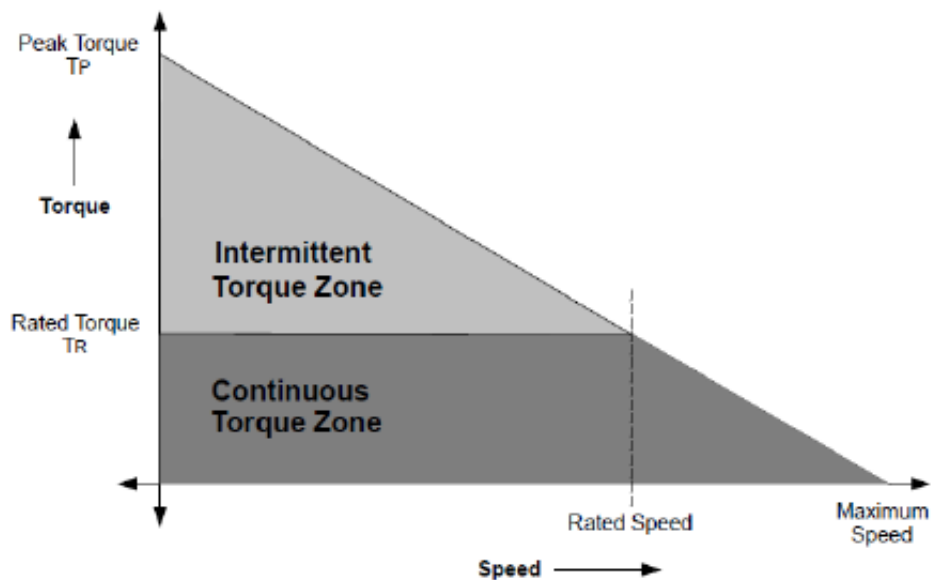


Figura 6: Secuencia de alimentación de la bobina para una revolución eléctrica de un motor BLDC.

### 5.2-3 Características Par/Velocidad:

La *Figura 6* muestra un ejemplo de las características de par / velocidad. Existen dos parámetros de par utilizados para definir un motor BLDC: el par máximo o de pico (TP - *Peak Torque*) y el par nominal (TR - *Rated Torque*). En un funcionamiento continuo, el motor es cargado con el par nominal manteniéndose constante hasta la velocidad nominal. El motor puede funcionar a velocidades superiores a la nominal (hasta el 150% de la misma), con la consecuente disminución del par. [6]

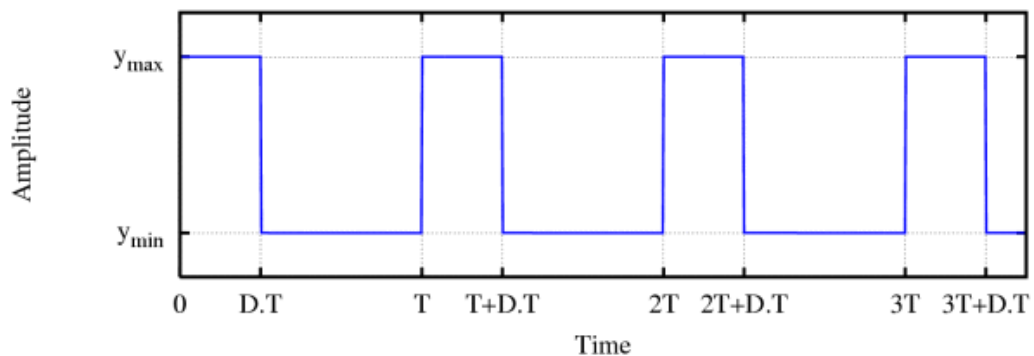
En aplicaciones en las que aparecen arranques y paradas frecuentes y cambios frecuentes de rotación con carga en el motor, la demanda superará el par nominal. Este requisito se debe a que, durante un breve período de tiempo, (especialmente cuando el motor arranca desde parado y durante una aceleración) es necesario disponer de par adicional para poder superar la inercia de la carga y el propio rotor.



*Figura 7: Gráfica par/velocidad de un motor BLDC.*

## 6 MODULACIÓN PWM

PWM son las siglas de Pulse Width Modulation, traducido literalmente como modulación por ancho de pulso. Una señal PWM consiste en una señal con frecuencia fija, y dos valores de tensión (alto y bajo), como podemos observar en la figura 8.



*Figura 8: Ejemplo de modulación PWM.*

Otro parámetro característico de una señal PWM es el denominado ciclo de trabajo (duty cycle), que hace referencia al porcentaje de tiempo que el pulso (tensión entregada) está en activo durante un ciclo.

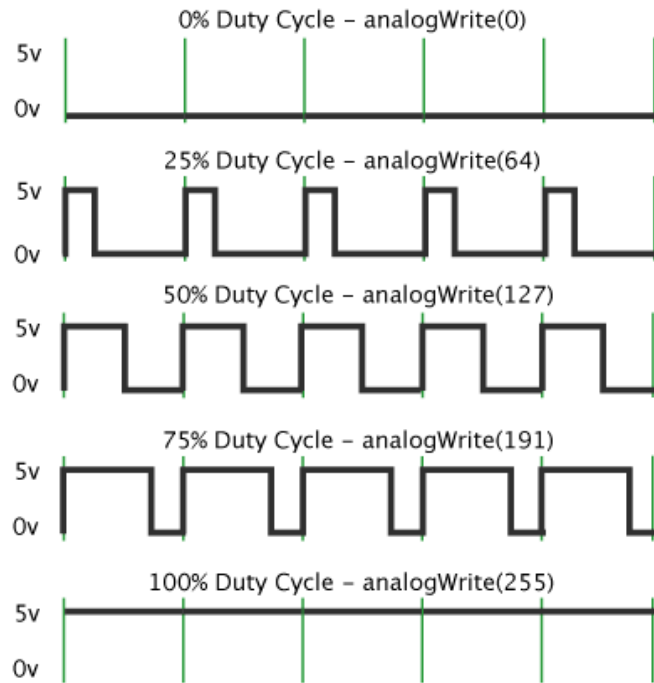


Figura 9: Duty Cycle. Modulación PWM

Un ejemplo práctico. Si disponemos de una fuente de alimentación que entregue un máximo de 5V y un mínimo de 0V, podríamos utilizar un ciclo de trabajo del 60% para obtener una señal de salida de 3V. Al realizarse la conmutación de forma rápida, el voltaje visto en los terminales del dispositivo será el valor medio de la señal.

Este tipo de señales se utilizan normalmente en el control de aplicaciones, para controlar motores de corriente continua, válvulas, sistemas hidráulicos, diferentes actuadores mecánicos, etc. En función de la aplicación (concretamente del tiempo de respuesta del sistema que queremos controlar), será necesario variar la frecuencia de la señal PWM. Veamos algunos ejemplos:

- Sistemas con tiempos de respuesta lentos: 10-100 Hz o superior.
- Motores eléctricos de corriente continua: 5-10 kHz o superior.
- Fuentes de alimentación: 20-200 kHz o superior.



## 7 NATIONAL INSTRUMENTS LabVIEW

---

### 7.1 Introducción:

Fundada en 1976, National Instruments ha revolucionado de forma notable la manera de trabajar de ingenieros e investigadores a nivel mundial. Dedicada al desarrollo y fabricación de una gran variedad de productos software y hardware, es la empresa líder en la producción de instrumentos de medida y automatización basados en plataformas PC. La plataforma de NI comprende tres elementos clave: software productivo, hardware modular y un amplio entorno de apoyo. El software es el elemento principal de esta plataforma, permitiendo al usuario desarrollar los sistemas que necesita para su aplicación. [7]

### 7.2 Sistemas de Adquisición de Datos:

Al estudiar la configuración de los sistemas de adquisición de datos modernos DAQ (Data Acquisition System), basados en equipos PC, se aprecia que una de las partes que componen dichos sistemas, es el software quien controla y administra los recursos del computador, presenta los datos, y participa en el análisis. Viéndolo de este modo, el software es un elemento muy importante que requiere de especial cuidado. Para los sistemas DAQ se necesita un software de instrumentación que sea flexible para futuros cambios y preferiblemente que sea de fácil manejo, siendo lo más potente e intuitivo posible. Uno de los programas de desarrollo de software más en boga en desarrollos científicos, es LabVIEW.

### 7.3 LabVIEW:

LabVIEW es un software de ingeniería de sistemas que requiere pruebas, medidas y control con acceso rápido a hardware y análisis de datos. El entorno de programación de LabVIEW simplifica la integración de hardware para aplicaciones de ingeniería, y reduce la complejidad de la programación, eliminando distracciones para poder centrarnos en el desarrollo de la aplicación en la que trabajamos. LabVIEW permite visualizar resultados inmediatamente con la creación integrada de interfaces de usuario de clic-y-arrastre y visualizadores de datos integrados. Podemos desarrollar algoritmos para análisis de datos y control avanzado con IP matemáticas y procesamiento de señales o reutilizar bibliotecas propias.



Durante más de 20 años, NI LabVIEW se ha sido utilizado por millones de ingenieros y científicos para desarrollar test sofisticados y aplicaciones de medida y control. Además de disponer de una variada gama de características y herramientas de asistentes e interfaces de usuario configurables, LabVIEW destaca por ser un lenguaje de programación gráfico de propósito general (conocido como G), con su compilador asociado, su enlazador, y herramientas de depuración.

Para entender mejor el valor añadido de la programación gráfica de LabVIEW, es útil remontarse al primer lenguaje de programación de alto nivel. En los albores de la edad moderna de la computación a mediados de los 50, un reducido grupo de IBM decidió crear una alternativa práctica a la programación de la enorme unidad central IBM 704 (un supercomputador en su época) en lenguaje ensamblador, el más moderno disponible en aquel entonces. El resultado fue FORTRAN, un lenguaje de programación más legible cuyo propósito era acelerar el proceso de desarrollo.

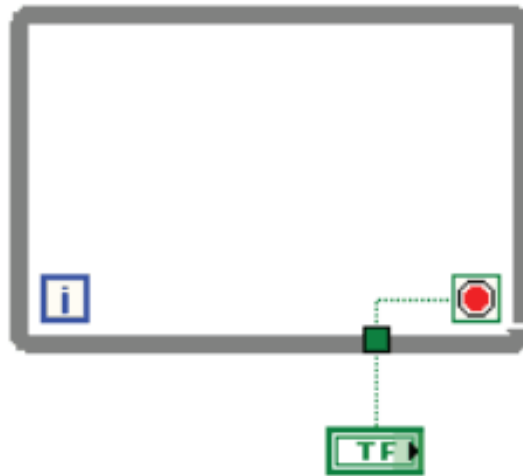
La comunidad ingenieril fue, en principio, escéptica de que este método pudiese superar los programas desarrollados a mano en ensamblador, pero pronto se demostró que los programas desarrollados con FORTRAN se ejecutaban casi tan eficientemente como aquellos escritos en ensamblador. Al mismo tiempo, FORTRAN redujo el número de sentencias necesarias en un programa notablemente (unas 20 veces), por lo que es considerado a menudo el primer lenguaje de desarrollo de alto nivel. No sorprende que FORTRAN ganase rápidamente la aceptación de la comunidad científica.

Primero, durante más de 50 años, los ingenieros han buscado formas más fáciles y rápidas de solucionar sus problemas de programación. Después, los lenguajes de programación elegidos para traducir sus tareas han tendido hacia niveles mayores de abstracción. Estas lecciones ayudan a explicar la inmensa popularidad y la extensa adopción de G desde su aparición en 1986; G representa un lenguaje de programación de extremadamente alto nivel cuyo propósito es aumentar la productividad de sus usuarios ejecutándose a casi la misma velocidad que los lenguajes de programación de niveles inferiores como FORTRAN, C y C++.

#### 7.4 Programación Gráfica de Flujo de Datos:

LabVIEW es diferente de la mayoría de lenguajes de propósito general principalmente en dos aspectos. En primer lugar, la programación G se desarrolla cableando iconos gráficos en un diagrama que compila directamente a código máquina de modo que los procesadores del ordenador pueden ejecutarlo sin preocuparse por obtener problemas de compatibilidad. En cierto modo, es muy similar al conexionado de módulos en la aplicación Simulink de Matlab.

Aunque se representa gráficamente en lugar de usar sentencias de código, G contiene los mismos conceptos de programación que se pueden encontrar en la mayoría de los lenguajes tradicionales, solo que presentadas de forma alternativa. Por ejemplo, G incluye todas las construcciones estándar tales como tipos de datos, bucles, eventos, variables, recursividad y programación orientada a objetos. En la siguiente imagen puede observarse un bucle while, de forma que los lazos introducidos en el mismo se reproducirán de forma ininterrumpida, hasta que ordenemos su detención.



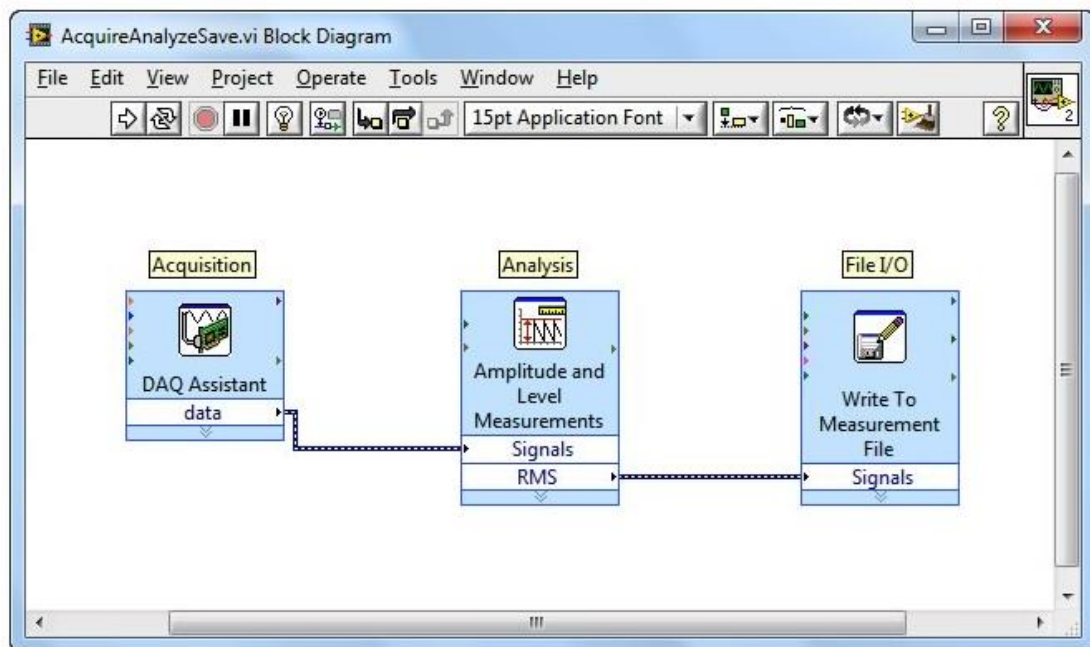
*Figura 10: Bucle While en LabVIEW.*

La segunda diferencia básica es que el código G desarrollado en LabVIEW es ejecutado de acuerdo con las reglas del flujo de datos en lugar de la forma secuencial de comandos usada de forma más tradicional (que se encuentran en la mayoría de los lenguajes de programación basados en texto como C o C#).

Estos lenguajes de flujo de datos promueven la adquisición y manipulación de datos como concepto principal detrás de cualquier programa desarrollado. El seguimiento de un dato a lo largo del flujograma de forma visual, permite realizar un análisis inmediato del estado de la información. Esta diferenciación tiene un impacto muy importante con respecto al resto de lenguajes de programación, ya que presenta rutas de datos que pasan a ser el centro de atención del desarrollador.

### 7.5 Ventajas de la programación G:

Principalmente, el código G es más sencillo de entender por ingenieros y científicos porque están familiarizados con la visualización y la modelización gráfica de procesos y tareas en términos de diagramas de bloque y diagramas de flujo (que siguen también las reglas del flujo de datos). Por ejemplo, y programa típico en G puede adquirir, en primer lugar, de varios canales de datos de temperatura, después pasarlos a una función de análisis y finalmente escribirlos a disco. En conjunto, el flujo de datos y los pasos involucrados en este programa son sencillos de comprender en el diagrama de LabVIEW. Los datos se originan en la función de adquisición y luego fluyen a las funciones de análisis y almacenamiento a través de los cables.



*Figura 11: Adquisición, Análisis y Almacenamiento en LabVIEW.*



## Herramientas de depuración interactiva

Puesto que el código G de LabVIEW es sencillo de comprender, las tareas más comunes de programación como el depurado, se vuelven más intuitivas también. Por ejemplo, LabVIEW provee de herramientas de depuración únicas que podemos usar para observar el movimiento interactivo de los datos por los cables de un programa de LabVIEW y ver los valores que pasan de una función a otra (conocido en el entorno de LabVIEW como ejecución highlighting).

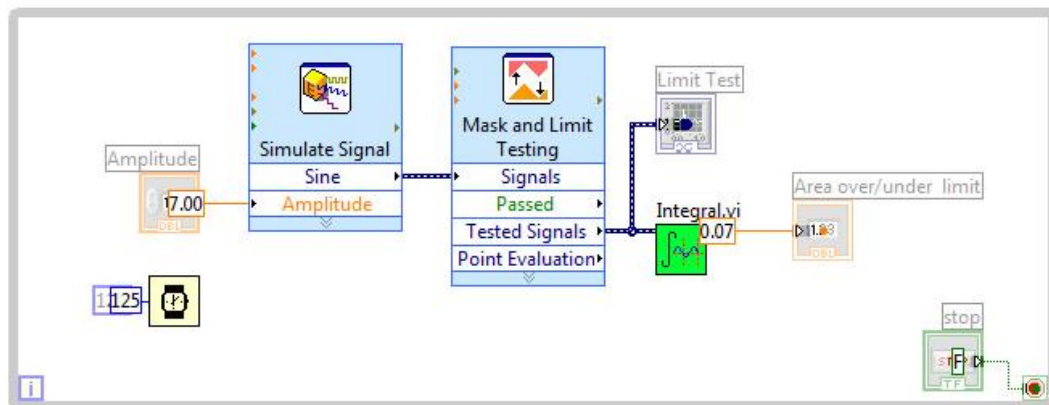


Figura 12: Highlighting en LabVIEW.

LabVIEW también ofrece herramientas de depuración para G comparables con aquellas que se encuentran en los lenguajes tradicionales. Estas herramientas, accesibles desde la barra de herramientas de un diagrama, incluyen sondas, puntos de parada y ejecución paso a paso.



Figura 13: Barra de Herramientas de diagramas de bloques de LabVIEW.

Con las herramientas de depuración de G, se puede sondear los datos en muchas partes del programa simultáneamente, pausar la ejecución, y ejecutar paso a paso una subrutina sin programación compleja. Aunque esto es posible en otros lenguajes de programación, es más fácil visualizar el estado del programa y la relación entre las partes paralelas del código (que son comunes en G por su naturaleza gráfica).

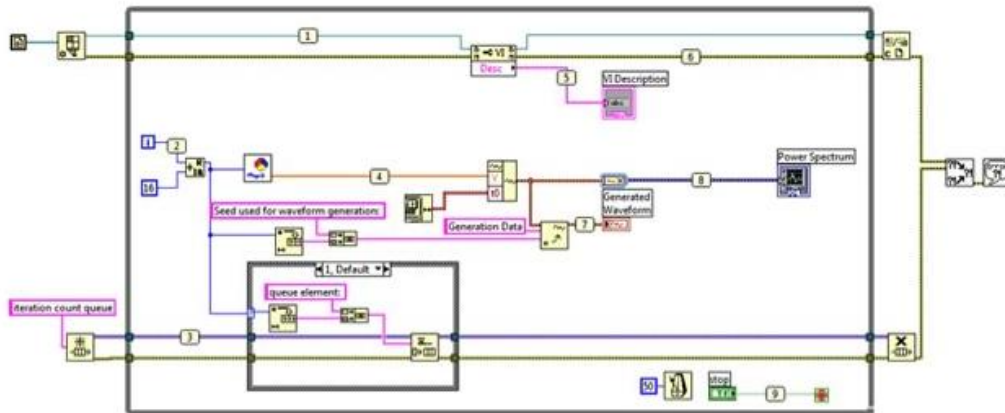


Figura 14: Sondas para valoración de datos en LabVIEW.

Una de las herramientas de depuración más usadas en LabVIEW se encuentra en el compilador. Mientras está desarrollando un programa, el compilador continuamente busca errores y provee de información semántica y sintáctica de la aplicación. Si existe un error, usted no puede ejecutar el programa, sólo ve un botón de ejecución roto en la barra de herramientas.



Figura 15: Flecha rota de ejecución.

Presionando el botón roto de ejecución, se abre una lista con los problemas que se han de arreglar. Una vez hecho, el compilador de LabVIEW transforma su programa en código máquina. Una vez compilado, el rendimiento de los programas de G es comparable al de aquellos basados en texto como C.

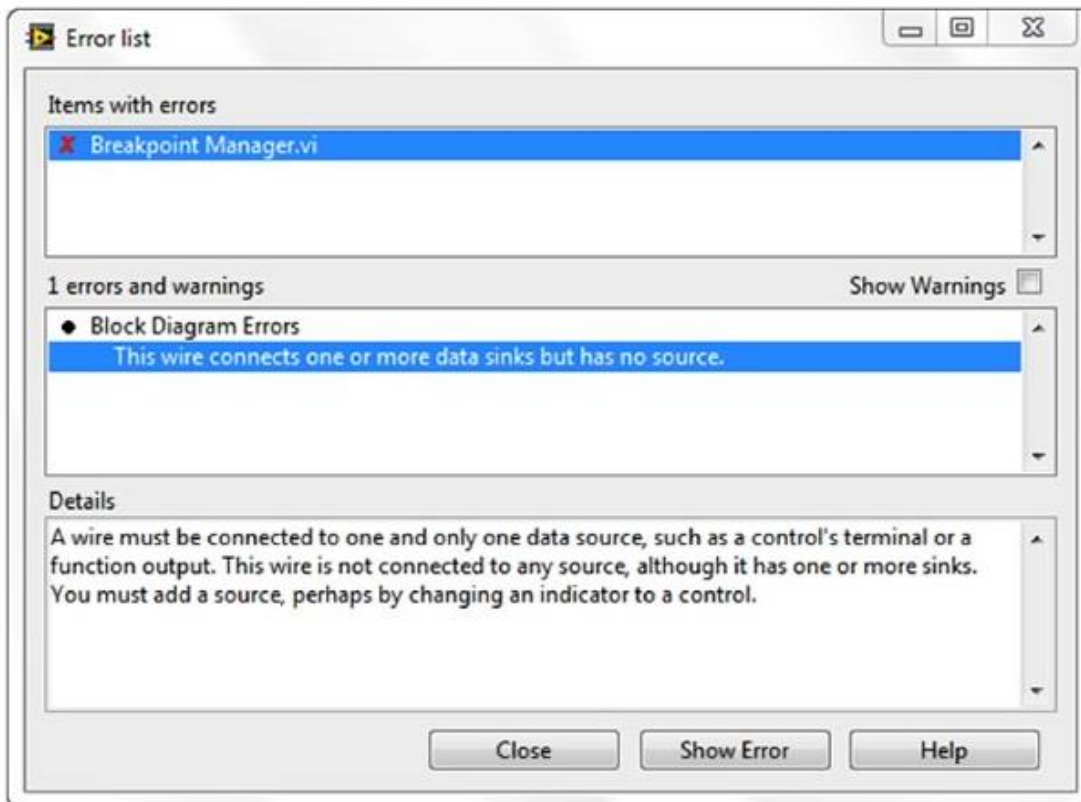


Figura 16: Lista de errores.

## Paralelismo y rendimiento automáticos

Los lenguajes de flujo de datos como LabVIEW permiten paralelizar automáticamente. A diferencia de los lenguajes secuenciales como C y C++, los programas gráficos contienen de forma inherente información sobre qué partes del código se pueden ejecutar en paralelo. Por ejemplo, un patrón común de diseño en G es el Productor/Consumidor, en el que dos ciclos While se ejecutan independientemente: el primero es el responsable de la producción de datos y el segundo del procesamiento. En la ejecución en paralelo (posiblemente a frecuencias diferentes) los datos pasan entre los ciclos usando colas, que son estructuras de datos estándar en los lenguajes de programación de propósito general.

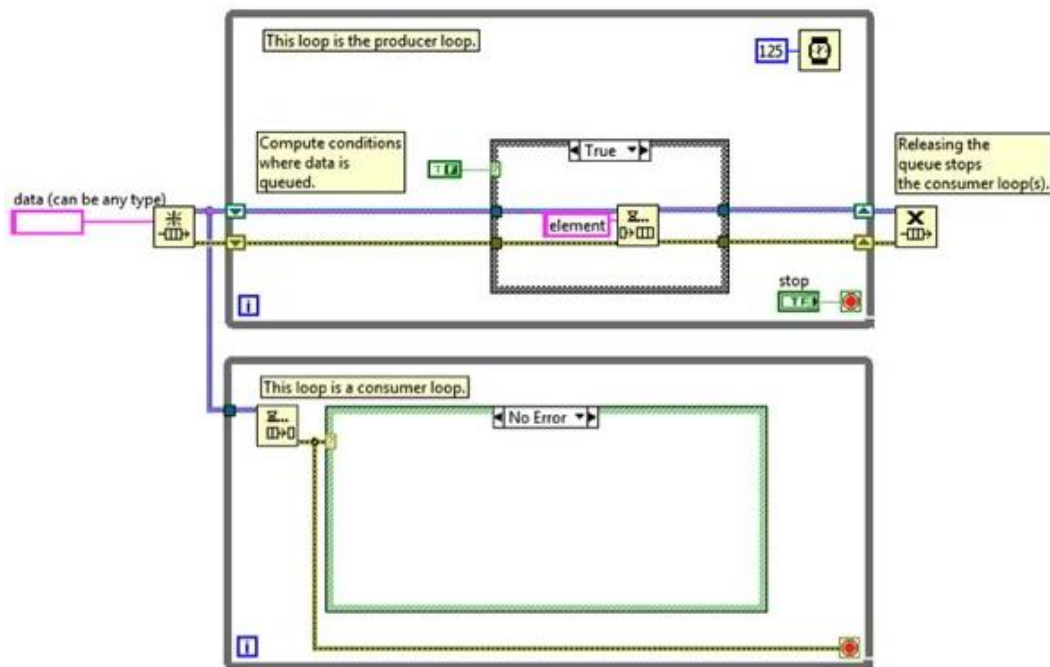


Figura 17: Patrón de diseño Productor/Consumidor.

El paralelismo es importante en la programación ya que desbloquea las ganancias de rendimiento relativas a los programas secuenciales debido a cambios recientes en el diseño de los procesadores. Durante más de 40 años, los fabricantes de chips incrementaron la velocidad del reloj del procesador para aumentar el rendimiento. Hoy, en cambio, el aumento de las velocidades de reloj para obtener mejoras en el rendimiento no es viable debido al consumo de energía y a las restricciones de disipación de calor. Como resultado, los fabricantes de chips han diseñado nuevas arquitecturas con múltiples núcleos de procesamiento en un único chip.



Para sacar provecho al rendimiento disponible en procesadores multinúcleo, hemos de usar el multihilo en nuestras aplicaciones (en otras palabras, dividir las aplicaciones en secciones discretas que puedan ser ejecutadas de forma independiente). Si empleamos los tradicionales lenguajes basados en texto, deberíamos crear y administrar hilos ex profeso para implementar el paralelismo, un desafío de envergadura para programadores no expertos.

Por el contrario, la naturaleza paralela del código G hace a la multitarea y multihilo fáciles de implementar. El compilador trabaja continuamente para identificar secciones paralelas del código. Siempre que el código G tiene una rama en un cable o una secuencia paralela de nodos en un diagrama, el compilador intenta ejecutar el código en paralelo del conjunto de hilos administrados por LabVIEW. En términos de computación científica, esto se conoce como paralelismo implícito porque usted no tiene que escribir el código con el propósito de la ejecución paralela, el lenguaje G se encarga de ello por su cuenta.

Históricamente, la programación en FPGA eran el campo de sólo expertos formados con un profundo conocimiento de los lenguajes de diseño hardware. Aumentan los ingenieros no expertos en FPGA que quieren usar el hardware personalizado de la FPGA para retinas únicas de temporización y disparo, control ultra rápido, protocolos digitales, procesamiento digital de la señal (DSP), RF y comunicaciones y muchas otras aplicaciones que requieren hardware de alta velocidad, fiabilidad, personalización y alto determinismo. G encaja perfectamente con la programación de las FPGAs ya que claramente representa el paralelismo y el flujo de datos y está creciendo rápidamente en popularidad como herramienta para desarrolladores que buscan procesamiento paralelo y ejecución determinista.

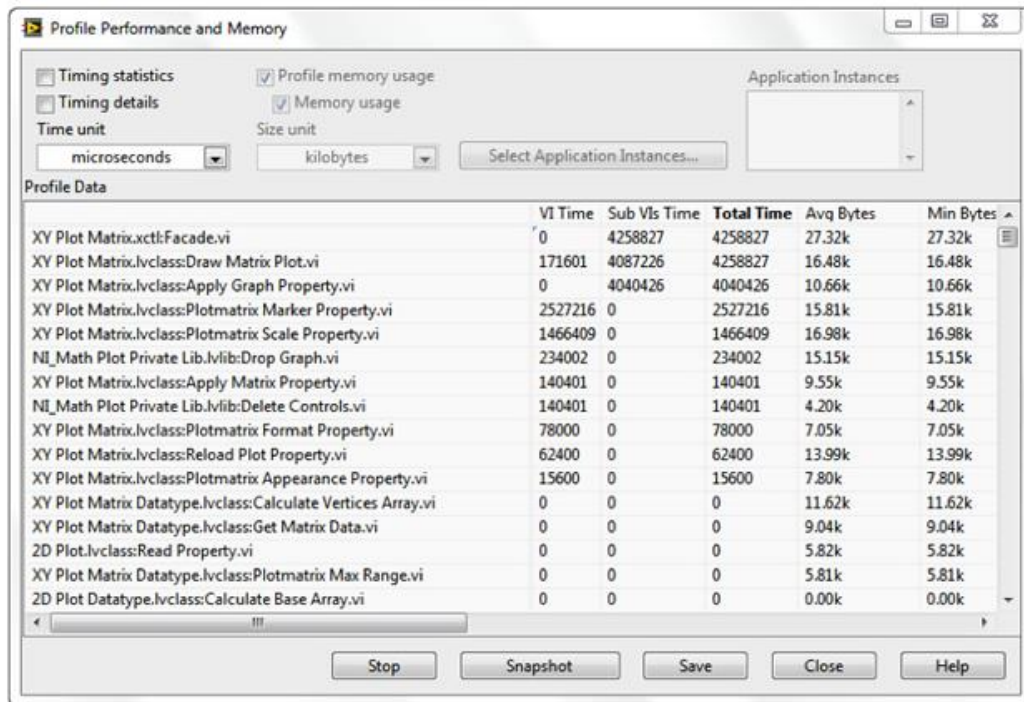


Figura 18: Administración de Memoria en LabVIEW.

## Una manera mejor de solucionar problemas

Parfraseando a NI, cito textualmente:

*“LabVIEW y su lenguaje de programación gráfico de flujo de datos provee de una mejor manera de solucionar los problemas que las alternativas tradicionales de bajo nivel y la prueba está en su longevidad. Las claves diferenciadoras de la programación en G son el código gráfico intuitivo que usted crea y las reglas de movimiento de los datos que gobiernan la ejecución que se combinan para ofrecer una experiencia de programación que expresa el pensamiento de los procesos de sus usuarios de forma más cercana que otros lenguajes. A pesar de que G es un lenguaje de alto nivel, usted puede lograr rendimientos comparables a los de los lenguajes como C gracias al compilador de LabVIEW”. [8]*

## 8 DISEÑO Y FASES DE DESARROLLO

Para el control de los motores BLDC planteamos una arquitectura de control básica, formada por 4 elementos:

- Motor (o motores) BLDC.
- Etapa acondicionadora de señales
- NI myRIO 1900
- CPU

Conectándose de la siguiente manera.



La necesidad de diseñar una etapa acondicionadora de señales, se debe a la diferencia de nivel de señal entre el myRIO y el tipo de motor BLDC que vamos a utilizar para el montaje. Esta hace imposible el conexionado directo entre ambos equipos, obligándonos a elevar el nivel de tensión de salida del dispositivo embebido.

Las salidas digitales que hemos escogido para controlar el equipo, ofrecen 3.3V como máximo, mientras que el motor necesita de 0 a 6 voltios para el “cero lógico” y de 7 a 24 voltios para el “uno lógico”.

Se intercomunicarán ambos equipos optoacoplando las señales, aislando al mismo tiempo que corregimos la diferencia de tensión. A continuación describiremos detalladamente los componentes del sistema, de forma que se pueda comprender con mayor claridad el funcionamiento del montaje

### Descripción de los componentes del sistema.

A continuación describiremos detalladamente los componentes del sistema, de forma que se pueda comprender con mayor claridad el funcionamiento del montaje.



Universidad de Valladolid

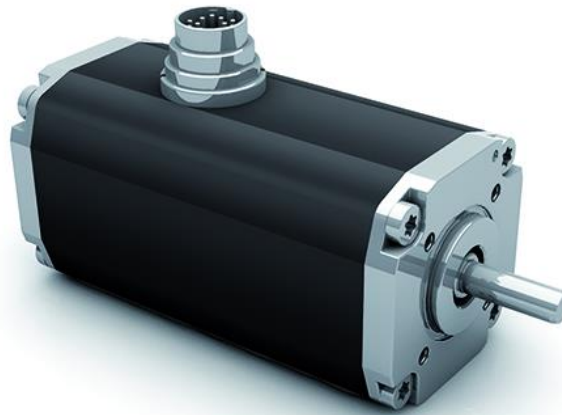


ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES



## 8.1 Motor Brushless BG 44x25 SI.

Se utilizará un motor BLDC de Dunken Motoren, modelo BG 44x25 SI, como el que aparece en la *Figura 19*. Se trata de un motor de corriente continua, de 17.2W de potencia. [9]



*Figura 19: BLDC, modelo BG 44x25 SI.*

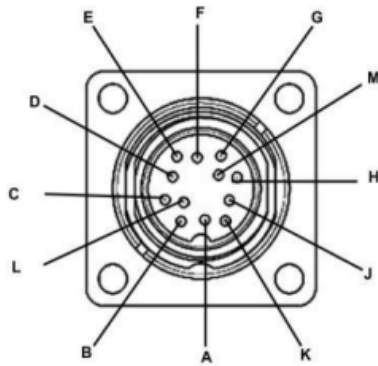
Las características del mismo se ven recogidas en la siguiente tabla.

MAGNITUD	VALOR
Potencia nominal	17.2 W
Par nominal (*)	5.7 Ncm
Velocidad nominal	2860 rpm
Potencia máxima	24.1 W
Tensión nominal	24V
Corriente nominal	1.5 <sup>a</sup>
Velocidad máxima sin carga	4690 rpm
Peso	0.53 kg

(\*) El par nominal depende de la disipación de calor del motor.

*Tabla 1: Características BLDC, modelo BG 44x25 SI.*

Además, dispone de un conector normalizado de 12 pines DIN 45326, en la *Tabla 2* encontramos un esquema del pinout del mismo.



Pin	Señal	Función	Color
E+F	Ue +24 V	Alimentación motor	Rojo
D	IN4	Control de velocidad	Verde
M+G	Gnd 0 V	Alimentación motor	Negro
B	IN1	Control estado	Amarillo
C	IN2	Control estado	Azul
J	AI+	Entrada analógica 0...10 V	Rosa
H	AI-	Referencia de AI+ 0 V	Morado
A	OUT1	Pulsos de los sensores Hall, 6 pulsos= 1 vuelta	Naranja
K	OUT 3	Falta: "1" = no falta "0" = falta	Blanco
L	IN3	Control de velocidad o "Teach"	Marrón

*Tabla 2: Pinout, modelo BG 44x25 SI.*

Las combinaciones que ofrecen las distintas posibilidades de funcionamiento se han recogido en la *Tabla 3*. Los niveles de tensión de las señales son: De 0 a 6V, "0 lógico" y de 7 a 24V "1 lógico".

Señales I/O	Combinaciones lógicas del motor				Función
	IN1	IN2	IN3	IN4	
U <sub>c</sub>	0	0	X	X	OFF
Gnd	1	0	X	X	anti horario
IN1	0	1	X	X	horario
IN2	1	1	X	X	STOP
IN3	X	X	0	0	Velocidad controlada (150...4096 rpm ajustable según las entradas analógicas AI+ y AI-, de 0 a 10V)
IN4	X	X	0	1	Velocidad no controlada (0...5000 rpm ajustable según las entradas analógicas AI+ y AI-, de 0 a 10V)
AI+	X	X	0	1	Velocidad no controlada (0...5000 rpm ajustable según las entradas analógicas AI+ y AI-, de 0 a 10V)
AI-	X	X	0	1	Velocidad no controlada (0...5000 rpm ajustable según las entradas analógicas AI+ y AI-, de 0 a 10V)
OUT1	X	X	1	0	Speed1, por defecto 200 rpm
OUT3	X	X	1	1	Speed2, por defecto 2500 rpm

Tabla 3: Combinaciones lógicas AMETEK, modelo BG 44x25 SI.

Gracias a esta información, podremos modificar el funcionamiento del motor mediante las señales lógicas pertinentes. El fabricante ofrece un plano de las dimensiones del equipo (Véase Anexo 13.1), así como un diagrama de características de funcionamiento recogido en la siguiente figura

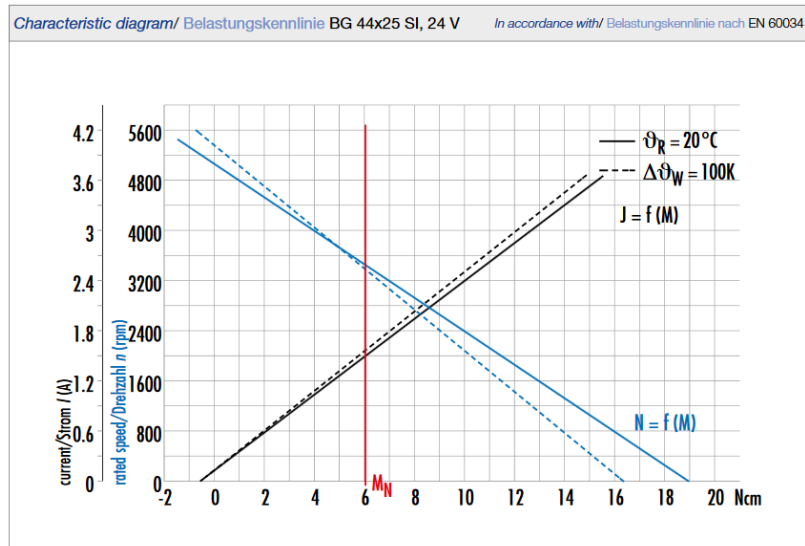


Figura 20: Diagrama de características BLDC, modelo BG 44x25 SI.



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES

En el Anexo 13.2 se encuentra el datasheet completo del motor, para más información.

## 8.2 NI myRIO 1900

El controlador de automatización programable NI myRIO es un dispositivo embebido que cuenta con diferentes módulos de E/S tanto analógicas como digitales, LEDs, un push-button, un acelerómetro interno, un FPGA Xilinx y un procesador dual-core ARM Cortex-A9. Además, este modelo incluye conexión Wi-Fi. [10]



*Figura 21: NI myRIO 1900*

En el siguiente diagrama podemos ver la distribución y funciones de los componentes del NI myRIO 1900.

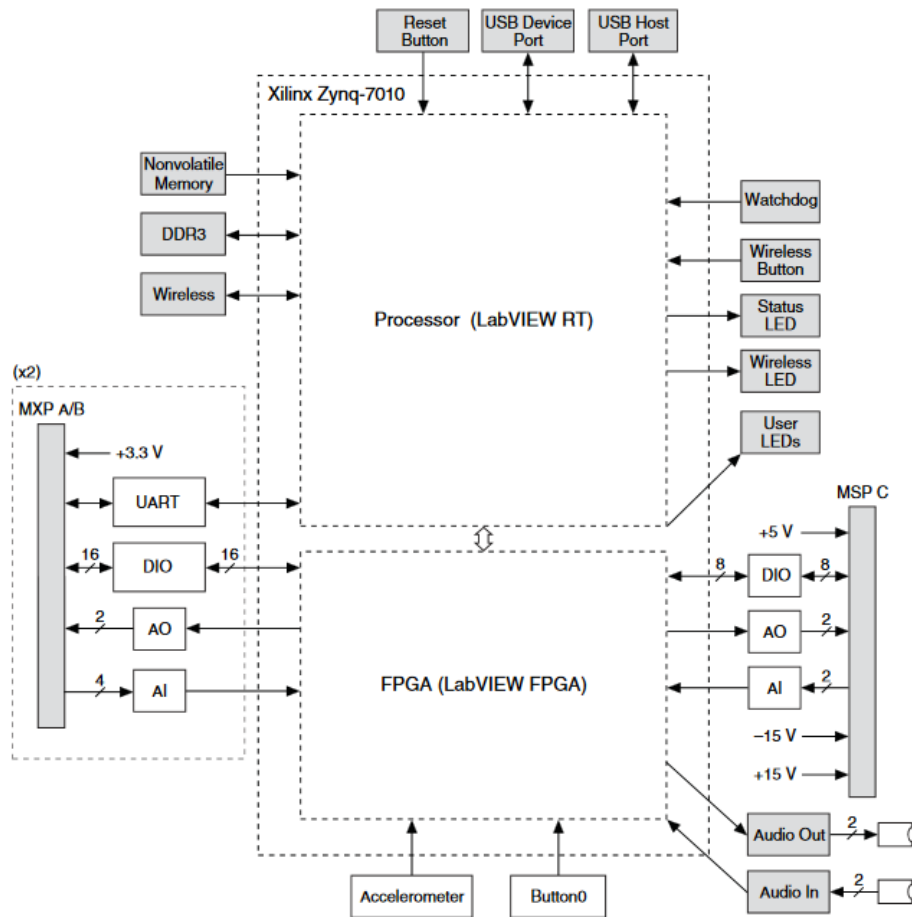


Figura 22: Componentes NI myRIO 1900

### Conectores.

El equipo dispone de tres conectores claramente diferenciados, nombrados A, B y C. Los conectores A y B son del tipo MXP, y son idénticos. Las señales pueden diferenciarse en el software por el nombre del conector, por ejemplo: *ConnectorA/DIO1* o *ConnectorB/DIO*. En la siguiente figura podemos observar el pinout de estos conectores, alguno de los pins ofrece funciones secundarias:

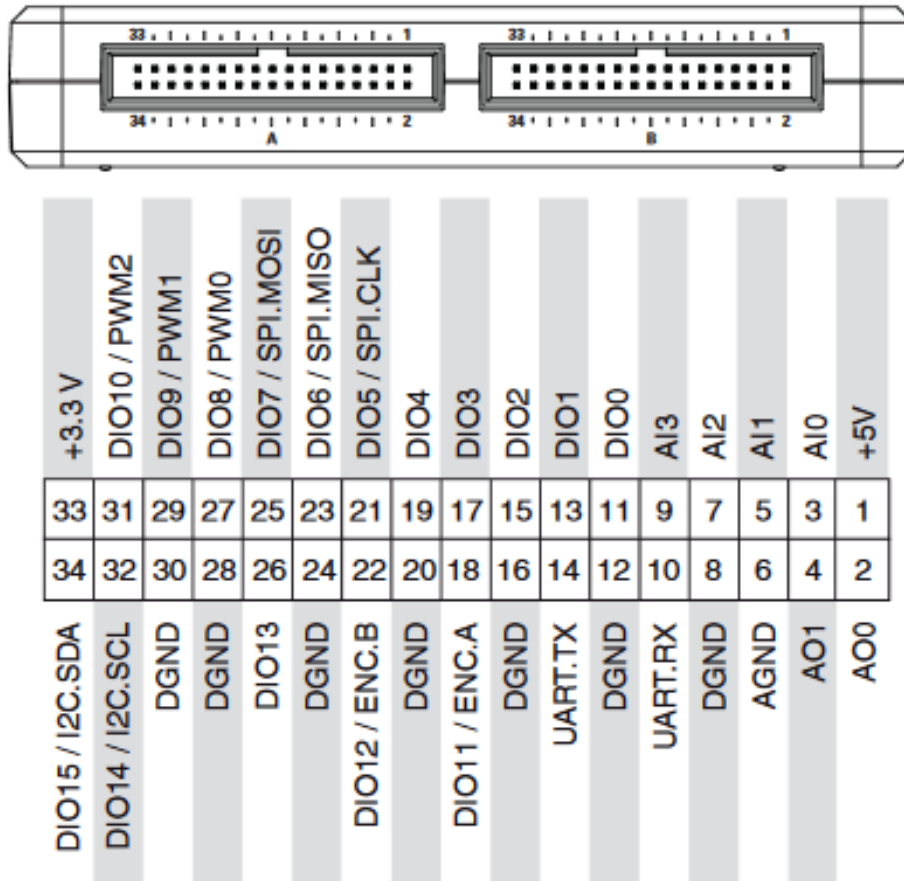


Figura 23: Pinout conector MXP NI myRIO 1900



Además, en la siguiente tabla se recoge la descripción de las señales que ofrece cada conector.

Signal Name	Reference	Direction	Description
+5V	DGND	Output	+5 V power output.
AI <0..3>	AGND	Input	0-5 V, referenced, single-ended analog input channels. Refer to the <i>Analog Input Channels</i> section for more information.
AO <0..1>	AGND	Output	0-5 V referenced, single-ended analog output. Refer to the <i>Analog Output Channels</i> section for more information.
AGND	N/A	N/A	Reference for analog input and output.
+3.3V	DGND	Output	+3.3 V power output.
DIO <0..15>	DGND	Input or Output	General-purpose digital lines with 3.3 V output, 3.3 V/5 V-compatible input. Refer to the <i>DIO Lines</i> section for more information.
UART.RX	DGND	Input	UART receive input. UART lines are electrically identical to DIO lines.
UART.TX	DGND	Output	UART transmit output. UART lines are electrically identical to DIO lines.
DGND	N/A	N/A	Reference for digital signals, +5 V, and +3.3 V.

Tabla 4: Conector MXP NI myRIO-1900

Dado que el trabajo puede ser aprovechado para controlar más de un motor BLDC, nos ha parecido lógico utilizar estos dos conectores por ser idénticos. Así, al controlar dos motores bastará con duplicar la etapa acondicionadora aprovechando el diseño inicial de la misma, y no será necesario realizar cambios significativos en el software, salvo ajustes de nomenclatura.



En cuanto a las dimensiones del equipo, aparecen recogidas en las siguientes imágenes.

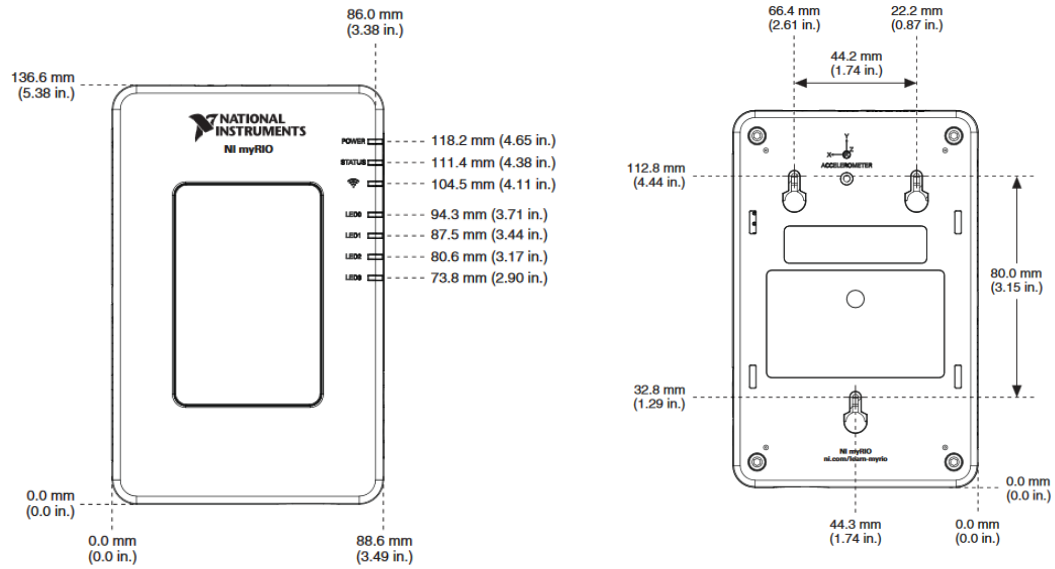


Figura 24: NI myRIO-1900 frontal (izquierda) y trasera (derecha)

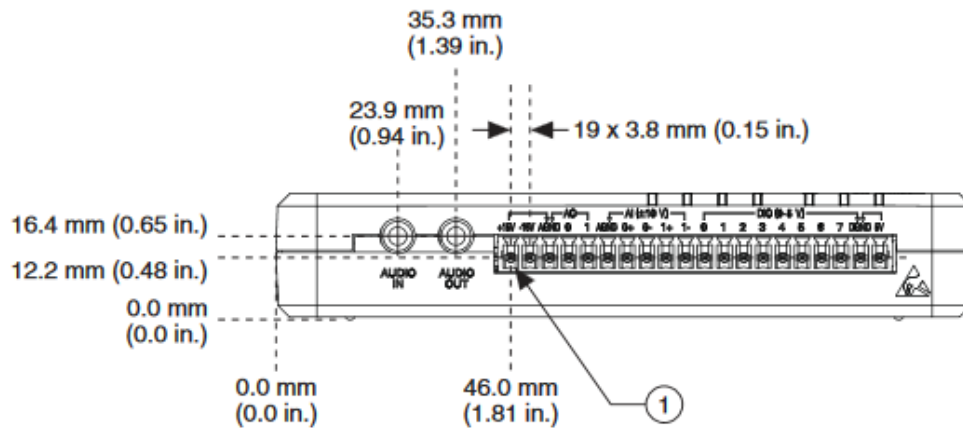


Figura 25: NI myRIO-1900 lateral 1

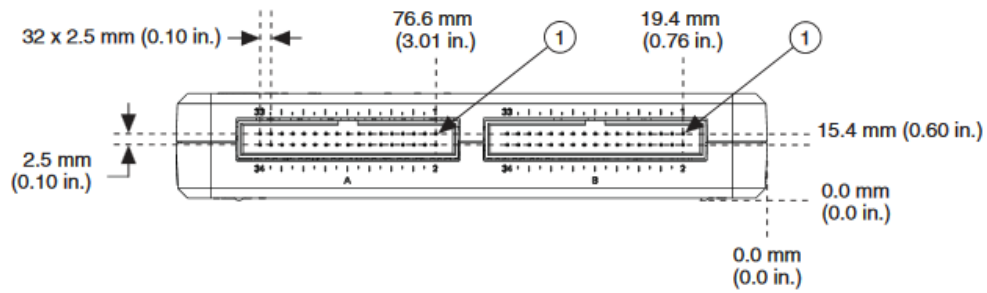


Figura 26: NI myRIO-1900 lateral 2

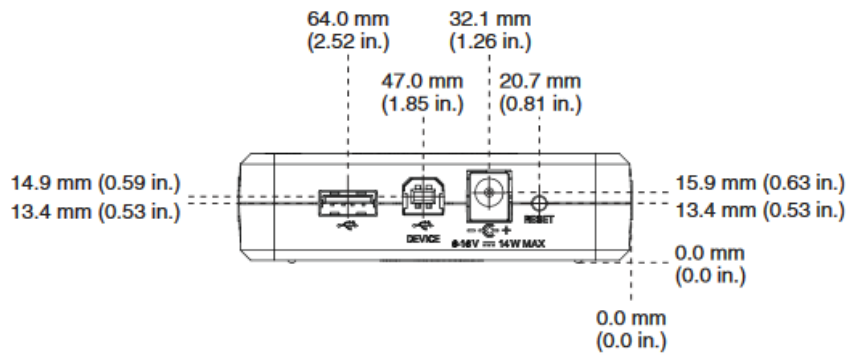


Figura 27: NI myRIO-1900 lateral 3

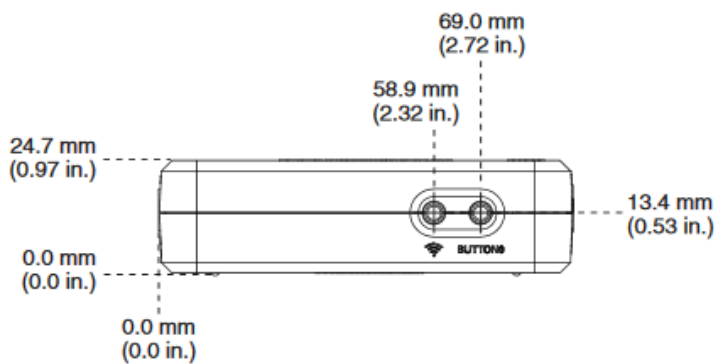


Figura 28: NI myRIO-1900 lateral 4

Para más información acerca del equipo, se adjunta el Datasheet completo del mismo en el anexo 13.3.



## 8.3 - Etapa Acondicionadora

---

En este apartado se detallarán todos los pormenores de la etapa acondicionadora de señales, su diseño, su construcción y su funcionamiento.

### 8.3-1 KiCAD, software de diseño de circuitos eléctricos.

Antes de profundizar en la construcción de la placa, considero necesaria una breve introducción al software de diseño que se ha utilizado para elaborarla. Se trata de KiCad, una herramienta software open-source para la creación de diagramas electrónicos y diseño de placas de circuito impreso. A pesar de sus similitudes con otras herramientas de software para PCB, KiCad se caracteriza por un interesante flujo de trabajo en la que los símbolos de componentes y sus huellas en realidad son dos entidades separadas. [11]

#### Resumen del flujo de trabajo en KiCad

El flujo de trabajo KiCad se compone de dos tareas principales: realizar el esquema y trazar la placa. Tanto una biblioteca de componentes como una biblioteca de huella son necesarias para estas dos tareas, de las cuales el propio programa ofrece gran variedad. Sólo en caso de que no sean suficientes, KiCad también tiene las herramientas necesarias para crear otras nuevas. [12]

Una vez que se ha realizado un esquema electrónico, el siguiente paso es transferirlo a una PCB siguiendo el flujo de trabajo de KiCad. Cuando el proceso de diseño de la placa se ha realizado parcial o totalmente, puede ser necesario añadir componentes o nodos adicionales, mover elementos o mucho más. Esto se puede realizar de dos maneras: mediante anotado hacia adelante o hacia atrás. La anotación hacia atrás es el proceso de enviar un cambio de diseño desde la PCB de nuevo a su esquema correspondiente.

El anotado hacia adelante es el proceso de enviar cambios en el esquema al diseño de la PCB correspondiente. Esta es una característica fundamental, ya que realmente no es deseable volver a realizar todo el diseño de la PCB cada vez que realice una modificación en el esquema.

Al ser un software de código abierto es fácil encontrar tutoriales, foros de ayuda, ejemplos, y huellas de componentes creadas por usuarios de KiCAD, agilizando el proceso de creación de circuitos impresos.



### 8.3-2 Componentes, funcionamiento y Montaje.

El objetivo de esta etapa de acondicionamiento es intercomunicar los motores con el NI myRIO optoacoplando las señales, aislando ambos equipos al mismo tiempo que corregimos la diferencia de tensión. En primer lugar nos adentramos en los conceptos básicos del opto-acoplado, para facilitar la comprensión del diseño de la placa.

#### Optoacopladores.

Si queremos evitar que algunas partes de un circuito electrónico se vean afectadas por corrientes o voltajes excesivos, que puedan dañar los componentes utilizados (como puede pasar a causa de los efectos transitorios que sufren los transistores), la solución más simple es aislar esas partes. El dispositivo encargado de realizar dicha función es el *optoacoplador*, también conocido como *optoaislador*. [13]

Un optoacoplador es un circuito integrado muy básico compuesto generalmente por un diodo LED y un fototransistor unidos de tal forma que cuando una señal eléctrica circula a través del LED haciendo que brille, la luz que este emite es recibida por la base del fototransistor, que empieza a actuar en modo saturación.

Podemos utilizar este dispositivo a modo de interfaz entre dos circuitos, de tal forma que quedarían unidos ópticamente, lo que a efectos de protección del circuito, se traduce en colocar una resistencia de un valor muy alto (muchos  $M\Omega$ ), haciéndolo especialmente útil para proteger contra los picos de tensión. Como la luz que emite el LED varía en función de la tensión y la corriente que circulan por él y esta luz a su vez modifica el comportamiento del transistor, la señal eléctrica que obtenemos a la salida (en el transistor) dependerá de la señal que tengamos a la entrada, es decir, de cómo atacemos al LED.

En la práctica esto se traduce en que si se regula bien el comportamiento de un optoacoplador (y los componentes necesarios para su funcionamiento), se puede conseguir que el “circuito aislador” sea invisible en la práctica, es decir, que no afecte al comportamiento del circuito global.

En general, el esquema de funcionamiento de un optoacoplador es el siguiente:

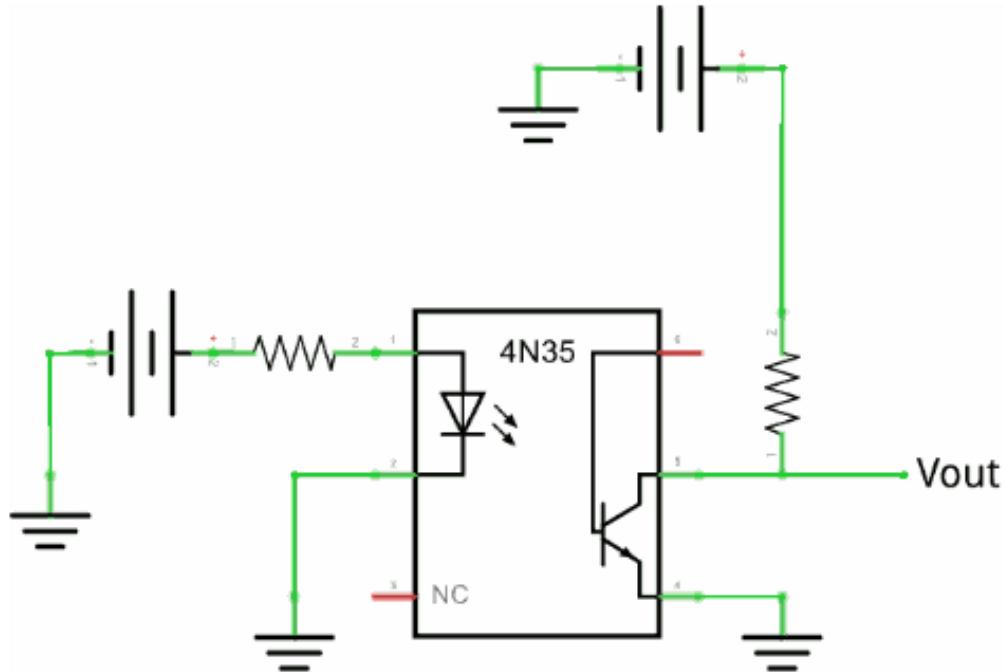


Figura 29: Esquema funcionamiento de un optoacoplador.

En este diagrama se han aislado dos circuitos ópticamente. El circuito de entrada (LED) regula el funcionamiento del circuito de salida (fototransistor), obteniendo un comportamiento similar a la conmutación con relés.



Figura 30: Optoacoplador para montaje en placa.

### Regulador de voltaje LM117.

Con el fin de obtener una señal de alimentación controlada en todo momento, y de un valor fácilmente modificable, se decide construir un circuito basado en el regulador de voltaje LM117. Se trata de reguladores de voltaje positivo ajustable de tres pines, capaces de suministrar más de 1.5 A sobre un rango de salida de 1.25 V a 37 V y un amplio rango de temperaturas. Requieren solo dos resistores externos para ajustar la tensión de salida. [14]



*Figura 31: Regulador LM117.*

En la siguiente figura se aprecia cómo una señal de alimentación de entrada (conectada al Con2) es tratada para, gracias al potenciómetro RV1 poder modificar el valor de la tensión escogida. El diodo D2 protege al regulador contra posibles cortocircuitos en la entrada al sistema, y el diodo D3 lo protege de posibles descargas de los condensadores. Además se ha colocado un led que indicará la presencia de tensión en la etapa acondicionadora. Los condensadores instalados tienen dos funciones diferenciadas, estabilizar el posible rizado de la tensión, y mejorar la respuesta del regulador frente a posibles variaciones de tensión. Así obtenemos una señal totalmente estable. [15]

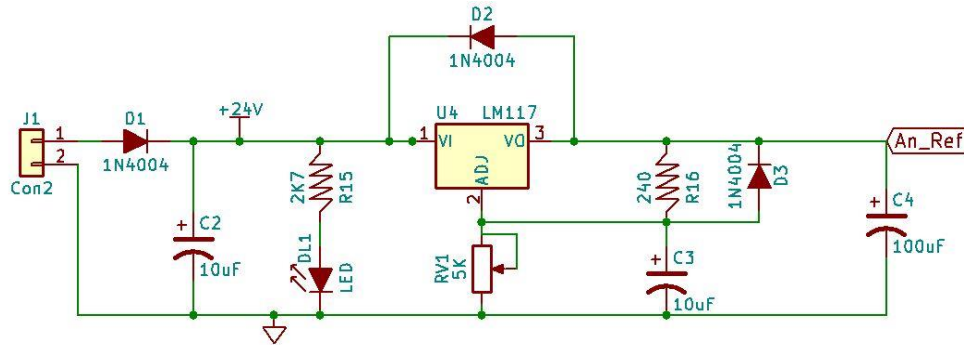


Figura 32: Circuito Regulador LM117.

A continuación, después de conseguir una señal estable de tensión que se utilizará como “1 lógico” ajustándose en 10V, se diferencian claramente cinco módulos, que conformarán el esquema completo de la etapa acondicionadora.

**Entradas al motor:** Las señales de entrada al motor IN1, IN2, IN3 e IN4, que configuran las posibles respuestas del mismo, se aúnan en un optoacoplador Vishay K827PH.

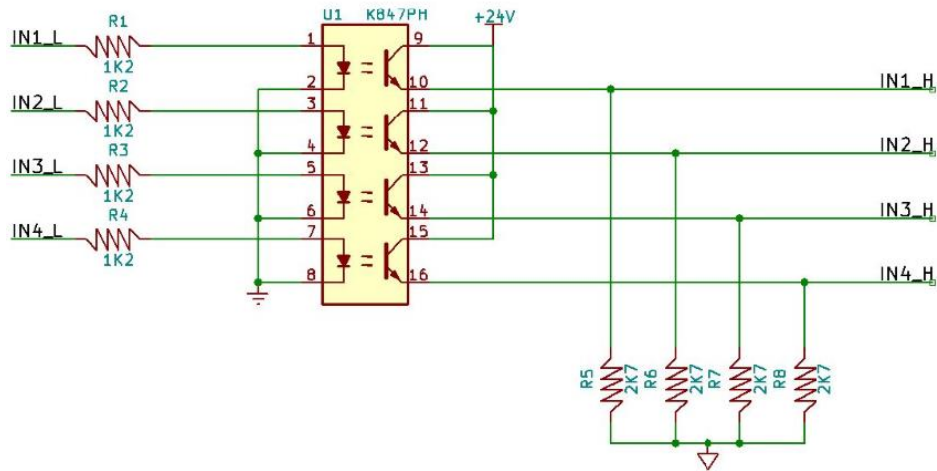


Figura 33: Circuito de entradas al motor.

Se puede apreciar la utilización de resistencias para adaptar el nivel de señal.

**Salidas del motor:** El motor ofrece dos señales de salida, OUT1, que mediante pulsos indica las revoluciones del motor (6 pulsos equivalen a una vuelta) y OUT3 que indica si el motor está conectado o no al sistema.

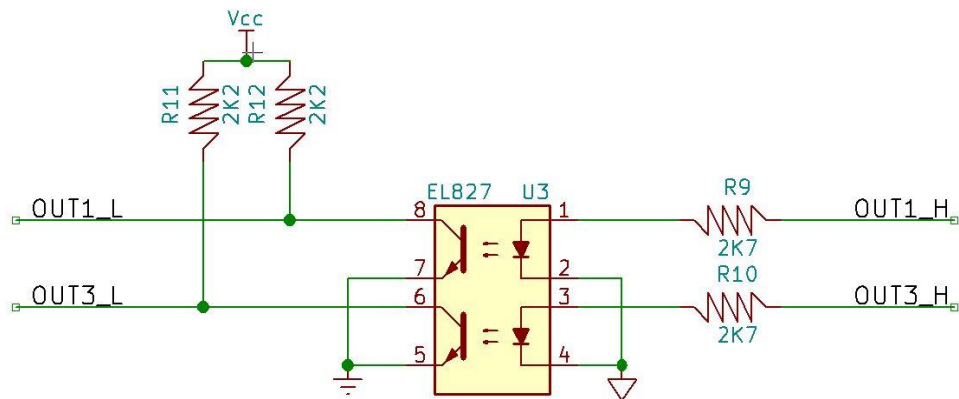


Figura 34: Circuito de salidas del motor.

**Entrada analógica PWM:** Se trata de una entrada analógica basada en un pulso PWM que sirve para que el motor funcione a una velocidad controlada escogida por el usuario.

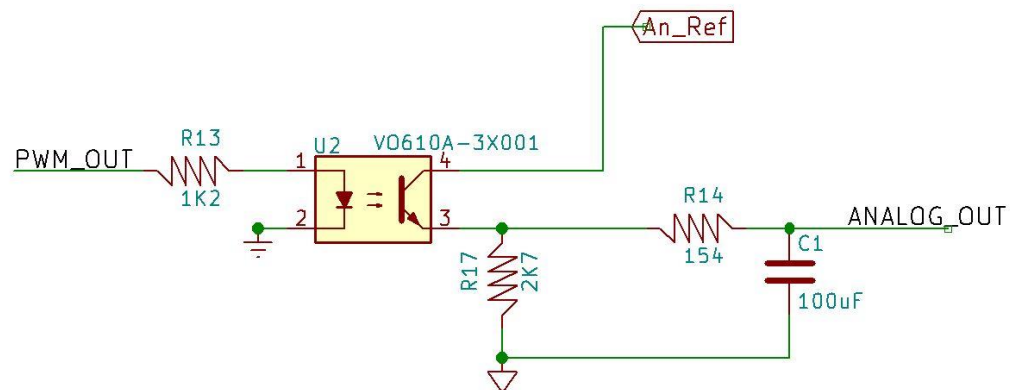


Figura 35: Circuito de regulación de velocidad del motor.



**Conector DB9:** Se quiere implementar un conector DB9 que será conectado al myRIO, y facilitar el montaje y desmontaje del equipo.

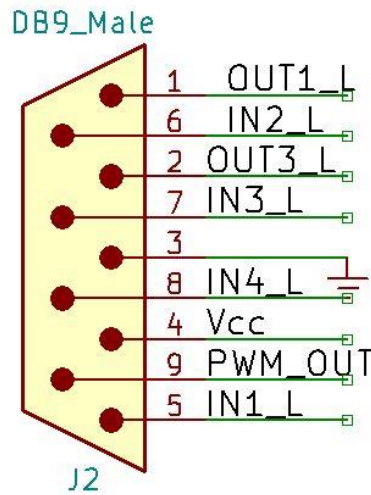


Figura 36: Esquema conector DB9.

**Conector DB15:** Se utilizará un conector DB15 que conectará el motor con la etapa acondicionadora. Para ello se utilizará un cable de fabricación propia, que presentará en un extremo el conector DB15 y en el otro, el propio del motor (DIN 45326)

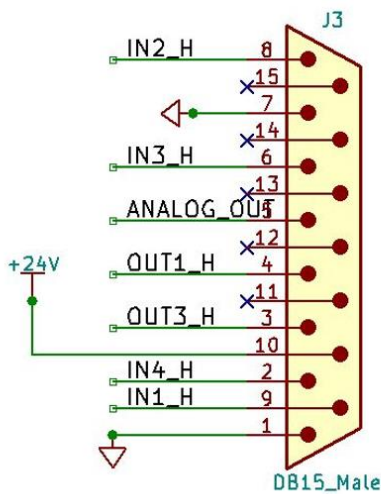


Figura 37: Esquema conector DB15.



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES

Esquema completo de la etapa.

Todos estos elementos conforman la etapa acondicionadora, cuyo esquema queda representado en la figura de la página 67.

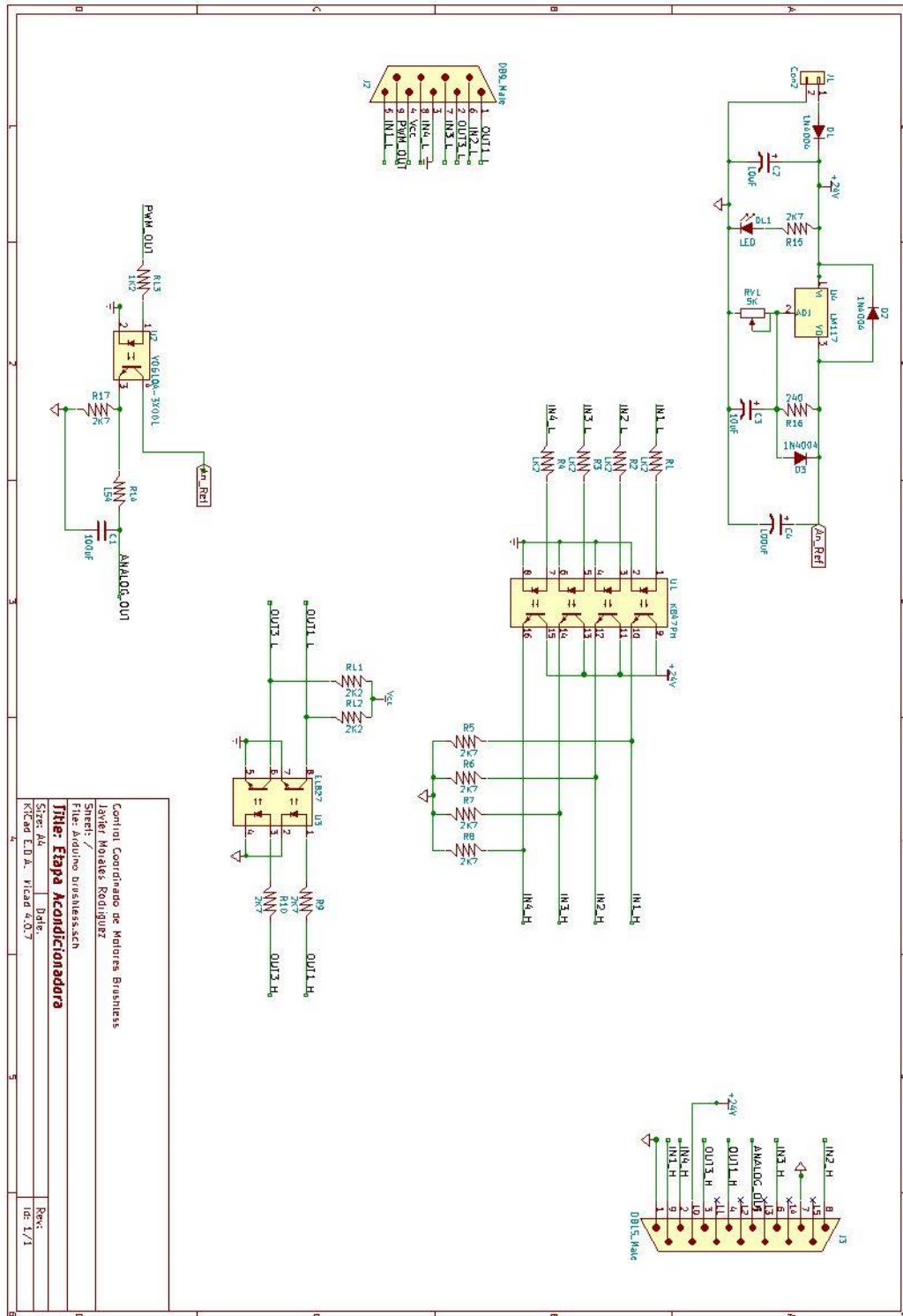


Figura 38: Esquema completo etapa acondicionadora.



### Componentes de la etapa:

A continuación se muestra un listado de todos los elementos utilizados para confeccionar la etapa (sin contar la propia placa)

COMPONENTE	TIPO	VALOR/ REFERENCIA
C1	Condensador Electrolítico	100uF
C2	Condensador Electrolítico	10uF
C3	Condensador Electrolítico	10uF
C4	Condensador Electrolítico	100uF
D1	Diodo	1N4004
D2	Diodo	1N4005
D3	Diodo	1N4006
DL1	Diodo LED	Led 5mm
J1	Conector 2 pines	2x5mm
J2	Conector 9 pines	10x30mm
J3	Conector 15 pines	10x40mm
R1	Resistencia	1K2
R2	Resistencia	1K2
R3	Resistencia	1K2
R4	Resistencia	1K2
R5	Resistencia	2K7
R6	Resistencia	2K7
R7	Resistencia	2K7
R8	Resistencia	2K7
R9	Resistencia	2K7
R10	Resistencia	2K7
R11	Resistencia	2K2
R12	Resistencia	2K2
R13	Resistencia	1K2
R14	Resistencia	154
R15	Resistencia	2K7
R16	Resistencia	240
R17	Resistencia	2K7
RV1	Potenciómetro	5K
U1	Optoacoplador	K847PH
U2	Optoacoplador	VO610A
U3	Optoacoplador	EL827
U4	LM117	---

*Tabla 5: Listado componentes etapa acondicionadora.*

## PCB de la etapa

Una vez confeccionado el esquema en KiCAD, se debe asociar cada componente a una “huella” o footprint. Así cada componente puede ser colocado para realizar el circuito impreso del esquema. Por ejemplo el regulador LM117 utilizado presenta un encapsulado TO-39-3, y es el que tenemos que seleccionar para nuestra placa.

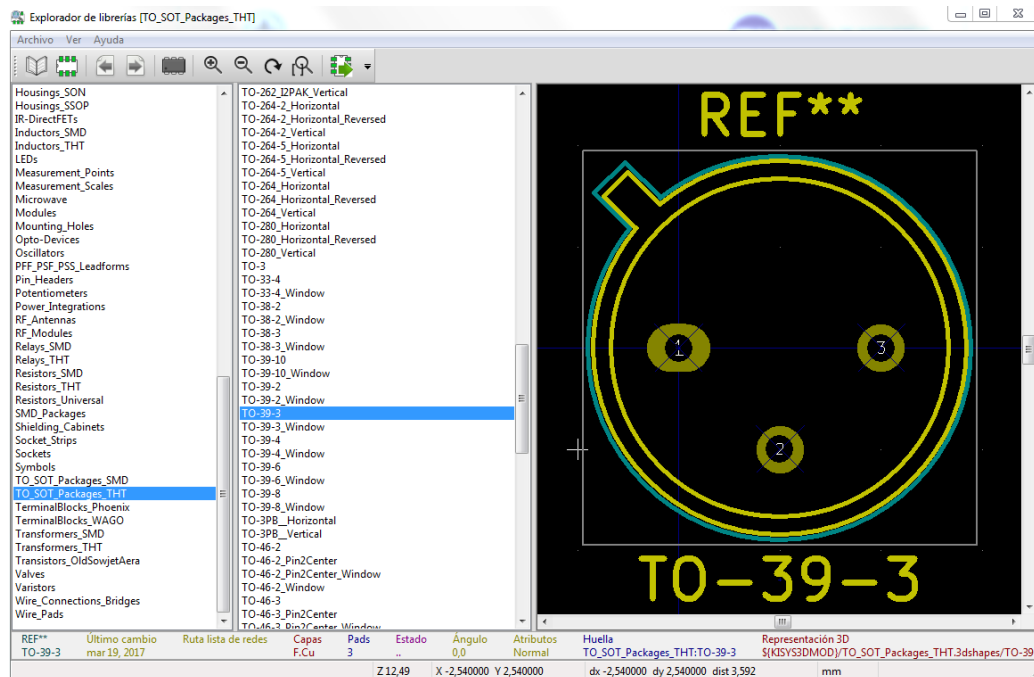


Figura 39: Footprint LM117.

En algunos componentes se ha tenido que diseñar de cero la huella asociada a los mismos, ya que no se encontraban en las librerías ofrecidas por KiCAD. Es el caso de los conectores DB9 y DB15.

Una vez asociadas todas las huellas, se trata de organizar los componentes dentro de la placa para establecer las conexiones entre ellos mediante pistas de cobre. Esto se conoce como “rutear” la placa. Después de varias pruebas, se consigue un tamaño de placa adecuado para ser encapsulada en una caja estandarizada:

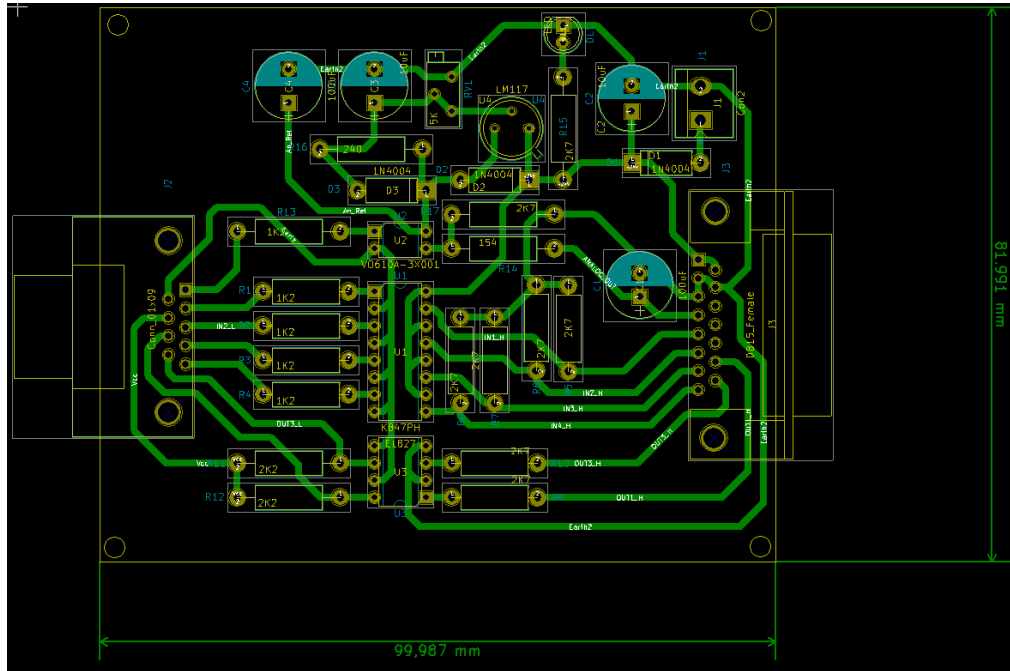
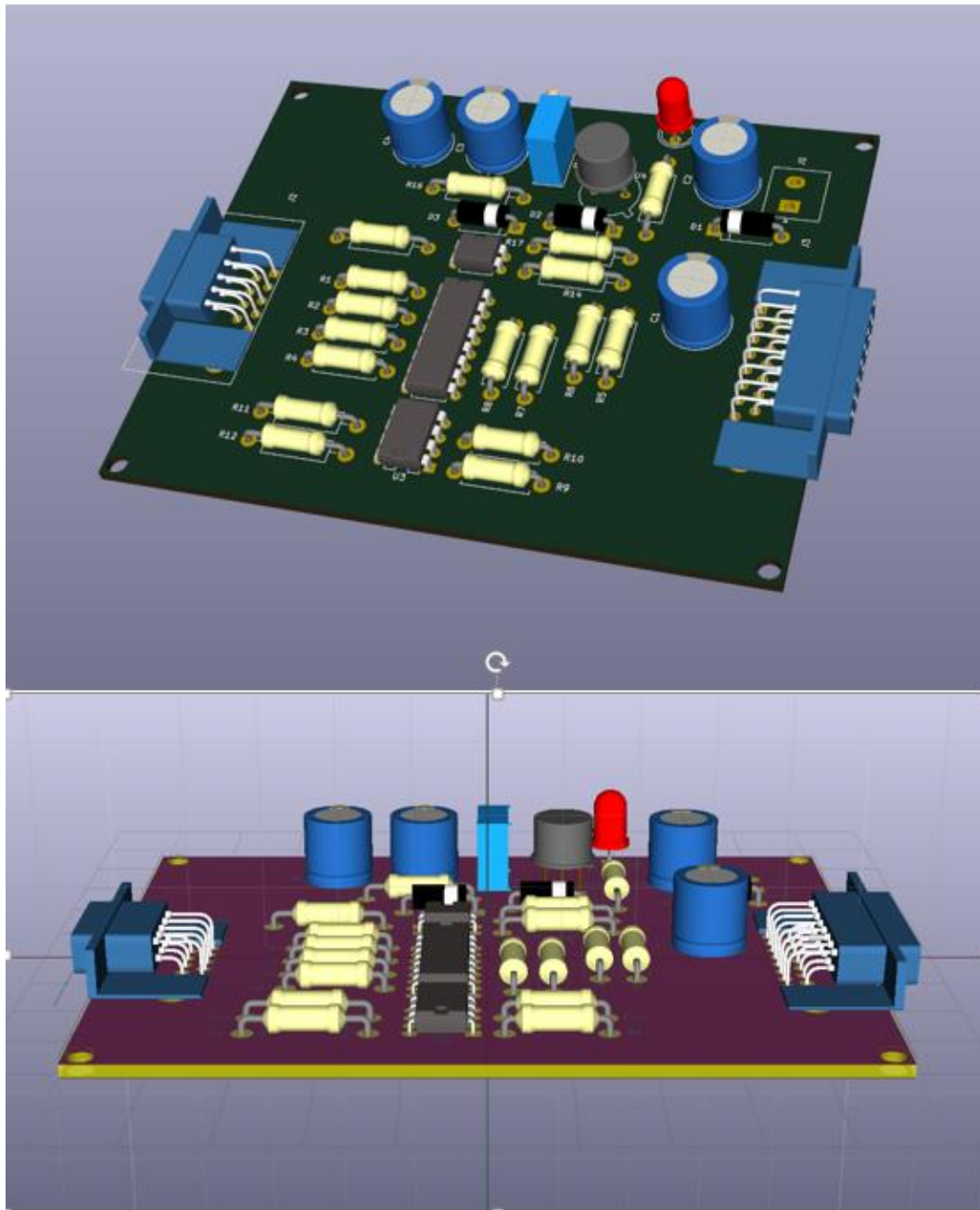


Figura 40: PCB etapa acondicionadora.

Completado el diseño de la etapa, el siguiente paso es la construcción de la misma. Gracias a la capacidad de modelado 3D que ofrece KiCAD, podemos hacer una simulación para ver cómo será nuestra placa en la realidad.



*Figura 41: Simulación 3D de la placa.*



## Placa.

Se ha escogido una placa fotosensible de una cara, para poder realizar la PCB por insolado. Para ello se han de seguir los siguientes pasos:

1. Fitolito: Hemos de imprimir sobre papel transparente la capa de cobre de nuestra placa. Este será el “negativo” de la placa.
2. Las placas fotosensibles tienen un barniz sensible a la luz. Y para ello necesitamos una fuente de luz intensa con la que poder pasar el negativo a la placa. Para ello, utilizaremos una insoladora. La insolación es la exposición a la luz de la placa con el fitolito adherido. De este modo, la capa fotosensible que lleva reaccionará a los rayos de luz. Las partes donde no incide la luz (partes opacas del fitolito) se desprenderán al revelar la placa en determinados ácidos, dejando el cobre al descubierto. Por el contrario, las partes expuestas a la luz (partes transparentes del fitolito) se quedarán adheridas a la placa.
3. Una vez queda el cobre al descubierto, se taladran los “pads” donde irán soldados los terminales de cada componente, y se ensambla la placa.



## 8.4- Encapsulado y Conexionado.

### Encapsulado

En manufactura de circuitos integrados e Ingeniería Electrónica, el encapsulado es el resultado de la etapa final del proceso de fabricación de dispositivos con semiconductores: el semiconductor (o el circuito integrado) se ubica en una carcasa para protegerlo de daño físico, de la corrosión, evacuar el calor generado y a su vez permitirle la comunicación con el exterior mediante contactos eléctricos.

Para la construcción del encapsulado de nuestra etapa acondicionadora, se ha optado por utilizar tecnología de impresión 3D. En primer lugar se ha diseñado la caja acorde a las dimensiones de la placa. Hay que tener en cuenta, que el encapsulado debe ser lo suficientemente espacioso para permitir una correcta disipación de calor, y además alojar los conectores que comunicarán el interior del mismo con el exterior. Se ha aprovechado una web especializada en diseño de cajas y envolventes (<https://www.thingiverse.com/thing:1264391>) en la que podemos especificar las dimensiones de la caja, y se genera automáticamente un fichero “SCAD”.

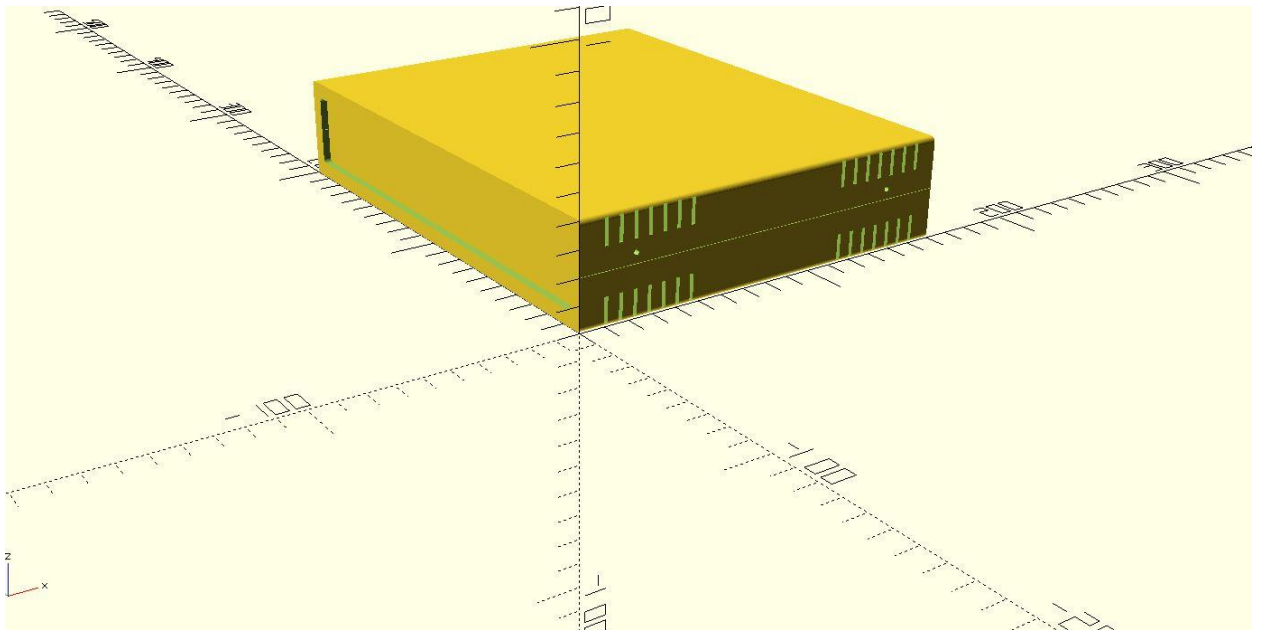
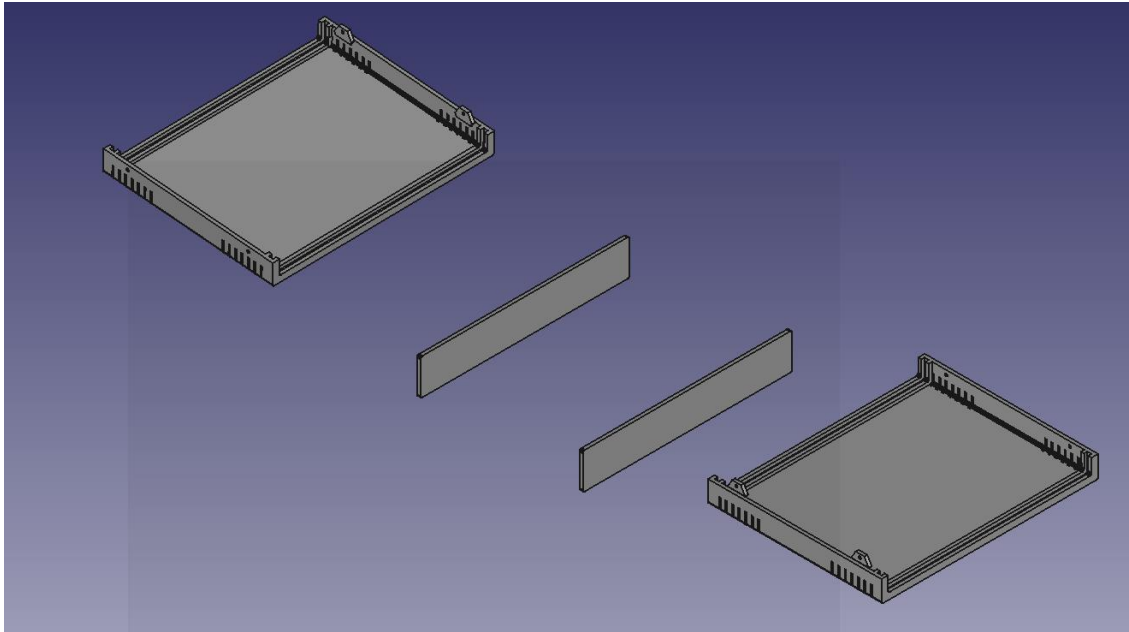


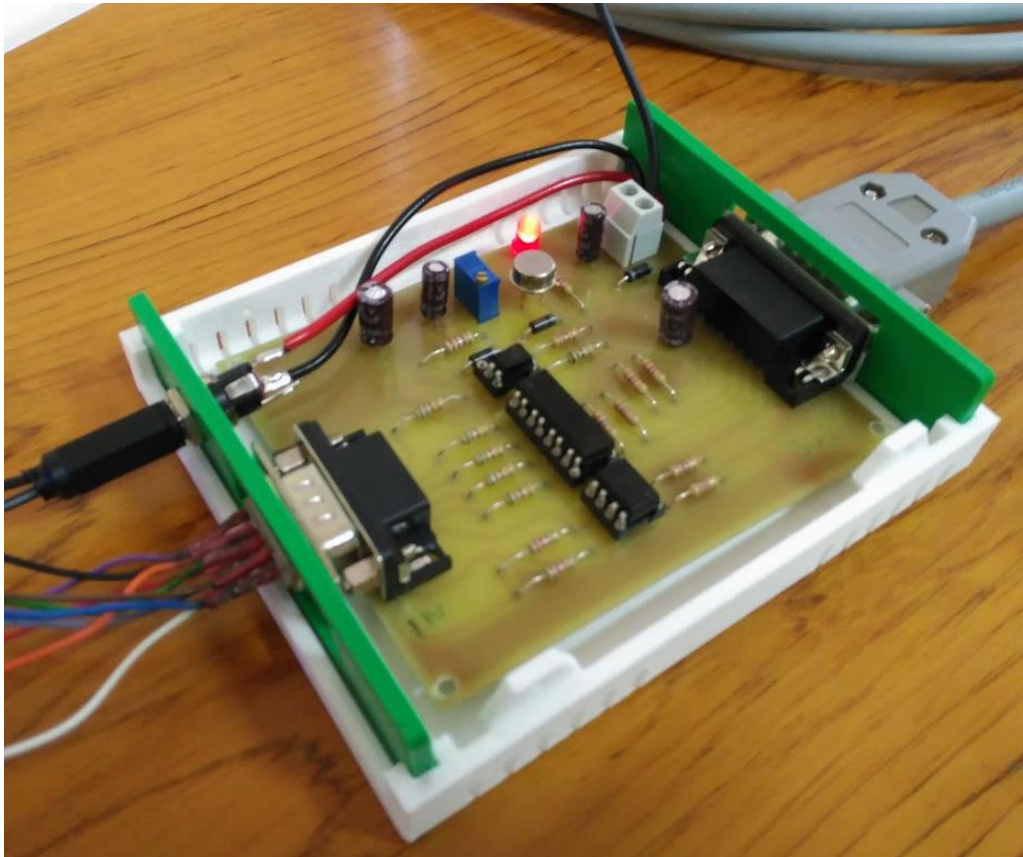
Figura 42: Simulación 3D del encapsulado.

Cada una de las piezas que componen el encapsulado:



*Figura 43: Despiece 3D del encapsulado*

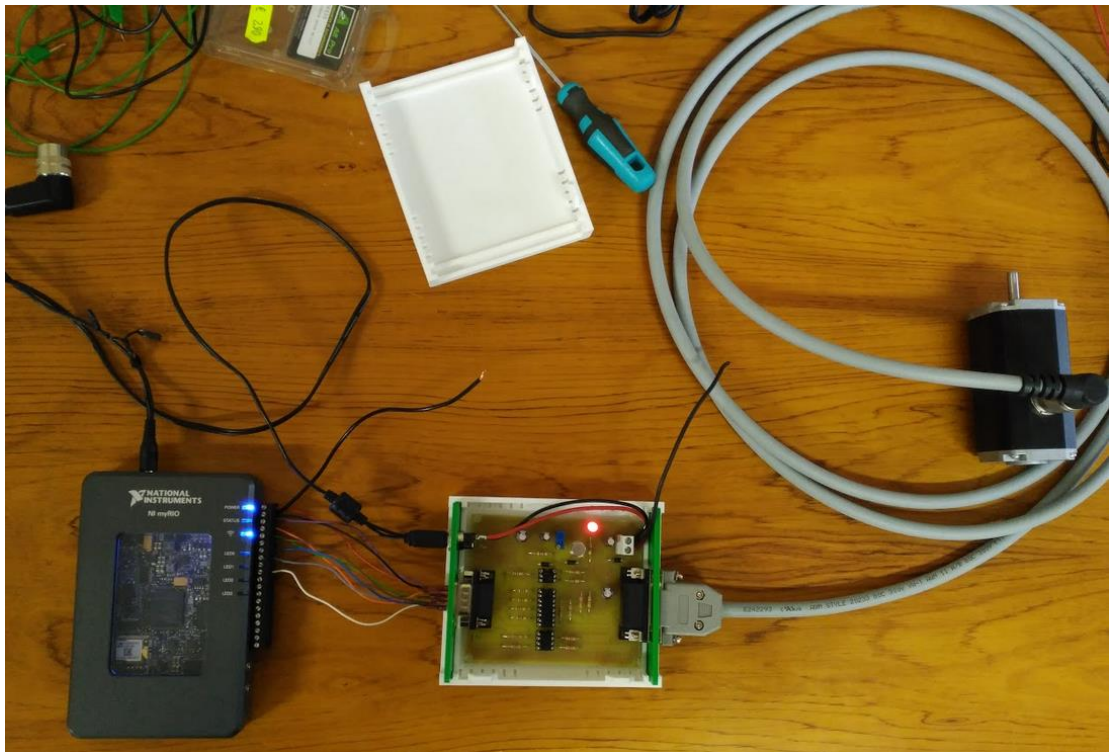
Una vez construida la caja, se mecanizan en las tapas laterales los huecos necesarios para el montaje de los conectores.



*Figura 44: PCB con su caja.*

## Montaje final

En la siguiente figura podemos ver el equipo conectado.



*Figura 45: Equipo montado.*

## 9.- DESARROLLO DEL SOFTWARE.

Para el desarrollo del software, se han tenido en cuenta las señales que operan el motor, basando todo el funcionamiento del programa en las mismas. Se ha desarrollado un panel de control con todas las opciones de funcionamiento posibles:

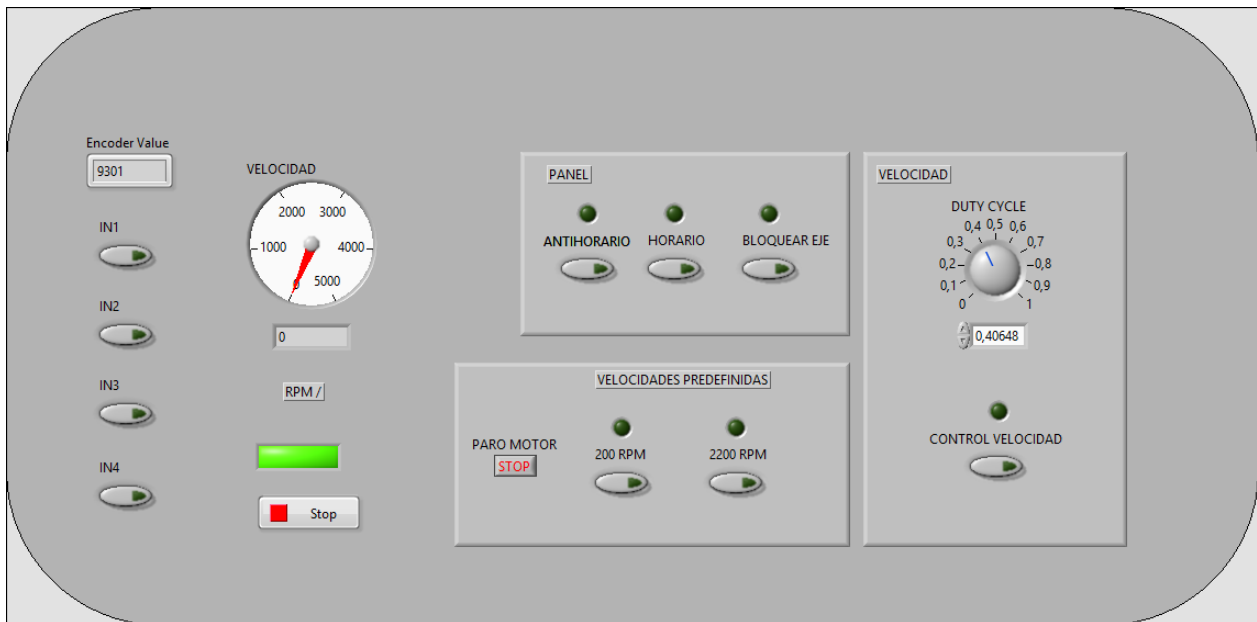


Figura 46: Panel de control.

Podemos ver una botonera principal, con las funciones:

- Antihorario: Activa el giro antihorario del eje del motor.
- Horario: Activa el giro en sentido horario del eje del motor.
- Bloquear eje: Bloquea el eje, para que no pueda ser girado por fuerzas externas al estar en reposo.

Además encontramos una botonera de velocidades predefinidas:

- 200 RPM: Ajusta la velocidad del motor a 200 revoluciones por minuto.
- 2200 RPM: Ajusta la velocidad del motor a 2200 revoluciones por minuto.

Para el control de velocidad se ha aislado una sección del panel de control, en la cual podremos activar el control manual de velocidad, y se podrá variar el ciclo de trabajo del pulso PWM, ajustando la ruleta “DUTY CYCLE”. Se ha añadido un botón de parada, así como un indicador luminoso que permite comprobar si el motor está conectado al sistema. Por otra parte, también disponemos de un tacómetro analógico, y otro digital.

Para ser conscientes de las señales de entrada al motor que se activan en cada comando, dispondremos de cuatro indicadores correspondientes a cada una de las entradas: IN1, IN2, IN3 e IN4. Una vez comprendido el funcionamiento del cuadro de mandos digital, podremos entrar en los pormenores del código. Se sigue (como en todo programa de LabVIEW) una estructura basada en diagramas de flujo. Siguiendo el esquema de la página 80, podemos identificar:

- Bloque de salidas digitales (entradas al motor), en el que se relaciona la lógica digital del código con las salidas reales del myRIO.

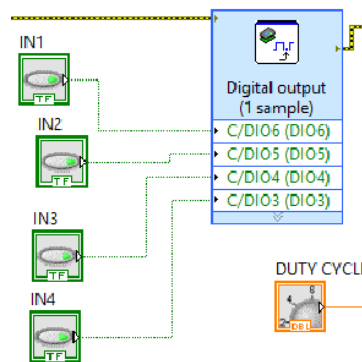


Figura 47: Salidas digitales de myRIO.

- Bloque de salida PWM, que entra al motor gracias a las entradas analógicas del mismo.

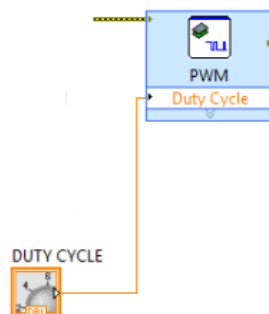


Figura 48: Bloque PWM.

- Encoder, y bloque de lectura de velocidad. Entrada digital de myRIO. El motor manda 6 pulsos por cada revolución, y dado que la frecuencia de funcionamiento del programa que hemos utilizado son 100ms, se ha de corregir la señal para obtener revoluciones por minuto.

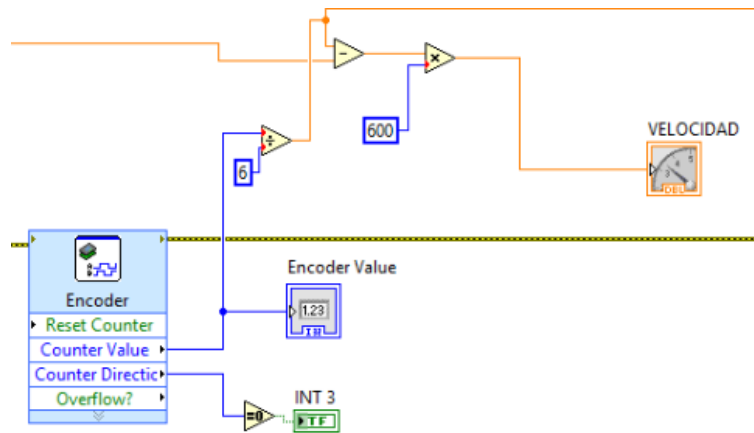


Figura 49: Encoder y lectura de velocidad.

- Variables internas que relacionarán cada botón del panel de mando con las entradas del motor, tanto analógicas como digitales.

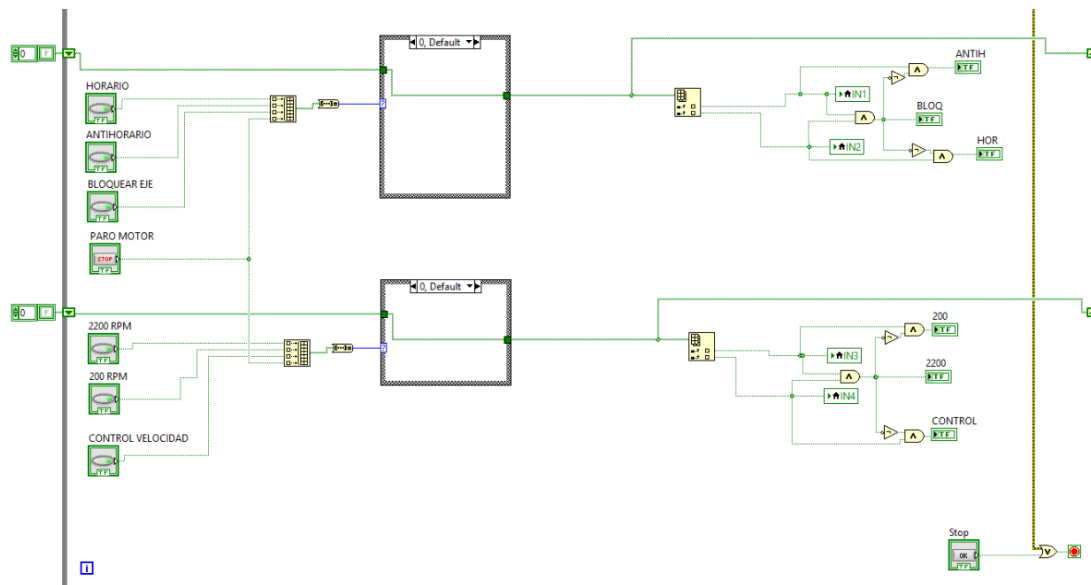


Figura 50: Variables internas.



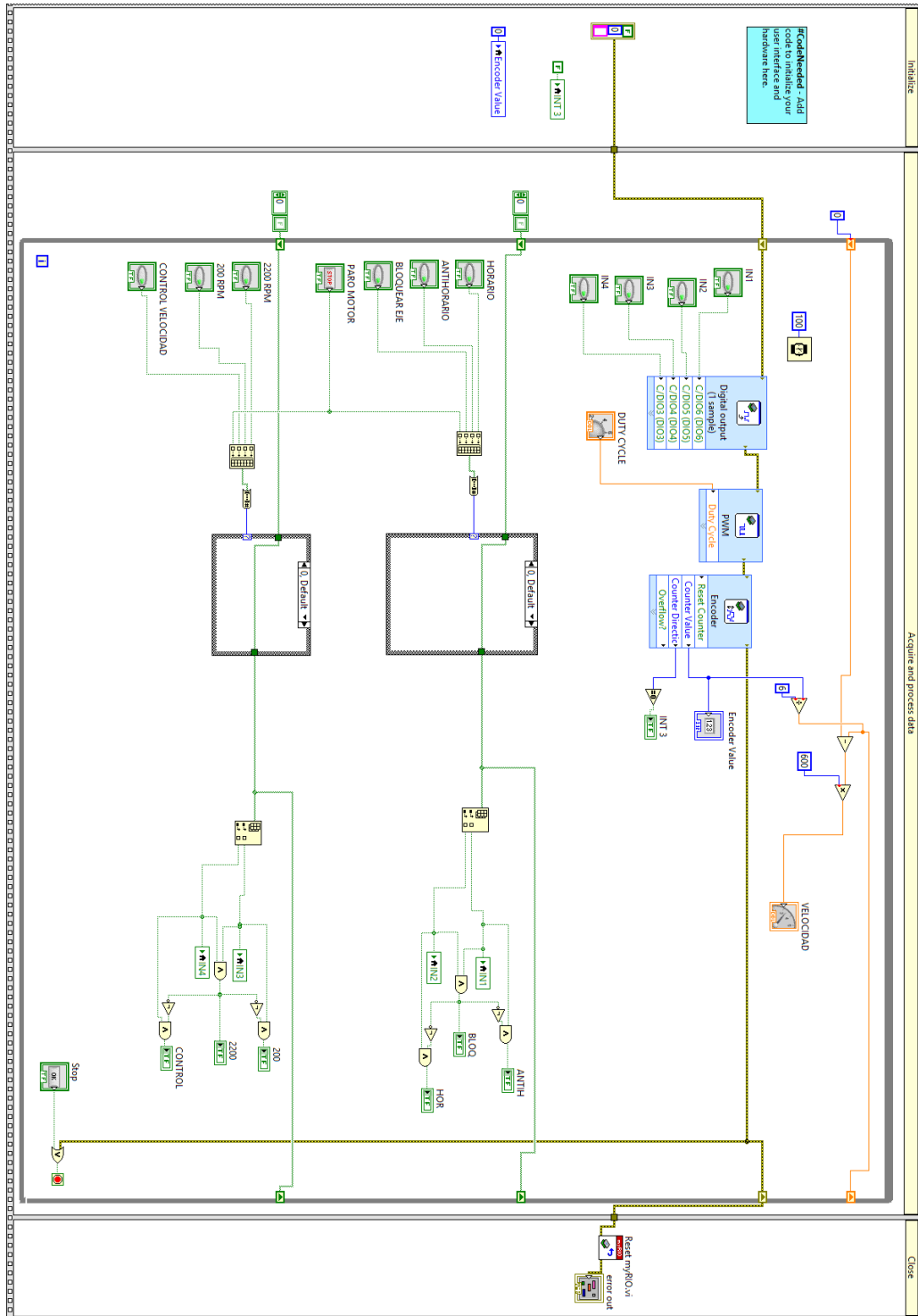


Figura 51: Software de control.





## 10.- CONCLUSIONES.

---

Se ha diseñado y construido una etapa de adaptación de señales, que permite abrir el campo de actuación de un motor brushless orientado al uso industrial, pudiendo ser utilizado con cualquier tipo de dispositivo embebido. Tras comprender de forma precisa el nivel de señales de funcionamiento de los equipos a controlar, todo el esfuerzo de ingeniería y desarrollo se ha centrado en el entendimiento entre equipos, regulando y adaptando los niveles de tensión y corriente que ofrece cada uno de ellos, de forma que pueda ser aprovechado por el otro dispositivo.

Además, se ha generado un software que permite el control eficaz del equipo desde el ordenador, vía USB o vía WiFi. Para el desarrollo del software, ha sido primordial el trabajo de algoritmia previo que permite encauzar la programación hasta el objetivo final, pues es fácil perderse en los entresijos del código desviándonos de la meta del programa. Incluso a la hora de diseñar el código, es muy importante conocer el nivel de señal que los equipos manejan, ya que la interpretación de las mismas puede variar de forma considerable.

El desarrollo de este trabajo, así como la etapa de adaptación de señales y el software diseñado, queda a disposición del Departamento de Ingeniería Eléctrica, pues facilitará el uso de este tipo de motores en las sesiones de prácticas de las diversas asignaturas de Máquinas Eléctricas.



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES



## 11.- PRESUPUESTO.

En la siguiente tabla se recoge el presupuesto de diseño, desarrollo y manufactura de este trabajo.

PART.	CONCEPTO	TOTAL
1	<b>Materiales:</b> * NI myRIO (551€) * Motor BLDC (135€) * Placa, componentes y envolvente (86.758€) (Ver página 84)	772.758 €
2	<b>Diseño y desarrollo.</b>	7.390,00 €
3	<b>Ensamblaje, construcción y batería de pruebas.</b>	675,00 €

*Tabla 6: Presupuesto.*

Total (IVA incluido): **8837.758 €**



Desglose de los precios de la etapa acondicionadora.

	Descripción	Referencia	Valor	Cantidad	Precio unidad	Total
1	Condensador	C1	100uF	1	1,598	1,598
2	Condensador	C4	100uF	1	1,598	1,598
3	Condensador	C2	10uF	1	0,533	0,533
4	Condensador	C3	10uF	1	0,533	0,533
5	Diodo	D1 D2 D3	1N4004	3	0,071	0,213
6	LED, 5mm	DL1	LED	1	1,21	1,21
7	Conector genérico 01x02	J1	Con2	1	3,14	3,14
8	Conector genérico 01x09	J2	Conn_01x09	1	13,89	13,89
9	Conector genérico 01x15	J3	Conn_01x15	1	16,61	16,61
10	Resistencia	R14	154	1	0,53	0,53
11	Resistencia	R1 R2 R3 R4	1K2	4	0,53	2,12
12	Resistencia	R13	1K2	1	0,53	0,53
13	Resistencia	R16	240	1	0,53	0,53
14	Resistencia	R11 R12	2K2	2	0,53	1,06
15	Resistencia	R5 R6 R7 R8 R9 R10	2K7	6	0,53	3,18
16	Resistencia	R15 R17	2K7	2	0,53	1,06
17	Potentiometro	RV1	5K	1	3,38	3,38
18	Optoacoplador, Vce 35V, CTR 50%, DIP-8	U3	EL827	1	0,413	0,413
19	Optoacoplador Vce 35V, CTR 50%, DIP-8	U1	K847PH	1	1,12	1,12
20	500mA 35V Adjustable Linear Regulator, TO-39	U4	LM117	1	13,56	13,56
21	Optoacoplador Vce 80V, CTR 50%, SO-4	U2	VO610A- 3X001	1	0,59	0,59
22	Placa PcB			2	4,68	9,36
23	Caja impresora 3D			2	5	10

Total IVA incluido	86,758
-----------------------	--------



## 12.- FUENTES

---

- 1- Máquinas Eléctricas. Juan José Manzano Orrego. Paraninfo, edición 2004. *Fecha de consulta Noviembre 2017*
- 2- Máquinas Eléctricas. Jesús Fraile Mora. McGraw Hill, edición 2008. *Fecha de consulta Noviembre 2017*
- 3- Máquinas Eléctricas. Jesús Fraile Mora. McGraw Hill, edición 2008. *Fecha de consulta Noviembre 2017*
- 4- Sensores y Acondicionadores de Señal. Ramon Pallas Areny.S.A. Marcombo, edición 2003. *Fecha de consulta Diciembre 2018*
- 5- Máquinas Eléctricas. Jesús Fraile Mora. McGraw Hill, edición 2008. *Fecha de consulta Noviembre 2017*
- 6- Electric Motors and Drives. Austin Hughes William Drury. Newnes, edición 2013. *Fecha de consulta Diciembre 2018*
- 7- <http://www.ni.com/es-es.html> *Fecha de consulta Enero 2018*
- 8- <http://www.ni.com/es-es.html> *Fecha de consulta Enero 2018*
- 9- <https://www.ametek.com/> *Fecha de consulta Diciembre 2018*
- 10- <http://www.ni.com/es-es.html> *Fecha de consulta Enero 2018*
- 11- <http://kicad-pcb.org/> *Fecha de consulta Febrero 2018*
- 12- [http://docs.kicad-pcb.org/4.0.3/es/getting\\_started\\_in\\_kicad.pdf](http://docs.kicad-pcb.org/4.0.3/es/getting_started_in_kicad.pdf) *Fecha de consulta Febrero 2018*
- 13- <http://www.educachip.com/optoacoplador-que-es-y-como-utilizarlo/> *Fecha de consulta Febrero 2018*
- 14- <https://www.digikey.es/es/product-highlight/t/texas-instruments/lm117-adjustable-3-pin-positive-voltage-regulators> *Fecha de consulta Febrero 2018*
- 15- <https://electronicadpe.wikispaces.com/6.1+Pr%C3%A1ctica+montaje+regulador+de+tensi%C3%B3n+variable> *Fecha de consulta Febrero 2018*



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES

## 13.- ANEXOS

---



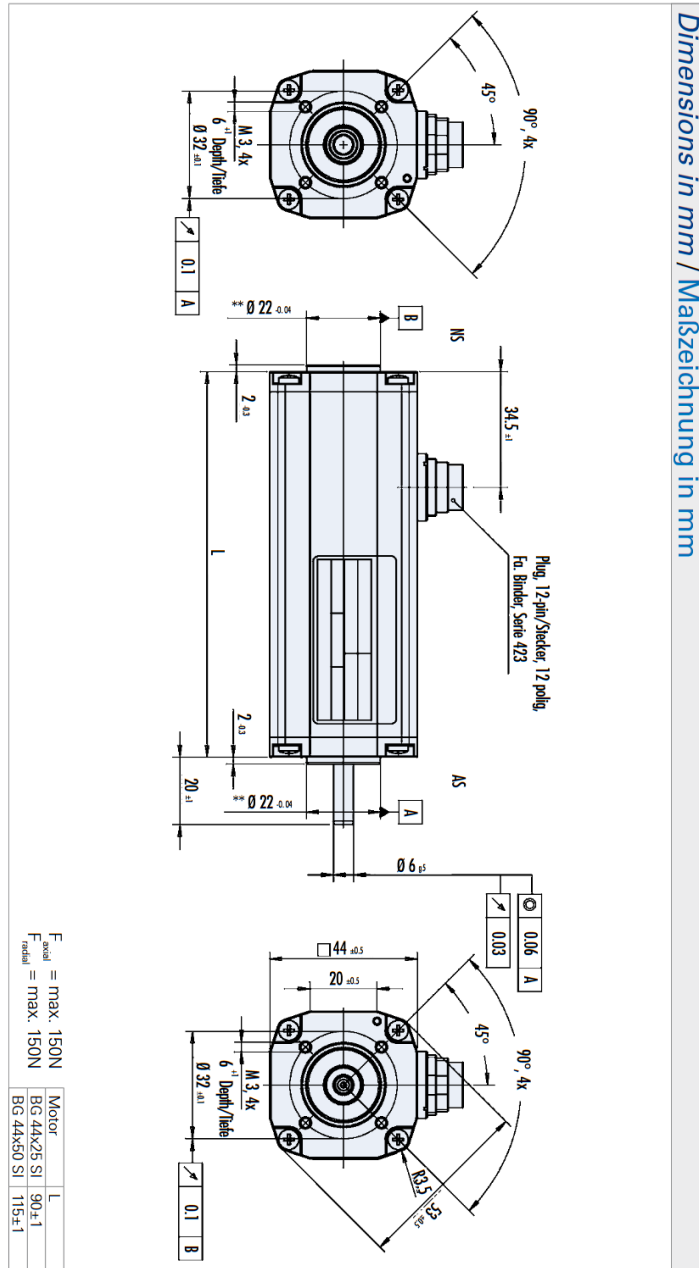
Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES



## 13.1- Plano Motor Brushless BG 44x25 SI





Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES

## 13.2- Datasheet Motor Brushless BG 44x25 SI

### BG 44 SI, 20 - 40 W

**SPEED CONTROLLER INTEGRATED**



Versions of BG 44 SI / Ausführungen BG 44 SI	Page / Seite
Controllers / Regelelektroniken	
- integral 4Q controller / mit integrierter 4Q-Steuerungselektronik (BG44SI)	18
With gearbox / Als Getriebemotor	73
With brake / Als Bremsmotor	100
Standard / Standard	

- Highly dynamic 3-phase EC motor with 4-pole neodymium magnet
- With integral speed controller for 4-quadrant drive
- As standard, the target speed can be set using a 0...+10 V analog voltage input
- There are two further digital inputs for selecting the four operating conditions: rotation clockwise/ counter-clockwise, controller block, and stop with holding torque
- In addition, there are digital outputs, which provide a pulsed output with 6 pulses (2x 3 pulses) per revolution and a direction of rotation signal (e.g. for monitoring position and speed), and an error signal
- Two fixed speeds, and acceleration and de-acceleration ramps can be stored in memory
- The motor is supplied as standard with a 12-pin connector (IP65)

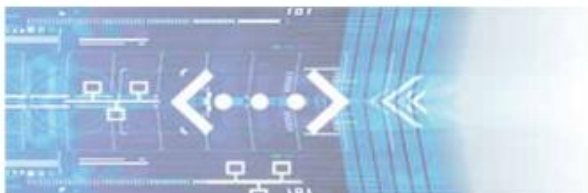
For further technical data and information on terminal assignment, please see the operating manual at [www.dunkermotoren.com/downloads](http://www.dunkermotoren.com/downloads).

NOTE: The mating connector with cable is not in scope of supply (see accessories page 105).

- Hochdynamische 3-strängige EC-Motoren mit 4-poligem Neodymmagnet
- Mit integriertem Speedcontroller für 4-Quadrantenbetrieb
- Die Drehzahlsvorgabe erfolgt standardmäßig über einen Analogspannungseingang 0...+10 V
- Über zwei weitere digitale Eingänge lassen sich die vier Betriebszustände Drehrichtung rechts, Drehrichtung links, Reglersperre und Stopp mit Haltemoment anwählen
- Weitere Digitale Ausgänge werden herausgeführt, womit ein Ausgang mit 6 Pulsen (2x 3 Pulse) pro Umdrehung sowie ein Drehrichtungssignal (z. B. für Positions- und Geschwindigkeitsüberwachung) und ein Störungssignal zur Verfügung stehen
- Das Abspeichern von 2 festen Geschwindigkeiten und Beschleunigungs- und Bremsrampe ist möglich
- Der Motor ist standardmäßig mit einem 12-poligen Anschlussstecker (IP65) versehen

Weitere technische Daten sowie Informationen zur Anschlussbelegung finden Sie in der Betriebsanleitung bei [www.dunkermotoren.de/downloads](http://www.dunkermotoren.de/downloads).

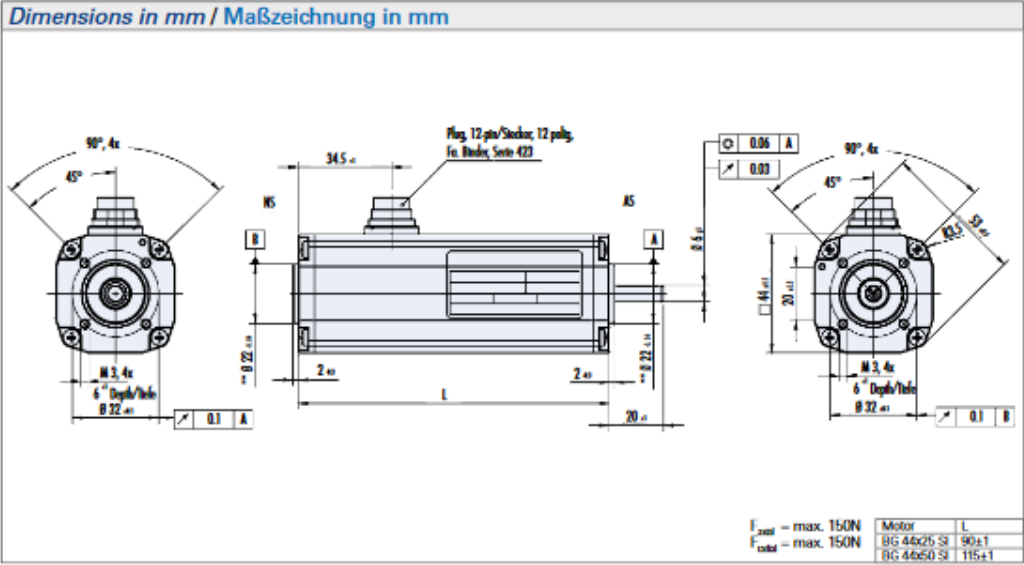
HINWEIS: Gegenstecker mit Anschlussleitung nicht im Lieferumfang enthalten. (siehe Zubehör auf Seite 105)



Data / Technische Daten		BG 44x25 SI	BG 44x50 SI
Rated voltage / Nennspannung	VDC	24	24
Continuous rated speed / Nenndrehzahl	rpm *)	2860	3440
Continuous rated torque / Nenndrehmoment	Ncm *)	5.7 (7.2 ***)	10.2 (13 ***)
Continuous current / Nennstrom	A *)	1.47	2.52
Starting torque / Anlaufmoment	Ncm * *)	19.6	48.4 ****)
Peak current / Zulässiger Spitzenstrom (10 sec.)	A **)	9	9
Rotor inertia / Trägheitsmoment	gcm <sup>2</sup>	34	64
Weight of motor / Motorgewicht	kg	0.53	0.74
Voltage range / Max. zulässiger Spannungsbereich	VDC	19 ... 35	19 ... 35
Recommended speed control range / Empfohlener Drehzahlregelbereich	rpm	150 ... Rated speed / Nenndrehzahl	

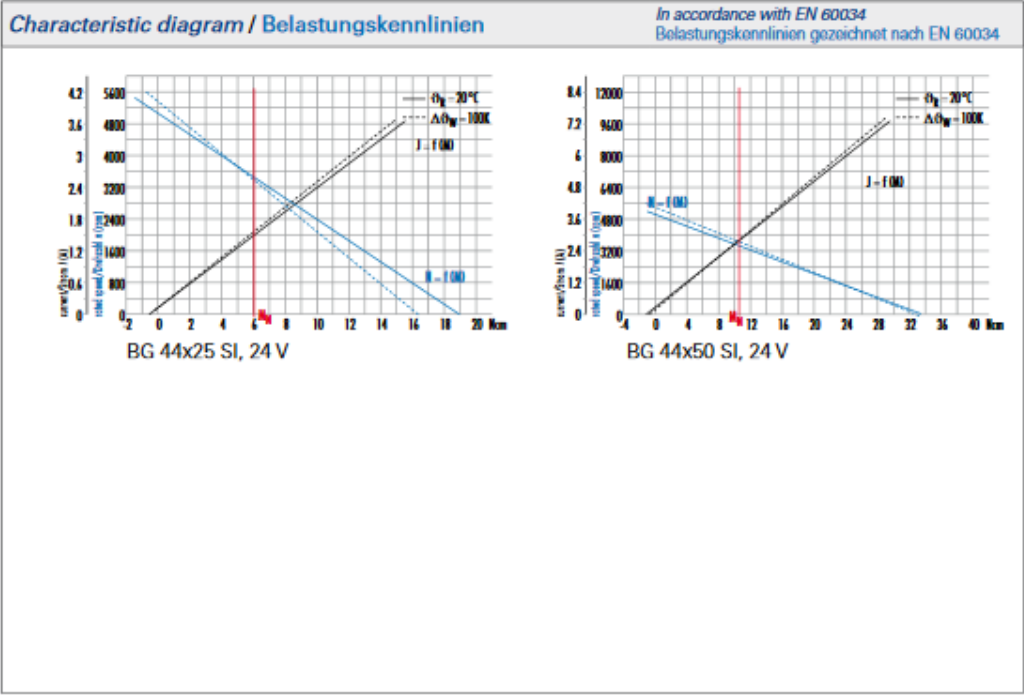


# BG 44 SI, 20 - 40 W



*Pin assignment / Pinbelegung*

12-Pin	Signal
A	OUT 1
B	IN 1
C	IN 2
D	IN 4
E	+ 24V
F	+ 24V
G	0V
H	N -
J	N +
K	OUT 3
L	IN 3
M	0V

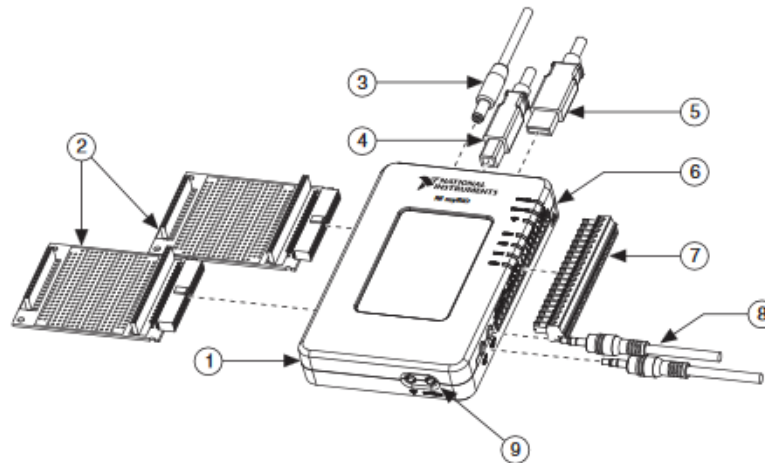


## 13.3- Datasheet NI myRIO-1900

### USER GUIDE AND SPECIFICATIONS NI myRIO-1900

The National Instruments myRIO-1900 is a portable reconfigurable I/O (RIO) device that students can use to design control, robotics, and mechatronics systems. This document contains pinouts, connectivity information, dimensions, mounting instructions, and specifications for the NI myRIO-1900.

Figure 1. NI myRIO-1900



- |                                                              |                                                   |
|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| 1 NI myRIO-1900                                              | 6 LEDs                                            |
| 2 myRIO Expansion Port (MXP) Breakouts (One Included in Kit) | 7 Mini System Port (MSP) Screw-Terminal Connector |
| 3 Power Input Cable                                          | 8 Audio In/Out Cables (One Included in Kit)       |
| 4 USB Device Cable                                           | 9 Button                                          |
| 5 USB Host Cable (Not Included in Kit)                       |                                                   |



## Safety Information

---



**Caution** Do not operate the hardware in a manner not specified in this document and in the user documentation. Misuse of the hardware can result in a hazard. You can compromise the safety protection if the hardware is damaged in any way. If the hardware is damaged, return it to National Instruments for repair.

Clean the hardware with a soft, nonmetallic brush. Make sure that the hardware is completely dry and free from contaminants before returning it to service.

## Electromagnetic Compatibility Guidelines

---

This product was tested and complies with the regulatory requirements and limits for electromagnetic compatibility (EMC) stated in the product specifications. These requirements and limits provide reasonable protection against harmful interference when the product is operated in the intended operational electromagnetic environment.

This product is intended for use in commercial locations. There is no guarantee that harmful interference will not occur in a particular installation or when the product is connected to a test object. To minimize interference with radio and television reception and prevent unacceptable performance degradation, install and use this product in strict accordance with the instructions in the product documentation.

Furthermore, any modifications to the product not expressly approved by National Instruments could void your authority to operate it under your local regulatory rules.



**Caution** This product was tested for EMC compliance using myRIO application software. The maximum length for USB cables is 2.0 m (6.6 ft), and the maximum length for signal wires is 30.0 cm (11.8 in.).



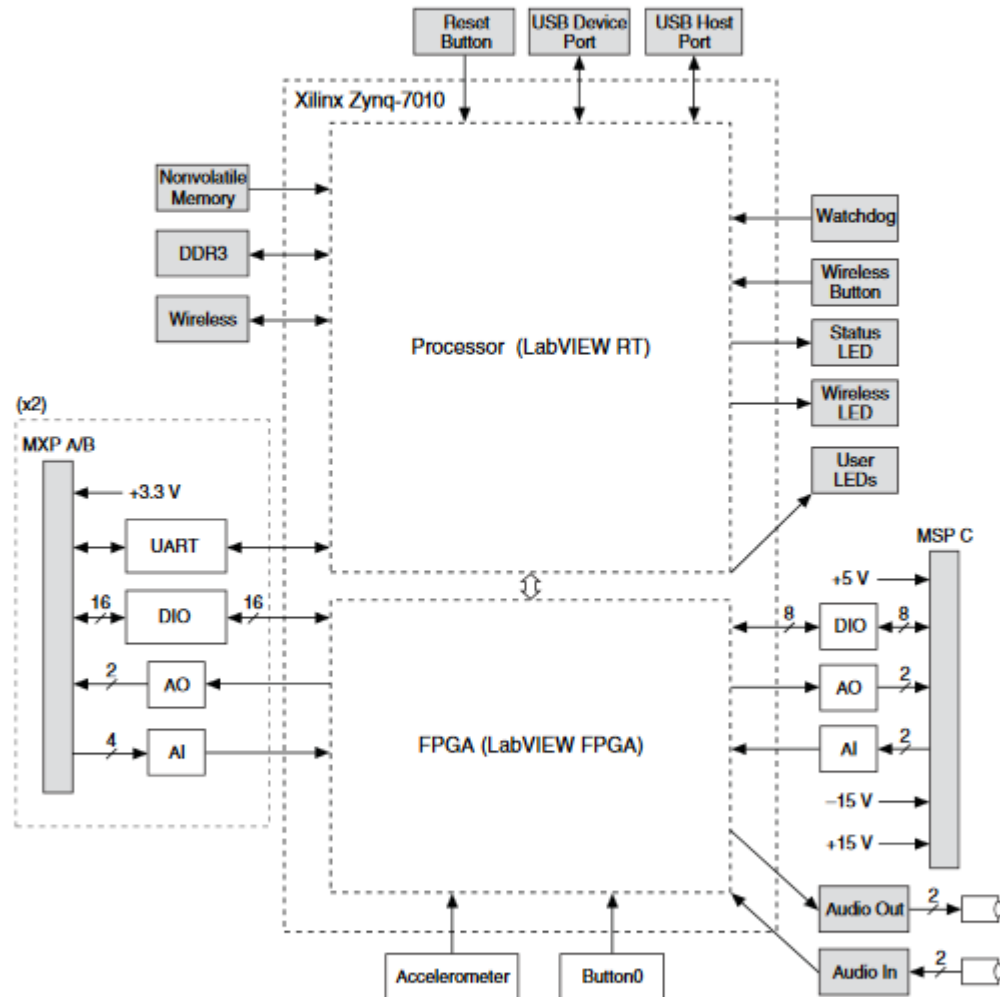
**Caution** The mounting keyholes on the back of the NI myRIO-1900 are sensitive to electrostatic discharge (ESD). When handling the device, be careful not to touch inside the keyholes.

## Hardware Overview

The NI myRIO-1900 provides analog input (AI), analog output (AO), digital input and output (DIO), audio, and power output in a compact embedded device. The NI myRIO-1900 connects to a host computer over USB and wireless 802.11b,g,n.

The following figure shows the arrangement and functions of NI myRIO-1900 components.

**Figure 2. NI myRIO-1900 Hardware Block Diagram**

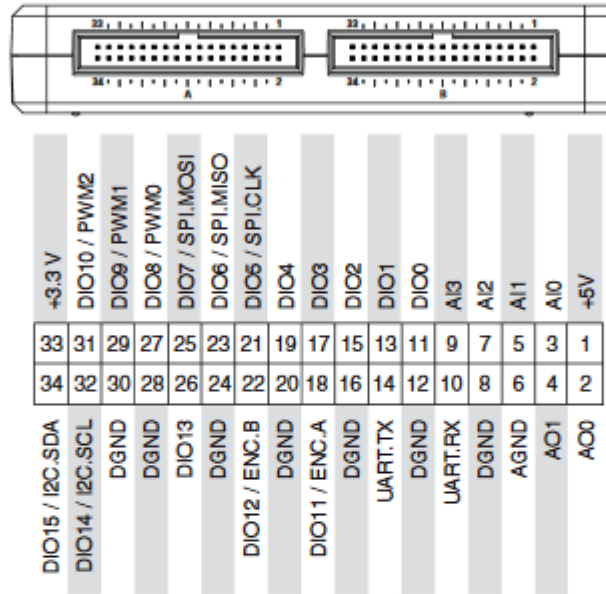




## Connector Pinouts

NI myRIO-1900 Expansion Port (MXP) connectors A and B carry identical sets of signals. The signals are distinguished in software by the connector name, as in ConnectorA/DIO1 and ConnectorB/DIO1. Refer to the software documentation for information about configuring and using signals. The following figure and table show the signals on MXP connectors A and B. Note that some pins carry secondary functions as well as primary functions.

**Figure 3. Primary/Secondary Signals on MXP Connectors A and B**





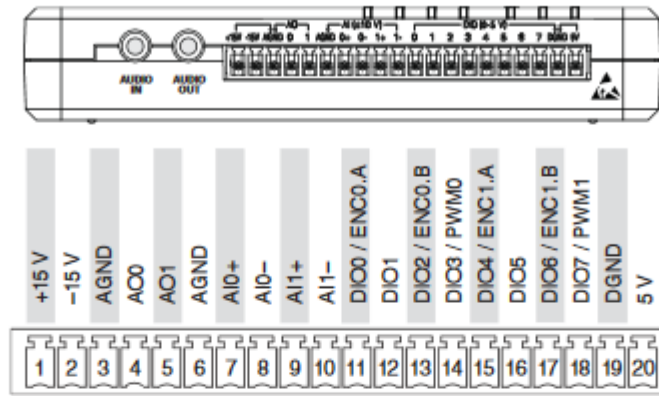


**Table 1.** Descriptions of Signals on MXP Connectors A and B

Signal Name	Reference	Direction	Description
+5V	DGND	Output	+5 V power output.
AI <0..3>	AGND	Input	0-5 V, referenced, single-ended analog input channels. Refer to the <i>Analog Input Channels</i> section for more information.
AO <0..1>	AGND	Output	0-5 V referenced, single-ended analog output. Refer to the <i>Analog Output Channels</i> section for more information.
AGND	N/A	N/A	Reference for analog input and output.
+3.3V	DGND	Output	+3.3 V power output.
DIO <0..15>	DGND	Input or Output	General-purpose digital lines with 3.3 V output, 3.3 V/5 V-compatible input. Refer to the <i>DIO Lines</i> section for more information.
UART.RX	DGND	Input	UART receive input. UART lines are electrically identical to DIO lines.
UART.TX	DGND	Output	UART transmit output. UART lines are electrically identical to DIO lines.
DGND	N/A	N/A	Reference for digital signals, +5 V, and +3.3 V.

The following figure and table show the signals on Mini System Port (MSP) connector C. Note that some pins carry secondary functions as well as primary functions.

**Figure 4. Primary/Secondary Signals on MSP Connector C**



**Table 2. Descriptions of Signals on MSP Connector C**

Signal Name	Reference	Direction	Description
+15V/-15V	AGND	Output	+15 V/-15 V power output.
AI0+/AI0-; AI1+/AI1-	AGND	Input	±10 V, differential analog input channels. Refer to the <a href="#">Analog Input Channels</a> section for more information.
AO <0..1>	AGND	Output	±10 V referenced, single-ended analog output channels. Refer to the <a href="#">Analog Output Channels</a> section for more information.
AGND	N/A	N/A	Reference for analog input and output and +15 V/-15 V power output.
+5V	DGND	Output	+5 V power output.
DIO <0..7>	DGND	Input or Output	General-purpose digital lines with 3.3 V output, 3.3 V/5 V-compatible input. Refer to the <a href="#">DIO Lines</a> section for more information.
DGND	N/A	N/A	Reference for digital lines and +5 V power output.

**Table 3.** Descriptions of Signals on Audio Connectors

Signal Name	Reference	Direction	Description
AUDIO IN	N/A	Input	Left and right audio inputs on stereo connector.
AUDIO OUT	N/A	Output	Left and right audio outputs on stereo connector.

## Analog Input Channels

The NI myRIO-1900 has analog input channels on myRIO Expansion Port (MXP) connectors A and B, Mini System Port (MSP) connector C, and a stereo audio input connector. The analog inputs are multiplexed to a single analog-to-digital converter (ADC) that samples all channels.

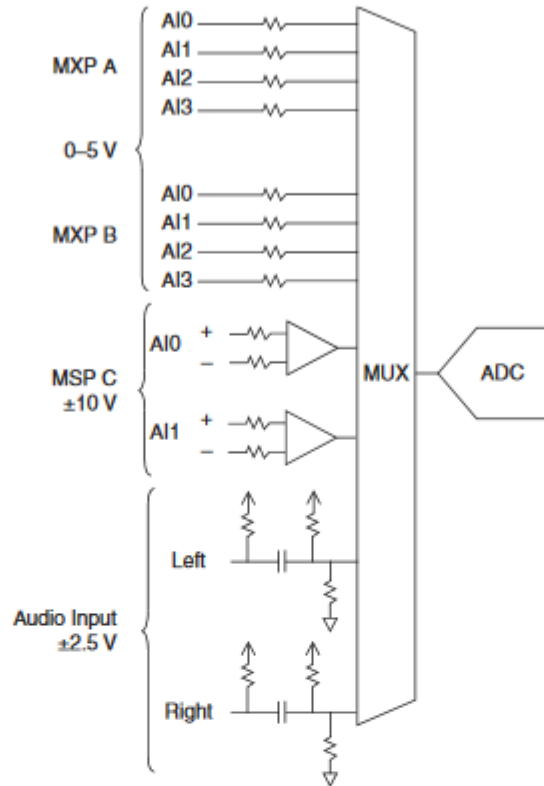
MXP connectors A and B have four single-ended analog input channels per connector, AI0-AI3, which you can use to measure 0-5 V signals. MSP connector C has two high-impedance, differential analog input channels, AI0 and AI1, which you can use to measure signals up to  $\pm 10$  V. The audio inputs are left and right stereo line-level inputs with a  $\pm 2.5$  V full-scale range.



**Note** For important information about improving measurement accuracy by reducing noise, go to [ni.com/info](http://ni.com/info) and enter the Info Code `analogwiring`.

Figure 5 shows the analog input topology of the NI myRIO-1900.

**Figure 5. NI myRIO-1900 Analog Input Circuitry**



## Analog Output Channels

The NI myRIO-1900 has analog output channels on myRIO Expansion Port (MXP) connectors A and B, Mini System Port (MSP) connector C, and a stereo audio output connector. Each analog output channel has a dedicated digital-to-analog converter (DAC), so they can all update simultaneously. The DACs for the analog output channels are controlled by two serial communication buses from the FPGA. MXP connectors A and B share one bus, and MSP connector C and the audio outputs share a second bus. Therefore, the maximum update rate is specified as an aggregate figure in the *Analog Output* section of the *Specifications*.

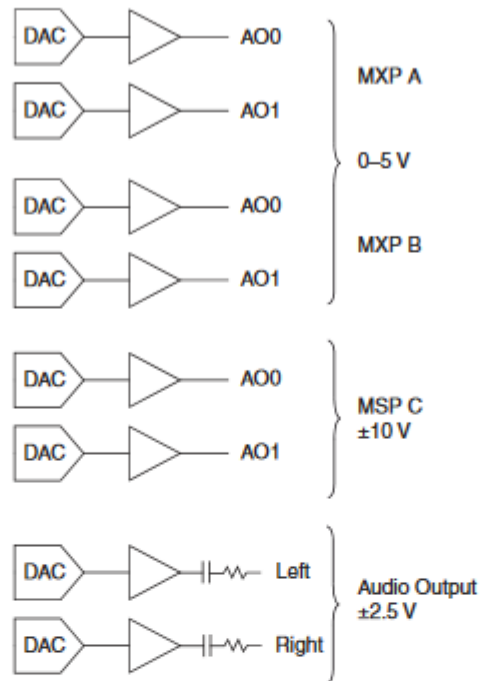
MXP connectors A and B have two analog output channels per connector, AO0 and AO1, which you can use to generate 0-5 V signals. MSP connector C has two analog output channels, AO0 and AO1, which you can use to generate signals up to ±10 V. The audio outputs are left and right stereo line-level outputs capable of driving headphones.



**Caution** Before using headphones to listen to the audio output of the NI myRIO-1900, ensure that the audio output is at a safe level. Listening to audio signals at a high volume may result in permanent hearing loss.

Figure 6 shows the analog output topology of the NI myRIO-1900.

**Figure 6. NI myRIO-1900 Analog Output Circuitry**



## Accelerometer

The NI myRIO-1900 contains a three-axis accelerometer. The accelerometer samples each axis continuously and updates a readable register with the result. Refer to the [Accelerometer](#) section of the [Specifications](#) for the accelerometer sample rates.



## Converting Raw Data Values to Voltage

You can use the following equations to convert raw data values to volts:

$$V = \text{Raw Data Value} * \text{LSB Weight}$$

$$\text{LSB Weight} = \text{Nominal Range} \div 2^{\text{ADC Resolution}}$$

where *Raw Data Value* is the value returned by the FPGA I/O Node,

*LSB Weight* is the value in volts of the increment between data values,

*Nominal Range* is the absolute value in volts of the full, peak-to-peak nominal range of the channel,

and *ADC Resolution* is the resolution of the ADC in bits. (*ADC Resolution* = 12)

- For AI and AO channels on the MXP connectors,

$$\text{LSB Weight} = 5 \text{ V} \div 2^{12} = 1.221 \text{ mV}$$

$$\text{Maximum reading} = 4095 * 1.221 \text{ mV} = 4.999 \text{ V}$$

- For AI and AO channels on the MSP connectors,

$$\text{LSB Weight} = 20 \text{ V} \div 2^{12} = 4.883 \text{ mV}$$

$$\text{Maximum Positive Reading} = +2047 * 4.883 \text{ mV} = 9.995 \text{ V}$$

$$\text{Maximum Negative Reading} = -2048 * 4.883 \text{ mV} = -10.000 \text{ V}$$

- For Audio In/Out,

$$\text{LSB Weight} = 5 \text{ V} \div 2^{12} = 1.221 \text{ mV}$$

$$\text{Maximum Positive Reading} = +2047 * 1.221 \text{ mV} = 2.499 \text{ V}$$

$$\text{Maximum Negative Reading} = -2048 * 1.221 \text{ mV} = -2.500 \text{ V}$$

- For the accelerometer,

$$\text{LSB Weight} = 16 \text{ g} \div 2^{12} = 3.906 \text{ mg}$$

$$\text{Maximum Positive Reading} = +2047 * 3.906 \text{ mg} = +7.996 \text{ g}$$

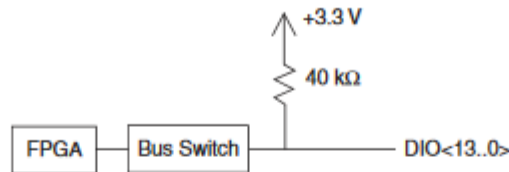
$$\text{Maximum Negative Reading} = -2048 * 3.906 \text{ mg} = -8.000 \text{ g}$$

## DIO Lines

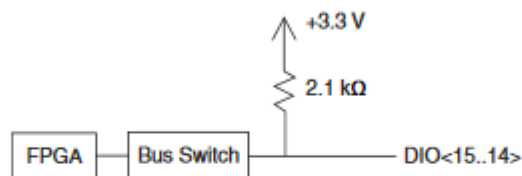
The NI myRIO-1900 has 3.3 V general-purpose DIO lines on the MXP and MSP connectors. MXP connectors A and B have 16 DIO lines per connector. On the MXP connectors, each DIO line from 0 to 13 has a 40 k $\Omega$  pullup resistor to 3.3 V, and DIO lines 14 and 15 have 2.1 k $\Omega$  pullup resistors to 3.3 V. MSP connector C has eight DIO lines. Each MSP DIO line has a 40 k $\Omega$  pulldown resistor to ground. DGND is the reference for all the DIO lines. You can program all the lines individually as inputs or outputs. Secondary digital functions include Serial Peripheral

Interface Bus (SPI), I2C, pulse-width modulation (PWM), and quadrature encoder input. Refer to the NI myRIO software documentation for information about configuring the DIO lines.

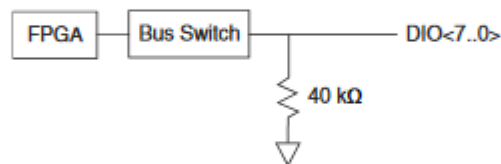
**Figure 7. DIO Lines <13..0> on MXP Connector A or B**



**Figure 8. DIO Lines <15..14> on MXP Connector A or B**



**Figure 9. DIO Lines <7..0> on MSP Connector C**



When a DIO line is floating, it floats in the direction of the pull resistor. A DIO line may be floating in any of the following conditions:

- when the myRIO device is starting up
- when the line is configured as an input
- when the myRIO device is powering down

You can add a stronger resistor to a DIO line to cause it to float in the opposite direction.

## UART Lines

The NI myRIO-1900 has one UART receive input line and one UART transmit output line on each MXP connector. The UART lines are electrically identical to DIO lines 0 to 13 on the MXP connectors. Like those lines, UART.RX and UART.TX have 40 kΩ pullup resistors to 3.3 V. Use LabVIEW Real-Time to read and write over the UART lines.





## Using the Reset Button

---

Pressing and releasing the Reset button restarts the processor and the FPGA.

Pressing and holding the Reset button for 5 seconds, then releasing it, restarts the processor and the FPGA and forces the NI myRIO-1900 into safe mode. In safe mode, the NI myRIO-1900 launches only the services necessary for updating configuration and installing software.

When the NI myRIO-1900 is in safe mode, you can communicate with it by using the UART lines on MXP connector A. You need the following items to communicate with the myRIO device over UART:

- USB-to-TTL serial UART converter cable (for example, part number TTL-232RG-VSW3V3-WE from FTD Chip)
- Serial-port terminal program configured with the following settings:
  - 115,200 bits per second
  - Eight data bits
  - No parity
  - One stop bit
  - No flow control

## Using the Wireless Button and LED

---

For information about using the Wireless button, go to [ni.com/info](http://ni.com/info) and enter the Info Code `myriowirelessbutton`.

For information about using the Wireless LED, go to [ni.com/info](http://ni.com/info) and enter the Info Code `myriowirelessled`.

## Using Button0

---

Button0 produces a logic TRUE when depressed and a logic FALSE when not depressed. Button0 is not debounced.





## Understanding LED Indications

### Power LED

The Power LED is lit while the NI myRIO-1900 is powered on. This LED indicates that the power supply connected to the device is adequate.

### Status LED

The Status LED is off during normal operation. The NI myRIO-1900 runs a power-on self test (POST) when you apply power to the device. During the POST, the Power and Status LEDs turn on. When the Status LED turns off, the POST is complete. The NI myRIO-1900 indicates specific error conditions by flashing the Status LED a certain number of times every few seconds, as shown in Table 4.

Table 4. Status LED Indications

Number of Flashes Every Few Seconds	Indication
2	The device has detected an error in its software. This usually occurs when an attempt to upgrade the software is interrupted. Reinstall software on the device.
3	The device is in safe mode.
4	The software has crashed twice without rebooting or cycling power between crashes. This usually occurs when the device runs out of memory. Review your RT VI and check the memory usage. Modify the VI as necessary to solve the memory usage issue.
Continuously flashing or solid	The device has detected an unrecoverable error. Contact National Instruments.

### LEDs 0 to 3

You can use LEDs 0 to 3 to help debug your application or easily retrieve application status. Logic TRUE turns an LED on and logic FALSE turns an LED off.

## Using the USB Host Port

The NI myRIO-1900 USB host port supports Web cameras that conform to the USB Video Device Class (UVC) protocol as well as machine vision cameras that conform to the USB3 Vision standard and are USB 2.0 backward compatible. The NI myRIO-1900 USB host port also supports Basler ace USB3 cameras.

The NI myRIO-1900 USB host port also supports USB Flash drives and USB-to-IDE adapters formatted with FAT16 and FAT32 file systems. LabVIEW usually maps USB devices to the /U, /V, /W, or /X drive, starting with the /U drive if it is available.

## NI myRIO-1900 Physical Dimensions

Figure 10. NI myRIO-1900 Dimensions, Front

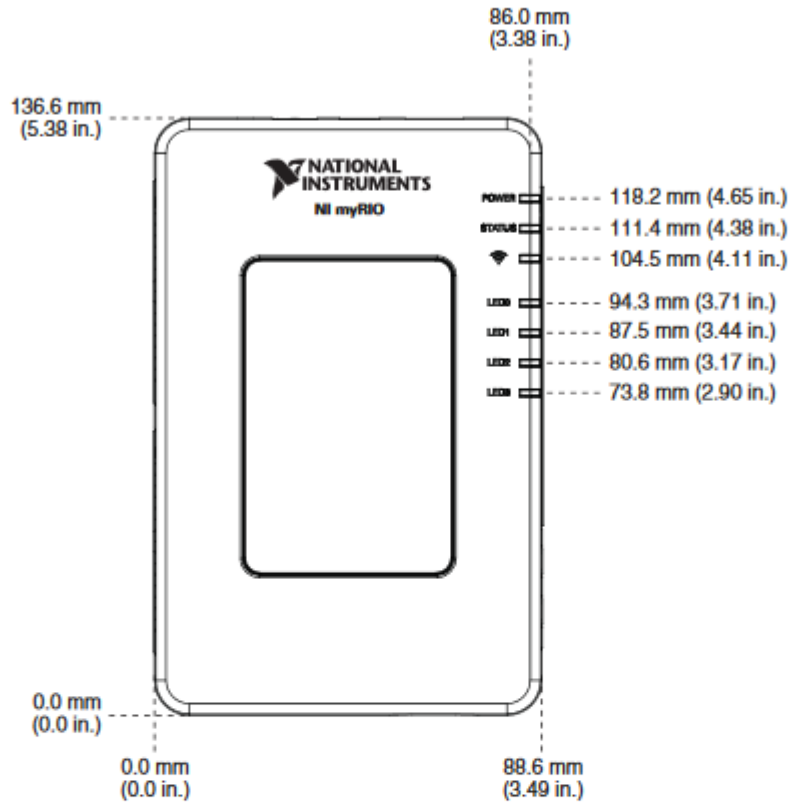


Figure 11. NI myRIO-1900 Dimensions, Back

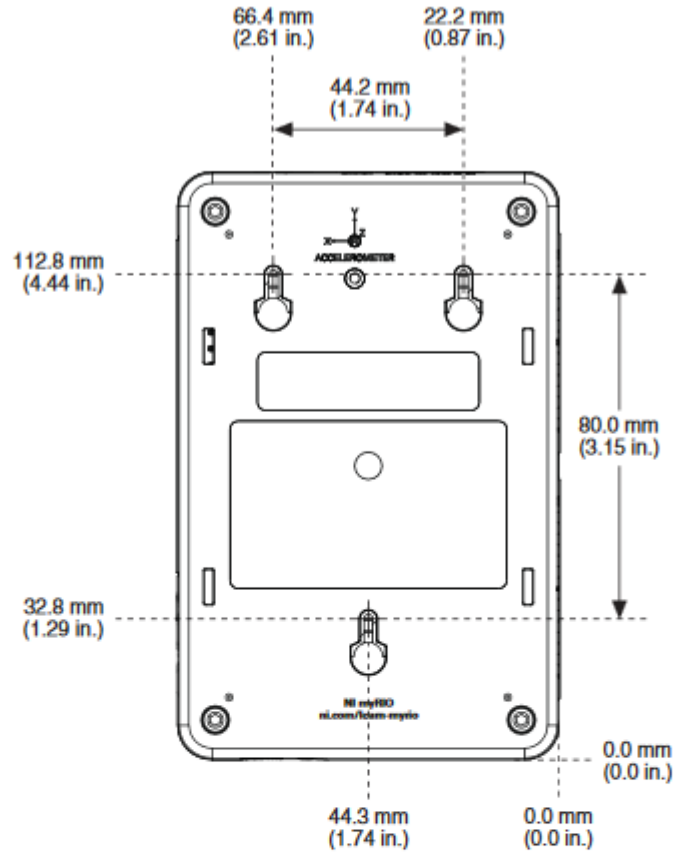
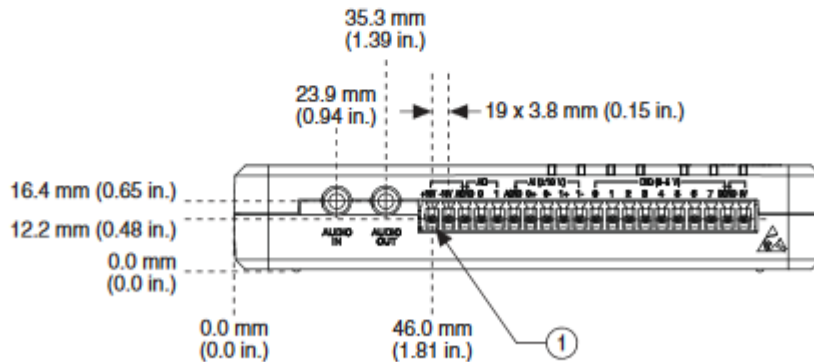
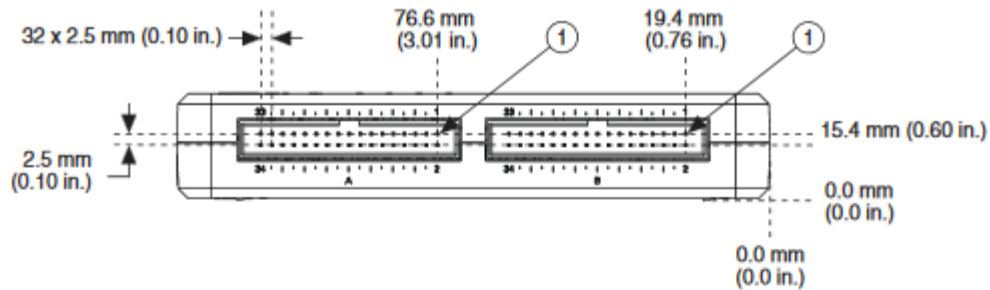


Figure 12. NI myRIO-1900 Dimensions, MSP Side



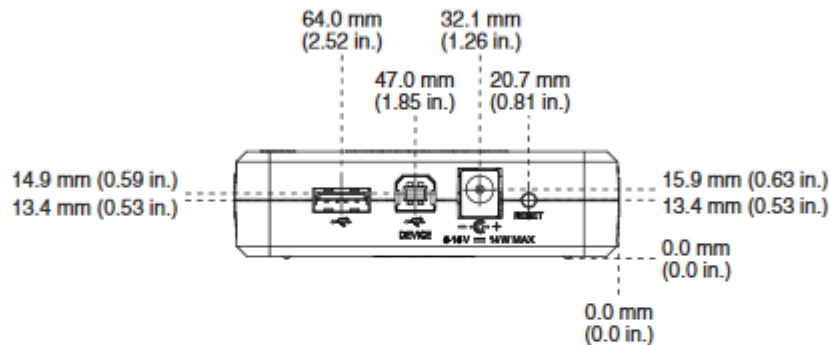
1 Pin 1

**Figure 13. NI myRIO-1900 Dimensions, MXP Side**

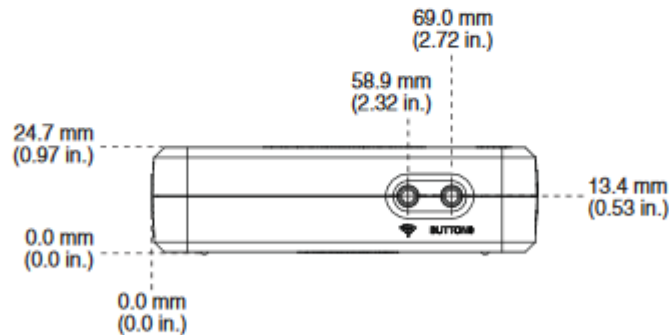


1 Pin 1

**Figure 14. NI myRIO-1900 Dimensions, I/O End**



**Figure 15. NI myRIO-1900 Dimensions, User End**



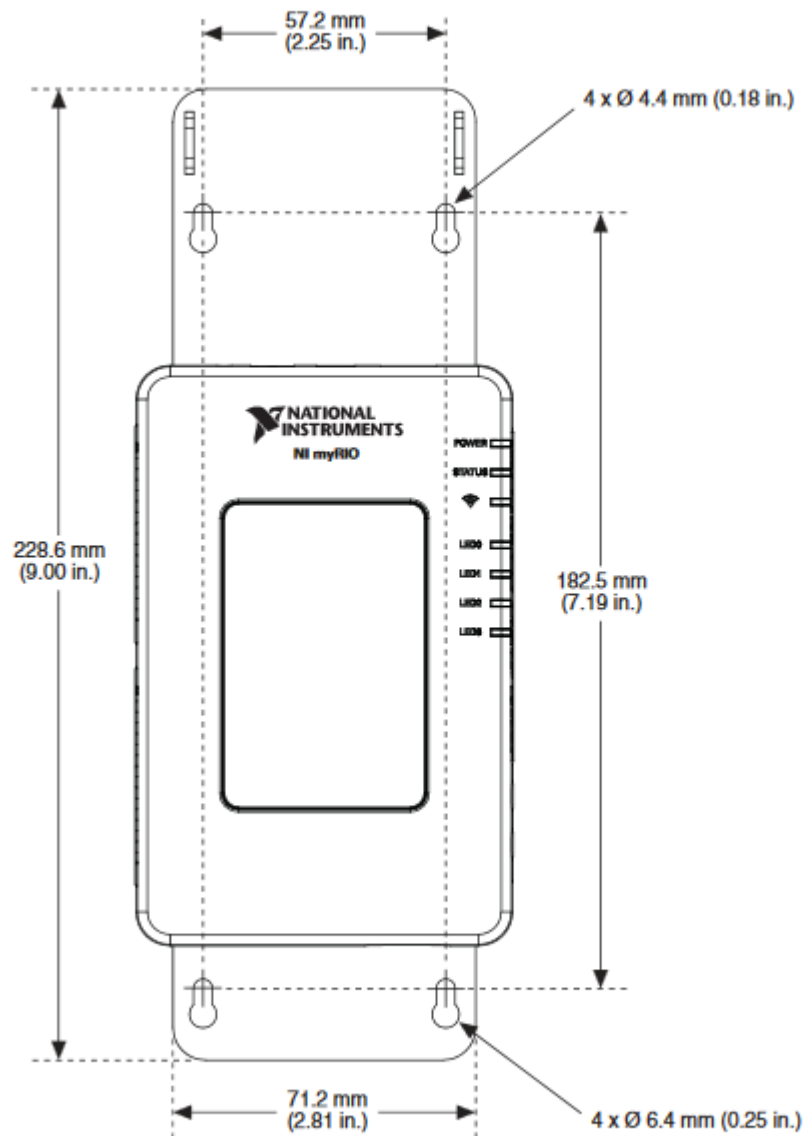
## Mounting the NI myRIO-1900

### Mounting the NI myRIO-1900 Using the Key Holes

You can use the provided key holes on NI myRIO-1900 to mount the device on a flat surface. Install the NI myRIO-1900 as shown in Figure 16. Use Unified #4 or ISO M3 screws to mount the NI myRIO-1900 using the key holes. Panhead screws are suitable for use with the NI myRIO-1900 key holes.

Fasten the panel mounting kit to the panel or wall using screws appropriate for the surface. The following figure shows the dimensions of the NI myRIO-1900 with the panel mounting kit installed.

**Figure 18.** Dimensions of NI myRIO-1900 with Panel Mounting Kit





## Cables and Accessories

Table 5. Accessories Available from NI

Accessory	Description	NI Part Number
Power supply	Power supply for NI myRIO-1900	723403-01
MXP breakouts	Set of five MXP breakout boards for NI myRIO-1900	782696-01
MSP connector	MSP replacement connector plug for NI myRIO-1900	765788-01
Panel mounting kit	Panel mounting kit for NI myRIO-1900	783091-01

## Specifications

The following specifications are typical for the 0 to 40 °C operating temperature range unless otherwise noted.

### Processor

Processor type .....Xilinx Z-7010  
 Processor speed .....667 MHz  
 Processor cores .....2

### Memory

Nonvolatile memory .....512 MB  
 DDR3 memory .....256 MB  
     DDR3 clock frequency .....533 MHz  
     DDR3 data bus width .....16 bits

For information about the lifespan of the nonvolatile memory and about best practices for using nonvolatile memory, go to [ni.com/info](http://ni.com/info) and enter the Info Code SSDBP.

### FPGA

FPGA type .....Xilinx Z-7010

### Wireless Characteristics

Radio mode .....IEEE 802.11 b,g,n  
 Frequency band .....ISM 2.4 GHz  
 Channel width .....20 MHz



Channels .....	USA 1 to 11, International 1 to 13
TX power .....	+10 dBm max (10 mW)
Outdoor range .....	Up to 150 m (line of sight)
Antenna directivity .....	Omnidirectional
Security .....	WPA, WPA2, WPA2-Enterprise

## USB Ports

USB host port .....	USB 2.0 Hi-Speed
USB device port .....	USB 2.0 Hi-Speed

## Analog Input

Aggregate sample rate .....	500 kS/s
Resolution .....	12 bits
Overvoltage protection .....	±16 V

### MXP connectors

Configuration .....	Four single-ended channels per connector
Input impedance .....	>500 kΩ acquiring at 500 kS/s 1 MΩ powered on and idle 4.7 kΩ powered off
Recommended source impedance .....	3 kΩ or less
Nominal range .....	0 V to +5 V
Absolute accuracy .....	±50 mV
Bandwidth .....	>300 kHz

### MSP connector

Configuration .....	Two differential channels
Input impedance .....	Up to 100 nA leakage powered on; 4.7 kΩ powered off
Nominal range .....	±10 V
Working voltage (signal + common mode) .....	±10 V of AGND
Absolute accuracy .....	±200 mV
Bandwidth .....	20 kHz minimum, >50 kHz typical

### Audio input

Configuration .....	One stereo input consisting of two AC-coupled, single-ended channels
Input impedance .....	10 kΩ at DC
Nominal range .....	±2.5 V
Bandwidth .....	2 Hz to >20 kHz



## Analog Output

### Aggregate maximum update rates

All AO channels on MXP connectors.....	345 kS/s
All AO channels on MSP connector and audio output channels.....	345 kS/s

Resolution ..... 12 bits

Overload protection ..... ±16 V

Startup voltage ..... 0 V after FPGA initialization

### MXP connectors

Configuration.....	Two single-ended channels per connector
Range.....	0 V to +5 V
Absolute accuracy.....	50 mV
Current drive.....	3 mA
Slew rate.....	0.3 V/μs

### MSP connector

Configuration.....	Two single-ended channels
Range.....	±10 V
Absolute accuracy.....	±200 mV
Current drive.....	2 mA
Slew rate.....	2 V/μs

### Audio output

Configuration.....	One stereo output consisting of two AC-coupled, single-ended channels
Output impedance.....	100 Ω in series with 22 μF
Bandwidth.....	70 Hz to >50 kHz into 32 Ω load; 2 Hz to >50 kHz into high-impedance load

## Digital I/O

### Number of lines

MXP connectors.....	2 ports of 16 DIO lines (one port per connector); one UART.RX and one UART.TX line per connector
MSP connector.....	1 port of 8 DIO lines

Direction control..... Each DIO line individually programmable as  
input or output

Logic level..... 5 V compatible LVTTTL input; 3.3 V LVTTTL  
output





**Input logic levels**

Input low voltage, $V_{IL}$ .....	0 V min; 0.8 V max
Input high voltage, $V_{IH}$ .....	2.0 V min; 5.25 V max

**Output logic levels**

Output high voltage, $V_{OH}$ sourcing 4 mA .....	2.4 V min; 3.465 V max
Output low voltage, $V_{OL}$ sinking 4 mA .....	0 V min; 0.4 V max

Minimum pulse width..... 20 ns

**Maximum frequencies for secondary digital functions**

SPI .....	4 MHz
PWM.....	100 kHz
Quadrature encoder input .....	100 kHz
I <sup>2</sup> C.....	400 kHz

**UART lines**

Maximum baud rate.....	230,400 bps
Data bits.....	5, 6, 7, 8
Stop bits .....	1, 2
Parity.....	Odd, Even, Mark, Space
Flow control.....	XON/XOFF

## Accelerometer

Number of axes.....	3
Range .....	±8 g
Resolution.....	12 bits
Sample rate .....	800 S/s
Noise.....	3.9 mg <sub>rms</sub> typical at 25 °C

## Power Output

**+5 V power output**

Output voltage .....	4.75 V to 5.25 V
Maximum current on each connector .....	100 mA

**+3.3 V power output**

Output voltage .....	3.0 V to 3.6 V
Maximum current on each connector .....	150 mA



<b>+15 power output</b>	
Output voltage.....	+15 V to +16 V
Maximum current .....	32 mA (16 mA during startup)
<b>-15 V power output</b>	
Output voltage.....	-15 V to -16 V
Maximum current .....	32 mA (16 mA during startup)
<b>Maximum combined power from +15 V and -15 V power output .....</b>	
	500 mW

## Power Requirements

NI myRIO-1900 requires a power supply connected to the power connector.

Power supply voltage range..... 6 to 16 VDC

Maximum power consumption..... 14 W

Typical idle power consumption..... 2.6 W

## Environmental

To meet these specifications, you must operate the NI myRIO-1900 with the window facing away from the mounting surface and ensure that there is at least 1 in. of clearance in front of the window during use.

Ambient temperature near device  
(IEC 60068-2-1, IEC 600682-2)..... 0 to 40 °C

Storage temperature  
(IEC 60068-2-1, IEC 600682-2)..... -20 to 70 °C

Operating humidity (IEC 60068-2-56) ..... 10 to 90% RH, noncondensing

Storage humidity (IEC 60068-2-56) ..... 10 to 90% RH, noncondensing

Maximum altitude..... 2,000 m

Pollution Degree (IEC 60664) ..... 2

Indoor use only.

## Physical Characteristics

Weight..... 193 g (6.8 oz)

## Safety

### Safety Standards

This product is designed to meet the requirements of the following standards of safety for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:

- IEC 61010-1, EN 61010-1
- UL 61010-1, CSA 61010-1

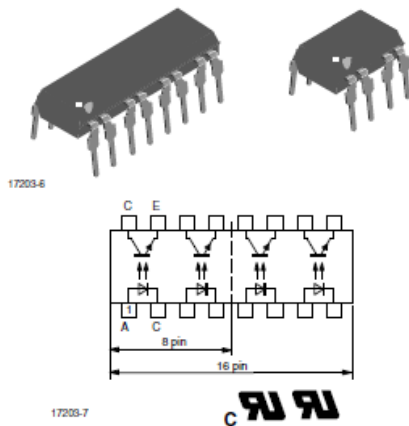
## 13.4 - Datasheet Vishay K827PH



**K827PH, K847PH**

Vishay Semiconductors

### Optocoupler, Phototransistor Output



#### FEATURES

- DC isolation test voltage 5000 V<sub>RMS</sub>
- Compliant to RoHS directive 2002/95/EC and in accordance to WEEE 2002/96/EC



RoHS COMPLIANT

#### APPLICATIONS

- Programmable logic controllers
- Modems
- Answering machines
- General applications

#### AGENCY APPROVALS

- UL1577, file no. E57244 system code H, double protection
- cUL tested to CSA 22.2 bulletin 5A, UL1577, file no. E52744

#### DESCRIPTION

In the K827PH, K847PH parts each channel consist of a phototransistor optically coupled to a gallium arsenide infrared-emitting diode in a 8 pin (dual); 16 pin (quad) plastic dual inline package.

ORDER INFORMATION	
PART	REMARKS
K827PH	CTR 50 % to 600 %, DIP-8
K847PH	CTR 50 % to 600 %, DIP-16

#### Note

K827PH and K847PH are marked as K827P and K847P respectively.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS <sup>(1)</sup> (T <sub>amb</sub> = 25 °C, unless otherwise specified)				
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	VALUE	UNIT
<b>INPUT</b>				
Reverse voltage		V <sub>R</sub>	6	V
Forward current		I <sub>F</sub>	60	mA
Forward surge current	t <sub>p</sub> ≤ 10 μs	I <sub>FSM</sub>	1.5	A
Power dissipation		P <sub>diss</sub>	100	mW
Junction temperature		T <sub>J</sub>	125	°C
<b>OUTPUT</b>				
Collector emitter voltage		V <sub>CEO</sub>	70	V
Emitter collector voltage		V <sub>ECO</sub>	7	V
Collector current		I <sub>C</sub>	50	mA
Collector peak current	t <sub>p</sub> /T = 0.5, t <sub>p</sub> ≤ 10 ms	I <sub>CM</sub>	100	mA
Power dissipation		P <sub>diss</sub>	150	mW
Junction temperature		T <sub>J</sub>	125	°C

**K827PH, K847PH**

Vishay Semiconductors Optocoupler, Phototransistor Output



<b>ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS</b> <sup>(1)</sup> ( $T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , unless otherwise specified)				
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	VALUE	UNIT
<b>COUPLER</b>				
AC isolation test voltage (RMS)	$t = 1\text{ min}$	$V_{ISO}$	5000	$V_{RMS}$
Total power dissipation		$P_{tot}$	250	mW
Operating ambient temperature range		$T_{amb}$	- 40 to + 100	$^{\circ}\text{C}$
Storage temperature range		$T_{stg}$	- 55 to + 125	$^{\circ}\text{C}$
Soldering temperature <sup>(2)</sup>	2 mm from case, $t \leq 10\text{ s}$	$T_{sht}$	260	$^{\circ}\text{C}$

**Notes**

<sup>(1)</sup> Stresses in excess of the absolute maximum ratings can cause permanent damage to the device. Functional operation of the device is not implied at these or any other conditions in excess of those given in the operational sections of this document. Exposure to absolute maximum ratings for extended periods of the time can adversely affect reliability.

<sup>(2)</sup> Refer to wave profile for soldering conditions for through hole devices.

<b>ELECTRICAL CHARACTERISTICS</b> <sup>(1)</sup> ( $T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , unless otherwise specified)						
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
<b>INPUT</b>						
Forward voltage	$I_F = 50\text{ mA}$	$V_F$		1.25	1.6	V
Junction capacitance	$V_R = 0\text{ V}$ , $f = 1\text{ MHz}$	$C_j$		50		pF
<b>OUTPUT</b>						
Collector emitter voltage	$I_C = 100\text{ }\mu\text{A}$	$V_{CEO}$	70			V
Emitter collector voltage	$I_E = 100\text{ }\mu\text{A}$	$V_{ECO}$	7			V
Collector dark current	$V_{CE} = 20\text{ V}$ , $I_F = 0$ , $E = 0$	$I_{CEO}$			100	nA
<b>COUPLER</b>						
Collector emitter saturation voltage	$I_F = 10\text{ mA}$ , $I_C = 1\text{ mA}$	$V_{CEsat}$			0.3	V
Out-off frequency	$I_F = 10\text{ mA}$ , $V_{CE} = 5\text{ V}$ , $R_L = 100\text{ }\Omega$	$f_c$		100		kHz
Coupling capacitance	$f = 1\text{ MHz}$	$C_k$		0.3		pF

**Note**

<sup>(1)</sup> Minimum and maximum values are testing requirements. Typical values are characteristics of the device and are the result of engineering evaluation. Typical values are for information only and are not part of the testing requirements.

<b>CURRENT TRANSFER RATIO</b>							
PARAMETER	TEST CONDITION	PART	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
$I_C/I_F$	$V_{CE} = 5\text{ V}$ , $I_F = 5\text{ mA}$	K827PH	CTR	50		600	%
		K847PH	CTR	50		600	%

SWITCHING CHARACTERISTICS						
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Delay time	$V_S = 5\text{ V}$ , $I_C = 2\text{ mA}$ , $R_L = 100\ \Omega$ (see figure 1)	$t_d$		3		$\mu\text{s}$
Rise time	$V_S = 5\text{ V}$ , $I_C = 2\text{ mA}$ , $R_L = 100\ \Omega$ (see figure 1)	$t_r$		3		$\mu\text{s}$
Fall time	$V_S = 5\text{ V}$ , $I_C = 2\text{ mA}$ , $R_L = 100\ \Omega$ (see figure 1)	$t_f$		4.7		$\mu\text{s}$
Storage time	$V_S = 5\text{ V}$ , $I_C = 2\text{ mA}$ , $R_L = 100\ \Omega$ (see figure 1)	$t_s$		0.3		$\mu\text{s}$
Turn-on time	$V_S = 5\text{ V}$ , $I_C = 2\text{ mA}$ , $R_L = 100\ \Omega$ (see figure 1)	$t_{on}$		6		$\mu\text{s}$
Turn-off time	$V_S = 5\text{ V}$ , $I_C = 2\text{ mA}$ , $R_L = 100\ \Omega$ (see figure 1)	$t_{off}$		5		$\mu\text{s}$
Turn-on time	$V_S = 5\text{ V}$ , $I_F = 10\text{ mA}$ , $R_L = 1\text{ k}\Omega$ (see figure 2)	$t_{on}$		9		$\mu\text{s}$
Turn-off time	$V_S = 5\text{ V}$ , $I_F = 10\text{ mA}$ , $R_L = 1\text{ k}\Omega$ (see figure 2)	$t_{off}$		18		$\mu\text{s}$

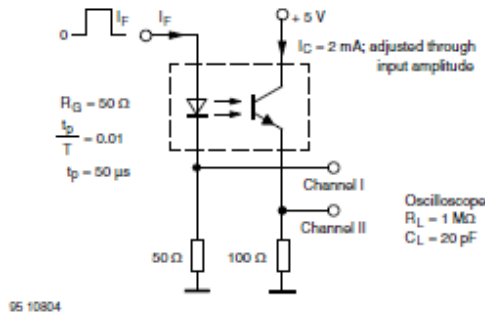


Fig. 1 - Test Circuit, Non-Saturated Operation

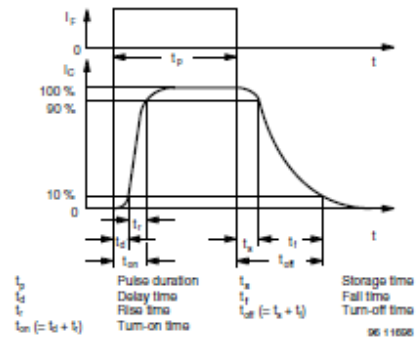


Fig. 3 - Switching Times

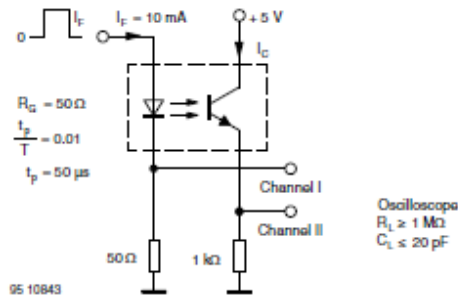


Fig. 2 - Test Circuit, Saturated Operation



# K827PH, K847PH

Vishay Semiconductors Optocoupler, Phototransistor Output



## TYPICAL CHARACTERISTICS ( $T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , unless otherwise specified)

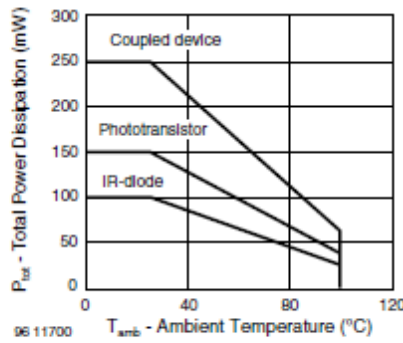


Fig. 4 - Total Power Dissipation vs. Ambient Temperature

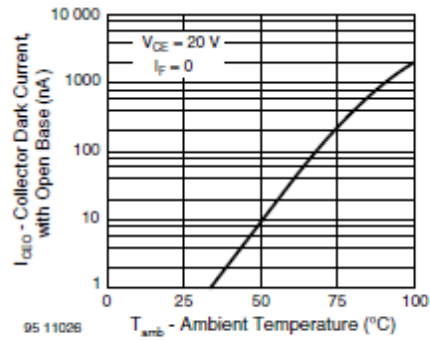


Fig. 7 - Collector Dark Current vs. Ambient Temperature

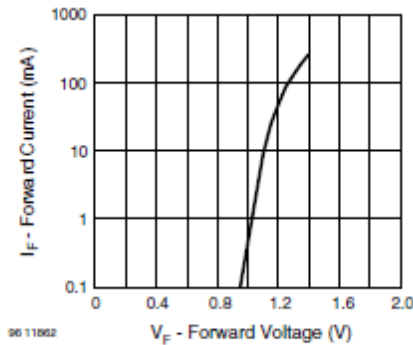


Fig. 5 - Forward Current vs. Forward Voltage

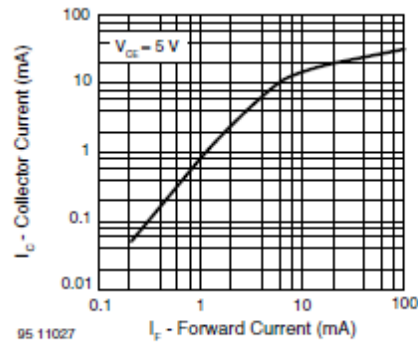


Fig. 8 - Collector Current vs. Forward Current

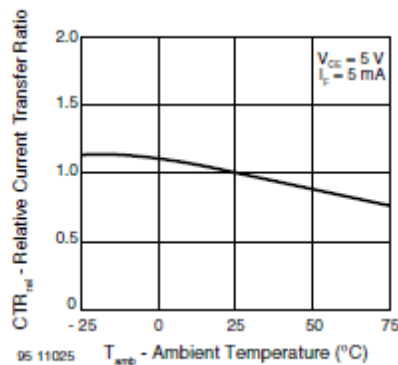


Fig. 6 - Relative Current Transfer Ratio vs. Ambient Temperature

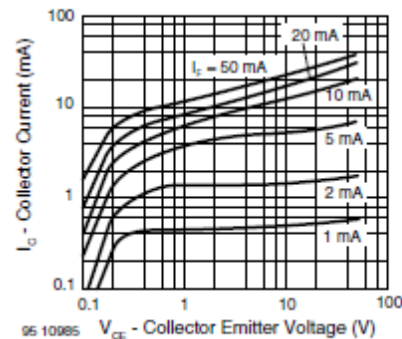


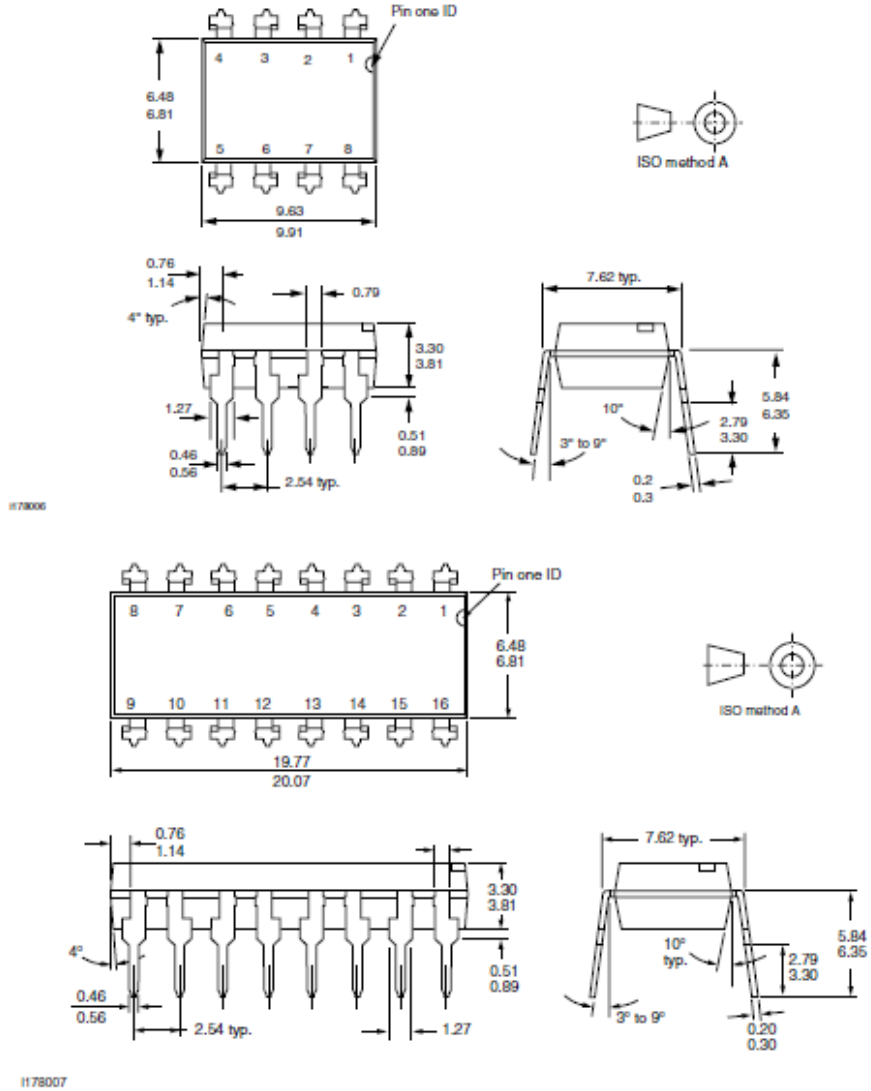
Fig. 9 - Collector Current vs. Collector Emitter Voltage

# K827PH, K847PH

Vishay Semiconductors Optocoupler, Phototransistor Output



## PACKAGE DIMENSIONS in millimeters



## PACKAGE MARKING





Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES



## 13.5 - Datasheet Everlight EL827



### 8 PIN DIP PHOTOTRANSISTOR PHOTOCOUPLER

EL827 Series

#### Features:

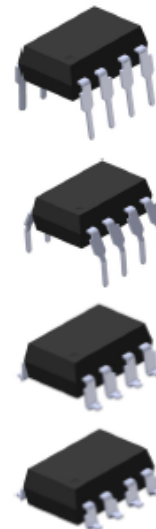
- Current transfer ratio (CTR: 50~600% at  $I_F = 5\text{mA}$ ,  $V_{CE} = 5\text{V}$ )
- High isolation voltage between input and output ( $V_{iso} = 5000\text{V rms}$ )
- Compact small outline package
- Pb free and RoHS compliant.
- UL approved (No. E214129)
- VDE approved (No. 132249)
- SEMKO approved
- NEMKO approved
- DEMKO approved
- FIMKO approved
- CSA approved
- CQC approved

#### Description

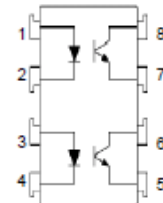
The EL827series devices each of consist of an infrared emitting diodes, optically coupled to a phototransistor detector. They are packaged in a 8-pin DIP package and available in wide-lead spacing and SMD option.

#### Applications

- Programmable controllers
- System appliances, measuring instruments
- Telecommunication equipments
- Home appliances, such as fan heaters, etc.
- Signal transmission between circuits of different potentials and impedances



#### Schematic



#### Pin Configuration

- 1, 3. Anode
- 2, 4. Cathode
- 5, 7. Emitter
- 6, 8. Collector



## 8 PIN DIP PHOTOTRANSISTOR PHOTOCOUPLER

EL827 Series

Absolute Maximum Ratings ( $T_a=25^\circ\text{C}$ )

Parameter		Symbol	Rating	Unit
Input	Forward current	$I_F$	60	mA
	Peak forward current (1 $\mu$ s, pulse)	$I_{FP}$	1	A
	Reverse voltage	$V_R$	6	V
	Power dissipation	$P_D$	100	mW
Output	Power dissipation	$P_C$	150	mW
	Collector current	$I_C$	50	mA
	Collector-Emitter voltage	$V_{CEO}$	80	V
	Emitter-Collector voltage	$V_{ECO}$	7	V
Total power dissipation		$P_{TOT}$	200	mW
Isolation voltage <sup>*1</sup>		$V_{ISO}$	5000	V rms
Operating temperature		$T_{OPR}$	-55 ~ +110	$^\circ\text{C}$
Storage temperature		$T_{STG}$	-55 ~ +125	$^\circ\text{C}$
Soldering temperature <sup>*2</sup>		$T_{SOL}$	260	$^\circ\text{C}$

**Notes**

\*1 AC for 1 minute, R.H.= 40 ~ 60% R.H. In this test, pins 1 & 2 are shorted together, and pins 3 & 4 are shorted together.

\*2 For 10 seconds.



## 8 PIN DIP PHOTOTRANSISTOR PHOTOCOUPLER

**EL827 Series**

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

### Input

Parameter	Symbol	Min.	Typ.*	Max.	Unit	Condition
Forward voltage	$V_F$	-	1.2	1.4	V	$I_F = 20\text{mA}$
Reverse current	$I_R$	-	-	10	$\mu\text{A}$	$V_R = 4\text{V}$
Input capacitance	$C_{in}$	-	30	250	pF	$V = 0, f = 1\text{kHz}$

### Output

Parameter	Symbol	Min.	Typ.*	Max.	Unit	Condition
Collector-Emitter dark current	$I_{CEO}$	-	-	100	nA	$V_{CE} = 20\text{V}, I_F = 0\text{mA}$
Collector-Emitter breakdown voltage	$BV_{CEO}$	80	-	-	V	$I_C = 0.1\text{mA}$
Emitter-Collector breakdown voltage	$BV_{ECO}$	7	-	-	V	$I_E = 0.1\text{mA}$

Transfer Characteristics ( $T_a=25^\circ\text{C}$  unless specified otherwise)

Parameter	Symbol	Min.	Typ.*	Max.	Unit	Condition
Current Transfer ratio	CTR	50	-	600	%	$I_F = 5\text{mA}, V_{CE} = 5\text{V}$
Collector-Emitter saturation voltage	$V_{CE(sat)}$	-	0.1	0.2	V	$I_F = 20\text{mA}, I_C = 1\text{mA}$
Isolation resistance	$R_{IO}$	$5 \times 10^{10}$	-	-	$\Omega$	$V_{IO} = 500\text{Vdc}, 40\sim 60\% \text{ R.H.}$
Floating capacitance	$C_{IO}$	-	0.6	1.0	pF	$V_{IO} = 0, f = 1\text{MHz}$
Cut-off frequency	$f_c$	-	80	-	kHz	$V_{CE} = 5\text{V}, I_C = 2\text{mA}$ $R_L = 100\Omega, -3\text{dB}$
Rise time	$t_r$	-	3	18	$\mu\text{s}$	$V_{CE} = 2\text{V}, I_C = 2\text{mA},$ $R_L = 100\Omega$
Fall time	$t_f$	-	4	18	$\mu\text{s}$	

\* Typical values at  $T_a = 25^\circ\text{C}$



# 8 PIN DIP PHOTOTRANSISTOR PHOTOCOUPLER

## EL827 Series

Figure 7. Collector Dark Current vs Ambient Temperature

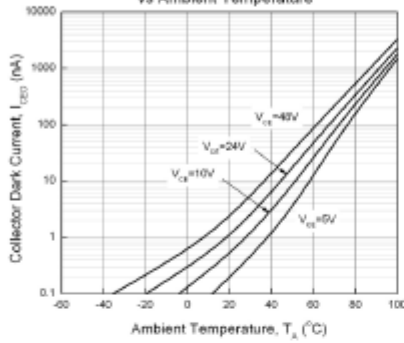


Figure 8. Switching Time vs Load Resistance

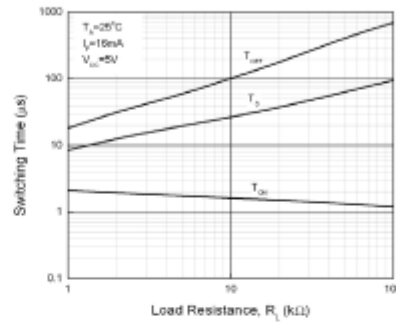


Figure 9. Collector-Emitter Saturation Voltage vs Ambient Temperature

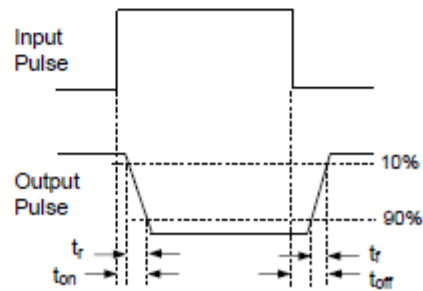
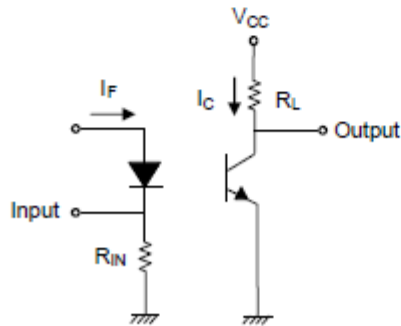
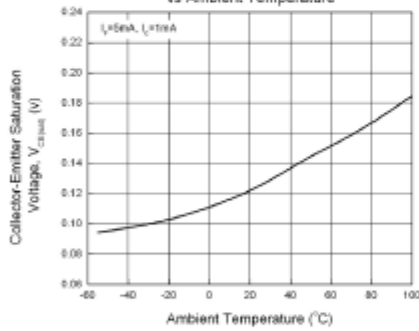


Figure 10. Switching Time Test Circuit & Waveforms



## 8 PIN DIP PHOTOTRANSISTOR PHOTOCOUPLER

**EL827 Series**

### Order Information

Part Number

**EL827X(Z)-V**

### Note

- X = Lead form option (S, S1, M or none)
- Z = Tape and reel option (TA, TB or none)
- V = VDE safety (optional)

Option	Description	Packing quantity
None	Standard DIP-8	45 units per tube
M	Wide lead bend (0.4 inch spacing)	45 units per tube
S (TA)	Surface mount lead form + TA tape & reel option	1000 units per reel
S (TB)	Surface mount lead form + TB tape & reel option	1000 units per reel
S1 (TA)	Surface mount lead form (low profile) + TA tape & reel option	1000 units per reel
S1 (TB)	Surface mount lead form (low profile) + TB tape & reel option	1000 units per reel



LIGHTING FOREVER

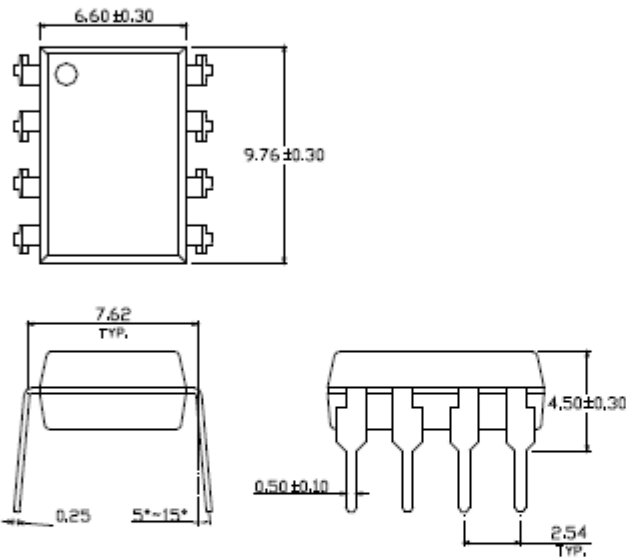
## 8 PIN DIP PHOTOTRANSISTOR PHOTOCOUPLER

EL827 Series

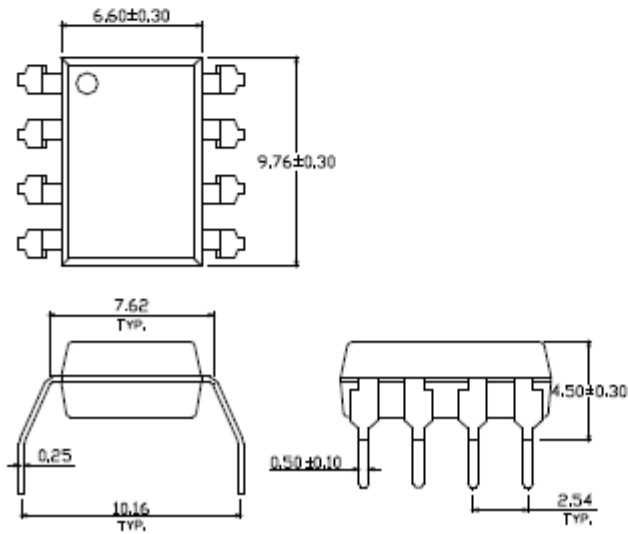
### Package Drawing

(Dimensions in mm)

#### Standard DIP Type



#### Option M Type

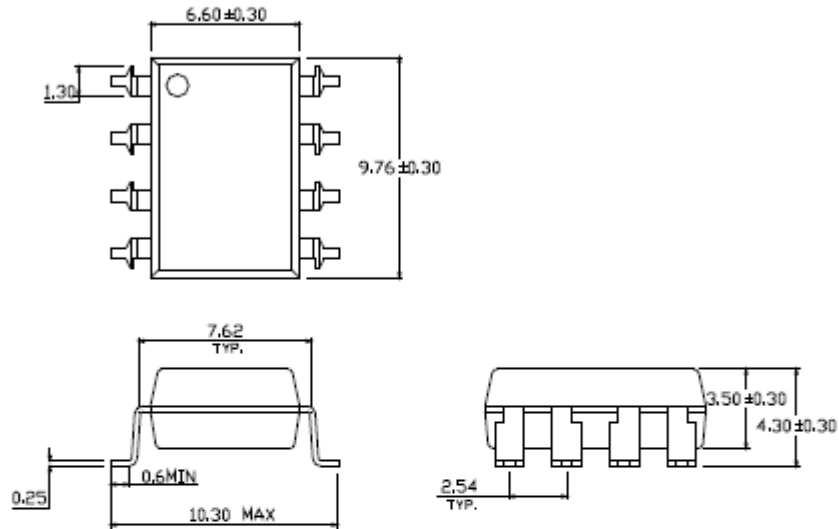




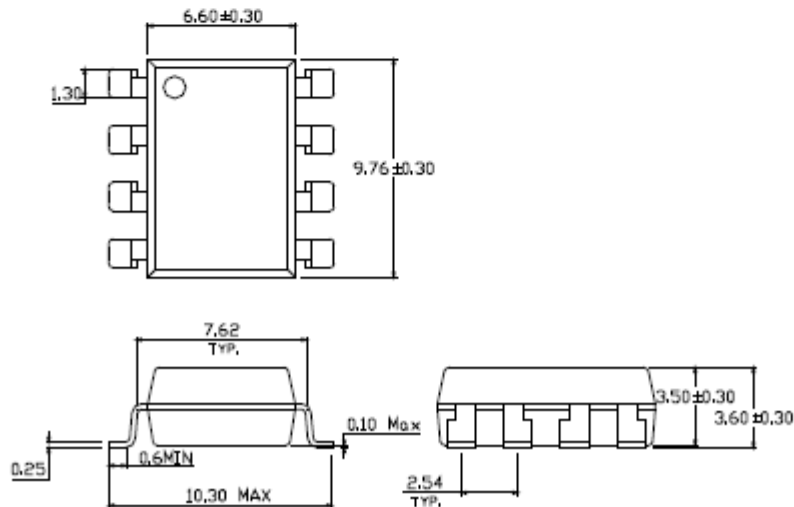
## 8 PIN DIP PHOTOTRANSISTOR PHOTOCOUPLER

EL827 Series

### Option S Type



### Option S1 Type

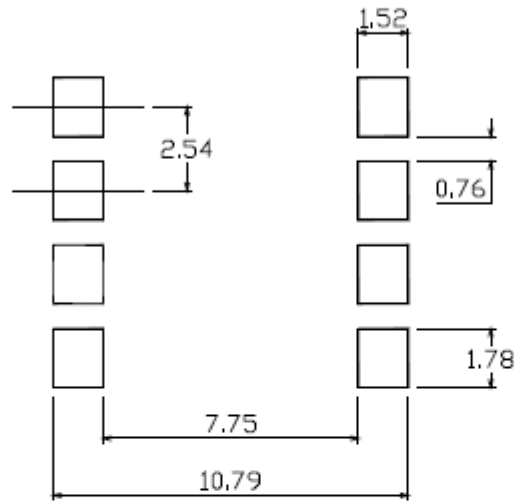




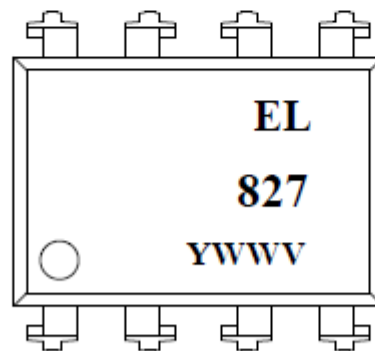
# 8 PIN DIP PHOTOTRANSISTOR PHOTOCOUPLER

## EL827 Series

Recommended pad layout for surface mount leadform



Device Marking



Notes

- EL827 denotes Device Number
- Y denotes 1 digit Year code
- WW denotes 2 digit Week code
- V denotes VDE (optional)

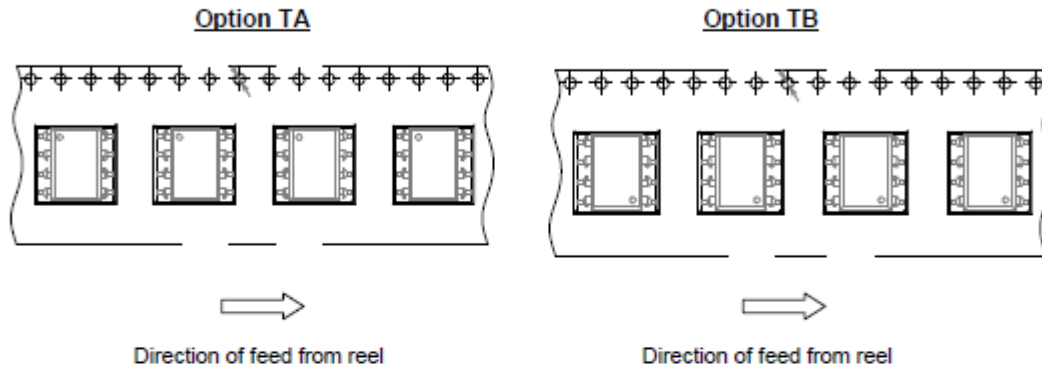




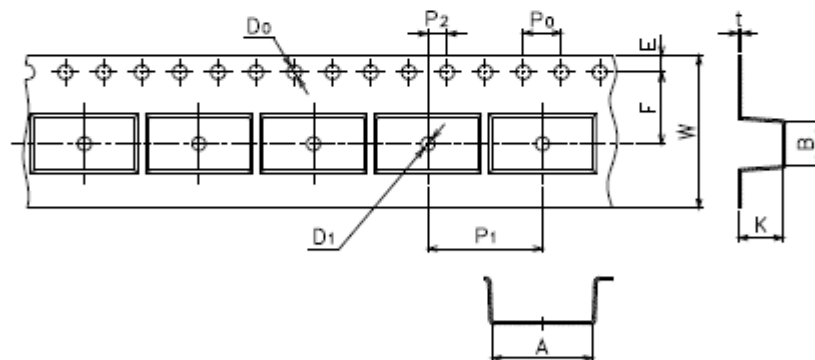
# 8 PIN DIP PHOTOTRANSISTOR PHOTOCOUPLER

## EL827 Series

### Tape & Reel Packing Specifications



### Tape dimensions



Dimension No.	A	B	Do	D1	E	F
Dimension(mm)	10.4±0.1	10.0±0.1	1.5±0.1	1.5±0.1	1.75±0.1	7.5±0.1
Dimension No.	Po	P1	P2	t	W	K
Dimension(mm)	4.0±0.1	12.0±0.1	2.0±0.1	0.4±0.1	16.0+0.3/ -0.1	4.5±0.1

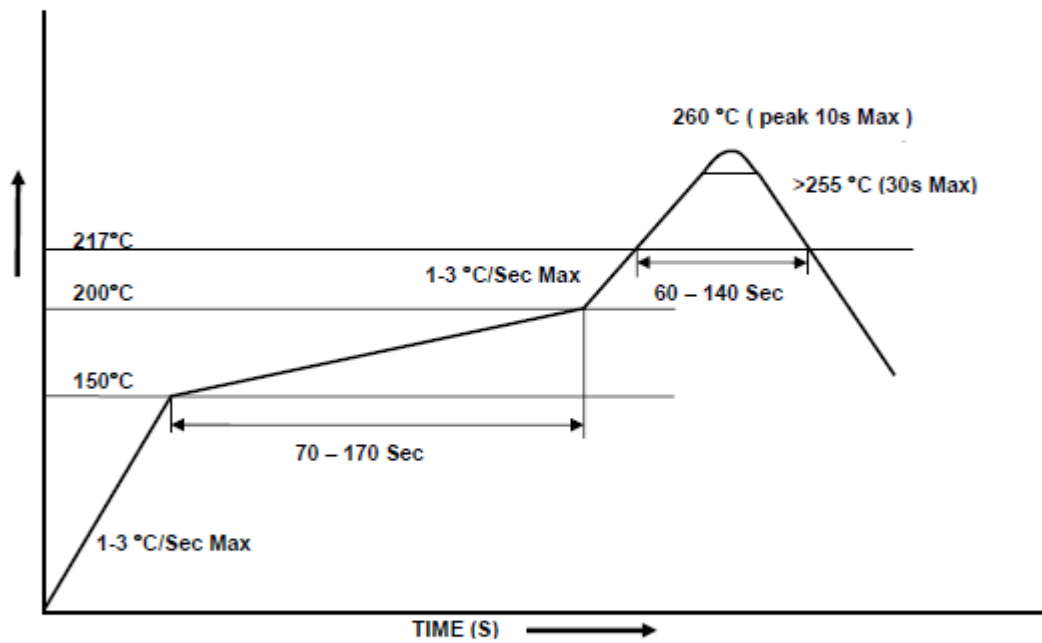


LIGHTING FOREVER

## 8 PIN DIP PHOTOTRANSISTOR PHOTOCOUPLER

EL827 Series

### Solder Reflow Temperature Profile



## 13.6 - Datasheet Vishay VO610A

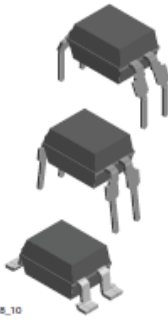


www.vishay.com

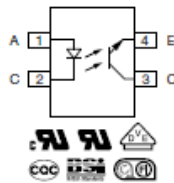
**VO610A**

Vishay Semiconductors

### Optocoupler, Low Input Current, Phototransistor Output



17918\_10



#### FEATURES

- Temperature range - 55 °C to + 110 °C
- Rated impulse voltage (transient overvoltage)  $V_{IOTM} = 6 \text{ kV}_{peak}$
- Isolation test voltage (partial discharge test voltage)  $V_{pd} = 1.6 \text{ kV}$
- Rated isolation voltage (RMS includes DC)  $V_{IOWM} = 600 \text{ V}_{RMS}$
- Rated recurring peak voltage (repetitive)  $V_{IORM} = 850 \text{ V}_{peak}$
- Thickness through insulation  $\geq 0.4 \text{ mm}$
- Material categorization: For definitions of compliance please see [www.vishay.com/doc?999912](http://www.vishay.com/doc?999912)



**RoHS**  
COMPLIANT

#### APPLICATIONS

Circuits for safe protective separation against electrical shock according to safety class II (reinforced isolation):

- for appl. class I - IV at mains voltage  $\leq 300 \text{ V}$
- for appl. class I - IV at mains voltage  $\leq 600 \text{ V}$  according to table 1 of IEC 60664-1, suitable for:
  - Switch-mode power supplies
  - Line receiver
  - Computer peripheral interface
  - Microprocessor system interface

#### DESCRIPTION

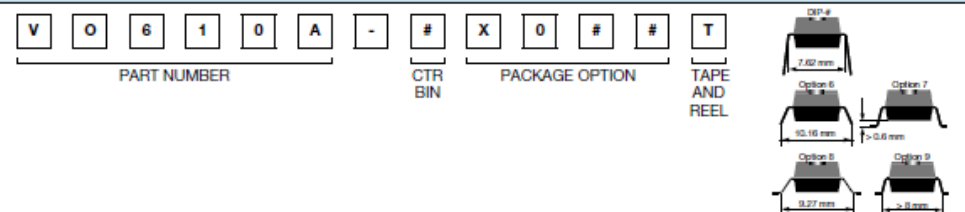
The VO610A consists of a phototransistor optically coupled to a gallium arsenide infrared-emitting diode in a 4 pin plastic dual inline package.

#### AGENCY APPROVALS

(All parts are certified under base model VO610A)

- BSI: EN 60065:2002, EN 60950:2000
- DIN EN 60747-5-5, available with option 1
- FIMKO EN 60065, EN 60335-1, EN 60950-1
- UL file no. E52744
- cUL tested to CSA 22.2 bulletin 5A
- CQC GB4943.1-2011, GB8898-2011

#### ORDERING INFORMATION



AGENCY CERTIFIED/PACKAGE	CTR (%)			
	40 to 80	63 to 125	100 to 200	160 to 320
<b>BSI, FIMKO, UL, cUL</b>				
DIP-4	VO610A-1	VO610A-2	VO610A-3	-
SMD-4, option 7	-	-	VO610A-3X007T	-
SMD-4, option 8	-	-	VO610A-3X008T	VO610A-4X008T
SMD-4, option 9	-	-	VO610A-3X009T	-
<b>VDE, BSI, FIMKO, UL, cUL</b>				
DIP-4	-	-	VO610A-3X001	-
DIP-4, 400 mil, option 6	-	-	VO610A-3X016	-
SMD-4, option 7	-	-	-	VO610A-4X017T
SMD-4, option 8	-	-	VO610A-3X018T	-
SMD-4, option 9	VO610A-1X019T	-	VO610A-3X019T	VO610A-4X019T

#### Note

- Additional options may be possible, please contact sales office



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ( $T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , unless otherwise specified)				
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	VALUE	UNIT
<b>INPUT</b>				
Reverse voltage		$V_R$	6	V
Forward current		$I_F$	60	mA
Forward surge current	$t_p \leq 10\text{ }\mu\text{s}$	$I_{FSM}$	1.5	A
LED power dissipation	at $25\text{ }^{\circ}\text{C}$	$P_{diss}$	100	mW
<b>OUTPUT</b>				
Collector emitter voltage		$V_{CEO}$	70	V
Emitter collector voltage		$V_{ECO}$	7	V
Collector current		$I_C$	50	mA
Collector peak current	$t_p/T = 0.5, t_p \leq 10\text{ ms}$	$I_{CM}$	100	mA
Output power dissipation	at $25\text{ }^{\circ}\text{C}$	$P_{diss}$	150	mW
<b>COUPLER</b>				
Isolation test voltage (RMS)	$t = 1\text{ min}$	$V_{ISO}$	5000	$V_{RMS}$
Operating ambient temperature range		$T_{amb}$	-55 to +110	$^{\circ}\text{C}$
Storage temperature range		$T_{stg}$	-55 to +125	$^{\circ}\text{C}$
Soldering temperature <sup>(1)</sup>	2 mm from case, $\leq 10\text{ s}$	$T_{sld}$	260	$^{\circ}\text{C}$

**Notes**

- Stresses in excess of the absolute maximum ratings can cause permanent damage to the device. Functional operation of the device is not implied at these or any other conditions in excess of those given in the operational sections of this document. Exposure to absolute maximum ratings for extended periods of the time can adversely affect reliability.

<sup>(1)</sup> Refer to reflow profile for soldering conditions for surface mounted parts (SMD), and wave profile for soldering conditions for through hole parts (DIP), please go to "Assembly Instructions" ([www.vishay.com/doc780054](http://www.vishay.com/doc780054)).

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ( $T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , unless otherwise specified)						
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
<b>INPUT</b>						
Forward voltage	$I_F = 50\text{ mA}$	$V_F$		1.25	1.6	V
Reverse current	$V_R = 6\text{ V}$	$I_R$			100	$\mu\text{A}$
Junction capacitance	$V_R = 0, f = 1\text{ MHz}$	$C_j$		50		pF
<b>OUTPUT</b>						
Collector emitter voltage	$I_C = 1\text{ mA}$	$V_{CEO}$	70			V
Emitter collector voltage	$I_E = 100\text{ }\mu\text{A}$	$V_{ECO}$	7			V
Collector emitter cut-off current	$V_{CE} = 20\text{ V}, I_F = 0\text{ A}$	$I_{CEO}$		10	100	nA
<b>COUPLER</b>						
Collector emitter saturation voltage	$I_F = 10\text{ mA}, I_C = 1\text{ mA}$	$V_{CESat}$			0.3	V
Cut-off frequency	$V_{CE} = 5\text{ V}, I_F = 10\text{ mA}, R_L = 100\text{ }\Omega$	$f_c$		110		kHz
Coupling capacitance	$f = 1\text{ MHz}$	$C_k$		0.6		pF

**Note**

- Minimum and maximum values are testing requirements. Typical values are characteristics of the device and are the result of engineering evaluation. Typical values are for information only and are not part of the testing requirements.

CURRENT TRANSFER RATIO ( $T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , unless otherwise specified)							
PARAMETER	TEST CONDITION	PART	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
$I_c/I_f$	$V_{CE} = 5\text{ V}, I_f = 1\text{ mA}$	VO610A-1	CTR	13	30		%
		VO610A-2	CTR	22	45		%
		VO610A-3	CTR	34	70		%
		VO610A-4	CTR	56	90		%
	$V_{CE} = 5\text{ V}, I_f = 10\text{ mA}$	VO610A-1	CTR	40		80	%
		VO610A-2	CTR	63		125	%
		VO610A-3	CTR	100		200	%
		VO610A-4	CTR	160		320	%

SAFETY AND INSULATION RATED PARAMETERS						
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Partial discharge test voltage - routine test	100 %, $t_{test} = 1\text{ s}$	$V_{pd}$	1.6			kV
Partial discharge test voltage - lot test (sample test)	$t_{Tr} = 60\text{ s}, t_{test} = 10\text{ s}$ , (see figure 2)	$V_{pd}$	1.3			kV
Insulation resistance	$V_{IO} = 500\text{ V}$	$R_{IO}$	$10^{12}$			$\Omega$
	$V_{IO} = 500\text{ V}, T_{amb} = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$	$R_{IO}$	$10^{11}$			$\Omega$
	$V_{IO} = 500\text{ V}, T_{amb} = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$ (construction test only)	$R_{IO}$	$10^9$			$\Omega$
Rated impulse voltage		$V_{IOTM}$			6	kV
Max. working voltages	Recurring peak voltage	$V_{ICORM}$	850			$V_{peak}$
Forward current		$I_{SI}$			130	mA
Power dissipation		$P_{SO}$			265	mW
Safety temperature		$T_{st}$			150	$^{\circ}\text{C}$
Creepage distance			7.6			mm

**Note**

- According to DIN EN 60747-5-5 (VDE 0884), § 7.4.3.8.2 (see figure 2). This optocoupler is suitable for safe electrical isolation only within the safety ratings. Compliance with the safety ratings shall be ensured by means of suitable protective circuits.

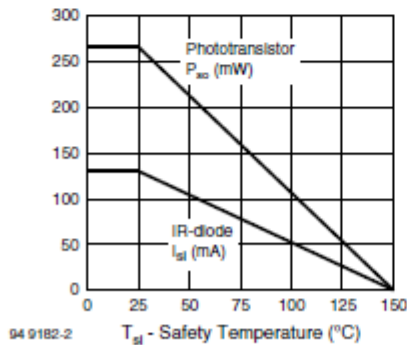


Fig. 1 - Derating Diagram

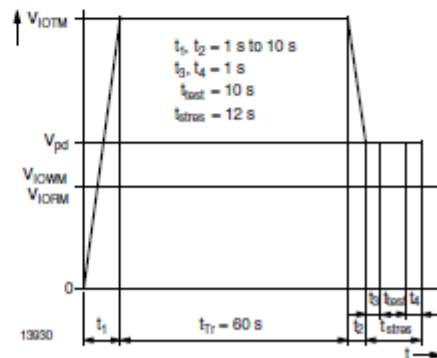


Fig. 2 - Test Pulse Diagram for Sample Test according to DIN EN 60747-5-5 (VDE0884), IEC 60747

SWITCHING CHARACTERISTICS (T <sub>amb</sub> = 25 °C, unless otherwise specified)						
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Delay time	V <sub>S</sub> = 5 V, I <sub>C</sub> = 2 mA, R <sub>L</sub> = 100 Ω, (see figure 3)	t <sub>d</sub>		3		μs
Rise time	V <sub>S</sub> = 5 V, I <sub>C</sub> = 2 mA, R <sub>L</sub> = 100 Ω, (see figure 3)	t <sub>r</sub>		3		μs
Fall time	V <sub>S</sub> = 5 V, I <sub>C</sub> = 2 mA, R <sub>L</sub> = 100 Ω, (see figure 3)	t <sub>f</sub>		4.7		μs
Storage time	V <sub>S</sub> = 5 V, I <sub>C</sub> = 2 mA, R <sub>L</sub> = 100 Ω, (see figure 3)	t <sub>s</sub>		0.3		μs
Turn-on time	V <sub>S</sub> = 5 V, I <sub>C</sub> = 2 mA, R <sub>L</sub> = 100 Ω, (see figure 3)	t <sub>on</sub>		6		μs
Turn-off time	V <sub>S</sub> = 5 V, I <sub>C</sub> = 2 mA, R <sub>L</sub> = 100 Ω, (see figure 3)	t <sub>off</sub>		5		μs
Turn-on time	V <sub>S</sub> = 5 V, I <sub>F</sub> = 10 mA, R <sub>L</sub> = 1 kΩ, (see figure 4)	t <sub>on</sub>		9		μs
Turn-off time	V <sub>S</sub> = 5 V, I <sub>F</sub> = 10 mA, R <sub>L</sub> = 1 kΩ, (see figure 4)	t <sub>off</sub>		10		μs

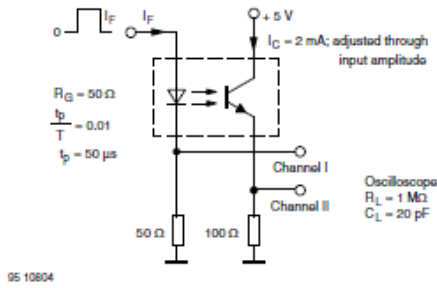


Fig. 3 - Test Circuit, Non-Saturated Operation

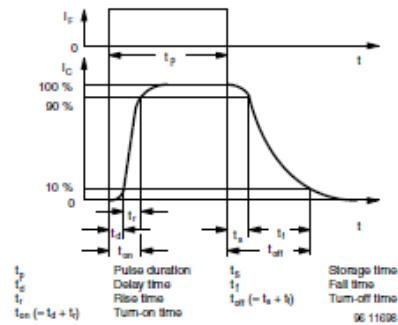


Fig. 5 - Switching Times

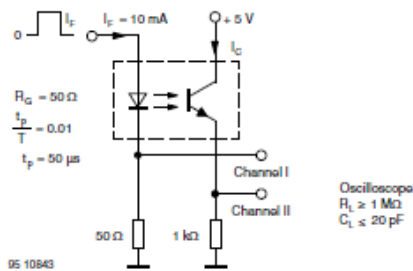


Fig. 4 - Test Circuit, Saturated Operation

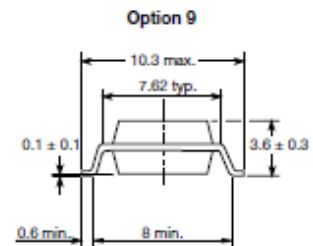
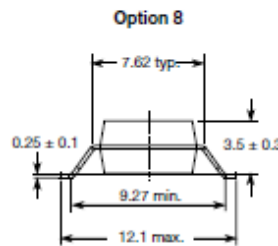
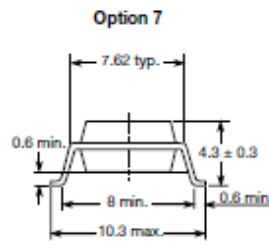
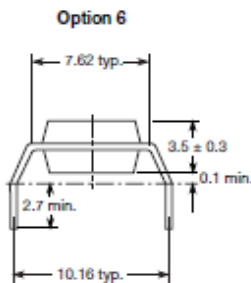
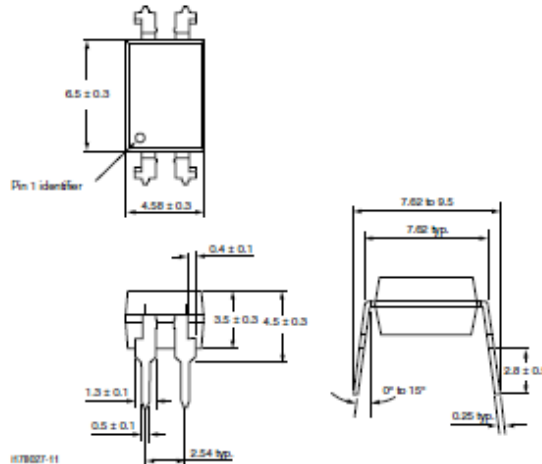


www.vishay.com

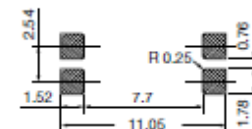
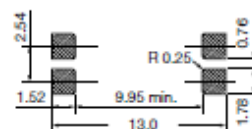
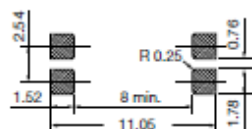
VO610A

Vishay Semiconductors

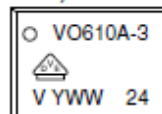
**PACKAGE DIMENSIONS** in millimeters



20802-38



**PACKAGE MARKING** (Example of VO617A-3X018T)



**Note**

- Only options 1, 7, and 8 are reflected in the package marking.
- The VDE logo is only printed on option 1 parts.
- Tape and reel suffix (T) is not part of the package marking.

**PACKING INFORMATION**

DEVICE PER TUBE			
TYPE	UNITS/TUBE	TUBES/BOX	UNITS/BOX
DIP-4, standard and option 6	100	40	4000

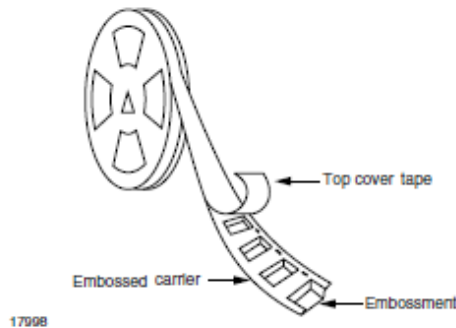


Fig. 6 - Tape and Reel Shipping Medium

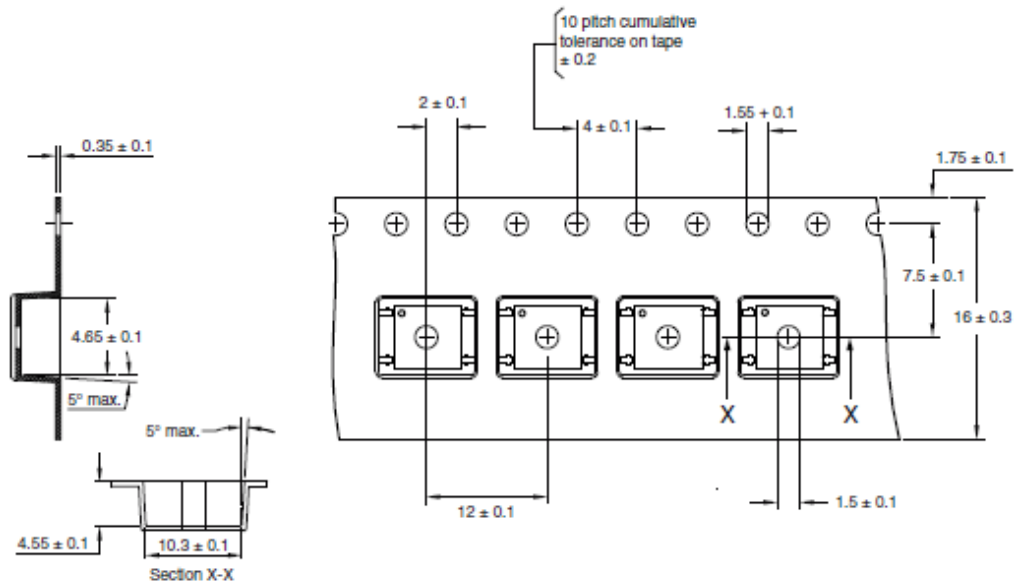


Fig. 7 - Tape and Reel Packing for Option 7 and Option 9 (1000 units per reel)



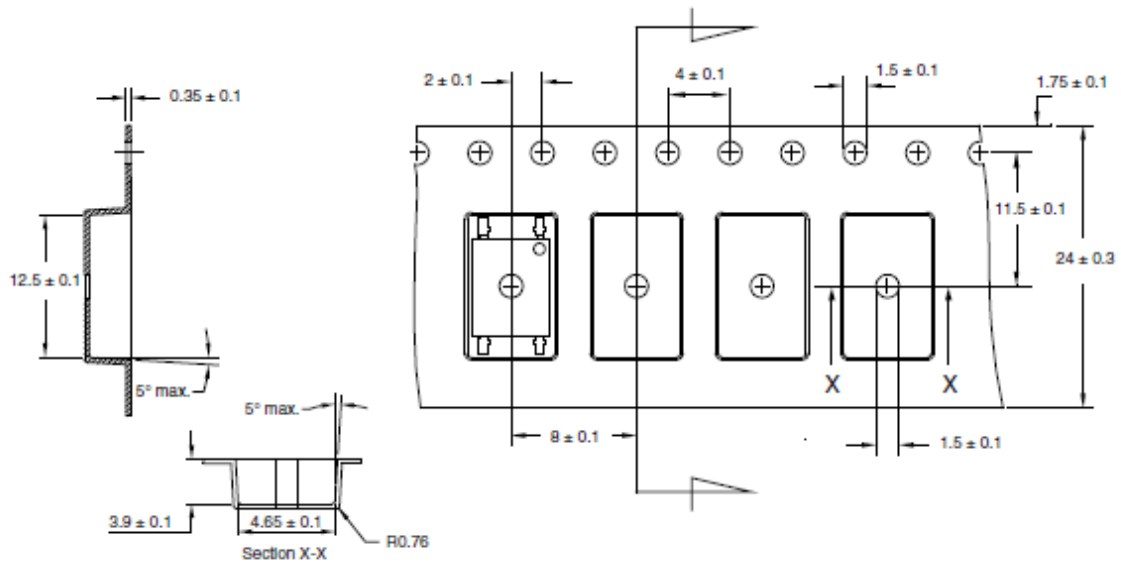


Fig. 8 - Tape and Reel Packing for Option 8  
(2000 units per reel)




Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES

## 13.7- Datasheet Lm117


July 2004

### 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.

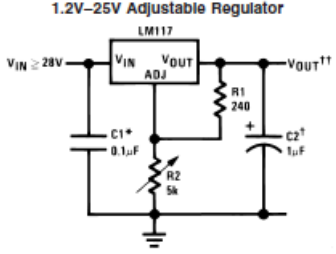
For applications requiring greater output current, see LM150 series (3A) and LM138 series (5A) data sheets. For the negative complement, see LM137 series data sheet.

**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



00000201

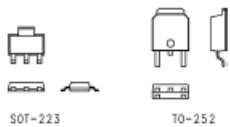
Full output current not available at high input-output voltages  
 \*Needed if device is more than 6 inches from filter capacitors.  
 †Optional—improves transient response. Output capacitors in the range of 1µF to 1000µF of aluminum or tantalum electrolytic are commonly used to provide improved output impedance and rejection of transients.

$$\dagger V_{OUT} = 1.25V \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + I_{ADJ}(R_2)$$

**LM117 Series Packages**

Part Number Suffix	Package	Design Load Current
K	TO-3	1.5A
H	TO-39	0.5A
T	TO-220	1.5A
E	LCC	0.5A
S	TO-263	1.5A
EMP	SOT-223	1A
MDT	TO-252	0.5A

**SOT-223 vs. D-Pak (TO-252) Packages**

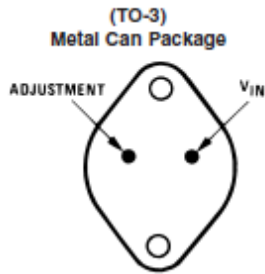


Scale 1:1

LM117/LM317A/LM317 3-Terminal Adjustable Regulator

LM117/LM317A/LM317

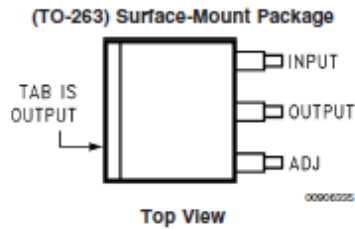
### Connection Diagrams



CASE IS OUTPUT

00000220

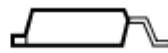
Bottom View  
Steel Package  
NS Package Number K02A or K02C



TAB IS OUTPUT

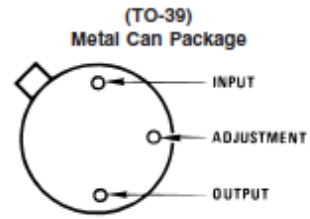
00000225

Top View



00000226

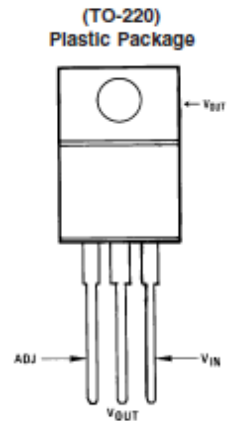
Side View  
NS Package Number TS3B



CASE IS OUTPUT

00000231

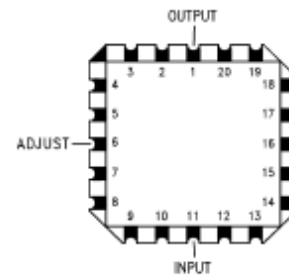
Bottom View  
NS Package Number H03A



00000232

Front View  
NS Package Number T03B

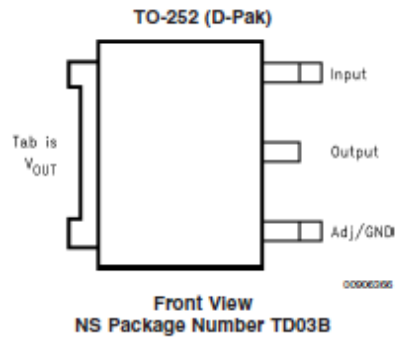
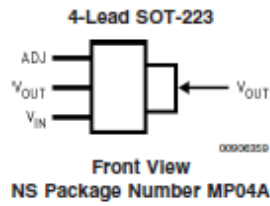
Ceramic Leadless  
Chip Carrier



00000234

Top View  
NS Package Number E20A

### Connection Diagrams (Continued)



### Ordering Information

Package	Temperature Range	Part Number	Package Marking	Transport Media	NSC Drawing
Metal Can (TO-3)	$-55^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq +150^{\circ}\text{C}$	LM117K STEEL	LM117K STEEL P+	50 Per Bag	K02A
	$0^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq +125^{\circ}\text{C}$	LM317K STEEL	LM317K STEEL P+	50 Per Bag	
	$-55^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq +150^{\circ}\text{C}$	LM117K/883	LM117K/883	50 Per Bag	K02C
Metal Can (TO-39)	$-55^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq +150^{\circ}\text{C}$	LM117H	LM117H P+	500 Per Box	H03A
	$-55^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq +150^{\circ}\text{C}$	LM117H/883	LM117H/883	20 Per Tray	
	$-40^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq +125^{\circ}\text{C}$	LM317AH	LM317AH P+	500 Per Box	
	$0^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq +125^{\circ}\text{C}$	LM317H	LM317H P+	500 Per Box	
TO-220 3- Lead	$-40^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq +125^{\circ}\text{C}$	LM317AT	LM317AT P+	45 Units/Rail	T03B
	$0^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq +125^{\circ}\text{C}$	LM317T	LM317T P+	45 Units/Rail	
TO-263 3- Lead	$0^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq +125^{\circ}\text{C}$	LM317S	LM317S P+	45 Units/Rail	TS3B
		LM317SX		500 Units Tape and Reel	
LCC	$-55^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq +150^{\circ}\text{C}$	LM117E/883	LM117E/883	50 Units/Rail	E20A
SOT-223 4- Lead	$0^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq +125^{\circ}\text{C}$	LM317EMP	N01A	1k Units Tape and Reel	MP04A
		LM317EMPX		2k Units Tape and Reel	
	$-40^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq +125^{\circ}\text{C}$	LM317AEMP	N07A	1k Units Tape and Reel	
		LM317AEMPX		2k Units Tape and Reel	
D- Pack 3- Lead	$0^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq +125^{\circ}\text{C}$	LM317MDT	LM317MDT	75 Units/Rail	TD03B
		LM317MDTX		2.5k Units Tape and Reel	
	$-40^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq +125^{\circ}\text{C}$	LM317AMDT	LM317AMDT	75 Units/Rail	
		LM317AMDTX		2.5k Units Tape and Reel	



LM117/LM317A/LM317

### Absolute Maximum Ratings (Note 1)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

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 <sub>J</sub> ≤ +150°C
LM317A	-40°C ≤ T <sub>J</sub> ≤ +125°C
LM317	0°C ≤ T <sub>J</sub> ≤ +125°C

### Preconditioning

Thermal Limit Burn-In All Devices 100%

### Electrical Characteristics (Note 3)

Specifications with standard type face are for T<sub>J</sub> = 25°C, and those with **boldface type** apply over full Operating Temperature Range. Unless otherwise specified, V<sub>IN</sub> - V<sub>OUT</sub> = 5V, and I<sub>OUT</sub> = 10 mA.

Parameter	Conditions	LM117 (Note 2)			Units	
		Min	Typ	Max		
Reference Voltage					V	
	3V ≤ (V <sub>IN</sub> - V <sub>OUT</sub> ) ≤ 40V, 10 mA ≤ I <sub>OUT</sub> ≤ I <sub>MAX</sub> , P ≤ P <sub>MAX</sub>	<b>1.20</b>	<b>1.25</b>	<b>1.30</b>	V	
Line Regulation	3V ≤ (V <sub>IN</sub> - V <sub>OUT</sub> ) ≤ 40V (Note 4)		0.01	0.02	%/V	
			<b>0.02</b>	<b>0.05</b>	%/V	
Load Regulation	10 mA ≤ I <sub>OUT</sub> ≤ I <sub>MAX</sub> (Note 4)		0.1	0.3	%	
			<b>0.3</b>	<b>1</b>	%	
Thermal Regulation	20 ms Pulse		0.03	0.07	%/W	
Adjustment Pin Current			<b>50</b>	<b>100</b>	μA	
Adjustment Pin Current Change	10 mA ≤ I <sub>OUT</sub> ≤ I <sub>MAX</sub> 3V ≤ (V <sub>IN</sub> - V <sub>OUT</sub> ) ≤ 40V		<b>0.2</b>	<b>5</b>	μA	
Temperature Stability	T <sub>MIN</sub> ≤ T <sub>J</sub> ≤ T <sub>MAX</sub>		<b>1</b>		%	
Minimum Load Current	(V <sub>IN</sub> - V <sub>OUT</sub> ) = 40V		<b>3.5</b>	<b>5</b>	mA	
Current Limit	(V <sub>IN</sub> - V <sub>OUT</sub> ) ≤ 15V	K Package	<b>1.5</b>	<b>2.2</b>	<b>3.4</b>	A
		H Package	<b>0.5</b>	<b>0.8</b>	<b>1.8</b>	A
	(V <sub>IN</sub> - V <sub>OUT</sub> ) = 40V	K Package	0.3	0.4		A
		H Package	0.15	0.2		A
RMS Output Noise, % of V <sub>OUT</sub>	10 Hz ≤ f ≤ 10 kHz		0.003		%	
Ripple Rejection Ratio	V <sub>OUT</sub> = 10V, f = 120 Hz, C <sub>ADJ</sub> = 0 μF		<b>65</b>		dB	
	V <sub>OUT</sub> = 10V, f = 120 Hz, C <sub>ADJ</sub> = 10 μF	<b>66</b>	<b>80</b>		dB	
Long-Term Stability	T <sub>J</sub> = 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	



<b>Electrical Characteristics</b> (Note 3)									
Specifications with standard type face are for $T_J = 25^\circ\text{C}$ , and those with <b>boldface type</b> apply over full Operating Temperature Range. Unless otherwise specified, $V_{IN} - V_{OUT} = 5\text{V}$ , and $I_{OUT} = 10\text{ mA}$ .									
Parameter	Conditions	LM317A			LM317			Units	
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max		
Reference Voltage		1.238	1.250	1.262				V	
	$3\text{V} \leq (V_{IN} - V_{OUT}) \leq 40\text{V}$ , $10\text{ mA} \leq I_{OUT} \leq I_{MAX}$ , $P \leq P_{MAX}$	<b>1.225</b>	<b>1.250</b>	<b>1.270</b>	<b>1.20</b>	<b>1.25</b>	<b>1.30</b>	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	
			<b>0.01</b>	<b>0.02</b>		<b>0.02</b>	<b>0.07</b>	%/V	
Load Regulation	$10\text{ mA} \leq I_{OUT} \leq I_{MAX}$ (Note 4)		0.1	0.5		0.1	0.5	%	
			<b>0.3</b>	<b>1</b>		<b>0.3</b>	<b>1.5</b>	%	
Thermal Regulation	20 ms Pulse		0.04	0.07		0.04	0.07	%/W	
Adjustment Pin Current			<b>50</b>	<b>100</b>		<b>50</b>	<b>100</b>	$\mu\text{A}$	
Adjustment Pin Current Change	$10\text{ mA} \leq I_{OUT} \leq I_{MAX}$ $3\text{V} \leq (V_{IN} - V_{OUT}) \leq 40\text{V}$		<b>0.2</b>	<b>5</b>		<b>0.2</b>	<b>5</b>	$\mu\text{A}$	
Temperature Stability	$T_{MIN} \leq T_J \leq T_{MAX}$		<b>1</b>			<b>1</b>		%	
Minimum Load Current	$(V_{IN} - V_{OUT}) = 40\text{V}$		<b>3.5</b>	<b>10</b>		<b>3.5</b>	<b>10</b>	mA	
Current Limit	$(V_{IN} - V_{OUT}) \leq 15\text{V}$ K, T, S Packages		<b>1.5</b>	<b>2.2</b>	<b>3.4</b>	<b>1.5</b>	<b>2.2</b>	<b>3.4</b>	A
			<b>0.5</b>	<b>0.8</b>	<b>1.8</b>	<b>0.5</b>	<b>0.8</b>	<b>1.8</b>	A
			<b>1.5</b>	<b>2.2</b>	<b>3.4</b>	<b>1.5</b>	<b>2.2</b>	<b>3.4</b>	A
	$(V_{IN} - V_{OUT}) = 40\text{V}$ K, T, S Packages		0.15	0.4		0.15	0.4		A
			0.075	0.2		0.075	0.2		A
			0.15	0.4		0.15	0.4		A
RMS Output Noise, % of $V_{OUT}$	$10\text{ Hz} \leq f \leq 10\text{ kHz}$		0.003			0.003		%	
Ripple Rejection Ratio	$V_{OUT} = 10\text{V}$ , $f = 120\text{ Hz}$ , $C_{ADJ} = 0\text{ }\mu\text{F}$		<b>65</b>			<b>65</b>		dB	
	$V_{OUT} = 10\text{V}$ , $f = 120\text{ Hz}$ , $C_{ADJ} = 10\text{ }\mu\text{F}$		<b>66</b>	<b>80</b>		<b>66</b>	<b>80</b>	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	$^\circ\text{C/W}$	
	MDT Package					5		$^\circ\text{C/W}$	
	H Package		12	15		12	15	$^\circ\text{C/W}$	
	T Package		4	5		4		$^\circ\text{C/W}$	
	MP Package		23.5			23.5		$^\circ\text{C/W}$	
Thermal Resistance, Junction-to-Ambient (No Heat Sink)	K Package		35			35		$^\circ\text{C/W}$	
	MDT Package (Note 6)					92		$^\circ\text{C/W}$	
	H Package		140			140		$^\circ\text{C/W}$	
	T Package		50			50		$^\circ\text{C/W}$	
	S Package (Note 6)		50			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.

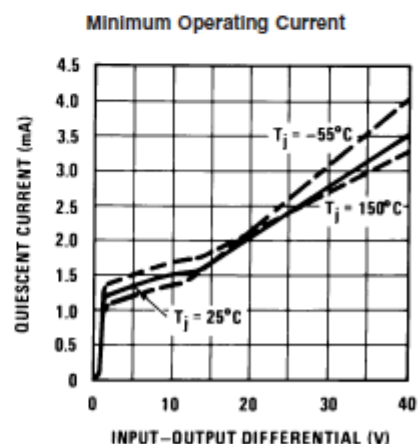
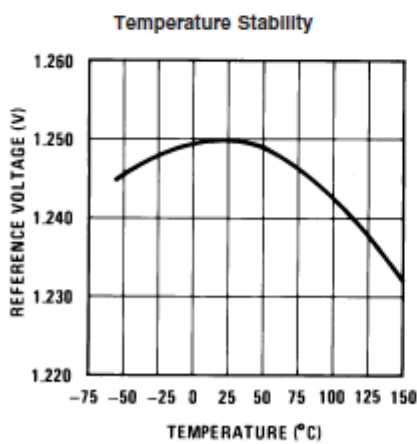
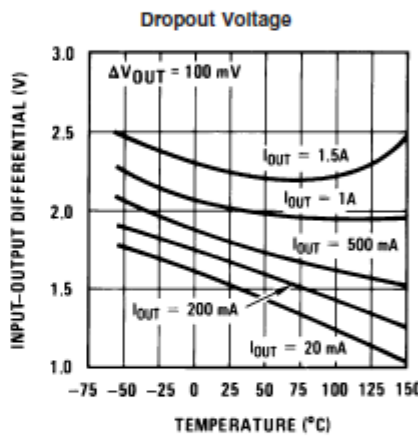
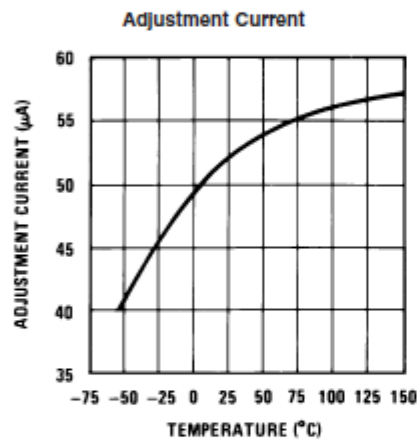
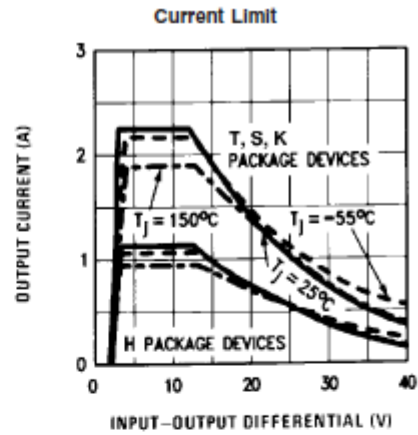
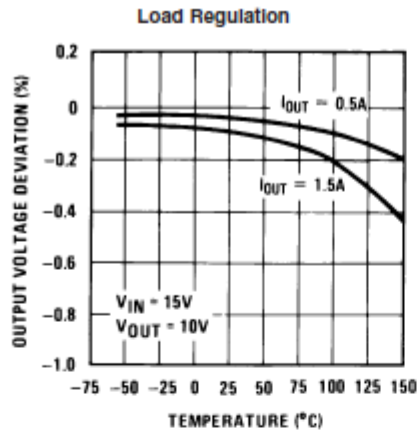
**Note 3:** Although power dissipation is internally limited, these specifications are applicable for maximum power dissipations of 2W for the TO-39 and SOT-223 and 20W for the TO-3, TO-220, and TO-263.  $I_{MAX}$  is 1.5A for the TO-3, TO-220, and TO-263 packages, 0.5A for the TO-39 package and 1A for the SOT-223 Package. All limits (i.e., the numbers in the Min. and Max. columns) are guaranteed to National's AOQL (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 $\Omega$  resistor.

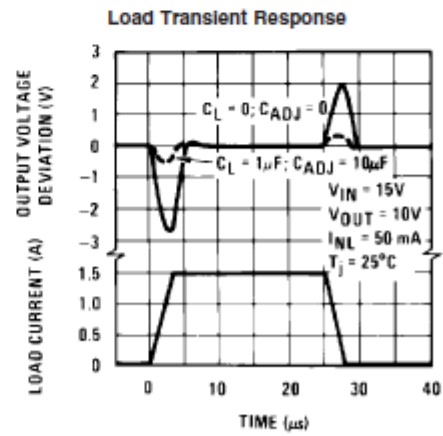
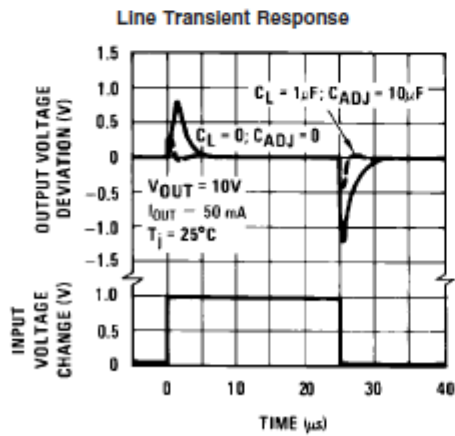
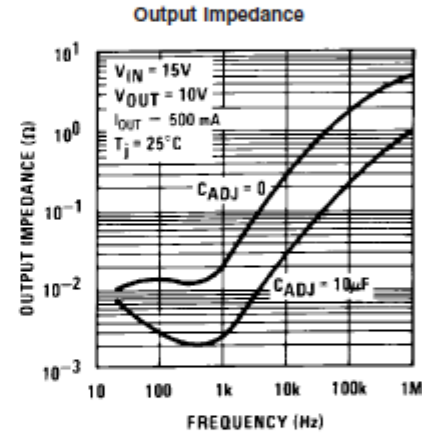
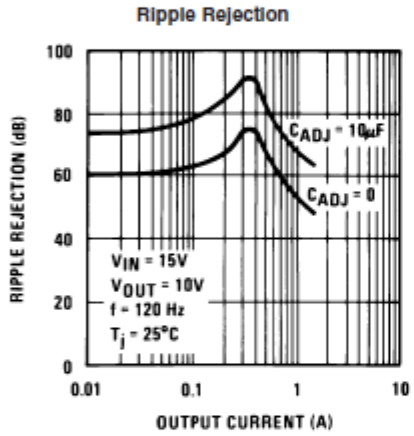
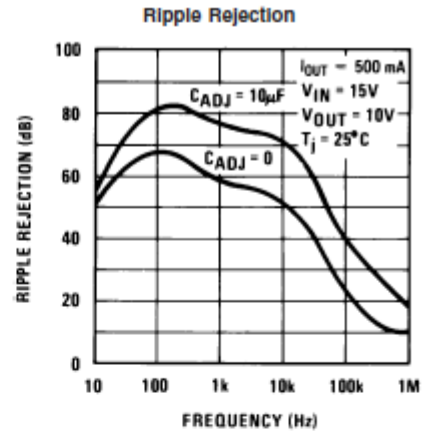
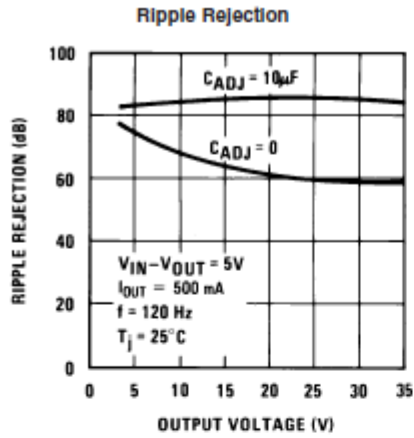
**Note 6:** If the TO-263 or TO-252 packages are used, the thermal resistance can be reduced by increasing the PC board copper area thermally connected to the package. Using 0.5 square inches of copper area,  $\theta_{JA}$  is 50 $^\circ\text{C/W}$ ; with 1 square inch of copper area,  $\theta_{JA}$  is 37 $^\circ\text{C/W}$ ; and with 1.6 or more square inches of copper area,  $\theta_{JA}$  is 32 $^\circ\text{C/W}$ . If the SOT-223 package is used, the thermal resistance can be reduced by increasing the PC board copper area (see applications hints for heatsinking).

**Typical Performance Characteristics** Output Capacitor = 0μF unless otherwise noted





**Typical Performance Characteristics** Output Capacitor = 0 $\mu$ F unless otherwise noted (Continued)



### 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  $R_1$  and, since the voltage is constant, a constant current  $I_1$  then flows through the output set resistor  $R_2$ , giving an output voltage of

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

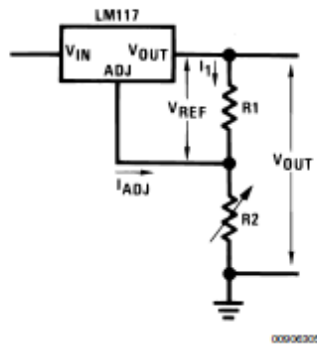


FIGURE 1.

Since the 100µA 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 0.1µF disc or 1µF 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 10µF bypass capacitor 80dB ripple rejection is obtainable at any output level. Increases over 10µF do not appreciably improve the ripple rejection at frequencies above 120Hz. 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 25µF in aluminum electrolytic to equal 1µF 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 0.5MHz. For this reason, 0.01µF disc may seem to work better than a 0.1µF 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 between 500 pF and 5000 pF. A 1µF solid tantalum (or 25µF aluminum electrolytic) on the output swamps this effect and insures stability. Any increase of the load capacitance larger than 10µF 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 240Ω) 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 0.05Ω 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 240Ω set resistor.

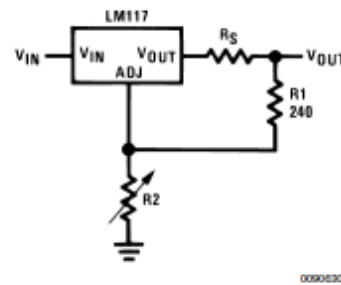


FIGURE 2. Regulator with Line Resistance in Output Lead

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-39 package, care should be taken to minimize the wire length of the output lead. The ground of  $R_2$  can be returned near the ground of the load to provide remote ground sensing and improve load regulation.

#### PROTECTION DIODES

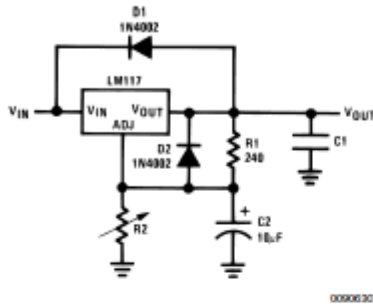
When external capacitors are used with any IC regulator it is sometimes necessary to add protection diodes to prevent the capacitors from discharging through low current points into the regulator. Most 10µF capacitors have low enough internal series resistance to deliver 20A spikes when shorted. Although 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 25µF or less, there is no need to use diodes.

The bypass capacitor on the adjustment terminal can discharge through a low current junction. Discharge occurs

### Application Hints (Continued)

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 10μF capacitance. Figure 3 shows an LM117 with protection diodes included for use with outputs greater than 25V and high values of output capacitance.



$$V_{OUT} = 1.25V \left( 1 + \frac{R2}{R1} \right) + I_{ADJ}R2$$

D1 protects against C1  
D2 protects against C2

FIGURE 3. Regulator with Protection Diodes

When a value for  $\theta_{(H-A)}$  is found using the equation shown, a heatsink must be selected that has a value that is less than or equal to this number.

$\theta_{(H-A)}$  is specified numerically by the heatsink manufacturer in the catalog, or shown in a curve that plots temperature rise vs power dissipation for the heatsink.

#### HEATSINKING TO-263, SOT-223 AND TO-252 PACKAGE PARTS

The TO-263 ("S"), SOT-223 ("MP") and TO-252 ("DT") packages use a copper plane on the PCB and the PCB itself as a heatsink. To optimize the heat sinking ability of the plane and PCB, solder the tab of the package to the plane.

Figure 4 shows for the TO-263 the measured values of  $\theta_{(J-A)}$  for different copper area sizes using a typical PCB with 1 ounce copper and no solder mask over the copper area used for heatsinking.

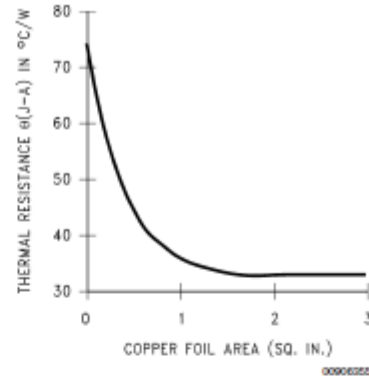


FIGURE 4.  $\theta_{(J-A)}$  vs Copper (1 ounce) Area for the TO-263 Package

As shown in the figure, increasing the copper area beyond 1 square inch produces very little improvement. It should also be observed that the minimum value of  $\theta_{(J-A)}$  for the TO-263 package mounted to a PCB is 32°C/W.

As a design aid, Figure 5 shows the maximum allowable power dissipation compared to ambient temperature for the TO-263 device (assuming  $\theta_{(J-A)}$  is 35°C/W and the maximum junction temperature is 125°C).

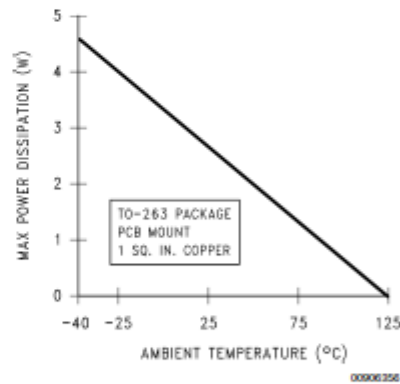
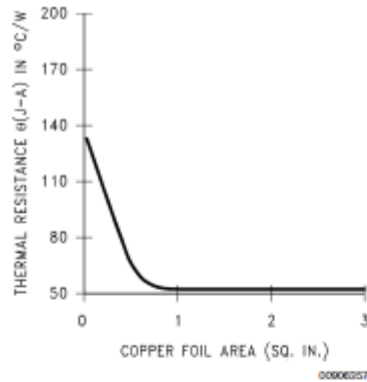


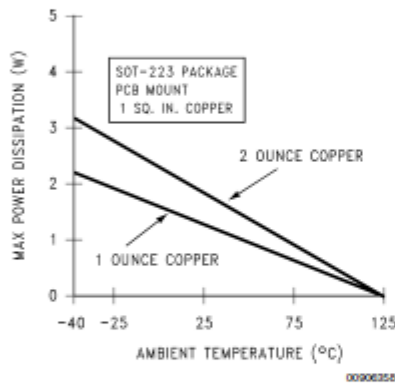
FIGURE 5. Maximum Power Dissipation vs  $T_{AMB}$  for the TO-263 Package

Figure 6 and Figure 7 show the information for the SOT-223 package. Figure 7 assumes a  $\theta_{(J-A)}$  of 74°C/W for 1 ounce copper and 51°C/W for 2 ounce copper and a maximum junction temperature of 125°C.

**Application Hints** (Continued)



**FIGURE 6.**  $\theta_{(J-A)}$  vs Copper (2 ounce) Area for the SOT-223 Package



**FIGURE 7.** Maximum Power Dissipation vs  $T_{AMB}$  for the SOT-223 Package

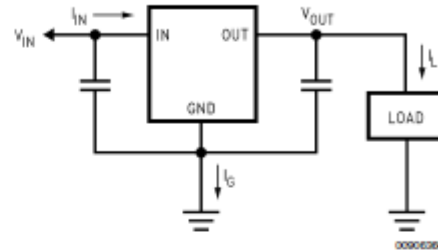
The LM317 regulators have internal thermal shutdown to protect the device from over-heating. Under all possible operating conditions, the junction temperature of the LM317 must be within the range of 0°C to 125°C. A heatsink may be required depending on the maximum power dissipation and maximum ambient temperature of the application. To deter-

mine if a heatsink is needed, the power dissipated by the regulator,  $P_D$ , must be calculated:

$$I_{IN} = I_L + I_G$$

$$P_D = (V_{IN} - V_{OUT}) I_L + V_{IN} I_G$$

Figure 8 shows the voltage and currents which are present in the circuit.



**FIGURE 8.** Power Dissipation Diagram

The next parameter which must be calculated is the maximum allowable temperature rise,  $T_R(max)$ :

$$T_R(max) = T_J(max) - T_A(max)$$

where  $T_J(max)$  is the maximum allowable junction temperature (125°C), and  $T_A(max)$  is the maximum ambient temperature which will be encountered in the application.

Using the calculated values for  $T_R(max)$  and  $P_D$ , the maximum allowable value for the junction-to-ambient thermal resistance ( $\theta_{JA}$ ) can be calculated:

$$\theta_{JA} = T_R(max)/P_D$$

If the maximum allowable value for  $\theta_{JA}$  is found to be  $\geq 92^\circ\text{C/W}$  (Typical Rated Value) for TO-252 package, no heatsink is needed since the package alone will dissipate enough heat to satisfy these requirements. If the calculated value for  $\theta_{JA}$  falls below these limits, a heatsink is required.

As a design aid, Table 1 shows the value of the  $\theta_{JA}$  of TO-252 for different heatsink area. The copper patterns that we used to measure these  $\theta_{JA}$ s are shown at the end of the Application Notes Section. Figure 9 reflects the same test results as what are in the Table 1

Figure 10 shows the maximum allowable power dissipation vs. ambient temperature for the TO-252 device. Figure 11 shows the maximum allowable power dissipation vs. copper area ( $\text{In}^2$ ) for the TO-252 device. Please see AN1028 for power enhancement techniques to be used with SOT-223 and TO-252 packages.

**TABLE 1.**  $\theta_{JA}$  Different Heatsink Area

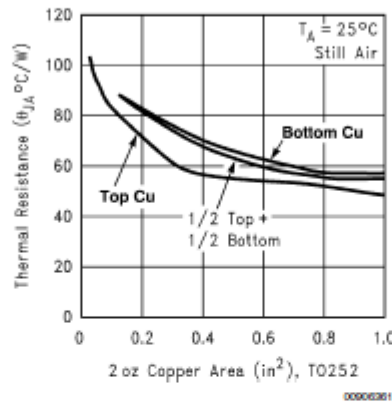
Layout	Copper Area		Thermal Resistance ( $\theta_{JA}$ °C/W) TO-252
	Top Side ( $\text{In}^2$ )*	Bottom Side ( $\text{In}^2$ )	
1	0.0123	0	103
2	0.066	0	87
3	0.3	0	60
4	0.53	0	54
5	0.76	0	52
6	1	0	47
7	0	0.2	84
8	0	0.4	70
9	0	0.6	63

**Application Hints** (Continued)

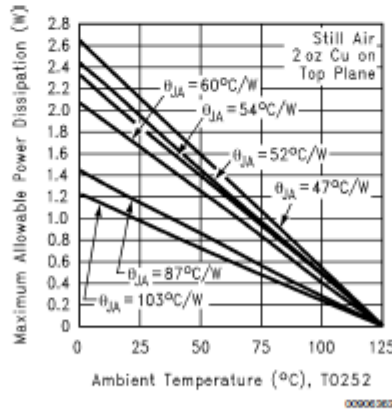
**TABLE 1.  $\theta_{JA}$  Different Heatsink Area** (Continued)

Layout	Copper Area		Thermal Resistance
	Top	Bottom	
10	0	0.8	57
11	0	1	57
12	0.066	0.066	89
13	0.175	0.175	72
14	0.284	0.284	61
15	0.392	0.392	55
16	0.5	0.5	53

Note: \* Tab of device attached to topside of copper.



**FIGURE 9.  $\theta_{JA}$  vs 2oz Copper Area for TO-252**



**FIGURE 10. Maximum Allowable Power Dissipation vs. Ambient Temperature for TO-252**



**Application Hints** (Continued)

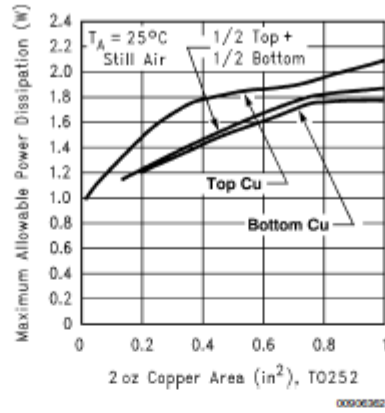


FIGURE 11. Maximum Allowable Power Dissipation vs. 2oz Copper Area for TO-252

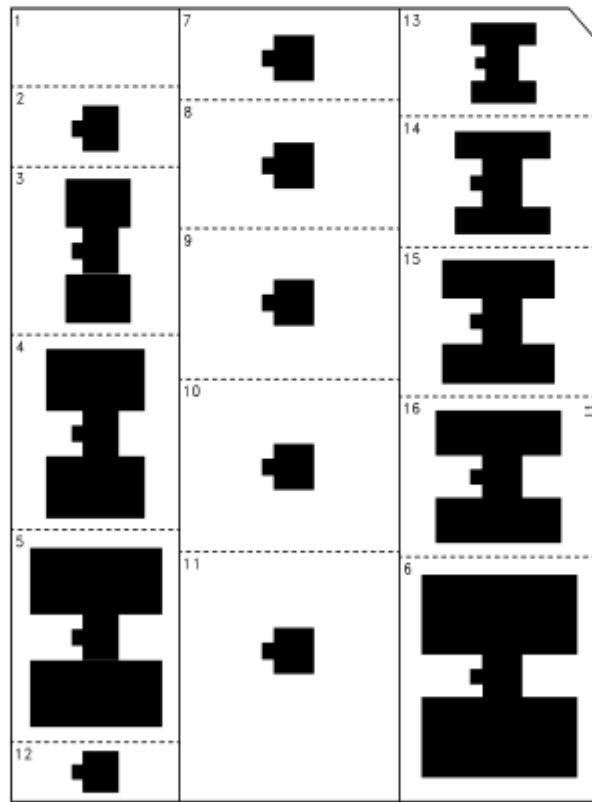


FIGURE 12. Top View of the Thermal Test Pattern in Actual Scale



**Application Hints** (Continued)

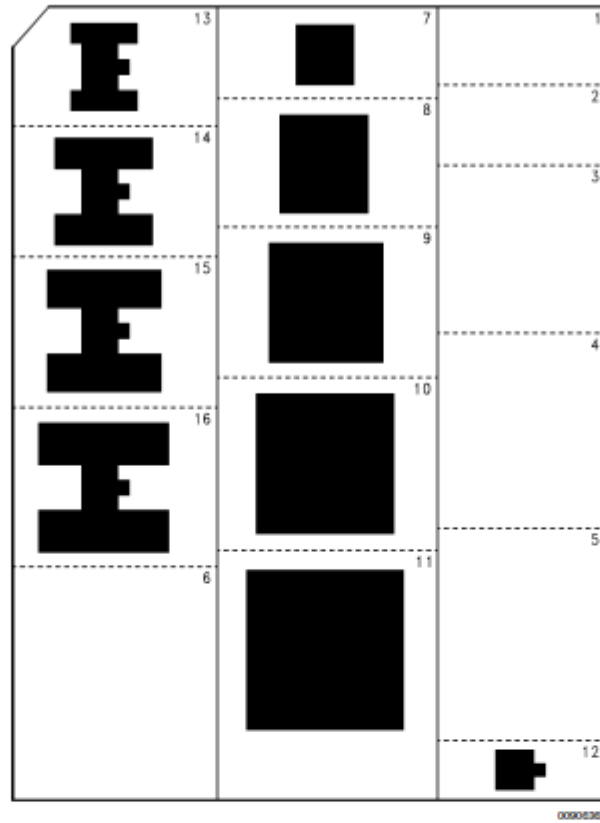
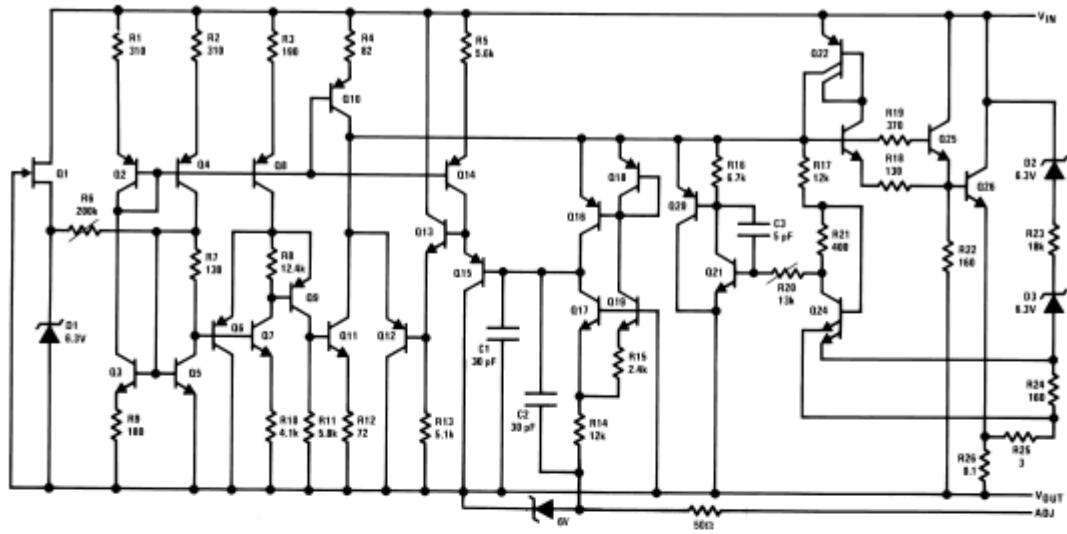


FIGURE 13. Bottom View of the Thermal Test Pattern in Actual Scale

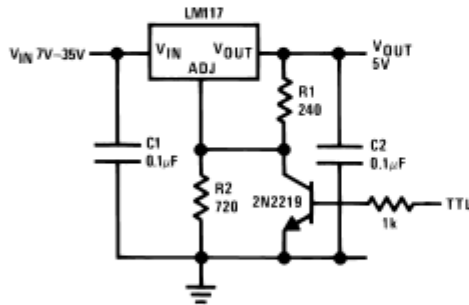
LM117/LM317A/LM317

### Schematic Diagram



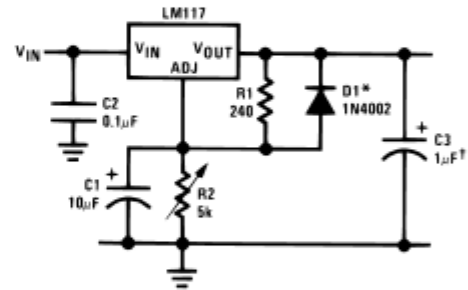
### Typical Applications

#### 5V Logic Regulator with Electronic Shutdown\*



\*Min. output = 1.2V

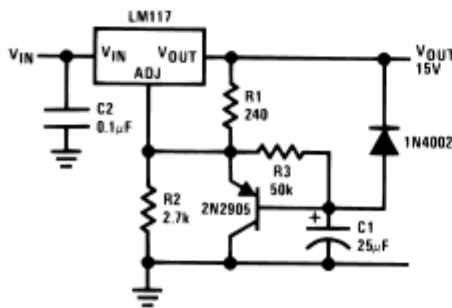
#### Adjustable Regulator with Improved Ripple Rejection



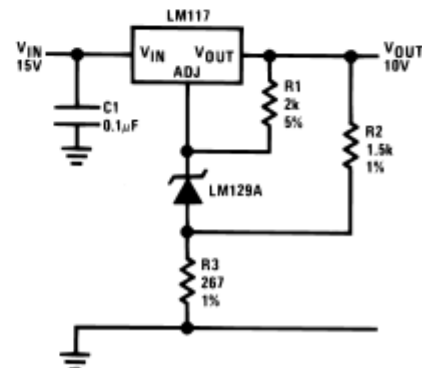
†Solid tantalum

\*Discharges C1 if output is shorted to ground

#### Slow Turn-On 15V Regulator

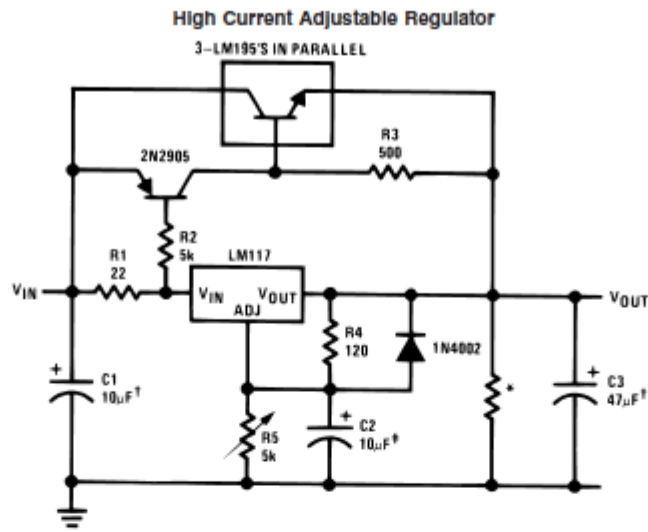


#### High Stability 10V Regulator





### Typical Applications (Continued)

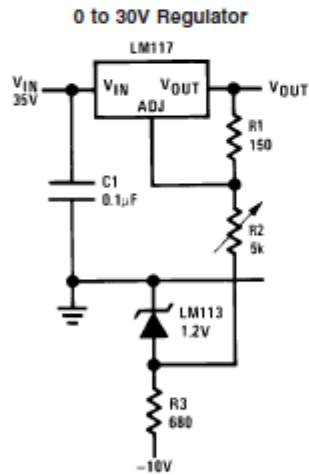


00906212

‡Optional—improves ripple rejection

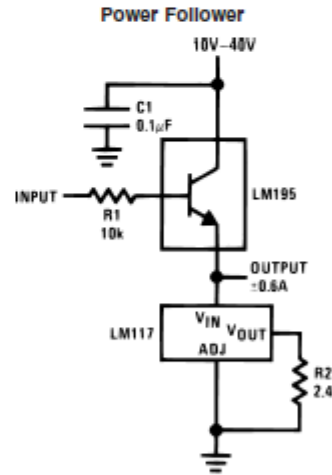
†Solid tantalum

\*Minimum load current = 30 mA



00906313

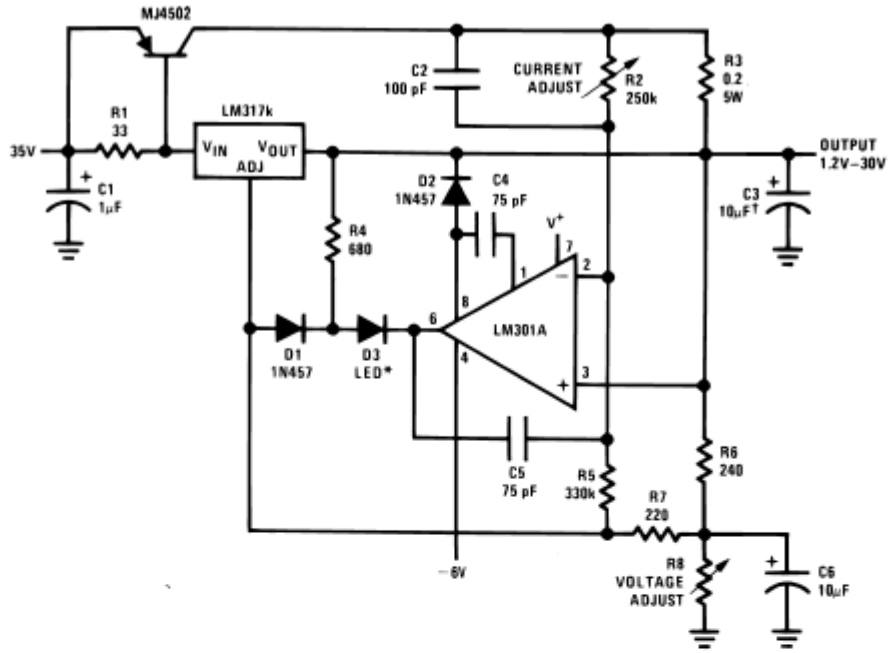
Full output current not available at high input-output voltages



00906314

## Typical Applications (Continued)

### 5A Constant Voltage/Constant Current Regulator

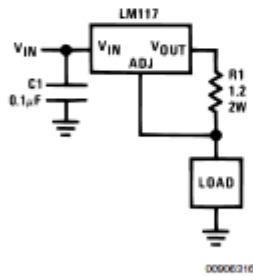


†Solid tantalum

\*Lights in constant current mode

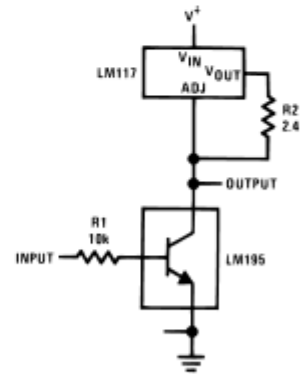
00906215

### 1A Current Regulator



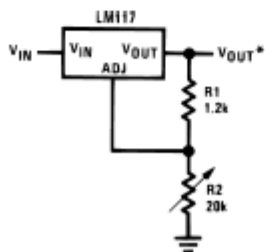
00906216

### High Gain Amplifier



00906218

### 1.2V–20V Regulator with Minimum Program Current

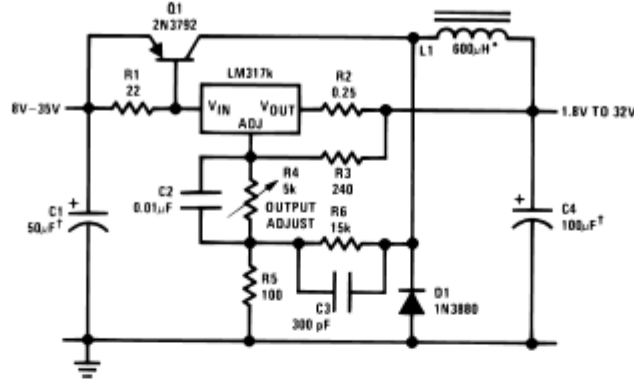


00906217

\*Minimum load current = 4 mA

Typical Applications (Continued)

Low Cost 3A Switching Regulator

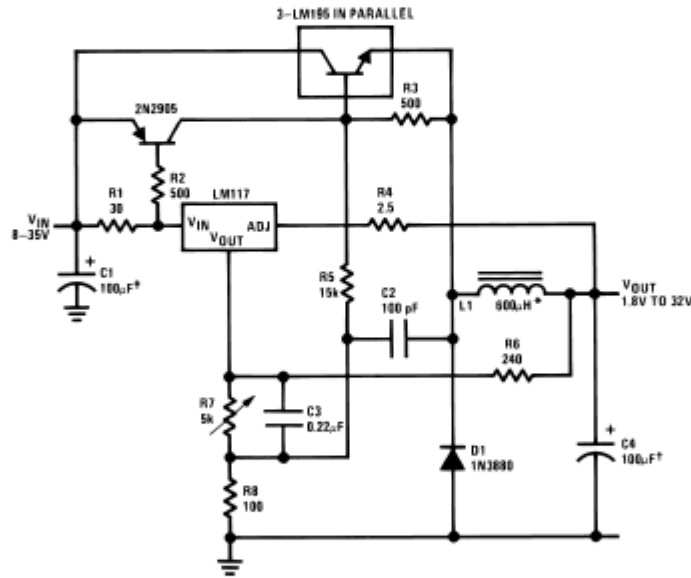


00906219

†Solid tantalum

\*Core — Arnold A-254168-2 60 turns

4A Switching Regulator with Overload Protection

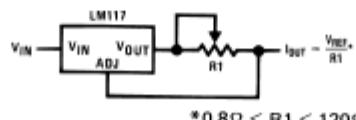


00906320

†Solid tantalum

\*Core — Arnold A-254168-2 60 turns

Precision Current Limiter

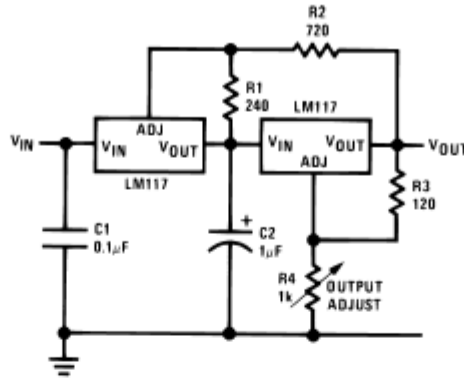


$*0.8\Omega \leq R1 \leq 120\Omega$

00906321

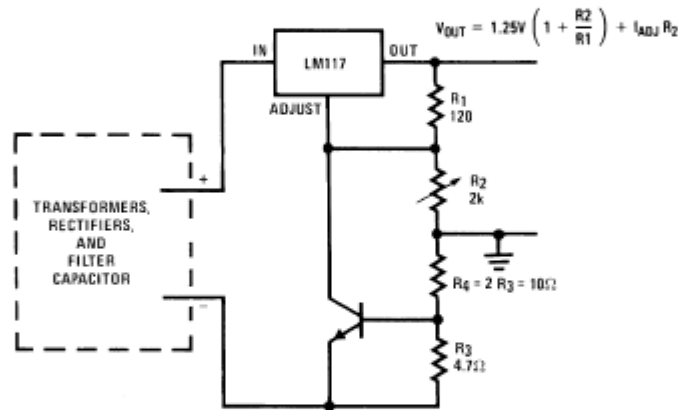
Typical Applications (Continued)

Tracking Preregulator



00906322

Current Limited Voltage Regulator



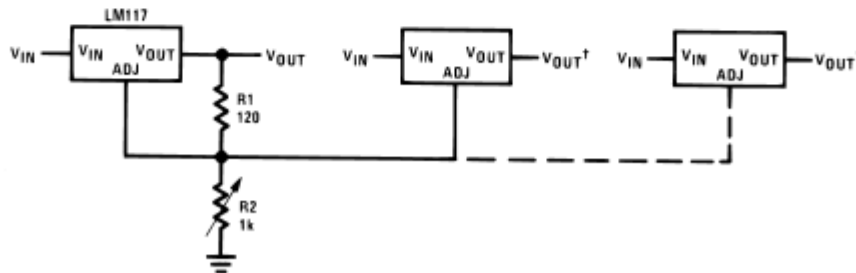
00906323

— Short circuit current is approximately  $\frac{600 \text{ mV}}{R_3}$ , or 120 mA

(Compared to LM117's higher current limit)

— At 50 mA output only ½ volt of drop occurs in  $R_3$  and  $R_4$

Adjusting Multiple On-Card Regulators with Single Control\*

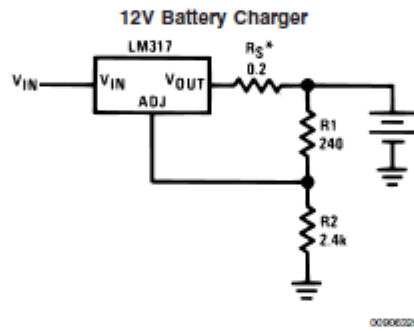
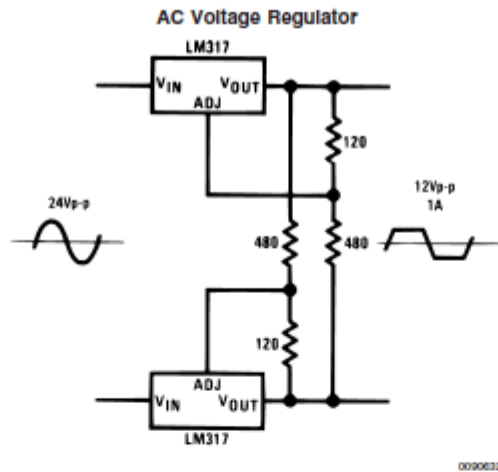


00906324

\*All outputs within  $\pm 100 \text{ mV}$

†Minimum load—10 mA

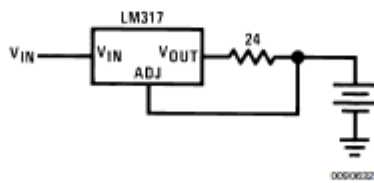
Typical Applications (Continued)



\* $R_S$ —sets output impedance of charger:  $Z_{OUT} = R_S \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$

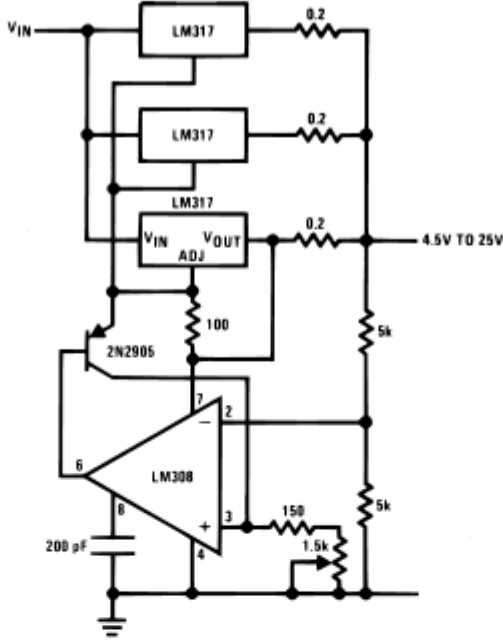
Use of  $R_S$  allows low charging rates with fully charged battery.

### 50mA Constant Current Battery Charger



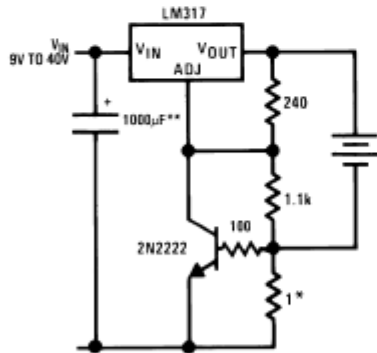
Typical Applications (Continued)

Adjustable 4A Regulator



00006220

Current Limited 6V Charger

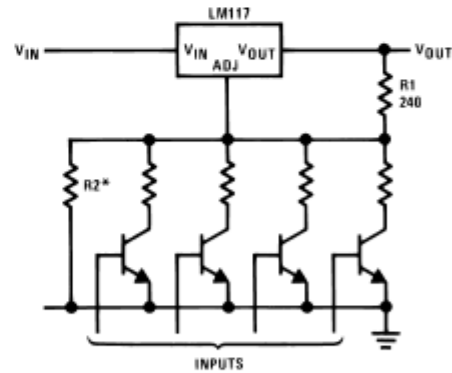


00006220

\*Sets peak current (0.6A for 1Ω)

\*\*The 1000µF is recommended to filter out input transients

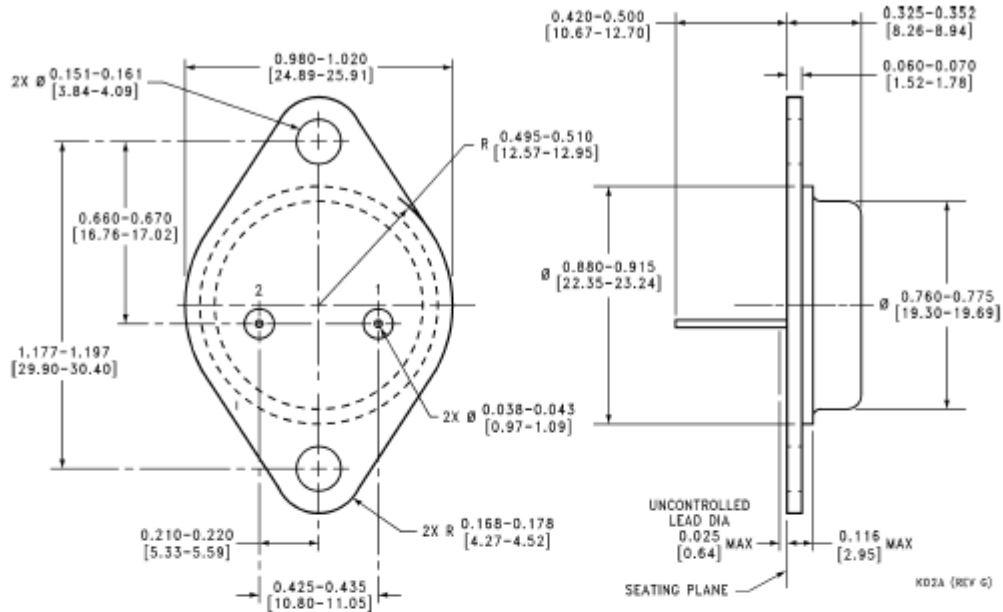
Digitally Selected Outputs



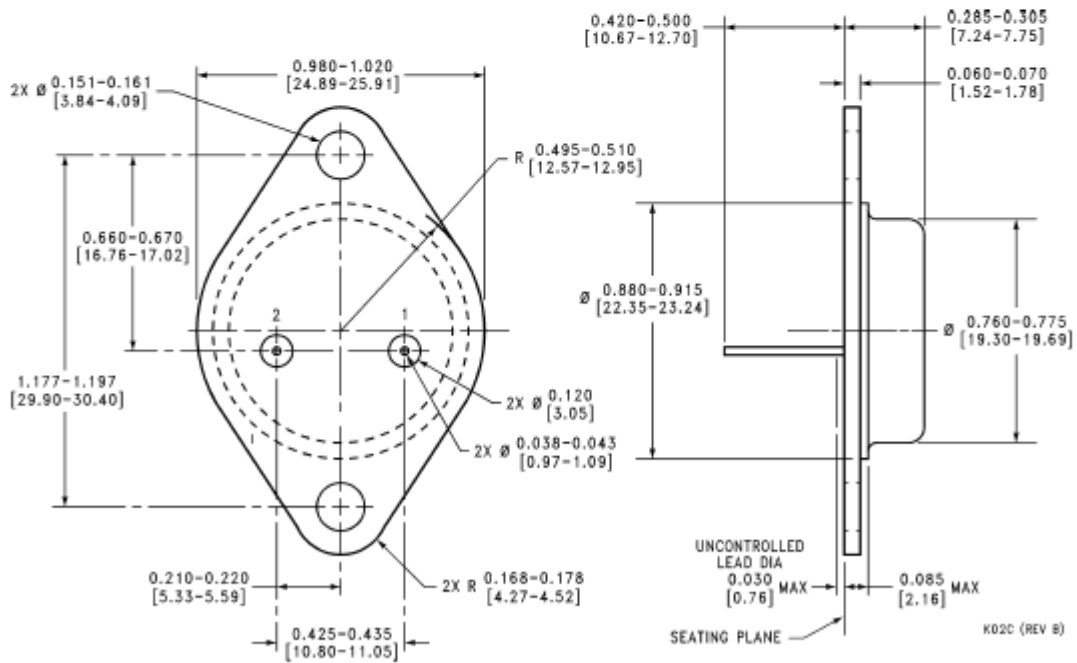
00006220

\*Sets maximum V\_OUT

**Physical Dimensions** Inches (millimeters)  
unless otherwise noted



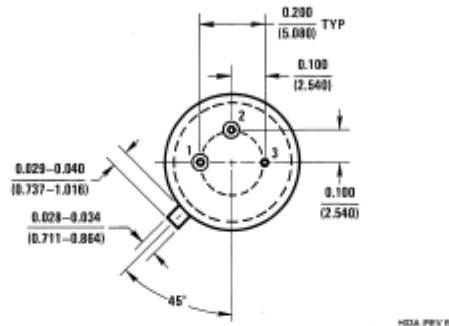
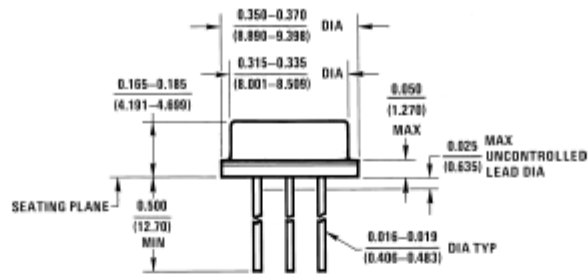
**TO-3 Metal Can Package (K)**  
**NS Package Number K02A**



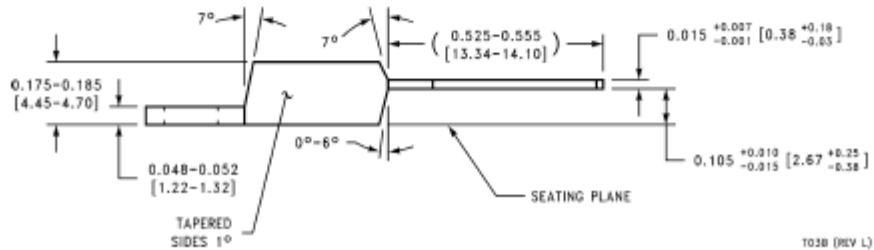
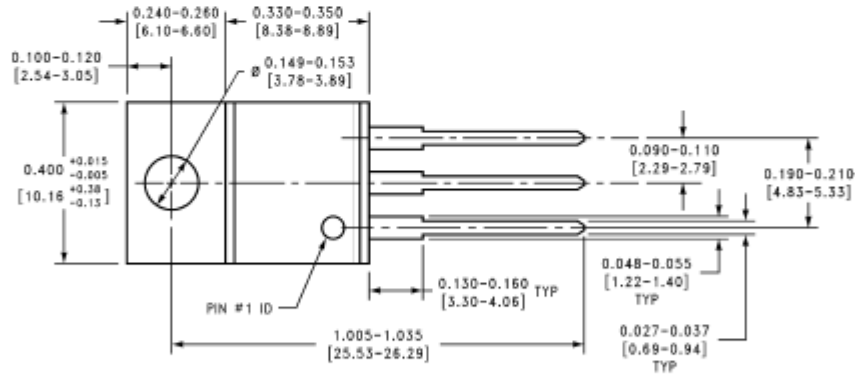
**TO-3 Metal Can Package (K)**  
**III-Aero Product**  
**NS Package Number K02C**

LM117/LM317A/LM317

**Physical Dimensions** Inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



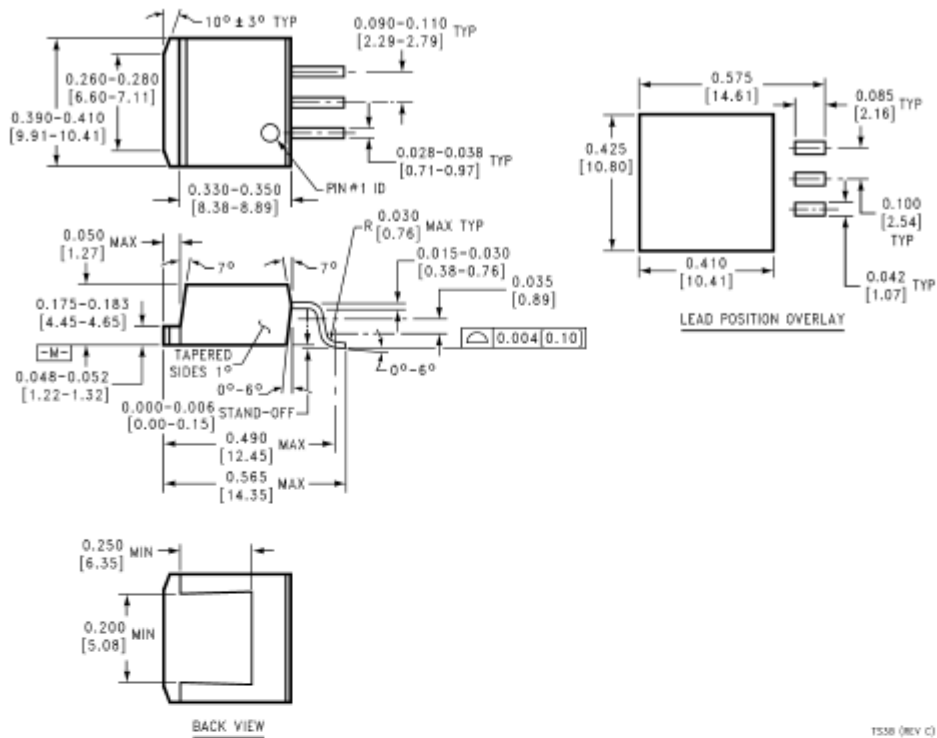
**(TO-18) Metal Can Package**  
NS Package Number H03A



**3-Lead TO-220**  
NS Package Number T03B



**Physical Dimensions** Inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)

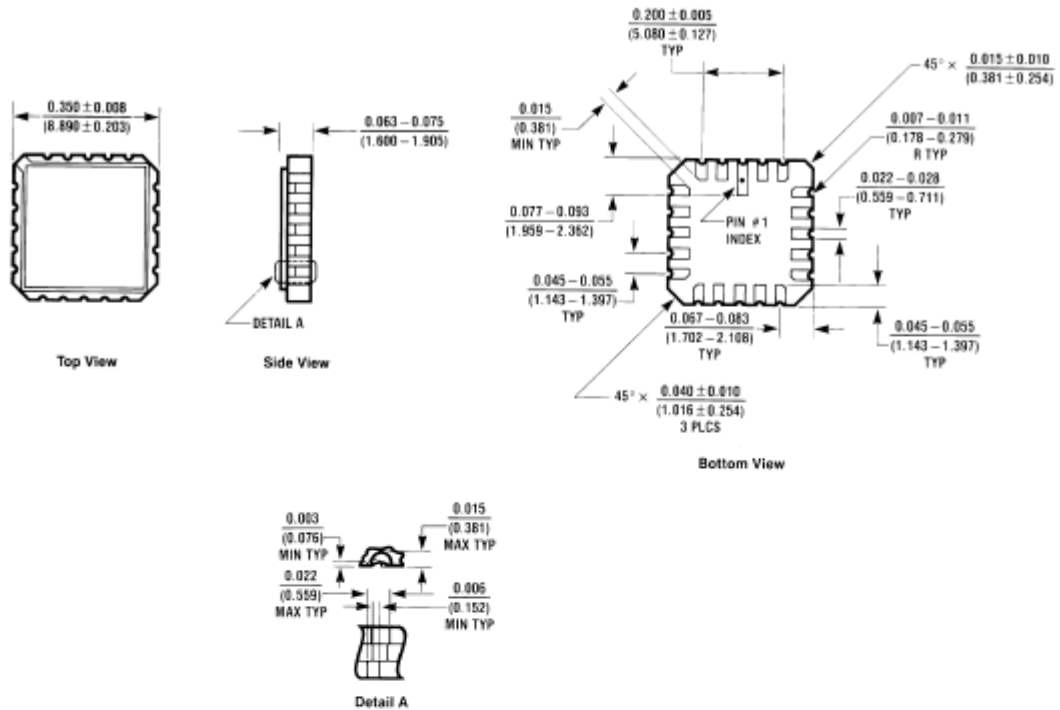


**3-Lead TO-263  
NS Package Number TS3B**

1538 (REV C)

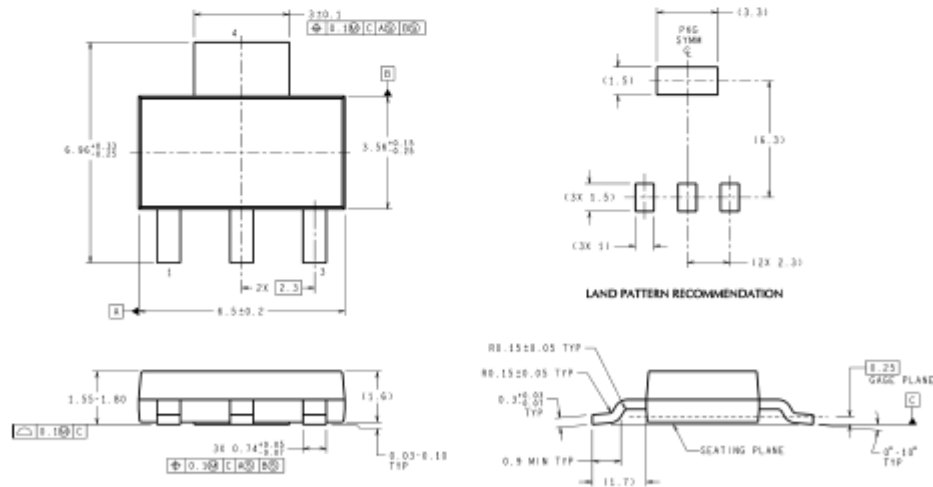
LM117/LM317A/LM317

**Physical Dimensions** Inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



ESDA, REV 01

**Ceramic Leadless Chip Carrier  
NS Package Number E20A**



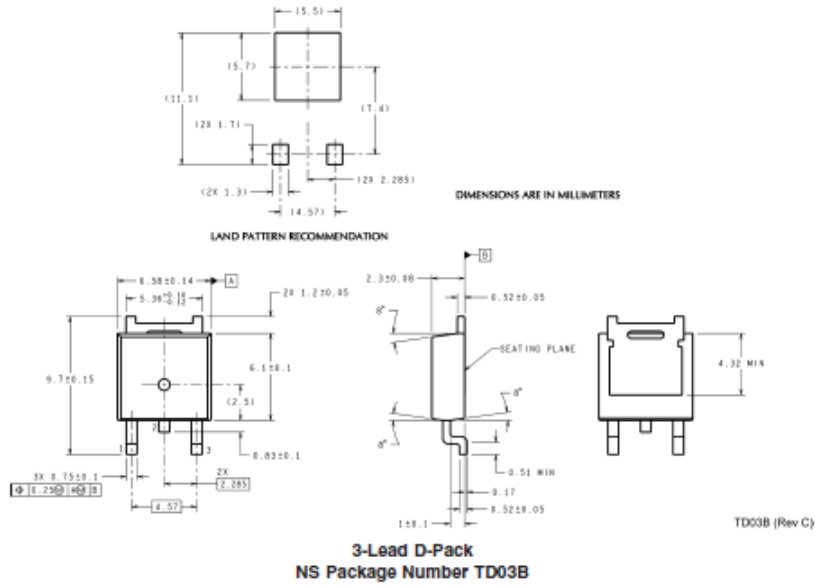
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS

MP04A (Rev B)

**4-Lead SOT-223  
NS Package Number MP04A**



**Physical Dimensions** Inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



**LIFE SUPPORT POLICY**

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT AND GENERAL COUNSEL OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

**BANNED SUBSTANCE COMPLIANCE**

National Semiconductor certifies that the products and packing materials meet the provisions of the Customer Products Stewardship Specification (CSP-9-111C2) and the Banned Substances and Materials of Interest Specification (CSP-9-111S2) and contain no "Banned Substances" as defined in CSP-9-111S2.



**National Semiconductor**  
Americas Customer  
Support Center  
Email: [nw.feedback@nsc.com](mailto:nw.feedback@nsc.com)  
Tel: 1-800-272-9959

**National Semiconductor**  
Europe Customer Support Center  
Fax: +49 (0) 180-530 85 86  
Email: [europe.support@nsc.com](mailto:europe.support@nsc.com)  
Deutsch Tel: +49 (0) 69 9508 6208  
English Tel: +44 (0) 870 24 0 2171  
Français Tel: +33 (0) 1 41 91 8790

**National Semiconductor**  
Asia Pacific Customer  
Support Center  
Email: [ap.support@nsc.com](mailto:ap.support@nsc.com)

**National Semiconductor**  
Japan Customer Support Center  
Fax: 81-3-5639-7507  
Email: [jpn.feedback@nsc.com](mailto:jpn.feedback@nsc.com)  
Tel: 81-3-5639-7560

[www.national.com](http://www.national.com)

National does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and National reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.